



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KURUTULMUŞ BUĞDAY UNU ÜRETİMİNDE İNFRARED
TEKNOLOJİSİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
VE İNFRARED DESTEKLİ RİBBON MİKSERİN TASARIM
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

FATMA KORKMAZ

Tez Danışmanı

PROF. DR. NECATİ BARIŞ TUNCEL

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KURUTULMUŞ BUĞDAY UNU ÜRETİMİNDE İNFRARED TEKNOLOJİSİNİN
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE İNFRARED DESTEKLİ
RİBBON MİKSERİN TASARIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

FATMA KORKMAZ

Tez Danışmanı

PROF. DR. NECATİ BARIŞ TUNCEL

Bu çalışma, TUBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 118O366

ÇANAKKALE – 2022



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Fatma KORKMAZ tarafından Prof. Dr. Necati Barış TUNCEL yönetiminde hazırlanan ve **11/08/2022** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Kurutulmuş Buğday Unu Üretiminde İnfrared Teknolojisinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve İnfrared Destekli Ribbon Mikserin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Necati Barış TUNCEL

.....

(Danışman)

Prof. Dr. Esra ÇAPANOĞLU GÜVEN

.....

Prof. Dr. Orhan DAĞLIOĞLU

.....

Prof. Dr. Habib KOCABIYIK

.....

Prof. Dr. Yonca KARAGÜL YÜCEER

.....

Tez No : 10486250

Tez Savunma Tarihi : 11/08/2022

.....

Doç. Dr. Yener PAZARCIK

Enstitü Müdürü

.../.../2022

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Fatma KORKMAZ

11/08/2022

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde ve akademik kariyerimin şekillenmesinde bir an olsun bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, çalışma disiplini ve enerjisini kendime prensip edindiğim saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Necati Barış TUNCEL'e,

Tez çalışmamı değerlendiren ve gelişmesini sağlayan saygıdeğer jüri üyelerim Prof. Dr. Esra ÇAPANOĞLU GÜVEN, Prof. Dr. Orhan DAĞLIOĞLU, Prof. Dr. Habib KOCABIYIK ve Prof. Dr. Yonca KARAGÜL YÜCEER'e

Çalışmamın her aşamasında büyük bir özveri ile bana yardım eden ve aynı projede yer almaktan büyük keyif aldığım çalışma arkadaşım Özlem TOK'a

Doktora tezimin gerçekleşmesine olanak veren proje (1180366) desteği için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK)'a

Tez çalışmamdaki analizlerimde kullandığım cihazların tedarikinde yardımcı olan BRABENDER distribütörü ANAMED&ANALİTİK GRUP'a

Her konuda inancı ve desteği sonsuz olan değerli aile üyelerim Ali YILMAZ, Hafize YILMAZ ve Derya YILMAZ'a

İlk günden beri sonsuz sevgi ve desteğini yanımda hissettiğim, sevgili eşim ve hayat arkadaşım Mert KORKMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma KORKMAZ
Çanakkale, Ağustos 2022

ÖZET

KURUTULMUŞ BUĞDAY UNU ÜRETİMİNDE İNFRARED TEKNOLOJİSİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE İNFRARED DESTEKLİ RİBBON MİKSERİN TASARIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Fatma KORKMAZ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Necati Barış TUNCEL

11/08/2022, 129

Bu tez çalışmasında, buğday unlarının termal ve hidrotermal modifikasyonunda infrared (IR) ısı kaynağı destekli ribbon mikser cihazının kullanım olanakları araştırılmıştır. IR enerjisinin farklı teknolojik özelliğe sahip unların fiziko-kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özellikleri üzerine etkisi incelenerek, ısıl işlem görmüş unların ekmek ve kek üretiminde kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Tasarlanan ribbon mikser cihazında buğday unlarına (yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unu); kısa ve orta dalga boylarında farklı emitter güçlerinde (600-1000 W) termal ve hidrotermal işlemler uygulanmıştır.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, IR destekli ribbon mikserde uygulanan ısıl işlemlerin buğday unlarının fiziko-kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin, un tipine, işlem türüne (termal ve hidrotermal) ve koşullarına (emitter gücü ve süre) bağlı olduğu görülmüştür. Uygulanan hidrotermal işlemler sonucunda, gluten proteinlerinin denatürasyonu nedeniyle un örneklerinden gluten ekstrakte edilememiş ve gluten agregasyon özellikleri belirlenememiştir. Ayrıca, bu örneklerin ham protein içerikleri ve sedimentasyon değerleri de önemli düzeyde düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, uygulanan termal ve hidrotermal işlemlerin, örneklerin nişasta yapılarında, α -amilaz aktivitelerinde, jelatinizasyon özelliklerinde ve solvent tutma kapasitelerinde de önemli değişimlere neden olduğu görülmüştür. Özellikle hidrotermal işlem, unların viskozitelerinin ve jelatinizasyon sıcaklıklarının artmasını sağlamış, buna karşın jel

stabilitelerinde ise azalmaya neden olmuştur. Sonuç olarak, buğday unlarının modifikasyonunda IR enerjisinin kullanılabilmesi ortaya konmuştur.

Analizler sonucunda en az besinsel kayıp ve referans unlara en yakın özellikleri gösteren işlem görmüş örnekler ekmek ve kek üretiminde kullanılmıştır. Uygulanan ısı işlemlerin buğday unlarının protein/gluten yapısında değişikliğe neden olması, bu unlardan üretilen ekmek ve kek ürünlerinin fiziksel ve tekstürel özelliklerinde önemli değişikliklere neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, işlem görmemiş undan üretilen kek ile karşılaştırıldığında, depolama süresince işlem görmüş unlardan üretilen keklerin sertlik değerlerinin daha az arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnfrared, Ribbon mikser, Buğday unu, Termal işlem, Hidrotermal işlem, Ekmek, Kek

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE POTENTIAL USE OF INFRARED TECHNOLOGY FOR DEHYDRATION OF WHEAT FLOUR AND DETERMINATION OF THE DESIGN PARAMETERS OF INFRARED ASSISTED RIBBON MIXER

Fatma KORKMAZ

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Doctoral Dissertation in Food Engineering

Advisor: Prof. Dr. Necati Barış TUNCEL

11/08/2022, 129

In this thesis, it was investigated the potential use of a designed infrared (IR) assisted ribbon mixer system for the thermal and hydrothermal modification of wheat flours. The effect of IR radiation on physico-chemical, rheological, and functional properties of flours that have different technological properties was determined, and the potential of utilization of the processed flours in bread and cake production was investigated. In the designed ribbon mixer system, thermal and hydrothermal treatments were conducted on wheat flours (high protein wheat flour, low protein wheat flour, and biscuit wheat flour) using different IR power levels (600-1000W) either for short or medium wave IR emitters.

It was seen that the effect of the heat treatments processed with the IR-assisted ribbon mixer system on the physico-chemical, rheological and functional properties of wheat flour varied depending on the flour composition and process types (thermal and hydrothermal) and conditions (emitter power and process time). Determination of gluten aggregation properties of hydrothermally IR-treated wheat flours could not possible due to the denaturation of the protein. Besides, it was found that crude protein contents and sedimentation values of hydrothermally treated samples were lower than untreated and thermally treated samples for all types of wheat flour. Moreover, it was observed that the thermal and hydrothermal treatments caused significant changes in the starch structures, α -amylase enzyme activities, gelatinization properties, and solvent retention capacity of

wheat flours. Especially, the hydrothermal treatment caused an increase in the viscosities and gelatinization temperatures of the flours, and a decrease in the gel stabilities. As a result, it was seen that IR radiation has a remarkable potential for use in the modification of wheat flour.

As a result of the analyses, the processed samples showing the least nutritional loss and the closest properties to the reference flours were used in the production of bread and cake. It was observed that the physical and textural properties of the products from these flours changed depending on the changes caused by the applied IR treatments, especially in the protein/gluten structure of the flours. In addition, it was determined that the hardness values of the cakes produced from the treated flours increased less during storage compared to the cake produced from untreated flour.

Keywords: Infrared, Ribbon mixer, Wheat flour, Thermal treatment, Hydrothermal treatment, Bread, Cake

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv

BİRİNCİ BÖLÜM GİRİŞ

1

İKİNCİ BÖLÜM GENEL BİLGİLER VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3

2.1. İnfrared (IR) Radyasyon ve Gıdalarda Kullanım Alanları.....	3
2.2. Buğday Unu ve Bileşenleri.....	7
2.3. Buğday Ununa Isıl İşlem Uygulamaları.....	11

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM MATERYAL VE YÖNTEM

19

3.1. Buğday Unları.....	19
3.2. İnfrared (IR) Destekli Ribbon Mikser Düzeneği.....	19
3.3. Termal ve Hidrotermal Uygulaması Deneme Planı.....	21
3.4. Analiz Yöntemleri.....	24
3.4.1. Nem Analizi.....	24
3.4.2. Ham Protein Analizi.....	24
3.4.3. Yaş Gluten Miktarı ve Gluten İndeks Analizleri.....	24
3.4.4. Sedimantasyon (Zeleny) Analizi.....	24
3.4.5. GlutoPeak Analizi.....	24
3.4.6. Toplam Nişasta Analizi.....	25
3.4.7. Zedelenmiş Nişasta Analizi.....	25

3.4.8.	Enzime Dirençli Nişasta Analizi.....	26
3.4.9.	Düşme Sayısı Analizi.....	26
3.4.10.	Solvent Tutma Kapasitesi Analizi.....	27
3.4.11.	MikroVisko-Amilograf Analizi.....	27
3.4.12.	Ekmek Üretim Yöntemi.....	27
3.4.13.	Kek Üretim Yöntemi.....	28
3.4.14.	Keklerin Depolanması.....	28
3.4.15.	Pişme Kaybı Analizi.....	28
3.4.16.	Tekstür Analizi.....	28
3.4.17.	Duyusal Analiz.....	29
3.4.18.	Renk Değerlerinin Analizi.....	29
3.4.19.	İstatistiksel Analizler.....	30

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

		31
4.1.	Nem Değerleri.....	31
4.2.	Ham Protein Değerleri.....	34
4.3.	Yaş Gluten ve Gluten İndeks Değerleri.....	36
4.4.	Sedimentasyon Değerleri.....	39
4.5.	GlutoPeak Değerleri.....	42
4.6.	Nişasta Değerleri.....	47
4.7.	Düşme Sayısı Değerleri.....	53
4.8.	Solvent Tutma Kapasitesi Değerleri.....	56
4.9.	Mikro Visko-Amilograf Değerleri.....	63
4.10.	Renk Değerleri.....	73
4.11.	Termal ve Hidrotermal İşlem Görmüş Unların Çeşitli Ürünlerde Kullanımı.....	77
4.12.	Termal İşlem Görmüş Unlardan Üretilen Ekmeklerin Özellikleri.....	77
	4.12.1. Ekmek Üretiminde Kullanılacak Örneklerin Belirlenmesi.....	77
	4.12.2. Ekmek Özellikleri.....	81
	4.12.3. Ekmeklerin Tekstür Özellikleri.....	85
	4.12.4. Ekmeklerin Renk Özellikleri.....	88
	4.12.5. Ekmeklerin Duyusal Özellikleri.....	89
	4.12.6. Ekmeklerin Belirlenen Özellikleri Yönünden Değerlendirilmesi.....	91
4.13.	Hidrotermal İşlem Görmüş Unlardan Üretilen Keklerin Özellikleri.....	92
	4.13.1. Kek Üretiminde Kullanılacak Örneklerin Belirlenmesi.....	92
	4.13.2. Kek Özellikleri.....	95
	4.13.3. Keklerin Tekstür Özellikleri.....	101

4.13.4. Keklerin Renk Özellikleri.....	106
BEŞİNCİ BÖLÜM	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	
110	
KAYNAKÇA.....	113
EKLER.....	I
EK 1. Tüketici testi skor kağıdı.....	II
EK 2. Termal ve hidrotermal işlem görmüş yüksek proteinli unların Mikro Visko- Amilograf grafikleri.....	III
EK 3. Termal ve hidrotermal işlem görmüş düşük proteinli unların Mikro Visko- Amilograf grafikleri.....	IV
EK 4. Termal ve hidrotermal işlem görmüş bisküvilik proteinli unların Mikro Visko- Amilograf grafikleri.....	V
ÖZGEÇMİŞ.....	VI

SİMGELER VE KISALTMALAR

IR	İnfrared (Kızılötesi)
W	Watt
GPU	GlutoPeak Units
BU	Brabender Units
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
cmg	Tork Ölçüm Aralığı Değeri
GOPOD	Glucose Oxidase/Peroxidase
UV-VIS	Ultraviyole ve Görünür Bölge
RH	Bağıl Nem
TPA	Toplam Profil Analizi
L^*	Aydınlık/Karanlık
a^*	Kırmızılık/Yeşillik
b^*	Sarılık/Mavilik
ΔE	Toplam Renk Değişimi/Farkı
n	Gözlem sayısı
km	Kuru Madde
STK	Solvent Tutma Kapasitesi
su-STK	Su Solvent Tutma Kapasitesinin
sükroz-STK	Sükroz Solvent Tutma Kapasitesinin
laktik asit-STK	Laktik Asit Solvent Tutma Kapasitesinin
sodyum karbonat-STK	Sodyum Karbonat Solvent Tutma Kapasitesinin
MDS	Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi
DAF	Hesaplanan Dağılım Değeri
YP	Yüksek Proteinli Un
DP	Düşük Proteinli Un
B	Bisküvilik Un
KD	Kısa Dalga
OD	Orta Dalga

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Termal işlem için oluşturulan ön deneme planı ve belirlenen işlem parametreleri	22
Tablo 2	Hidrotermal işlem için oluşturulan ön deneme planı ve belirlenen işlem parametreleri	23
Tablo 3	Termal işlem uygulanmış yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unlarının nem değerleri (%)	32
Tablo 4	Hidrotermal işlem uygulanmış yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unlarının nem değerleri (%)	33
Tablo 5	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş buğday unlarının ham protein değerleri (%)	35
Tablo 6	İşlem görmemiş ve termal işlem görmüş un örneklerinin yaş gluten (%km) ve gluten indeks değerleri	38
Tablo 7	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş unların sedimantasyon değerleri (mL)	40
Tablo 8	İşlem görmemiş ve termal işlem görmüş un örneklerinin GlutoPeak analizi sonuçları	43
Tablo 9	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş unların toplam nişasta (%), zedelenmiş nişasta (%) ve enzime dirençli (%) nişasta değerleri	49
Tablo 10	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş unların düşme sayısı değerleri (sn)	54
Tablo 11	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin su-STK değerleri (%)	57
Tablo 12	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin sükröz-STK değerleri (%)	58
Tablo 13	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin laktik asit-STK değerleri (%)	60
Tablo 14	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin sodyum karbonat-STK değerleri (%)	62
Tablo 15	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin jelatinizasyon başlangıç ve maksimum viskozite sıcaklığı (°C)	64
Tablo 16	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin maksimum viskozite ve son viskozite değerleri (BU)	69

Tablo 17	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin kırılma ve katılaşma viskozitesi (BU)	72
Tablo 18	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerleri	74
Tablo 19	İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin ΔE (toplam renk değişimi) değerleri	76
Tablo 20	Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin nem, pişme kaybı, hacim ve spesifik hacim değerleri	83
Tablo 21	Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin tekstür özellikleri	87
Tablo 22	Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin renk değerleri	89
Tablo 23	Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin duyuşsal özellikleri	90
Tablo 24	Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen keklerin 30 günlük depolama süresince (30 °C, %65 RH) nem, pişme kaybı, hacim ve spesifik hacim değerleri	96
Tablo 25	Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen keklerin 30 günlük depolama süresince (30 °C, %65 RH) tekstür özellikleri	104
Tablo 26	Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen keklerin 30 günlük depolama süresince (30 °C, %65 RH) renk değerleri	108

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	İnfrared ısı kaynağının kullanıldığı ribbon mikser düzeneğinin teknik resim görünümü	20
Şekil 2	İnfrared ısı kaynağının kullanıldığı ribbon mikser düzeneğinin görünümü	21
Şekil 3	İşlem görmemiş un örneklerinin GlutoPeak grafikleri	44
Şekil 4	İşlem görmemiş ve bazı işlem görmüş un örneklerinin GlutoPeak grafikleri	45
Şekil 5	İşlem görmemiş un örneklerinin Mikro Visko-Amilograf grafikleri	66
Şekil 6	Termal işlem görmüş yüksek proteinli unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı	79
Şekil 7	Termal işlem görmüş düşük proteinli unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı	80
Şekil 8	Termal işlem görmüş bisküvilik unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı	81
Şekil 9	Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmekler	84
Şekil 10	Uygulanan analiz sonuçlarına göre tüm ekmeklerin toplu olarak karşılaştırılması	91
Şekil 11	Hidrotermal işlem görmüş yüksek proteinli unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı	93
Şekil 12	Hidrotermal işlem görmüş düşük proteinli unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı	94
Şekil 13	Hidrotermal işlem görmüş bisküvilik unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı	95
Şekil 14	Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen kekler	98

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Dünyada en çok üretilen tahılların başında olan buğday, insan beslenmesinde önemli rol oynamaktadır. Çeşitliliklerine rağmen buğday unları, gıda endüstrisinin talep ettiği tüm fiziko-kimyasal özellikleri karşılayamamaktadır. Bu nedenle son yıllarda unların teknolojik açıdan işlevselliğini geliştirmek adına fiziksel modifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Martínez vd., 2014). Buğday unlarının fiziksel modifikasyonunda en yaygın kullanılan yöntem ısıtma işlemidir. Bu uygulamalar: termal (kuru) ve hidrotermal (ilave su varlığında) işlemler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu ısıtma işlemi görmüş unlar, doğal bileşenler olarak değerlendirilmekte, kimyasal olarak işlenmiş muadillerine kıyasla daha güvenli kabul edilmekte ve gıda katkı maddesi olarak sınıflandırılmamaktadır (Bucella vd., 2016; Delatte vd., 2019).

Uygulanan ısıtma işlemlerinin türüne, sıcaklık ve işlem sürelerine bağlı olarak unların fonksiyonel özelliklerinde çeşitli değişiklikler meydana getirilmektedir. Böylece bu unlar kaplama, taşıyıcı-dolgu materyali olarak kek, çorba gibi birçok gıda formülasyonuna eklenebilmektedir (Delatte vd., 2019; Neill vd., 2012).

Endüstriyel olarak unun uygulanan ısıtma işlemlerinde genellikle, akışkan yataklı ve tamburlu kurutma dahil olmak üzere çeşitli geleneksel kurutma yöntemleri kullanılmaktadır (Keppler vd., 2018; Neill vd., 2012). Ancak, endüstriyel uygulamalarda kullanılan geleneksel yöntemler uzun işlem süresinde gerçekleşmekte ve yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır (Ma vd., 2021a). Bu nedenle buğday unlarının ısıtma işlemi ile modifikasyonu için yeni yöntemler üzerine çalışmalar başlatılmıştır. Son yıllarda işlemlerin süresini kısaltmak ve ürün kalitesini iyileştirmek için aşırı ısıtılmış buhar ve ekstrüzyon uygulaması üzerine araştırmalar yapılmıştır (Hu vd., 2017; Martínez vd., 2014).

Bu tez çalışması kapsamında da mevcut sistemlere alternatif olarak tasarlanan infrared (IR) enerji kaynağının kullanıldığı ribbon (makara) mikser cihazı ile farklı protein

içeriklerine sahip buğday unlarına termal ve hidrotermal işlem uygulaması gerçekleştirilmiştir. IR, elektromanyetik spektrumda görünür ışık ile mikrodalga arasında bulunan elektromanyetik radyasyon olarak tanımlanmaktadır (Lee, 2021). IR ısıtma işlemi tekniğinin düşük yatırım maliyeti, kolay kurulum, ısıtma ve kurutmada yüksek hız, basit donanım gereksinimi gibi bazı avantajlara sahip ısıtma/kurutma yöntemi olduğu belirtilmektedir (Chua ve Chou, 2005; Hebbbar vd., 2004). IR radyasyonun direkt olarak ürüne nüfuz ederek ürünü ısıtması, geleneksel ısıtma/kurutma metotlarına göre en önemli avantajdır. Bu nedenle ısı transfer katsayısı yüksek, işleme süresi kısa ve enerji maliyeti düşüktür (Nowak ve Lewicki, 2004). Bu bağlamda, IR enerjisinin belirtilen avantajları sayesinde geleneksel yöntemlere alternatif olma potansiyeli yüksektir.

Bu tez çalışmasının amaçları,

- Buğday unlarının termal ve hidrotermal modifikasyonunda IR ısı kaynağı destekli ribbon mikser cihazının kullanım olanaklarının araştırılması,
- IR enerjisinin unların fiziko-kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin ortaya konması,
- İşlem görmüş unların ekmek ve kek üretim potansiyelinin belirlenmesidir.

Ayrıca, bu çalışma buğday unlarının termal ve hidrotermal modifikasyonu amacıyla IR enerjisinin kullanıldığı ilk kapsamlı çalışma niteliğini taşımaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. İnfrared (IR) Radyasyon ve Gıdalarda Kullanım Alanları

IR, dalga boyu 0,75 ile 1000 μm arasında değişen elektromanyetik dalgadır (Huang vd., 2021). Elektromanyetik spektrumda IR, görünür ışık ile mikrodalga bölgeleri arasında yer almaktadır (Lee, 2021). IR radyasyon dalga boyuna göre, yakın kızılötesi veya kısa dalga (0,75–2,0 μm), orta kızılötesi veya orta dalga (2,0–4,0 μm) ve uzak kızılötesi veya uzun dalga (4,0–1000 μm) olarak 3 gruba ayrılmaktadır (Huang vd., 2021; Jain ve Pathare, 2004). IR ısı kaynakları çok geniş bir dalga boyu aralığında radyasyon sağlamakta ve IR radyasyonun dalga boyu, ısı kaynağının sıcaklığı tarafından belirlenmektedir (Krishnamurthy vd., 2008; Pawar ve Pratape, 2017). Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağı, nüfuz derinliği fazla ve dalga boyu kısa olan IR ışınları üretmektedir (Skjoldebrand, 2001).

IR, termal enerjiyi elektromanyetik dalgalar biçiminde aktarmaktadır (Krishnamurthy vd., 2008). IR elektromanyetik dalgaları havaya karşı herhangi bir davranış göstermediğinden vakum altındaki koşullar da dahil olmak üzere her türlü ortam şartında ilerleyebilmektedir. Isı kaynağı tarafından yayılan IR, doğrudan ürünün iç tabakasına nüfuz etmekte ve ürünün farklı katmanlarındaki moleküller tarafından absorblanmaktadır. Böylece, moleküllerin titreşim enerji seviyesi yükselmekte ve sıcaklığı artmaktadır. Bu, enerji kayıplarının önlenmesini ve ürünün orijinal kalitesinin önemli ölçüde korunmasını sağladığı için IR enerjisinin en önemli avantajlarından biridir (Jain ve Pathare, 2004; Pawar ve Pratape, 2017). Ayrıca uygulanan bu işlemin, IR kaynağının etkinliğine ve sıcaklığına, ürünün IR radyasyonu absorblama/yansıtma özelliklerine ve IR radyasyonun nüfuz gücüne bağlı olduğu belirtilmiştir (Skjoldebrand, 2001).

Bir gıda materyaline temas eden IR ışınları, materyal tarafından absorbe edilmekte veya yansıtılmaktadır. Radyant enerji bir gıda yüzeyine çarptığında, atomların ve moleküllerin elektronik, titreşimsel ve dönme hareketlerinde değişikliklere neden olmaktadır. Radyant enerjinin dalga boyuna bağlı olarak enerji absorpsiyon mekanizması

değişmektedir. Buna göre, 0,2 ile 0,7 µm dalga boyu aralığına (ultraviyole ve görünür ışık bölgesi) denk geldiğinde moleküllerin elektronik durumlarında; 2,5 ile 1000 µm dalga boyu aralığına (orta ve uzak IR bölgesi) denk geldiğinde titreşim hareketlerinde; 1000 µm'nin üzerindeki dalga boylarına (mikrodalga bölgesi) denk geldiğinde ise dönme hareketlerinde değişimler görülmektedir. Genel olarak, gıdaların ana bileşenleri olan protein, nişasta, su ve organik bileşikler 2,5 µm'nin üzerindeki dalga boylarında yüksek absorpsiyon göstererek, moleküler titreşim hareketlerinde değişiklikler meydana gelmektedir (Krishnamurthy vd., 2008).

Diğer yandan, gıdaların IR absorpsiyon yoğunlukları, bileşenlerine göre farklılık göstermektedir. Gıdalar birçok farklı organik bileşenlerden ve sudan oluşan kompleks bir yapıdır (Pawar ve Pratape, 2017). Bu bileşenlerden her biri farklı dalga boylarındaki IR radyasyonu iyi derecelerde absorblamaktadır. Örneğin, proteinler 3-4 µm ve 6-9 µm; lipidler 3-4 µm, 6 µm ve 9-10 µm; karbonhidratlar 3 µm ve 7-10 µm dalga boyu aralığındaki IR bölgelerinde güçlü absorpsiyon göstermektedirler. Su ise 3 µm, 4,7 µm, 6 µm ve 15,3 µm dalga boyu aralığında güçlü absorpsiyon göstermektedir (Aboud vd., 2019). Belirtilen değerlerden de görüldüğü üzere, gıda bileşenlerinin IR radyasyonu absorblayabildikleri dalga boyları birbiriyle örtüşmektedir. Bununla birlikte, gelen IR radyasyonun absorpsiyonunda su tüm dalga boylarında baskın bileşendir (Krishnamurthy vd., 2008). Bu nedenle, IR uygulaması boyunca gıdanın su içeriğine bağlı olarak absorpsiyon özelliklerinde değişiklikler gözlenmektedir. Örneğin, IR uygulaması esnasında su miktarı azalan gıdanın IR radyasyonu yansıtma özelliği artarken absorblama yeteneği azalmaktadır (Jun vd., 2011).

Gıdaların IR absorpsiyon özellikleri, gıdanın kimyasal kompozisyonunun yanı sıra fiziksel ve optik özelliklerine de bağlıdır. IR uygulaması esnasında, gıda materyalleri belirli dalga boylarındaki radyasyonu absorblarken, diğer dalga boylarında radyasyonu yansıtılmakta veya iletebilmektedir. Bu durum ürünün yüzeyinin pürüzlülük ve parlaklık durumuna göre değişebilmektedir. Örneğin, pürüzlü bir yüzeyden kısa dalga boylu ışınlar %50 oranında; uzun dalga boylu ışınlar ise %10'un altında bir oranda yansımaktadır (Krishnamurthy vd., 2008).

IR ısıtıcılar elektrikle ve gazla çalışan ısıtıcılar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Genel olarak, doğal gazı doğrudan enerjiye dönüştürmesi nedeniyle gaz ile çalışan IR ısıtıcılar daha verimlidir. Bu nedenle gazla çalışan IR ısıtıcılar, büyük bir güç gerektiren uygulamalar için kullanılmaktadır ve bazı mühendislik alanlarında kullanımı ticarileştirilmiştir. Ancak, bu ısı kaynağının elektrikli ısıtıcılara göre daha büyük bir kurulum alanına ihtiyacı olması ve işlem parametrelerinin ayarlanabilirliğinin zor olması önemli dezavantajlarıdır. Bu nedenle, özellikle gıda endüstrisi için elektrikli IR ısıtıcıların kullanımı daha yaygındır (Lee, 2021; Mongpraneet vd., 2002a; Sunate Mongpraneet vd., 2002b).

IR teknolojisi hem gıdalar hem de gıda dışı malzemeler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıdalarda, kurutma, pişirme, kavurma, haşlama, enzim inaktivasyonu, pastörizasyon ve sterilizasyon gibi pek çok alanda IR teknolojisi kullanılmaktadır (Krishnamurthy vd., 2008). Buna göre IR teknolojisinin gıda alanındaki kullanımına yönelik yapılmış çalışmalar aşağıda derlenmiştir.

Son yıllarda, laboratuvar ölçekli IR kurutucularda pek çok gıdanın kurutulmasıyla ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Pawar ve Pratape, 2017). Çalışmalarda IR ile kurutulmuş ürünlerden bazıları; çilek (Adak vd., 2017), muz (Pekke vd., 2013), elma (Lin vd., 2009), havuç (Doymaz, 2015), patlıcan (Jafari vd., 2020), tatlı patates (Doymaz, 2012), soğan (Sharma vd., 2005), mantar (Qi vd., 2014; Wang vd., 2014), çeltik (Pan vd., 2011), safran (Torki-Harchegani vd., 2017) ve kaju (Umesh Hebbar ve Rastogi, 2001) olarak sıralanabilir. Bununla birlikte, kurutma işleminin verimini ve ürünün kalitesini arttırmak için IR kurutmanın diğer kurutma yöntemleriyle birlikte kullanımı da söz konusudur. Bunlardan en yaygın olanlar; IR-sıcak hava (Barzegar vd., 2015; Wu vd., 2014; Zare vd., 2015), IR-vakum (Liu vd., 2013; Salehi ve Kashaninejad, 2018a; Salehi ve Kashaninejad, 2018b; Salehi vd., 2017; Zhang vd., 2019), IR-mikrodalga (Aydoğdu vd., 2015; Kowalski ve Rajewska, 2009; Uysal vd., 2009), IR-aşırı ısıtılmış buhar (Léonard vd., 2008; Nimmol vd., 2007), IR-ultrases (Guo vd., 2020), IR-dondurarak kurutmadır (Chakraborty vd., 2011; Kang vd., 2021; Lin vd., 2007; Lin vd., 2005). IR kurutmanın diğer yöntemler ile birlikte kullanımının kurutma süresini kısalttığı birçok çalışmada rapor edilmiştir (Aydoğdu vd., 2015; Barzegar vd., 2015; Liu vd., 2013; Salehi ve Kashaninejad,

2018a; Salehi ve Kashaninejad, 2018b; Wu vd., 2014; Zhang vd., 2019). Bununla beraber, IR kombinasyonu ile yapılan kurutma işlemlerinin enerji kullanım miktarını da kayda değer biçimde azalttığı belirtilmiştir (Bualuang vd., 2013; Hebbbar vd., 2004; Tuncel vd., 2010).

Ekmek ve kek gibi fırın ürünlerinin pişirilmesinde IR (Purlis, 2014; Shyu vd., 2008) ve IR-mikrodalga (Datta vd., 2007; Tireki vd., 2006; Turabi vd., 2008) kombinasyonlu fırınlar kullanılmıştır. Geleneksel fırınlarla karşılaştırıldığında, daha etkili ısı transferi sağlanmasından ötürü, IR destekli fırınlar pişirme süresini ve enerji tüketimini azaltmaktadır. Ayrıca söz konusu fırınların, ürünlerin ağırlık kaybının azalmasını, raf ömrünün ise artmasını sağladığı bildirilmiştir (Rastogi, 2012). Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda hızlı pişme sağlanması sayesinde son ürün kalitesine olumlu etkileri nedeniyle IR teknolojisinin kullanıldığı pişiricilere son yıllarda et sektörünün de artan bir ilgisi vardır (Braeckman vd., 2009; Rahimi vd., 2018; Yıldız Turp vd., 2016).

IR ısıtma, enzim inaktivasyonu amacıyla da etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, soya fasulyesinde bulunan lipoksigenaz enziminin, 60 sn'lik IR uygulaması ile %95,5 oranında inaktive edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca lipaz ve α -amilaz enzimlerinin de 30-40 °C'lik IR uygulamalarından önemli ölçüde etkilendiği bildirilmiştir. Lipaz aktivitesinin 6 dk'lık IR uygulaması ile %60, termal kondüksiyon ile %70 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Aboud vd., 2019; Yadav vd., 2020). Yılmaz (2016), lipaz enziminin neden olduğu acılaşıma sorununu ortadan kaldırmak için orta dalga boyunda 700 W gücünde 7 dk süresince uyguladığı IR stabilizasyon ile, pirinç kepeği fraksiyonlarının serbest yağ içeriğinde kayda değer bir değişim gözlemlemiştir. Böylece söz konusu şartlarda uyguladıkları IR stabilizasyonu ile ürünlere 90 günlük raf ömrü sağlanmıştır. Benzer şekilde Yılmaz vd. (2018) de IR stabilizasyonla, ham (olgunlaşmamış) pirinç tanesinin tokoferol ve γ -orizanol gibi besinsel bileşenlerini etkilemeden stabilizasyonun sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Diğer yandan, meyve ve sebzelerin depolanmasından önce uygulanan haşlama işlemlerine alternatif olarak IR radyasyonu kullanılmaktadır (Yılmaz Tuncel ve Tuncel, 2016). IR radyasyonun bu amaçla kullanılmasının en önemli sebeplerinden biri kuru şartlarda enzim inaktivasyonunu sağlamasıdır. Böylece, ürünlerin

suda çözünen bileşenlerinde ve çeşitli kalite özelliklerindeki kayıplar gözlenmemekte ve ayrıca işlem sonrası atık su oluşmamaktadır (Vishwanathan vd., 2013).

Yukarıda da belirtildiği gibi birçok amaçla kullanılmasına rağmen, IR teknolojisi, özellikle gıdalarda yeni bir kurutma yöntemi olarak kabul edilmektedir. Yüksek nem içeriğine sahip gıda ürünlerini kurutmak için IR kullanıldığında, enerji malzemelere küçük bir derinliğe kadar nüfuz etmekte ve daha sonra ısıya dönüştürülmektedir. Geleneksel kurutma teknolojisi ile karşılaştırıldığında, IR kurutma teknolojisi, yüksek enerji verimliliği, kısa kuruma süresi, düşük enerji maliyeti, ürünün homojen şekilde ısıtılması, ürün sıcaklığının kolay kontrolü ve son ürün kalitesinin iyi olması gibi avantajlara sahiptir. Bunlarla beraber IR teknolojisinin ekipmanın basitliği, kurulumunun ve kontrolünün kolay olması, diğer yöntemlerle (vakum, mikrodalga gibi) kolay birleştirilmesi diğer avantajlarından (Huang vd., 2021; Krishnamurthy vd., 2008). Ayrıca, IR teknolojisi herhangi bir atık gaz oluşturmadığı için çevre dostu olarak kabul edilmektedir (Aboud vd., 2019).

2.2. Buğday Unu ve Bileşenleri

İlk çağlardan beri insan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan buğday, başta Çin, Hindistan, Rusya, Amerika, Kanada olmak üzere dünyanın birçok yerinde yetişmektedir. Bununla birlikte, 2020 verilerine göre dünyada buğday üretimi 760 milyon ton olarak bildirilmiş ve bu üretimin yaklaşık %41'i Çin, Hindistan ve Rusya'da gerçekleşmiştir (FAO, 2020). Türkiye'de ise 2021 yılındaki buğday üretimi 17,65 milyon ton olmuştur (TÜİK, 2021). Üretimi her bölgede yapılması nedeniyle buğday, hububat ürünleri içerisinde ekim alanı ve üretim miktarı bakımından ilk sırada yer almaktadır. Ülkemizde ekmeklik buğday, en çok İç Anadolu Bölgesinde (%31 oranında) üretilirken, makarnalık buğday ise Güneydoğu Anadolu Bölgesinde (%41 oranında) üretilmektedir (TMO, 2021).

Buğday tanesinin, %8'ini kabuk, %6-7'sini aleuron, %3'ünü ruşeym ve %82'sini ise unu endosperm tabakaları oluşturmaktadır. Buğdaydan rafine (beyaz) un eldesi

esnasında, tanenin %14-15'lik kısmını oluşturan bu kepek fraksiyonları ayrılmaktadır (Demir, 2015). Geriye kalan buğday ununun besin bileşimi, %8-13 protein, %1 çözümler protein, %72 karbonhidrat, %1,5 yağ, %0,5 mineral ve %12-13 nemden oluşmaktadır (Memon vd., 2020).

Tüm tahıl unları içerisinde, sadece buğday unu kendine has proteinleri sayesinde üç boyutlu viskoelastik hamur oluşturma yeteneğine sahiptir. Buğday proteinleri çözünürlüğe göre albuminler (suda çözünür), globulinler (tuz çözeltisinde çözünür ancak suda çözünmez), gliadinler (etanol çözeltisinde çözünür) ve gluteninler (asit ve alkali çözeltide çözünür) olarak sınıflandırılmaktadırlar. Bunlardan glutenin ve gliadin, toplam buğday proteininin %85'inden fazlasını oluşturan iki ana depo proteini olarak buğday glutenini oluşturmaktadır (Chen vd., 2018; Delcour vd., 2012; Ma vd., 2021c).

Gliadinler ve gluteninler genellikle buğdayda benzer oranlarda bulunmaktadır. Gliadinler, moleküler ağırlıkları 30 ile 80 bin arasında değişen monomerik bir gruptur. Biyokimyasal olarak alfa (α), beta (β) ve gama (γ) olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadırlar (Goesaert vd., 2005). Doğada bulunan en büyük protein yapılarından biri olan gluteninler ise, moleküler ağırlığı 80 bin ile 20 milyon arasında değişen bir polimerik yapıyı temsil etmektedir. Moleküler büyüklüğü nedeniyle gluteninlerin çözünürlüğü sınırlıdır (Delcour vd., 2012). Gluteninler, birbirine disülfid bağları ile bağlanmış glutenin alt birimlerinden oluşmaktadır. Glutenin alt birimleri, disülfid bağlarının merkaptolanol gibi bir indirgen madde ile koparılmasıyla serbest kalabilir. Ayrıca, moleküller arası disülfid bağlarının kopmasından sonra, moleküler ağırlıklarının azalmasıyla birlikte, yüklerinde ve hidrofobikliklerinde meydana gelen değişiklikler ile gluteninler etanol çözeltisinde çözünür hale gelir. Bununla birlikte, gluteninler, düşük moleküler ağırlıklı (30-60 bin) glutenin alt birimleri ve yüksek moleküler ağırlıklı (65-90 bin) glutenin alt birimleri olarak 2 gruba ayrılmaktadır (Delcour vd., 2012; Dizlek, 2011).

Gluten protein ağının oluşturduğu viskoelastik yapı içinde gliadinler ve gluteninlerin rolü farklıdır. Büyük boyutları nedeniyle, glutenin polimerleri, hamura dayanıklılık (deformasyon, direnç) ve elastikiyet sağlayan sürekli bir ağ yapısı

oluşturmaktadır. Diğer yandan, gluteninlerin oluşturduğu bu ağ yapısında gliadinler de plastikleştiricileri olarak hareket ederek hamurlara plastisite/viskozite sağlamaktadırlar. Bu farklı özellikleri nedeniyle buğday ununda bulunan gliadin ve glutenin oranının, molekül ağırlıklarının, yapısının ve kompozisyonunun, unlarının reolojik özellikleri üzerine önemli bir etkisi bulunmaktadır (Delcour vd., 2012; Veraverbeke ve Delcour, 2002). Bununla birlikte, gluten proteinleri ısı işleme karşı oldukça hassas moleküllerdir. Isıl işlem sonrasında yapılarında oluşacak değişiklikler nedeniyle bağ ve etkileşimlere katılma yetenekleri değişir dolayısıyla reolojik özellikleri de etkilenir (Kumar vd., 2021; Mann vd., 2014). Isı uygulaması protein moleküllerinin ikincil ve üçüncül yapısında değişikliklere neden olmaktadır. Polimerizasyon sürecinde, proteinlerin yapıları açılarak yeni disülfid bağlantılarının oluşumunun yanı sıra yüzeylerde hidrofobik yapıli amino asitler de açığa çıkmaktadır. Böylece protein çözünürlüğü azalmakta ve reolojik özelliklerinde farklılıklara neden olmaktadır (Lamacchia vd., 2016).

Buğday ununun ana bileşeni olan nişasta, amiloz ve amilopektinden oluşan bir biopolimerdir (Pérez ve Bertoft, 2010). Amiloz, α -1, -4-glikozit bağlardan oluşan lineer yapıli bir glikoz polimeri iken; amilopektin ise α -1, -6-glikozit bağlarla bağlantılı glikoz üniteleri içeren oldukça dallı bir yapıdır (Shen vd., 2022). Nişastanın jelatinleşme ve retrogradasyon gibi karakteristik davranışları, bulunduğu gıda matrisinin özelliklerini (yapı, doku ve sindirilebilirlik gibi) büyük ölçüde etkilemektedir (Wang ve Copeland, 2013).

Nişasta granülleri soğuk suda çözünmemektedir. Fakat sulu ortamlarda ya da bağıli nemi yüksek ortamlarda granüller, su absorblayarak şişme eğilimi gösterirler. Granülün şişmesi yaklaşık olarak %5 oranında hacim artışına olanak sağlamaktadır. Suyun yapıya absorpsiyonu ve hacim artışı geri dönüşümlü bir olaydır. Ancak, nişastanın yüksek sıcaklıklara ısıtılması diğeri bir ifadeyle hidrotermal işlemler, nişastanın özelliklerini geri dönüşümsüz olarak etkilemektedir. Isıtma sırasında nişasta granülleri şişmekte ve bazı nişasta molekülleri granül dışına sızarak viskozitesinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu süreç “jelatinizasyon” olarak adlandırılmaktadır. Bu süreçte, nişasta granülünün düzenli yapısının bozulması ve polarize ışık mikroskopunda görülebilen malta haçı görüntüsünün kaybolması gibi geri dönüşümsüz değişiklikler de meydana gelmektedir. Kısacası,

jelatinizasyon işlemi; nişasta granül şişmesi, çift kırılma ve kristallik kaybı, granül yapısının bozulması ve bir miktar moleküler depolimerizasyon ile sonuçlanmaktadır (Schirmer vd., 2015; Vamadevan ve Bertoft, 2015; Wang ve Copeland, 2013; Zia-ud-Din vd., 2017). Jelatinleşmiş nişasta, belirli reolojik özelliklere sahip bir jel/macun yapısıdır. Bu jel yapının soğutulması ve depolanmasıyla, nişastanın yeniden kristalizasyonuna bağlı olarak “retrogradasyon” meydana gelmektedir (Ai ve Jane, 2015; Zhang vd., 2021). Retrogradasyon, nişasta jelinin polimerleri ile su fazının ayrımı, opaklık ve jel sertliğinin artışı gibi önemli değişikliklerle sonuçlanır ve bulunduğu gıda sisteminin dokusu üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Wang ve Copeland, 2013).

Nişasta jelatinizasyonu ve retrogradasyonunun birçok iç ve dış faktörlere bağlı olduğunu bildirilmiştir (Toutounji vd., 2019; Wang ve Copeland, 2013). İç faktörler arasında nişasta granül morfolojisi, moleküler yapısı ve amiloz/amilopektin oranı yer alırken; dış faktörler ise jelatinizasyon ve retrogradasyon koşulları ve yapıda bulunan diğer protein, lipid ve polisakkaritlerin etkisidir (Singh vd., 2010; Wang ve Copeland, 2013; Wang vd., 2015).

Buğday ununun iki temel polimeri olan protein ve nişasta moleküllerinin yapısının yanında, bu polimerlerin birbirleriyle olan interaksiyonları, unun fiziko-kimyasal ve sindirim özelliklerini, yapısını ve kalitesini etkilemektedir (Quiroga Ledezma, 2018). Protein ve nişasta arasındaki etkileşimler temelde kovalant ve kovalant olmayan (non-kovalent) bağlarla meydana gelmektedir (Zhang vd., 2021). Kovalent olmayan bağlar, hidrojen bağı, elektrostatik kuvvetleri, van der Waals kuvvetini, hidrofobik ve iyonik etkileşimleri içeren nişastalar ve proteinler arasındaki en yaygın interaksiyon türüdür (Li vd., 2018; Quiroga Ledezma, 2018; Wang vd., 2017). Kovalent bağlar ise, protein ve nişasta moleküllerinin spesifik reaktif grupları (karbonil grubu) arasında gerçekleşen güçlü kimyasal bağlardır (Oliveira vd., 2016).

2.3. Buğday Ununa Isıl İşlem Uygulamaları

Dünyada en önemli ve en çok üretilen tahıl ürünlerinden biri olan buğday; ekmek, makarna, erişte, kek, bisküvi gibi çeşitli fırıncılık ürünleri de dahil olmak üzere birçok gıdanın bileşiminde kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinin hızla gelişmesiyle birlikte, tat ve doku yönünden üstün özellikler sergileyen buğday ürünlerine olan ilgi artmıştır. Doğal haliyle buğday unu, endüstrinin istediği ideal nitelikleri sağlayamamakta ve bu nedenle modifikasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır (Misra vd., 2015). Unların fiziko-kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özelliklerini değiştirmek için uygulanan modifikasyon işlemlerinde, kimyasal yöntemlerden daha doğal ve daha güvenli olduğu düşünülen ısıl uygulamalar tercih edilmektedir (Bucella vd., 2016). Ayrıca ısıl işlem gören bu unlar, gıda katkı maddeleri kategorisinde sınıflandırılmamakta ve doğal içerik olarak kabul edilmektedir (Delatte vd., 2019).

Buğday unlarına uygulanan ısıl işlemler ilave suyun kullanılmasına göre termal (kuru) ve hidrotermal (ilave su varlığında) işlemler olarak iki gruba ayrılmaktadır (Delatte vd., 2019). Isıl işlem esnasında ürünün nem içeriğine, uygulanan sıcaklığa ve işlem süresine bağlı olarak buğday unlarının reolojik ve fonksiyonel özelliklerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Ayrıca işlemler ile örneklerin nem değerlerinin azalması ve bazı enzimlerin inaktivasyonu buğday unlarının raf ömürlerinin artmasını da sağlamaktadır (Bucella vd., 2016).

Endüstriyel uygulamalarda, ısıl işlem görmüş unlar, kaplama, taşıyıcı-dolgu materyali olarak kek, çorba, bebek maması gibi özel ürünlerde dahil olmak üzere birçok gıda formülasyonunda kullanılmaktadır (Neill vd., 2012). Genel olarak termal işlem görmüş unlar köpük yapısını, hamur stabilitesini ve sertliğini geliştirmek amacıyla kek ve bisküvi üretiminde; hidrotermal işlem görmüş unlar ise daha yüksek viskozite sağlaması nedeniyle kıvam verici-koyulaştırıcı olarak çorba ve soslarda kullanılmaktadır (Delatte vd., 2019; Ma, vd., 2021b).

Esas olarak buğday unlarının gluten proteinleri ve nişasta moleküllerindeki değişikliklere bağlı olarak, reolojik ve fonksiyonel özelliklerinde değişimler gerçekleşmektedir (Bucella vd., 2016). Yüksek sıcaklıklarda gluten proteinlerinin açılarak hidrofobik kısımları açığa çıkmakta ve disülfid bağları yeniden düzenlenmektedir. Sonuç olarak gluten proteinlerinin molekül ağırlıkları değişmekte, agregate olarak çözünürlükleri ve ekstrakte edilebilirlikleri azalmaktadır (Mann vd., 2014). Belirli nem düzeyinde uygulanan ısı işlemlerde nişastanın çift sarmal yapısı ayrılarak polimer zincirlerinin etkileşimi artmakta ve kristal yapısı bozularak yeniden düzenlenmektedir. Ayrıca ısı işlem, nişasta granüllerinin yüzey hidrofobikliğinin artmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak ısı işlem ile nişastanın su tutma kapasitesi ve viskozitelerinde artış, termal stabilitelerinde iyileşme görülmektedir (Chung vd., 2009; Sun vd., 2014).

Endüstriyel olarak una termal işlem uygulaması, unun bir sıcak hava akımında kurutulması, soğutulması, ardından %7 nem değerine rehidrasyonu ve boyut küçültme için öğütülmesi gibi birkaç işlem adımını içermektedir. Bu işlem genellikle dönen tamburlar veya ısıtılmış konveyörler kullanılarak, örneklerin 120 °C ile 140 °C'de 0-30 dk tutulmasıyla gerçekleştirilmektedir (Chesterton vd., 2014). Sıcak hava kullanan geleneksel kurutucuların çoğu, gıdaların fiziko-kimyasal özellikleri üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmekte, istenmeyen son ürün özellikleri (besinsel içerikte kayıp, daha sert doku, renk bozulması ve tek tip olmayan ürün kalitesi) görülebilmektedir. Diğer yandan klasik yöntemlerde, kuruma süresi uzundur ve enerji verimliliği düşüktür (Wu vd., 2016).

Termal işleme kıyasla, buğday unlarına uygulanan hidrotermal işlemler hakkında sınırlı bilgi mevcuttur. Hidrotermal işlemler, genellikle buğday ununa buhar uygulanarak gerçekleşmektedir (Bucella vd., 2016). Son yıllarda uygulanan işlemlerin süresini kısaltmak ve son ürün kalitesini iyileştirmek için aşırı ısıtılmış buhar uygulaması üzerinde çalışmalar da başlamıştır (Hu vd., 2017). İşlem esnasında artan nem içeriği ile moleküller düzeyinde hareketliliğin artması sonucu, buğday ununun hem yapı hem de fiziko-kimyasal özelliklerindeki değişiklikler de artmaktadır (Mann vd., 2014).

Örneğin nem içeriğine, sıcaklığa, işlem süresine ve ekipmana bağlı olarak uygulanan prosesler buğday ununda çeşitli fiziksel, kimyasal ve reolojik değişikliklere neden olmaktadır. Buna göre buğday ununa uygulanmış termal ve hidrotermal işlemler hakkında yapılmış bazı çalışma sonuçları aşağıda derlenmiştir.

Chen vd. (2015), nem değerlerini %15, %25 ve %35'e ayarladığı buğday unu ve nişastalarını kapalı bir kap içerisinde konveksiyonel fırında 120 °C'de 24 saat bekletmiş, ardından 40 °C 'de 1 gece boyunca kurutmuşlardır. Hidrotermal uygulamanın, örneklerin maksimum viskozitelerinin azalmasına; jelatinizasyon sıcaklıklarının ise artmasına neden olduğu bildirilmiştir. Ayrıca konfokal lazer tarama mikroskobu ve ışık mikroskobu kullanılarak yapılan incelemelerde nişasta granüllerinin ve denatüre olan proteinlerin bir araya gelerek kümeleştiği görülmüştür. Benzer şekilde Cetiner vd. (2017) de, nem düzeylerini %13 ile %19 aralığına ayarladıkları iki ekmeklik buğday ununa (Tosunbey ve Bayraktar) 55 °C ile 95 °C aralığında ısıtma işlemi uygulamışlar ve bu işlemlerin onların kalite özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda (85 °C ve 95 °C) ısıtma işlemi uygulanmış örneklerin sedimentasyon değerleri azalmış, gluten proteinleri ekstrakte edilememiş ve düşme sayısı değerleri önemli oranda artmıştır. Hem nem düzeyi hem de uygulanan sıcaklığın örneklerin gluten, sedimentasyon ve düşme sayısı değerleri üzerine etkileri önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Farklı un çeşitleri için farklı nem ve sıcaklık kombinasyonlarında uygulanan ısıtma işleminin, pişirme kalitesinde iyileşme sağlanabileceği ve farklı özelliklere sahip onların üretilebileceği sonucuna varmışlardır. Ozawa vd. (2009) de, etüvde (120 °C) farklı sürelerde (30 dk, 60 dk, 90 dk ve 120 dk) uyguladıkları termal işlem ile buğday unlarının nişasta boyut ve yapısında değişiklik gözlemlenmemişler; işlenmiş unların kontrol unundan daha kısa sürede daha yüksek viskoziteye ulaştıklarını bildirmişlerdir.

González vd. (2021) de alüminyum tavalara ince bir katman oluşturacak şekilde koydukları buğday unlarına etüvde farklı sıcaklıklarda (20 °C, 50 °C, 100 °C, 150 °C ve 200 °C) 1 saat boyunca termal işlem uygulamışlardır. Uygulanan sıcaklığın artmasıyla birlikte onların nişastalarının kristallik özelliğinde, moleküler düzeninde ve proteinlerin ikincil yapılarında önemli değişimler gözlenmiştir. Ayrıca, uygulanan sıcaklığın artmasıyla örneklerin, hızlı sindirilebilir nişastada değerleri %53,21'den %22,24'ye azalmış; yavaş

sindirilebilir nişasta değerleri ise %26,12'den %31,48'e artmıştır. Çalışmanın devamında araştırmacılar bu işlem görmüş unlardan ekmek üreterek kalite özelliklerini incelemiştir. Buğday unlarına uygulanan sıcaklığın artmasıyla birlikte bu unlardan üretilen ekmeklerin spesifik hacim değerleri ($3,39 \text{ cm}^3/\text{g}$ 'dan $2,77 \text{ cm}^3/\text{g}$ 'a) ve nem içerikleri (%37,11'den %29,45'e) azalmış; sertlik değerleri ise (11,25 N'dan 49,53 N'a) artmıştır. Araştırmacılar, sıcaklık değerine bağlı olarak uygulanan termal işlemin buğday unlarının fiziko-kimyasal ve moleküler özellikleri üzerine önemli etkisinin olduğunu ve buğday unlarında gerçekleşen bu değişimlerin söz konusu unlardan üretilen ekmeklerin de kalite özelliklerini etkilediğini belirtmişlerdir.

Mann vd. (2014), 3 farklı nem seviyesine (%6,5-7, %13,2 ve %16-17) ayarlandıkları buğday unlarına, sıcak su banyosunda $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $90 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığında 3 saat boyunca ısı işlem uygulamışlardır. Buğday unlarının nişasta ve protein yapılarındaki değişikliklerin derecesinin, örneklerin nem içeriği, uygulanan sıcaklık ve ısıtma süresine bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Örneklerin protein çözünürlüklerinde gözlenen azalma, gluten proteinlerinin denatürasyonuna atfedilmiştir. Guo vd. (2018) de, nem içeriğini %20 ile %70 aralığına getirdikleri buğday unlarını farklı sürelerde (5 dk, 10 dk ve 20 dk) kaynar su banyosunda bekletmişlerdir. Örnekleri taramalı elektron mikroskopunda incelediklerinde %20 nem içeriğine sahip örneklerin bazı nişasta granülleri kümeleşmiş olsa da granül yapılarının bozulmadığı; %30 nem içeriğine sahip örneklerin nişasta granüllerinin şişmeye ve deforme olmaya başladığı; %60 ve %70 nem içeriğindeki örneklerin nişastalarının ise granül yapısını tamamen kaybettiği görülmüştür. Uygulanan işlem ile örneklerin nişasta sindirilebilirliği de artmıştır. Ayrıca nem içeriği ile orantılı olarak örneklerin maksimum viskoziteleri ve son viskoziteleri azalmıştır. Gélinas vd. (2001) ise, $95 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik sıcak su banyosunda 15 dk süresince ısı işlem uygulaması ile gluten kalitesi düşük unların α -amilaz enzim aktivitelerinin azaldığını ve hamur karıştırma stabilitelerinin yükseldiğini bildirmişlerdir. Bu unlardan üretilen ekmeklerin hacim değerleri, işlenmemiş unlardan üretilen ekmeklerden daha yüksek bulunmuş ve ısı işleminin zayıf unların ekmek yapım potansiyeli üzerine pozitif etkisinin olduğunu bildirmişlerdir.

Prakash ve Rao (1999), atmosferik basınçta farklı sürelerde (5 dk, 10 dk ve 15 dk) buhar uyguladıkları buğday unlarının viskozite değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Ayrıca bu unlardan daha sert ve yapışkan hamur elde edilmiştir. Bucsella vd. (2016) de, kek ve ekmek unlarına 100 °C'de 120 dk termal işlem; 96 °C'de 5 dk (nem içerikleri 5, 10, 20 L/sa olan buhar) hidrotermal işlem uygulamışlardır. Uygulanan işlemler, örneklerin reolojik (karıştırma ve viskozite) özelliklerinde önemli değişikliklere neden olmuştur ($p<0,05$). Termal işlem ile örneklerde daha güçlü hamur matrisi oluşmuş ve yeniden düzenlenen disülfid bağları ile örneklerin yoğurma-karıştırma stabiliteleri artmıştır. Ayrıca protein agregasyonu ve minör nişasta jelatinizasyonu ile örneklerin viskozitelerinde önemli artışlar olmuştur. Hidrotermal uygulamada ise gluten proteinlerinin denatürasyonu nedeniyle örneklerin karıştırma özelliklerinde önemli kayıplar meydana gelmiştir.

Delatte vd. (2019) ise, yüksek ve düşük amilaz aktiviteleri sergileyen buğday unlarına pilot ölçekli bir sistemde 95 °C'de 4 dk buhar uygulamışlar, ardından örnekleri termo-pnömatik konveyörlerde sıcak hava ile %14 nem değerine kadar kurutmuşlardır. Araştırmacılar, uygulanan işlem ile α -amilaz aktivitesindeki azalmaya, kısmi nişasta jelatinizasyonuna ve protein denatürasyonuna bağlı olarak, örneklerin jelatinizasyon sıcaklığının, maksimum viskozitenin ve su absorpsiyon kapasitelerinin arttığını; çözünürlük indekslerinin ise azaldığı tespit etmişlerdir.

Sudha vd. (2016) de, protein içerikleri %8,9 ve %10,6 olan 2 ekmeklik buğday ununa termal ve hidrotermal işlem uygulamışlardır. Termal işlemde, alüminyum tepsilere yüksekliği 1–1,5 cm olacak şekilde konan unlar, etüvde 100 °C'de 2 saat kurutulmuştur. Hidrotermal işlemde ise unlara önce atmosferik basınçta 30 dk buhar uygulanmış ardından örnekler alüminyum tepsilere yüksekliği 1,5-2 cm olacak şekilde yayılarak 60°C'de 2 saat kurutulmuştur. Uygulanan her iki işlemin de örneklerin kül ve ham protein içerikleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir ($p>0,05$). Diğer yandan hidrotermal işlemin neden olduğu protein denatürasyonu sebebiyle bu örneklerin sedimentasyon değerleri işlem görmemiş ve termal işlem görmüş unlarından daha düşük bulunmuştur. Ayrıca hidrotermal işlem uygulanmış unların *in vitro* protein sindirilebilirliği azalırken, *in vitro* nişasta sindirilebilirliği artmıştır. Diğer yandan, her iki unda da termal işlem uygulanmış örneklerin düşme sayıları hidrotermal işlem uygulananlara göre daha yüksek tespit edilmiş, dolayısıyla amilaz enziminin inaktivasyonunda termal işlemin daha etkili olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, bu unlardan ekmek yaptıklarında ise, termal işlem

görmüş unlardan üretilen ekmeklerin işlem görmemiş undan üretilen ekmeğine benzer; hidrotermal işlem görmüş undan üretilen ekmeğin ise diğerlerinden daha düşük hacim ve spesifik hacim değerini sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin sertlik değerleri, işlem görmemiş undan üretilen ekmeğinkinden daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Hu vd. (2017), %13,5 ve %27 nem içeriğine sahip buğday unlarına farklı sıcaklık (140 °C ve 170 °C) ve sürelerdeki (1 dk, 2 dk ve 4 dk) aşırı ısıtılmış buhar uygulamasının örneklerin fiziko-kimyasal ve sindirilebilirlik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Nem içeriği yüksek unun nişastasının kristallik oranı, jelatinleşme entalpisi, amiloz çözünürlüğü ve düşme sayısı önemli ölçüde azalmıştır ($p<0,05$). Her iki unda da nişasta granüllerinin bir araya geldiği, proteinlerin agregate olduğu ve amiloz-lipit kompleksinin oluştuğu görülmüştür. Ek olarak aşırı ısıtılmış buhar uygulaması, %27 neme sahip unların dirençli nişasta ve yavaş sindirilebilir nişasta içeriğini artırmıştır. Genel olarak aşırı ısıtılmış buhar uygulamasının, nişastanın moleküler yapısında değişikliklere ve un bileşenleri arasındaki interaksiyonlara neden olarak daha kararlı yapıların oluşmasına yol açtığı ve örneklerin jelatinizasyon davranışını, termal özelliklerini ve *in vitro* sindirimini etkilediği görülmüştür.

Aşırı ısıtılmış buhar uygulamasının (115 °C, 140 °C, 165 °C, 190 °C ve 215 °C; 1 dk, 3 dk, 5 dk, 7 dk ve 9 dk), buğdayların jelatinizasyon özellikleri ve solvent tutma kapasitesi üzerine etkisini incelendiği bir başka çalışmada ise; 115 °C 'de 1 dk işlenmiş unun maksimum viskozite değerinin kontrol ununa göre azaldığı, diğer işlem görmüş tüm örneklerde ise arttığı görülmüştür (Liu vd., 2021). Ayrıca aşırı ısıtılmış buhar uygulaması örneklerin su, sakaroz ve sodyum karbonat solvent tutma değerlerinin artmasına; laktik asit solvent tutma değerinin ise azalmasına neden olmuştur. Van Steertegem vd. (2013)'de, 80 °C ve 100 °C'de farklı sürelerde (2 ve 5 saat) uyguladıkları ısıtılmış buğday ununun fonksiyonel özellikleri üzerine etkisini solvent tutma kapasitesi testleriyle incelemişlerdir. Isıl işlem ile örneklerin su ve sükröz solvent tutma kapasitesinin arttığını; sodyum karbonat solvent tutma kapasitesinin değişmediğini bildirmişlerdir. Diğer yandan ısıtılmış işlem ile protein ağının polimerize olması nedeniyle örneklerin laktik asit solvent tutma kapasitesi

azalmıştır ve yoğurma sırasında örneklerde gluten ağ oluşumunu gerçekleştirmemiştir. Ayrıca, nişastanın şişme özelliklerinin de ısıtılıştan etkilendiği görölmüştür.

Ma vd. (2021b) de buğday ununa (%9,0 protein, %1,2 yağ, %13,1 nem ve %0,52 kül) 130 °C, 150 °C ve 170 °C’de (1 dk ve 4dk) aşırı ısıtılmış buhar uygulamışlardır. Ardından örnekleri 40 °C’de nem değerleri %14 olana kadar kurutmuşlardır. Aşırı ısıtılmış buhar işleminle unların suda çözünürlük indeksleri, azaltırken su absorpsiyon indeksleri artmıştır. Taramalı elektron mikroskobu ve konfokal lazer tarama mikroskobu ile buğday unları incelendiğinde, işlem uygulanmış örneklerin nişasta granüllerinin bir araya toplan homojen dağılım göstermeyen, küçük nişasta kümelerinin oluştuğu, proteinlerinin ise denatüre olduğu görölmüştür. Ayrıca, aşırı ısıtılmış buhar uygulaması ile örneklerin yavaş sindirilebilir nişasta içerikleri %21,5’den %35’e yükselmiştir. Araştırmacılar bu çalışmanın devamı niteliğinde yaptığı diğer bir çalışmada ise, söz konusu işlenmiş örneklerin viskozitelerinin ve jelatinizasyon sıcaklıklarının işlenmemiş örneğe göre arttığını ancak stabilitelerinin düştüğünü bulmuşlardır (Ma vd., 2021a). Ayrıca, aşırı ısıtılmış buhar uygulaması buğday unlarının düşme sayılarının artmasına neden olmuştur. Diğer yandan, araştırmacılar işlem görmüş unları kek üretiminde kullanarak kek kalitesine etkisini araştırmışlardır. İşlem görmemiş undan üretilen kekin 1465 g olan sertlik değeri işlem görmüş unlarda (150 °C, 1 dk) 377 g’ye kadar düşmüş; spesifik hacim değeri ise 3,12 mL/g’den 3,9 mL’ye yükselmiştir. Sonuç olarak aşırı ısıtılmış buhar işleminin, kek kalitesinin iyileştirilmesi için bir un modifikasyon yöntemi olarak büyük bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir.

Chen vd. (2021), ekstrüzyon işlem sıcaklığının buğday proteinleri üzerine etkisini araştırdığı çalışmada, sıcaklıktaki artışla birlikte serbest sülfidril gruplarındaki azalma ile birlikte artan disülfid bağları glutenlerin moleköl büyüklüklerinin artmasına ekstrakte edilebilirliğinin azalmasına neden olmuştur. Benzer şekilde Fischer (2004) da, 3 farklı sıcaklık (140 °C, 160 °C ve 180 °C) ve 2 farklı nem (%20 ve %24) düzeyinde uyguladıkları ekstrüzyon işlemi ile buğday proteinlerinin çözünürlük (SDS ve %70’lik etanol ile) özelliklerinin azalttığını tespit etmişlerdir. Beklenenin aksine özellikle %20 nemde 180 °C uygulanan işlemin unlarda serbest sülfidril gruplarını önemli oranda arttırdığı görölmüştür. Bu, ekstrüderin ilk kısımlarında oluşan disülfid bağlarının, ekstrüder

kanalının sonunda mekanik etkiyle birlikte bölünmesine ve sonrasında yeniden düzenlenerek sülfidril gruplarına dönüşmesine bağlanmıştır. Martínez vd. (2014) de, yaptıkları çalışmada buğday ununun fonksiyonel özelliklerini değiştirmek için, farklı koşullarda ekstrüzyon uygulamışlardır. Uygulanan ekstrüzyon işlemi ile örneklerin zedelenmiş nişasta oranının, serbest şeker içeriğinin, su tutma kapasitesinin, çözünürlük değerinin, emülsiyon kapasitesinin arttırdığını ancak enzime dirençli nişasta içeriğinin, köpürme kapasitesinin azalttığını tespit etmişlerdir.

Neill vd. (2012), kek kalitesini arttırmak için buğday unlarına 80 °C ile 130 °C aralığında farklı sürelerde (5-30 dk) akışkan yatak kurutucuda uyguladıkları ısı işlemlerde, unlarının nem içeriklerini %8'in altına düşürmüşlerdir. Isıl işlem ile birlikte gluten proteinlerinin denatürasyonu ve nişastanın kısmi jelatinizasyonu gerçekleşmiştir. Bu sayede son ürün kalitesini etkileyen kek hamuru viskoziteleri artmıştır. İşlem görmemiş undan üretilen keklere göre, işlenmiş unlardan üretilen keklerin hacimsel yoğunlukları daha düşük, kek hacimleri ise daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak buğday ununa 120 °C ve 130 °C'de 30 dk süresince ısı işlem uygulamasının, kek kalitesini arttırdığı görülmüştür.

Mevcut literatür özetinde de görüldüğü üzere, genel olarak etüv ve sıcak su banyosunda uygulanan ısı işlemler ile buhar ve ekstrüzyon uygulamasının buğday unlarının fiziko-kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Kullanılan yöntem ve bu yöntemle ait parametrelere (nem, uygulanan sıcaklık ve süre gibi) göre buğday unlarının özelliklerinin değiştiği görülmüştür. Diğer yandan yapılan literatür taramasında buğday ununa IR kullanılarak gerçekleştirilmiş termal ve hidrotermal bir uygulamaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışması kapsamında tasarlanan IR kaynağının kullanıldığı ribbon mikser ile uygulanan termal ve hidrotermal işlemin buğday unlarının fiziko-kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özelliklerine etkisi ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, buğday unlarına (yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unu), farklı dalga boylarında (kısa, orta), farklı emitter güçlerinde (600 W, 700 W, 800 W, 900 W ve 1000 W) termal ve hidrotermal işlemler gerçekleştirilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Buğday Unları

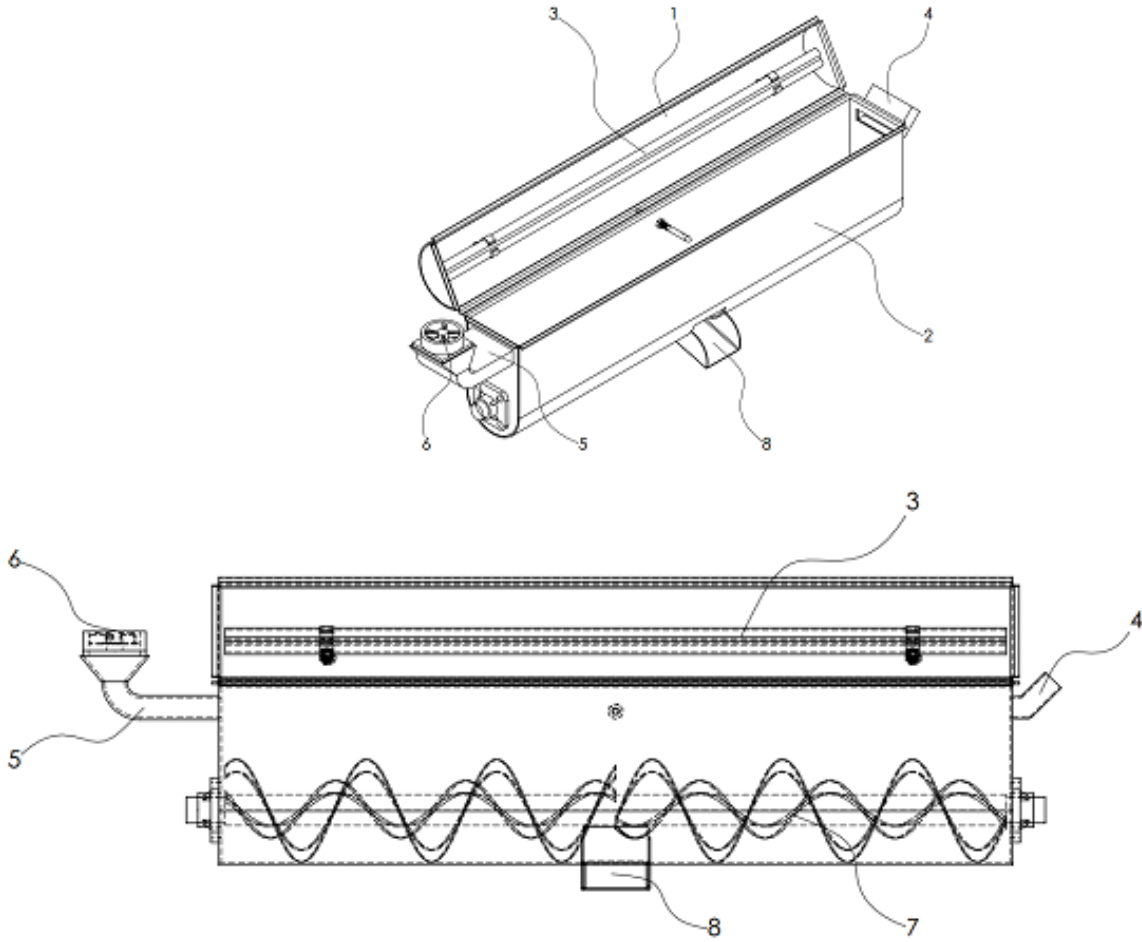
Tez çalışmasında farklı protein değerlerine sahip 3 tip buğday unu kullanılmıştır. Bu unlardan yüksek (ekmek unu, protein içeriği ~%12) ve düşük (kek unu, protein içeriği ~%10) protein oranına sahip olan buğday unları Tekirdağ Un Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den; bisküvilik un ise (protein içeriği ~%10) Saray Bisküvi ve Gıda Sanayi A.Ş.'den temin edilmiştir.

3.2. İnfrared (IR) Destekli Ribbon Mikser Düzeneği

Tasarlanan IR destekli ribbon mikser cihazının teknik resim görünümü Şekil 1'de, gerçek görünümü ise Şekil 2'de sunulmuştur.

Tasarlanan cihaz yaklaşık 0,5-1,5 kg aralığında ürün işlenebilecek büyüklüktedir. IR destekli ribbon mikser düzeneğinin kapak (1) kısmına yüksekliği ayarlanabilecek şekilde bir adet IR emitter (3) monte edilmiştir. Tez çalışması kapsamında kısa ve orta dalga boyunda çalışan iki farklı IR emitter kullanılmıştır. Orta dalga IR emitter en fazla 1000 W; kısa dalga IR emitter ise en fazla 1200 W gücündedir. Ribbon mikserin gövde (2) kısmında ise örneğin işlenmesi esnasında karıştırılmasını sağlayan karıştırıcı kollar (7) bulunmaktadır. Karıştırıcı kolların iç helezonu ürünü haznenin merkezinden kenarlarına doğru, dış helezonu ise kenarlardan merkeze doğru karıştırarak homojen bir dağıtma, karıştırma ve toplama işlemi gerçekleştirecek şekilde tasarlanmıştır. Gövde kısmında bir hava giriş tüneli (4) ve nemli hava çıkışının sağlandığı fanlı (6) hava çıkış (5) bölmesi bulunmaktadır. Ribbon mikserin gövdesinin alt kısmında ise işlem sonunda ürün tahliyesinin gerçekleştirildiği kapaklı tahliye bölmesi bulunmaktadır (8).

Ayrıca sistemde, IR radyasyon yoğunluğunun ayarlandığı gerilim değıştirciden (dimmer), redüktörlü motorun dönüş hızını ayarlayan hız kontrol cihazından (elektronik varyatör) ve kullanılan enerji miktarını gösteren elektrik sayacından oluşan bir kontrol ünitesi bulunmaktadır.



Şekil 1. İnfrared ısı kaynağının kullanıldığı ribbon mikser düzeneğinin teknik resim görünümü*

*1. Kapak, 2. Gövde, 3. IR emitter, 4. Hava Giriş Tüneli, 5. Hava Çıkış, 6. Fan, 7. Karıştırıcı Kollar, 8. Tahliye Bölmesi



Şekil 2. İnfrared ısı kaynağının kullanıldığı ribbon mikser düzeneğinin görünümü

3.3. Termal ve Hidrotermal Uygulaması Deneme Planı

Buğday unlarına termal ve hidrotermal uygulama olmak üzere iki farklı türde ısı işlem uygulanmıştır. Termal uygulamalarda, örnekler mevcut nem değerlerinde işleme tabi tutulmuştur. Hidrotermal uygulamalarda ise buğday unlarının bir mikser yardımıyla karıştırılması esnasında su ilavesi nem değeri %25 düzeyine çıkarılmış ardından kurutulmuştur. Her iki uygulamada da işlem süresince örneklerin nem içerikleri hızlı nem

ölçer cihazı ile kontrol edilmiş, uygulamalar örneğin nem değeri %8'in altına düşene kadar sürdürülmüştür.

Buğday unlarına uygulanan termal ve hidrotermal işlemlerde kısa ve orta dalga boyunda çalışan IR lambalar kullanılmıştır. Tez çalışmasında uygulanan termal ve hidrotermal işlemlerin deneme planının oluşturulması amacıyla kısa dalga ön denemeleri 500 ile 1100 W arasındaki emitter güçlerinde, orta dalga ön denemeleri ise 500 ile 1000 W arasındaki emitter güçlerinde farklı işlem sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Arzu edilmeyen renk değişimi gerçekleşen ve duyuşal olarak yanık-kavruk durumda olan örneklerin işlem koşulları, esas deneme planına dâhil edilmemiştir. Buna göre termal ve hidrotermal işlemler için oluşturulan ön denemeler sonucunda seçilen işlem koşulları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1

Termal işlem için oluşturulan ön deneme planı ve belirlenen işlem parametreleri*

Dalga boyu	Emitter gücü (W)	İşlem süresi (dk)			
		15	17	22	26
Kısa dalga	500	N	N	N	N
	600	N	N	N	X
	700	N	N	X	Y
	800	N	X	Y	Y
	900	N	X	Y	Y
	1000	X	Y	Y	Y
	1100	Y	Y	Y	Y
Orta dalga	500	N	N	N	N
	600	N	N	N	X
	700	N	N	X	Y
	800	N	X	Y	Y
	900	N	X	Y	Y
	1000	X	Y	Y	Y

*N, kurutma sonrası nem değeri %8'den yüksek olan örnekleri; Y, kurutma sonrası yanan örnekleri; X, seçilen örnekleri ifade etmektedir.

Tablo 2

Hidrotermal işlem için oluşturulan ön deneme planı ve belirlenen işlem parametreleri*

Dalga boyu	Emitter gücü (W)	İşlem süresi (dk)				
		30	32	35	38	48
Kısa dalga	500	N	N	N	N	N
	600	N	N	N	N	X
	700	N	N	N	X	Y
	800	N	N	X	Y	Y
	900	N	X	Y	Y	Y
	1000	X	Y	Y	Y	Y
	1100	Y	Y	Y	Y	Y
Orta dalga	500	N	N	N	N	N
	600	N	N	N	N	X
	700	N	N	N	X	Y
	800	N	N	X	Y	Y
	900	N	X	Y	Y	Y
	1000	X	Y	Y	Y	Y

*N, kurutma sonrası nem değeri %8'den yüksek olan örnekleri; Y, kurutma sonrası yanan örnekleri; X, seçilen örnekleri ifade etmektedir.

Tablolarda belirtildiği üzere 500 W gücün düşük olduğu ve kuruma süresini çok fazla uzattığı tespit edilmiştir. Bunun yanında örnekte yanma ve renginde istenilmeyen düzeyde koyulaşmaya sebep olduğu için 1100 W gücün de çok yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, 600 W ile 1000 W arasında belirtilen emitter gücündeki işlemler esas denemede kullanılmıştır. Ön denemeler sonucunda seçilen işlem koşulları termal işlem için 600 W (26 dk), 700 W (22 dk), 800 W (17 dk), 900 W (17 dk) ve 1000 W (15 dk); hidrotermal işlem için 600 W (48 dk), 700 W (38 dk), 800 W (35 dk), 900 W (32 dk) ve 1000 W (30 dk)'dir. Söz konusu koşullarda termal ve hidrotermal işlem görmüş unların üretimi 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir denemede 750 g un örneği kullanılmıştır. Özellikle hidrotermal işlem sonrası örneklerde topaklanmalar olmuştur. Bu nedenle topaklanan örnekler, soğuduktan sonra öğütülerek 149 µm'lik elekten geçirilmiştir. Tüm örnekler hava almayacak şekilde özel çift kapaklı plastik kaplarda oda şartlarında saklanmıştır.

3.4. Analiz Yöntemleri

3.4.1 Nem Analizi

Örneklerin nem değerleri AACC Metot no: 44-15A'da belirtilene göre gravimetrik olarak belirlenmiştir (AACC, 2000). Isıl işlem uygulaması sırasında buğday unlarının nem değerlerinin takibi ise OHAUS MB27 hızlı nem ölçer cihazı (OHAUS Corporation, Parsippany, New Jersey) kullanılarak yapılmıştır.

3.4.2. Ham Protein Analizi

Örneklerinin ham protein içerikleri, makro Kjeldahl yöntemi ile AACC Metot no: 46-12'de belirtilene göre belirlenmiştir (AACC, 2000).

3.4.3. Yaş Gluten Miktarı ve Gluten İndeks Analizleri

Yaş gluten ve gluten indeks değerleri AACC Metot no: 38-12'de belirtilene göre belirlenmiştir (AACC, 2000).

3.4.4. Sedimentasyon (Zeleny) Analizi

Zeleny sedimentasyon analizi, AACC Metot no: 56-60'da belirtilen yöntemle göre yapılmıştır (AACC, 2000).

3.4.5. GlutoPeak Analizi

Gluten proteinlerinin reolojik özellikleri Brabender GlutoPeak (Brabender GmbH and Co KG, Duisburg, Germany) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Buğday unu (9 g, %14 nem değerine göre) ve saf su (9 mL) cihazın paslanmaz çelikten numune kabı içerisine eklenerek cihaza yerleştirilmiştir. Analiz sabit sıcaklık (36°C) ve sabit karıştırma hızında

(2750 rpm) sürdürülerek 300 sn'de tamamlanmıştır. Cihaz tarafından örneklerin, gluten maksimum dirençten 15 sn önceki direnç (GPU), gluten maksimum direnci (GPU), gluten maksimum dirençten 15 sn sonraki direnç (GPU), gluten maksimum direnç gösterdiği süre (sn) ve su absorpsiyon (%) değerleri belirlenmiştir.

3.4.6. Toplam Nişasta Analizi

Toplam nişasta analizi, ticari enzim kiti (Megazyme International, Bray, Co. Wicklow, İrlanda) kullanılarak AACC Metot no: 76-13.01'de belirtilen yönteme göre gerçekleştirilmiştir (AACC, 2000). Buğday unu (100 mg), 0,2 mL %80'lik etanol ile ıslatılarak üzerine 2 mL 2 M KOH eklenmiş ve 20 dk süresince buz dolu kap içerisinde manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından üzerine sırasıyla 0,1 mL termostabil α -amilaz ve 0,1 mL amiloglukozidaz enzimleri eklenen örnek 50 °C'ye ayarlanmış sıcak su banyosunda 30 dk süresince bekletilerek; örnekteki nişastanın, D-glukoz birimlerine hidrolizi gerçekleştirilmiştir. Seyreltilen örneğin (100 ml) 0,1 mL'si 3 mL GOPOD reaktif çözeltisi ile karıştırılıp 50 °C'ye ayarlı sıcak su banyosunda 20 dk inkübe edilmiştir. Oda sıcaklığına gelen örneğin absorpsiyon değerleri UV-VIS spektrofotometre ile 510 nm'de ölçülmüştür.

3.4.7. Zedelenmiş Nişasta Analizi

Zedelenmiş nişasta analizi, ticari enzim kiti (Megazyme International, Bray, Co. Wicklow, İrlanda) kullanılarak AACC Metot no: 76-31.01'e göre yapılmıştır (AACC, 2000). Fungal α -amilaz (1 mL) eklenen buğday unu 40 °C'ye ayarlı sıcak su banyosunda 10 dk inkübe edilerek; unda bulunan zedelenmiş nişastanın maltoza ve α -limit dekstrinlere hidrolizi gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon sonunda eklenen 8 mL %0,2'lik sülfürik asit çözeltisi ile enzim aktivasyonu durdurularak hidroliz reaksiyonu sonlandırılmıştır. Santrifüj sonrası üzerine amiloglukozidaz (0,1 mL) eklenen süpernatant (0,1 mL) 40 °C'ye ayarlı sıcak su banyosunda 10 dk inkübe edilerek; nişastadan oluşan dekstrinlerin glukoz birimlerine hidrolizi gerçekleştirilmiştir. Ardından örnek üzerine 4 mL GOPOD reaktif

çözültüsü eklenerek sıcak su banyosunda 20 dk inkübe edilmiş ve absorbens değeri UV-VIS spektrofotometre ile 510 nm’de ölçülmüştür.

3.4.8. Enzime Dirençli Nişasta Analizi

Enzime dirençli nişasta analizi, ticari enzim kiti (Megazyme International, Bray, Co. Wicklow, İrlanda) kullanılarak AACC Metot no: 32-40.01’e göre gerçekleştirilmiştir (AACC, 2000). Amiloglukozidaz ve pankreatik α -amilaz içeren enzim karışımı eklenmiş buğday unu, 37 °C’ye ayarlı sıcak su banyosunda yaklaşık 16 saat süresince yatık konumda çalkalanarak enzime dirençli olmayan nişastanın, D-glukoz birimlerine hidrolizi gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon sonunda eklenen 4 mL %99’luk etanol ile reaksiyon sonlandırılmıştır. Ardından süspansiyon 8 mL %50’lik etanol ile 2 defa yıkarak enzime dirençli olmayan nişastalar ayrılmıştır.

Enzime dirençli olan kısım çözdürmek için örnek üzerine 2 mL 2 M KOH eklenerek buzlu su içerisinde 20 dk karıştırılmıştır. Süre sonunda tüpe 8 mL 1,2 M sodyum asetat buffer (pH 3,8) eklenmiştir. Üzerine 0,1 mL amiloglukozidaz solüsyonu eklenen örnek 50 °C’ye ayarlı sıcak su banyosunda 30 dk inkübe edilerek; nişastanın glukoz birimlerine hidrolizi gerçekleştirilmiştir. Santrifüjlenmiş örneğe (0,1 mL) 3 mL GOPOD reaktif çözültüsü eklenerek 50 °C’ye ayarlı sıcak su banyosunda 20 dk bekletilmiş ve absorbens değeri UV-VIS spektrofotometre ile 510 nm’de ölçülmüştür.

3.4.9. Düşme Sayısı Analizi

Un örneklerinin düşme sayısı değeri düşme sayısı cihazı (Perten 1700, Perten Instruments, Inc., Springfield, IL) kullanılarak AACC Metot no: 56-81B’de belirtilen şekilde tespit edilmiştir.

3.4.10. Solvent Tutma Kapasitesi Analizi

Solvent tutma kapasitesi analizi, AACC Metot no: 56-11'de belirtildiği şekilde 4 farklı çözelti (su, %50'lik sükröz, %5'lik sodyum karbonat, %5'lik laktik asit) ile yapılmıştır (AACC, 2000).

3.4.11. MikroVisko-Amilograf Analizi

Buğday unlarının jelatinizasyon özellikleri MikroVisko-Amilograf cihazı (Brabender OHG, Duisburg, Germany) ile belirlenmiştir. Buğday unu (12 g, %14 nem değerine göre) ve saf su (100 mL) ile hazırlanan süspansiyon, 30 °C'den 92 °C'ye 7,5 °C/dk hızında ısıtılmış, 3 dk 92 °C'de bekletildikten sonra yine aynı hızda 50 °C'ye soğutulmuş, 2 dk süresince 50 °C'de bekletilerek analiz tamamlanmıştır. Analizde sabit karıştırma hızı 250 rpm ve tork ölçüm aralığı 300 cmg'dir. MikroVisko-Amilograf ile örneklerin, jelatinizasyon başlangıç sıcaklığı, maksimum viskozitesi ve maksimum viskozite sıcaklığı, son viskozitesi, kırılma (breakdown) ve katılaşma (setback) viskozitesi belirlenmiştir.

3.4.12. Ekmek Üretim Yöntemi

Ekmek üretimi, AACC Method no: 10-11'de belirtilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır (AACC, 2000). Maya (14 g), şeker (7 g) ve su (400-450 g, 35-40 °C) karıştırılarak 15 dk bekletildikten sonra un (700 g) ve tuz (10,5 g) ilave edilmiş ve 10 dk yavaş 5 dk hızlı devirde olacak şekilde toplam 15 dk daha karıştırılmıştır. Hamur, ortam sıcaklığında 15 dk dinlendirildikten sonra, 500 g hamura şekil verilerek tavalara alınmış ve 30-35 °C'de 1 saat fermente edilmiştir. Fermente hamurlar, 180-200 °C'de ve yaklaşık 45 dakika elektrikli fırında (Inoksan FPE 110, Bursa, Türkiye) pişirilmiştir.

3.4.13. Kek Üretim Yöntemi

Kek üretiminde AACC Metot no: 10-90'da belirtilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır (AACC, 2000). Öncelikle yumurta akı tozu (18 g) ve yağsız süt (200 g) hızlı devirde karıştırılmış, ardından sırasıyla şeker (280 g), hamur işi margarin (100 g), un (200 g), kabartma tozu (10 g), vanilya (10 g), tuz (6 g) ve su (90 g) karışıma eklenmiş ve tüm bileşenler 5 dk daha karıştırılmıştır (Kitchen aid, Michigan, ABD). Ayrıca depolama sırasında küf gelişmesini engellemek amacıyla karışıma %0,5 oranında potasyum sorbat ilave edilmiştir. Her bir kek kalıbına 50 g olacak şekilde oluşan hamur paylaştırılmış ve elektrikli fırında (Inoksan FPE 110, Bursa, Türkiye) 180 °C'de yaklaşık 25 dakika pişirilmiştir.

3.4.14. Keklerin Depolanması

Kek örnekleri oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra polipropilen ambalaj ile tek tek paketlenerek 30 °C ve %65 bağıl nem (RH) ortamında 30 gün süresince iklimlendirme kabininde (Nüve, TK 120, Ankara, Türkiye) depolanmıştır. Depolama boyunca her 7 günde bir öneklere nem, hacim, pişme kaybı, tekstür ve renk analizleri yapılmıştır.

3.4.15. Pişme Kaybı Analizi

Ekmek ve keklerin pişme kaybı değerleri, örneklerin piştikten sonraki ağırlığının hamur ağırlığından çıkarılması ve hamur ağırlığına bölünmesi ile hesaplanmış ve sonuçlar % olarak ifade edilmiştir.

3.4.16. Tekstür Analizi

Tekstür cihazı (Brookfield, CT3-4500, Massachusetts, USA) kullanılarak, ekmek ve kekler için 2 döngülü toplam profil analizi (TPA) uygulanmıştır. Analizlerde, silindirik

prob (TA4/1000, D = 38,1 mm) kullanılarak, ekmekler için %40, kekler için 5 mm sıkıştırma uygulanmıştır. Ayrıca ekmekler için kullanılan analiz koşulları, trigger (tetikleyici) kuvveti 10 g; ön test hızı 2 mm/s; test hızı ve geri dönüş test hızı 1 mm/s; kek örnekleri için trigger (tetikleyici) kuvveti 5 g; ön test hızı 2 mm/s; test hızı ve geri dönüş test hızı 1,5 mm/s'dir. Ekmek ve keklerin sertlik (hardness), esneklik (resilience), bağlayıcılık (cohesiveness), elastikiyet (springiness), sakızimsılık (gumminess) ve çiğnenebilirlik (chewiness) özellikleri belirlenmiştir.

3.4.17. Duyusal Analiz

Ekmek örneklerine Meilgaard vd. (1999)'nin belirttiği tekniğe göre 7 noktalı hedonik skala kullanılarak tüketici testi uygulanmıştır. Skalada panelistlere, 7 “çok çok beğendim”, 1 “hiç beğenmedim” olacak şekilde seçenekler sunulmuştur. Ayrıca, panelistlerden ürünleri en beğendiklerinden en az beğendiklerine göre sıralamaları da istenmiştir. Analizler, 26 ile 58 yaş aralığındaki 30 kişiden oluşan (12 erkek, 18 kadın) lisansüstü öğrencilerine, fakülte personeline ve akademik personele aralıklı oturumlarla gerçekleştirilmiştir. Tüketici testi analiz formu EK 1'de sunulmuştur.

3.4.18. Renk Değerlerinin Analizi

Örneklerin, CIE Lab renk uzayında L^* (aydınlık/parlaklık), a^* (yeşil-kırmızı) ve b^* (mavi-sarı) değerleri Minolta Cr-400 renk cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen renk değerlerinden yararlanılarak, toplam renk değişimi/farkı (ΔE) değerleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E \text{ (Toplam renk değişimi/farkı)} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.1)$$

3.4.19. İstatistiksel Analizler

Uygulanan işlemlerin örneklerin fiziksel, kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özelliklerine etkisi tek yönlü varyans analizleri ile belirlenmiştir. İstatistiksel olarak önemli bulunan ortalamaların çoklu karşılaştırılması Tukey testi ile yapılmıştır. Çok boyutlu ölçekleme analizinin (Multidimensional Scaling Analysis-MDS) Proxcal yaklaşımı ile ürünlere (ekmek/kek) işlenecek örnekler belirlenmiştir. Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ürünlerin tüketici testi sonuçları ise kategorik veriler olduğundan parametrik olmayan Kruskal Wallis testleri ile değerlendirilmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunan ortalamaların çoklu karşılaştırılması dunn testi yardımıyla yapılmıştır. Belirtilen istatistik analizler MINITAB ve SPSS paket programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler en az 2 tekerrürlü olarak yürütülmüş tutarlı bulunmayan tüm sonuçlar tekrarlanmıştır. Sonuçlar “ortalama \pm standart hata” olarak sunulmuştur.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Nem Değerleri

Ön denemeler sonucunda seçilen koşullarda termal işlem uygulanmış buğday unlarının nem değerleri Tablo 3’de, hidrotermal işlem uygulanmış buğday unlarının nem değerleri ise Tablo 4’de sunulmuştur.

Yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların başlangıç nem değeri sırasıyla %13,03, %12,47 ve %10,76’dır. Uygulanan termal işlem ile, yüksek proteinli unların nem değeri %2,91 ile %5,25 aralığına; düşük proteinli unların nem değerleri %2,83 ile %5,46 aralığına bisküvilik unların nem değerleri ise %3,18 ile %5,41 aralığına düşürülmüştür.

Hidrotermal işlem için 750 g un örneğine 140-150 mL su eklenerek nem içerikleri yaklaşık %25 düzeyine çıkartılmıştır. Ardından seçilen koşullarda uygulanan hidrotermal işlemler sonucu, yüksek proteinli buğday unlarının nem içerikleri %3,83 ile %5,98 aralığına, düşük proteinli buğday unlarının nem içerikleri %3,68 ile %6,90 aralığına, bisküvilik unların nem içerikleri ise %3,76 ile %6,99 aralığına düşürülmüştür.

Sonuç olarak hem termal hem de hidrotermal IR uygulaması ile örneklerin nem içeriklerinin hedeflenen %8 nem değerinin altına düşürüldüğü görülmektedir.

Tablo 3

Termal işlem uygulanmış yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unlarının nem değerleri (%), (n=2)

Un çeşidi	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	İşlem süresi (dk)			
			15	17	22	26
Yüksek proteinli un	Kısa dalga	600				4,25±0,12
		700			3,85±0,33	
		800		4,93±0,39		
		900		3,69±0,24		
		1000	2,91±0,26			
	Orta dalga	600				4,81±0,32
		700			5,25±0,13	
		800		4,34±0,17		
		900		3,72±0,20		
		1000	3,80±0,37			
Düşük proteinli un	Kısa dalga	600				4,56±0,36
		700			4,75±0,14	
		800		4,32±0,27		
		900		2,83±0,49		
		1000	4,26±0,39			
	Orta dalga	600				4,67±0,45
		700			3,95±0,29	
		800		5,46±0,15		
		900		3,66±0,16		
		1000	4,21±0,31			
Bisküvilik un	Kısa dalga	600				4,26±0,25
		700			4,13±0,18	
		800		5,39±0,20		
		900		4,12±0,25		
		1000	3,18±0,17			
	Orta dalga	600				4,17±0,28
		700			3,91±0,33	
		800		5,41±0,19		
		900		4,33±0,20		
		1000	3,30±0,29			

Tablo 4

Hidrotermal işlem uygulanmış yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unlarının nem değerleri (%), (n=2)

Un çeşidi	Dalga Emitter boyu gücü (W)	İşlem süresi (dk)					
		0	30	32	35	38	48
Yüksek proteinli un	Kontrol	13,03±0,04					
	600	23,99±0,43					5,90±0,13
	700	24,23±0,09				5,84±0,21	
	Kısa dalga	800	24,53±0,27		4,89±0,37		
	900	24,73±0,22	5,00±0,39				
	1000	23,61±0,35	3,83±0,17				
	600	22,66±0,31					5,67±0,07
	700	24,35±0,23				5,98±0,28	
	Orta dalga	800	25,01±0,05		5,63±0,88		
	900	24,55±0,18	4,62±0,28				
	1000	24,78±0,13	3,96±0,10				
	Kontrol	12,47±0,46					
	600	22,34±0,54					4,83±0,40
	700	23,43±0,56				5,96±0,10	
	Kısa dalga	800	24,15±0,08		6,15±0,29		
900	23,88±0,05	5,17±0,36					
1000	24,21±0,14	3,68±0,19					
600	24,09±0,27					6,15±0,28	
700	23,68±0,55				6,90±0,18		
Orta dalga	800	22,47±0,60		6,84±0,22			
900	23,64±0,11	5,36±0,21					
1000	24,32±0,40	5,80±0,40					
Bisküvilik un	Kontrol	10,76±0,12					
	600	24,05±0,39					5,39±0,20
	700	23,74±0,37				6,99±0,19	
	Kısa dalga	800	24,61±0,16		5,63±0,31		
	900	24,43±0,45	5,44±0,36				
	1000	24,28±0,37	3,76±0,15				
	600	24,06±0,23					5,40±0,22
	700	24,43±0,36				6,46±0,42	
	Orta dalga	800	24,00±0,36		5,33±0,26		
	900	24,76±0,08	5,84±0,48				
	1000	24,22±0,34	4,08±0,14				

4.2. Ham Protein Değerleri

Yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unlarının ham protein içerikleri Tablo 5'te sunulmuştur. İşlem görmemiş yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların ham protein değeri sırasıyla %12,45, %10,40 ve %11,40'dır.

Hem kontrol unlarında hem de işlem görmüş unlarda, yüksek protein içeriğine sahip buğday unları, diğer un çeşitlerine göre daha yüksek ham protein içeriğine sahiptir. Termal ve hidrotermal işlemler ile buğday unlarının ham protein değerlerinin istatistiksel olarak önemli oranda azaldığı tespit edilmiş ve hidrotermal işlemlerde bu azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Termal işlemler ile bisküvilik unun ham protein içeriğinde %1,85 seviyesine ulaşan azalmalar olurken; yüksek proteinli, düşük proteinli unlarda ise %1 seviyesinde azalmalar olmuştur. Ayrıca düşük emitter gücünde uygulanan işlemler ile tüm buğday unlarının ham protein içeriklerindeki azalma daha fazla olmuştur. Termal işlem görmüş tüm buğday unlarında, kısa dalga boyunda işlem görmüş örneklerin ham protein içeriklerinin, orta dalga boyunda işlem görmüş örneklerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Termal işlem görmüş unlar içerisinde kısa dalga boyunda 1000 W gücünde işlenen örnekler üç un tipinde de en yüksek ham protein değerine sahiptir.

Hidrotermal işlemler, yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların ham protein içeriğinde sırasıyla %2,80, %3,15 ve %3,55 seviyesine ulaşan azalmalara neden olmuştur (Tablo 5). Buğday unlarının ham protein değerlerindeki değişimler ile hidrotermal uygulamaların dalga boyu ve emitter güçleri arasında anlamlandırılabilir bir ilişki bulunamamıştır. Ayrıca hidrotermal işlem görmüş unların ham protein değerleri matematiksel olarak değerlendirildiğinde %1-1,5 oranındaki bu varyasyonun tesadüfi hatalardan kaynaklanabileceği ve pratikte önemli olmadığı düşünülmektedir.

Tablo 5

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş buğday unlarının ham protein değerleri (%km), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Termal	Kontrol		12,45±0,05 ^A	10,40±0,00 ^A	11,40±0,00 ^A
	Kısa dalga	600	11,80±0,20 ^{AB}	9,30±0,00 ^B	10,05±0,05 ^{BC}
		700	11,80±0,20 ^{AB}	9,35±0,05 ^B	10,00±0,00 ^{BC}
		800	11,60±0,10 ^{ABC}	9,35±0,05 ^B	9,80±0,10 ^{BCD}
		900	11,85±0,15 ^{AB}	9,50±0,00 ^B	10,00±0,10 ^{BC}
		1000	12,00±0,00 ^A	9,50±0,10 ^B	10,20±0,00 ^B
	Orta dalga	600	11,55±0,15 ^{ABC}	9,25±0,05 ^B	9,55±0,05 ^{CD}
		700	11,60±0,10 ^{ABC}	9,35±0,05 ^B	9,70±0,00 ^{BCD}
		800	11,60±0,10 ^{ABC}	9,15±0,05 ^B	9,65±0,05 ^{BCD}
		900	11,85±0,05 ^{AB}	9,40±0,10 ^B	9,60±0,00 ^{CD}
1000		11,80±0,00 ^{AB}	9,25±0,05 ^B	9,60±0,00 ^{CD}	
Hidrotermal	Kısa dalga	600	9,95±0,45 ^D	8,25±0,25 ^C	8,60±0,20 ^E
		700	9,65±0,25 ^D	7,50±0,00 ^{EF}	8,40±0,30 ^{EFG}
		800	9,95±0,15 ^D	7,50±0,10 ^{EF}	8,55±0,05 ^{EF}
		900	10,15±0,25 ^D	7,95±0,15 ^{CDE}	8,35±0,05 ^{EFG}
		1000	10,30±0,00 ^D	8,15±0,05 ^{CD}	9,25±0,15 ^D
	Orta dalga	600	10,00±0,10 ^D	7,60±0,00 ^{DEF}	7,85±0,15 ^G
		700	9,70±0,00 ^D	7,25±0,15 ^F	7,95±0,05 ^G
		800	10,15±0,35 ^D	7,35±0,15 ^{EF}	8,00±0,10 ^{FG}
		900	10,65±0,35 ^{CD}	7,80±0,20 ^{CDEF}	8,00±0,00 ^{FG}
		1000	10,75±0,15 ^{BCD}	7,55±0,15 ^{DEF}	8,20±0,00 ^{EFG}
<i>p</i>		0,000	0,000	0,000	

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Benzer şekilde Sudha vd. (2016) de, 2 farklı tam buğday (*Triticum aestivum*) ununu 100° C'de (2 saat) bekleterek termal işlem; atmosferik basınçta buhar (30 dk) verdikleri örnekleri 60° C'de (2 saat) tutarak hidrotermal işlem uygulamışlardır. İşlemlerin sonucunda un örneklerinin ham protein içeriklerinde önemli bir fark saptamamışlardır ($p>0,05$). Susanna ve Prabhasankar (2011) da buğday unlarına mikrodalga uygulamasının (360 W, 540 W, 720 W ve 900 W, 5 dk) örneklerin ham protein içeriklerinde önemli bir değişime neden olmadığını belirtmişlerdir.

4.3. Yaş Gluten ve Gluten İndeks Değerleri

Buğday proteinleri ısı işleme karşı oldukça hassas moleküllerdir ve 50 °C ile 85 °C aralığında denatüre olmaktadır. Buğday proteinlerinden albüminler ve globülinler sıcaklığa daha duyarlıyken, gliadinler ise daha dirençlidir. Albüminlerin ve globülinlerin 60 °C'de tamamen denatüre olduğu, ancak konformasyonel yapı ve düşük tiyol içeriği nedeniyle gliadinlerin daha yüksek sıcaklıklarda denatüre olmaya başlayarak yüksek moleküler boyutta polimerler halinde toplandığını belirlenmiştir (Lamacchia vd., 2007). Gluteninler 55 °C'nin, gliadinler ise 70 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara ısıtıldığında disülfid-sülfidril değişim reaksiyonları başlamakta ve sıcaklığın etkisiyle artmaktadır (Lagrain vd., 2005; Singh ve MacRitchie, 2004). Ayrıca bu süreçte, yeni disülfid bağlantılarının oluşumunun yanı sıra, hidrofobik yapıli amino asitler de açığa çıkmaktadır. Hidrofobik gruplar ne kadar olursa proteinler o kadar çözünmez hale gelmektedir (Lamacchia vd., 2016). Diğer bir ifadeyle buğday proteinlerinin moleküller büyüklükleri artarak agregre olmakta ve ekstrakte edilebilirlikleri azalmaktadır. Gluten proteininin denatürasyon sıcaklığı, nem içeriğine bağlı olarak değişmekte olup; nem içeriği arttıkça denatürasyon sıcaklığı azalmaktadır. Yapılan çalışmada, glutenin proteinlerinin %12,7 nem içeriğinde denatürasyon sıcaklığının 60,4 °C; %26,2 nem içeriğinde 50,2 °C ve %52,1 nem içeriğinde ise 40,9 °C olduğu belirlenmiştir (Ahmed vd., 2008; Leon vd., 2003).

Cetiner vd. (2017) yaptıkları çalışmada, 2 farklı ekmeklik buğdaya (Bayraktar 2000 ve Tosunbey) 14 farklı sıcaklık (55 °C ile 95 °C aralığında) nem (%13 ile %19 nem aralığında) kombinasyonunda ısı işleme uygulamışlardır. Yüksek sıcaklıklarda (85 °C üstündeki) işleme gören örneklerin glutenleri ekstrakte edilememiştir. Kaasová vd. (2018) de, buğday unlarına mikrodalga ile farklı sıcaklıklarda (60 °C ve 80 °C) ısı işleme uygulamışlar ve 80 °C'de işleme gören örneğin gluten içeriğinin %30 oranında azaldığını belirlemişlerdir. Ragasits (1993), buğday örneklerini (nem değeri, %21) farklı sıcaklıklarda (20 °C, 40 °C, 60 °C, 80 °C ve 100 °C) kurutmuştur. Kurutma işlemlerinde 60 °C itibariyle örneklerin gluten içerikleri önemli oranda azalmaya başlamış, 100 °C'de işlenmiş örnekten ise gluten ekstrakte edilememiştir. Literatüre paralel olarak, tez kapsamında hidrotermal işleme görmüş un örneklerinin proteinleri denatüre olması nedeniyle gluten ekstrakte

edilememiştir. Bu nedenle sadece işlem görmemiş ve termal işlem görmüş unların yaş gluten ve gluten indeks değerleri Tablo 6’da sunulmuştur.

Yaş gluten (öz) değeri, buğday ununda bulunan gluten proteininin miktarını yanı sıra, unun gluten kalitesi, dolayısıyla ekmeklik kalitesi hakkında da bilgi vermektedir. Buğday unlarının gluten miktarının %20’den az olması, gluten kalitesinin “düşük”; %20-27 aralığında olması gluten kalitesinin “orta”; %28-35 aralığında olması gluten kalitesinin “iyi”; %35’den fazla olması ise gluten kalitesinin “yüksek” olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır (Köksel vd., 2000). Buna göre, işlem görmemiş yüksek proteinli ve bisküvilik buğday unlarının yaş gluten miktarları sırasıyla %30,17 ve %29,04 olup, bu unların gluten kaliteleri iyi olarak değerlendirilebilirken; düşük proteinli un ise %22,70 yaş gluten miktarı ile orta kalitede glutene sahiptir. Tüm yüksek proteinli unların (işlem görmemiş ve işlem görmüş) yaş gluten değerleri %30,13 ile %36,24 aralığında bulunmuştur (Tablo 6). Yüksek proteinli unun yaş gluten miktarındaki termal işlemin neden olduğu değişim istatistiksel olarak önemli bulunsa da ($p < 0,05$), veriler sayısal olarak değerlendirildiğinde bu değişim pratikte önemli değildir. Düşük proteinli un örneklerinin yaş gluten değerleri ise %21,79 ile %26,76 aralığında değişmektedir. Termal işlem, düşük proteinli unun yaş gluten değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir değişime neden olmamıştır ($p > 0,05$). Diğer yandan bisküvilik unların yaş gluten içeriklerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve kısa dalga boyunda 1000 W gücündeki termal işlem uygulaması ile yaş gluten içeriğinin %22 oranında azaldığı görülmüştür ($p < 0,05$).

Tablo 6

İşlem görmemiş ve termal işlem görmüş un örneklerinin yaş gluten (%km) ve gluten indeks değerleri, (n=2)*

Dalga	Emitter boyu gücü (W)	Yaş gluten			Gluten indeks		
		Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Kısa dalga	Kontrol	30,17±0,47 ^B	22,70±0,22	29,04±0,76 ^{AB}	97,38±0,70	99,73±0,22	93,35±0,55 ^{AB}
	600	32,21±0,56 ^{AB}	25,20±0,47	26,87±0,11 ^{ABC}	99,03±0,63	99,37±0,22	92,02±0,19 ^{AB}
	700	32,38±0,41 ^{AB}	23,38±1,73	28,91±2,33 ^{AB}	98,54±0,47	99,54±0,03	93,00±1,05 ^{AB}
	800	32,13±0,31 ^{AB}	23,52±0,49	24,86±0,75 ^{BC}	97,04±0,69	99,55±0,01	93,85±0,00 ^{AB}
	900	32,48±0,17 ^{AB}	24,96±0,05	24,40±0,19 ^{BC}	96,62±0,48	99,16±0,41	92,52±1,10 ^{AB}
Orta dalga	1000	33,63±0,05 ^{AB}	26,76±2,16	22,57±0,43 ^C	94,45±0,62	98,96±0,66	94,97±0,37 ^A
	600	36,24±2,61 ^A	21,79±0,24	26,64±0,62 ^{ABC}	96,11±1,43	98,55±0,01	91,75±1,08 ^{AB}
	700	30,13±0,47 ^B	25,90±0,10	28,01±0,23 ^{AB}	98,41±0,89	97,56±0,40	90,12±1,02 ^{AB}
	800	34,29±0,42 ^{AB}	24,42±2,97	29,32±0,40 ^{AB}	93,45±2,51	97,52±0,99	88,25±0,35 ^{BC}
	900	33,88±0,19 ^{AB}	22,56±0,79	26,80±1,03 ^{ABC}	94,14±0,58	97,27±1,29	83,50±0,64 ^C
	1000	34,08±0,19 ^{AB}	22,28±2,01	31,54±0,42 ^A	94,49±0,57	97,19±0,22	75,62±2,98 ^D
	<i>p</i>	0,011	0,329	0,001	0,066	0,167	0,000

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Gluten miktarından ziyade gluten kalitesinin bir ölçüsü olan gluten indeksi, kalitenin değerlendirilmesinde yaş glutene göre daha geçerli bir kriterdir. Gluten indeksi değeri 95'in üzerinde ise çok güçlü gluten kalitesini, 60'tan düşük ise çok zayıf gluten kalitesini göstermektedir (Ćurić vd., 2001). İşlem görmemiş yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unlarının gluten indeks değerleri sırasıyla 97,38, 99,73 ve 93,35 olarak bulunmuştur (Tablo 6). Termal işlem uygulamaları yüksek proteinli ve düşük proteinli unların gluten indeksi değerlerinde önemli bir değişime neden olmamıştır ($p>0,05$). Diğer yandan, orta dalga boyunda 900 W ve 1000 W gücünde termal işlem uygulanmış bisküvilik unların gluten indeks değerleri kontrol örneğine göre önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Başka bir ifadeyle, belirtilen koşullarda termal işlem uygulaması bisküvilik unun gluten kalitesinin azalmasına neden olmuştur. Gluten indeksi, yaş glutenin uzayabilirliği ve esnekliği ile ilgili bir özelliktir (Kaasová vd., 2018). Bu nedenle, belirtilen şartlarda işlem görmüş unlarının gluten indeksindeki bu azalış, glutenlerin uzayabilirliğinin ve esnekliğinin azaldığının bir göstergesidir. Bu azalma belirtilen şartlarda uygulanan ısıl işlemler ile oluşan disülfid ve sülfhidril değişim reaksiyonlarını atfedilebilir (Rombouts vd., 2012)

4.4. Sedimentasyon Değerleri

Sedimentasyon (Zeleny) testinde, zayıf asit çözeltisinde şişen un partiküllerinin gluten kalitesine göre çökme hızı belirlenmektedir. Bu yöntemde çökme hızı, belirli zaman içerisinde çöken partiküllerin miktarının hacim olarak ölçülmesiyle tespit edilmektedir. Gluten kalitesi yüksek olan unlarda çökme hızı yavaş, dolayısıyla sedimentasyon değeri yüksek olmaktadır. Sedimentasyon değeri: 15 mL'den düşük ise gluten kalitesi ve miktarı "kötü", 15-24 mL arasında ise "zayıf", 25-36 mL arasında "iyi", 36 mL'den fazla ise "çok iyi" olarak değerlendirilmektedir (Köksel vd., 2000). İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş unların sedimentasyon değerleri Tablo 7'de sunulmuştur. Buna göre, yüksek proteinli ve bisküvilik buğday unlarının sedimentasyon değerleri sırasıyla 32,87 ve 26,63 mL olarak belirlenmiş olup; bu unların gluten kalitesi ve miktarı iyi olarak nitelendirilebilirken; düşük proteinli un 24,28 mL olan sedimentasyon değerleri ile gluten kalitesi ve miktarı yönünden zayıf olarak değerlendirilebilir. Bu değerlendirmeler, yaş gluten miktarı sonuçlarını destekler niteliktedir.

Tablo 7

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş unların sedimantasyon değerleri (mL), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Termal	Kontrol		32,87±0,50 ^A	24,28±0,44 ^A	26,63±0,45 ^A
	Kısa dalga	600	34,40±0,58 ^A	19,38±0,45 ^B	25,34±0,08 ^{AB}
		700	33,98±0,35 ^A	18,70±0,14 ^B	24,45±0,00 ^{AB}
		800	33,93±0,07 ^A	18,51±0,39 ^B	24,34±0,52 ^{AB}
		900	33,97±1,12 ^A	19,66±0,09 ^B	25,13±0,14 ^{AB}
		1000	32,77±0,19 ^A	18,16±0,11 ^B	18,33±0,32 ^C
	Orta dalga	600	33,83±0,34 ^A	24,09±0,51 ^A	25,51±0,44 ^{AB}
		700	33,28±0,44 ^A	23,34±0,13 ^A	24,05±0,02 ^{AB}
		800	32,70±0,25 ^A	23,28±0,39 ^A	25,08±0,00 ^{AB}
		900	33,37±0,24 ^A	24,08±0,29 ^A	23,81±0,48 ^{AB}
1000		32,46±0,08 ^A	24,11±0,63 ^A	23,21±0,04 ^B	
Hidrotermal	Kısa dalga	600	10,00±0,05 ^{EF}	11,79±0,11 ^C	11,47±1,32 ^D
		700	9,84±0,68 ^{EF}	11,44±0,43 ^C	9,76±0,48 ^D
		800	8,64±0,43 ^F	11,50±0,45 ^C	10,06±0,01 ^D
		900	8,16±0,02 ^F	11,38±0,37 ^C	11,00±0,95 ^D
		1000	11,80±0,22 ^{DE}	10,67±0,14 ^C	9,90±0,01 ^D
	Orta dalga	600	16,51±0,96 ^B	12,71±0,15 ^C	12,60±0,52 ^D
		700	15,30±0,02 ^B	12,06±0,90 ^C	11,18±0,93 ^D
		800	15,31±0,41 ^B	12,44±0,38 ^C	11,17±0,02 ^D
		900	12,64±0,04 ^{CD}	11,51±0,48 ^C	11,60±0,42 ^D
		1000	14,46±0,08 ^{BC}	11,02±0,05 ^C	12,05±0,02 ^D
<i>p</i>			0,000	0,000	0,000

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Yüksek proteinli buğday ununun sedimantasyon değerinde termal işlem uygulamaları ile istatistiksel olarak önemli bir değişim gözlenmemiştir ($p>0,05$). Düşük proteinli buğday ununda ise kısa dalga boyunda uygulanan termal işlemler bu örneğin sedimantasyon değerlerinin önemli ölçüde azalmasına neden olmuştur ($p<0,05$). Benzer şekilde bisküvilik unun da sedimantasyon değeri termal işlemler ile birlikte önemli oranda azalmıştır ($p<0,05$). Ayrıca, kısa dalgada boyunda 1000 W gücünde termal işlem gören örnek, termal işlem gören bisküvilik unlar içerisinde en düşük sedimantasyon değerine sahiptir ($p<0,05$). Bu örneğin yaş gluten miktarı da termal işlem gören bisküvilik un örnekleri içerisinde en düşük bulunmuştur. Ek olarak, termal işlem gören örneklerin

sedimentasyon değerleri ile yaş gluten miktarları arasında pozitif yönlü, doğrusal ve önemli bir korelasyon bulunmaktadır ($r=0,820$, $p=0,000$).

Gluten proteinlerinin denatüre olması nedeniyle hidrotermal işlem görmüş unların sedimentasyon değerleri önemli oranda azalmıştır ($p<0,05$). Ayrıca, hidrotermal işlem görmüş tüm un örneklerinin gluten kaliteleri ve miktarları kötü ve zayıf niteliktedir. Orta dalga boyunda uygulanan işlemler ile karşılaştırıldığında, kısa dalga boyunda uygulanan hidrotermal işlemlerin yüksek proteinli buğday ununun sedimentasyon değerlerinde daha fazla azalmaya neden olduğu görülmüştür. Düşük proteinli ve bisküvilik unların sedimentasyon değerlerinde, incelenen hidrotermal işlem koşullarına göre (dalga boyu ve emitter gücü) önemli bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$).

Bucella vd. (2016), ekmek ve kek unu örneklerine termal (100 °C'de 12 dk süresince) ve hidrotermal (96 °C'de 5 dk süresince) olarak iki farklı ısıl işlem uygulamışlardır. Termal işlem, ekmek ununun sedimentasyon değerinde önemli bir değişikliğe neden olmazken; kek unun sedimentasyon değerinin önemli düzeyde azalmasına neden olmuştur. Benzer şekilde, araştırmacılar kuru ısıl işlemlerin farklı un türleri üzerinde farklı bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Diğer yandan uygulanan hidrotermal işlem ile iki un çeşidinin de sedimentasyon değerlerinin önemli düzeyde azaldığı görülmüştür ($p<0,05$). Benzer şekilde, Sudha vd. (2016) de, protein içerikleri %8,9 ve %10,6 olan 2 ekmeklik buğday ununa termal (etüvde 100 °C'de 2 saat) ve hidrotermal işlem (30 dk buhar uygulaması ardından 60°C'de 2 saat kurutma) uygulamışlardır. Hidrotermal işlemin neden olduğu protein denatürasyonu sebebiyle örneklerin sedimentasyon değerleri, işlem görmemiş ve termal işlem görmüş unlarınkine göre önemli seviyede daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Cetiner vd. (2017) de, 95°C'de uyguladıkları hidrotermal işlem ile %19 nem içeriğine sahip ekmeklik buğday ununun (Tosunbey) sedimentasyon değerlerinin 63 mL'den 29 mL'ye düştüğünü tespit etmiştir.

Genel olarak, IR destekli ribbon mikserinde uygulanan ısıl işlemlerin, buğday unlarının gluten içeriği ve kalitesi üzerindeki etkisinin un bileşimine, işlem türüne ve koşullarına bağlı olduğu görülmüştür. Bu, ısıl işlemler ile unların disülfid bağlarının

yeniden düzenlenmesine ve gluten fraksiyonunun şişme özelliklerindeki değişikliklere atfedilebilir.

4.5. GlutoPeak Değerleri

Gluten kalitesinin değerlendirilmesinde klasik metotlara alternatif olarak geliştirilen GlutoPeak cihazında, fazla miktarda su ile oluşturulan un-su karışımına uygulanan karıştırma kuvvetine karşı oluşan direnç süreye göre ölçülmektedir. Analiz esnasında gluten kalitesinin belirlenmesi için öncelikle gluten ağı oluşturulmakta, kuvvetli karıştırma ile bu yapı kümeleşmekte ve ardından da parçalanmaktadır. Maksimum direnç, bu dirence ulaşmak için geçen zaman ve belirli süre sonra dirençteki düşüş gluten kalite değerlendirmesinde kullanılmaktadır (Lu ve Seetharaman, 2014; Marti, vd., 2015a; Mecitoğlu Güçbilmez vd., 2019). Hidrotermal işlem görmüş unların gluten proteinlerinin denatürasyonu sonucu gluten ağ yapısı oluşmadığından bu unların GlutoPeak cihazıyla ölçümleri de yapılamamıştır. Bu sebeple Tablo 8’de sadece işlem görmemiş ve termal işlem görmüş unların GlutoPeak cihazı ile belirlenen gluten agregasyon özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 3’te işlem görmemiş yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların GlutoPeak grafikleri gösterilmiştir.

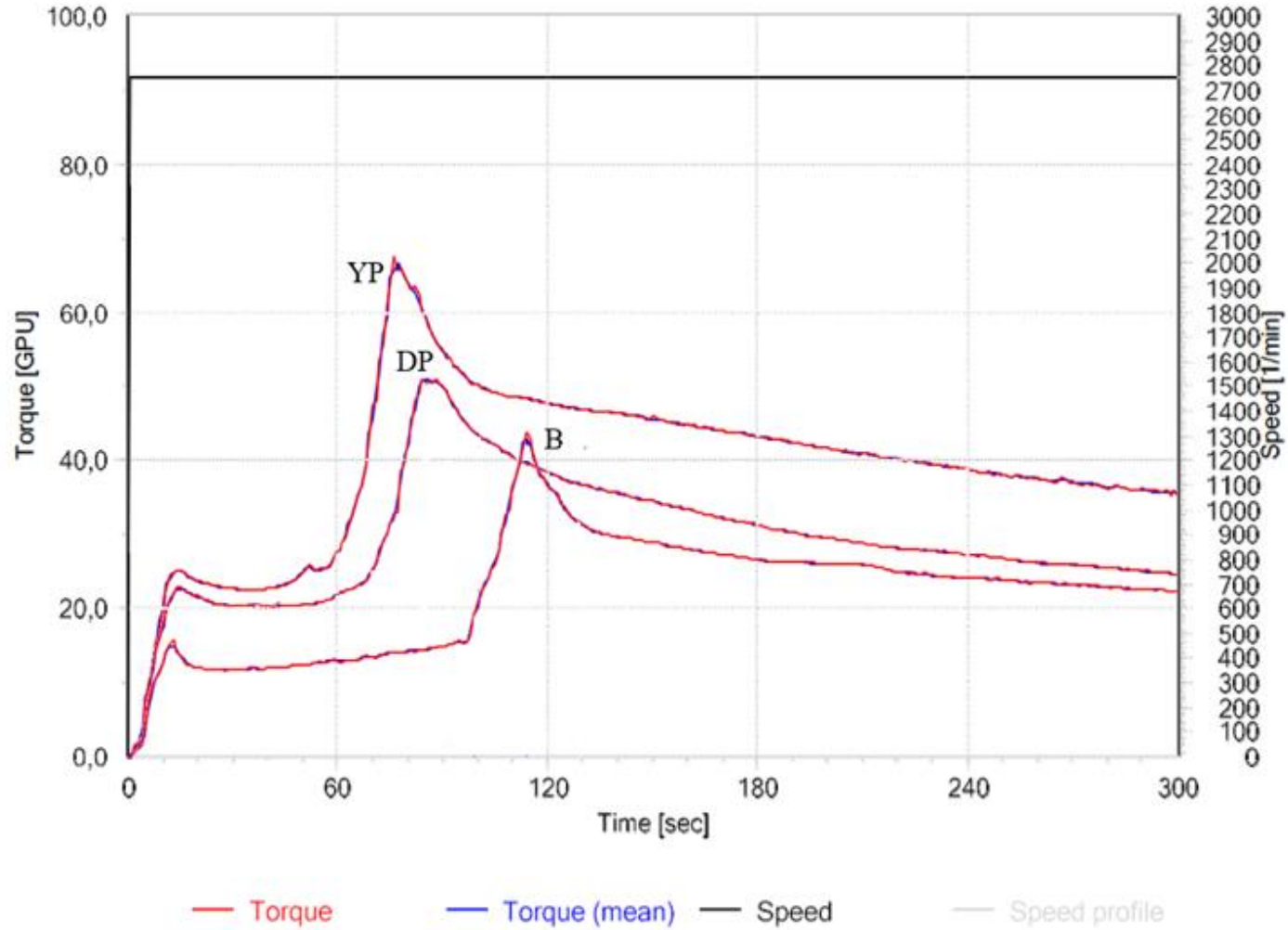
Gluten maksimum direncinden 15 sn öncesi direnç değeri, buğday unlarının glutenin içeriği ile ilişkilidir (Mecitoğlu Güçbilmez vd., 2019). Diğer unlar ile karşılaştırıldığında hem işlem görmemiş hem de termal işlem görmüş bisküvilik unların gluten maksimum direncinden 15 sn öncesi direnç değeri daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Uygulanan termal işlemlerin yüksek proteinli ve bisküvilik unların gluten maksimum direncinden 15 sn öncesi direnç değeri üzerine önemli bir etkisi olmamıştır ($p>0,05$). Düşük proteinli unun gluten maksimum direncinden 15 sn öncesi direnç değeri ise termal işlemler ile neredeyse iki katına çıkmıştır (25,50 GPU’dan 45,50 GPU’ya yükselmiş). Gluten maksimum direncinden 15 sn öncesi direnç değerindeki bu artış, glutenin çapraz bağlarındaki ve elastikiyetindeki artışa atfedilebilir (Mecitoğlu Güçbilmez vd., 2019).

Tablo 8

İşlem görmemiş ve termal işlem görmüş un örneklerinin GlutoPeak analizi sonuçları, (n=2)*

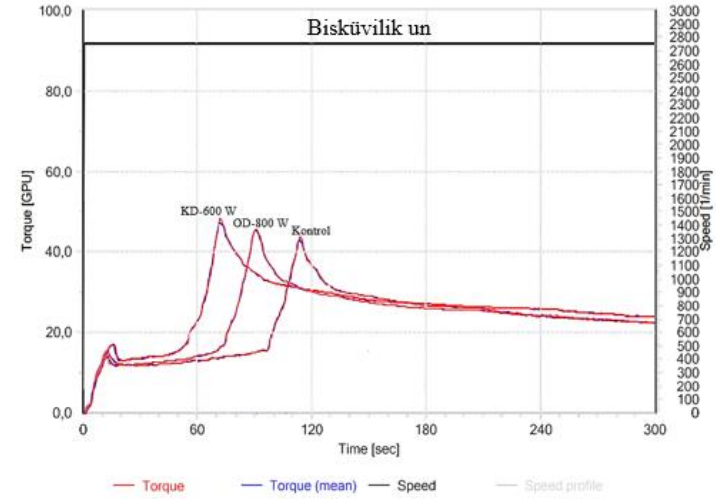
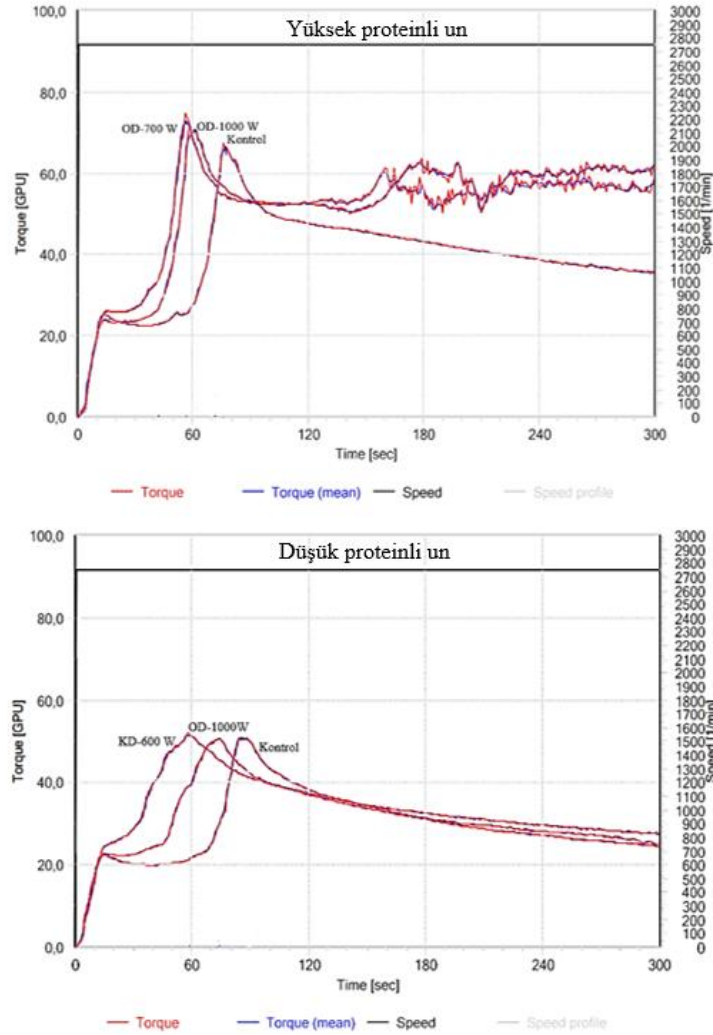
Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Gluten maksimum dirençten 15 sn önceki direnç (GPU)			Gluten maksimum direnci (GPU)			Gluten maksimum dirençten 15 sn sonraki direnç (GPU)			Gluten maksimum direnç gösterdiği süre (sn)			Su absorpsiyonu (%)		
		Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Kısa dalga	Kontrol	29,50±0,50	25,50±0,50 ^C	18,00±1,00	66,50±0,50	51,50±0,50	45,00±2,00	53,50±0,50	44,00±0,00	32,50±0,50	74,50±2,50 ^A	85,00±0,00 ^A	111,50±2,50 ^A	65,67±0,07	60,79±0,19 ^B	56,46±0,26
	600	34,50±2,50	43,00±1,00 ^{AB}	20,00±1,00	70,00±1,00	52,50±0,50	45,00±2,00	55,50±0,50	46,00±0,00	34,50±1,50	57,50±2,50 ^B	58,50±50 ^B	77,00±5,00 ^B	67,45±0,68	64,30±0,25 ^A	57,15±0,77
	700	35,00±3,00	42,00±0,00 ^{AB}	20,50±0,50	67,00±0,00	52,50±0,50	47,50±0,50	55,00±1,00	46,00±0,00	34,00±1,00	58,50±0,50 ^B	62,50±50 ^B	77,00±3,00 ^B	66,94±0,34	64,13±0,08 ^A	57,58±0,00
	800	34,00±1,00	39,00±0,00 ^{AB}	20,50±0,50	67,50±0,50	54,00±0,00	48,50±0,50	56,00±2,00	46,00±1,00	33,00±0,00	58,00±4,00 ^B	68,50±3,50 ^{AB}	79,50±0,50 ^B	67,02±0,08	63,88±0,17 ^A	57,58±0,17
	900	35,50±1,50	40,50±0,50 ^{AB}	20,00±0,00	69,50±0,50	53,50±0,50	46,50±3,50	56,00±0,00	47,50±0,50	34,00±1,00	53,50±2,50 ^B	64,50±50 ^B	77,00±4,00 ^B	67,62±0,17	64,30±0,08 ^A	57,32±0,77
Orta dalga	1000	37,00±1,00	34,00±2,00 ^{BC}	20,00±0,00	69,50±2,50	54,50±1,50	49,00±1,00	56,50±0,50	46,00±1,00	35,00±1,00	55,00±2,00 ^B	69,00±6,00 ^{AB}	77,50±4,50 ^B	67,96±0,68	63,11±0,08 ^A	57,92±0,00
	600	31,50±0,50	38,00±4,00 ^{AB}	19,50±0,50	72,00±0,00	52,50±0,50	44,50±2,50	57,00±0,00	45,00±1,00	32,50±0,50	59,00±1,00 ^B	66,00±0,00 ^B	86,00±5,00 ^B	67,52±0,07	63,20±0,51 ^A	56,64±0,60
	700	32,50±1,50	45,50±2,50 ^A	18,50±1,50	70,50±2,50	53,00±1,00	42,50±1,50	56,50±0,50	45,00±1,00	33,00±0,00	61,00±4,00 ^B	62,00±6,00 ^B	89,00±3,00 ^B	67,36±0,76	64,64±0,76 ^A	56,22±0,52
	800	33,00±0,00	42,00±2,00 ^{AB}	19,00±1,00	68,50±0,50	51,00±0,00	45,50±0,50	55,50±0,50	44,50±0,50	32,50±0,50	56,50±0,50 ^B	66,50±3,50 ^B	95,00±4,00 ^{AB}	66,92±0,02	63,62±0,25 ^A	56,72±0,34
	900	30,50±0,50	43,50±0,50 ^{AB}	19,50±0,50	72,50±0,50	53,00±1,00	46,50±0,50	57,00±0,00	45,00±1,00	32,00±0,00	60,00±1,00 ^B	65,00±1,00 ^B	94,00±0,00 ^B	67,45±0,15	64,30±0,42 ^A	56,91±0,19
	1000	30,00±0,00	41,00±2,00 ^{AB}	18,50±0,50	71,50±0,50	51,00±1,00	42,50±1,50	58,50±0,50	43,00±1,00	33,00±1,00	50,50±2,50 ^B	70,00±4,00 ^{AB}	94,50±5,50 ^{AB}	67,45±0,15	63,19±0,68 ^A	56,21±0,51
	<i>p</i>	0,073	0,000	0,371	0,082	0,105	0,245	0,135	0,257	0,278	0,002	0,010	0,001	0,091	0,001	0,227

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).



Şekil 3. İşlem görmemiş un örneklerinin GlutoPeak grafikleri*

*YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un.



Şekil 4. İşlem görmemiş ve bazı işlem görmüş un örneklerinin GlutoPeak grafikleri*

*KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

İşlem görmemiş yüksek proteinli unun gluten maksimum direnci, diğer unlardan önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 8) (Şekil 3). Diğer yandan uygulanan termal işlemler unların gluten maksimum dirençlerinde önemli bir değişime neden olmamıştır ($p>0,05$). İşlem görmemiş yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların gluten maksimum direncinden 15 sn sonraki direnç değerleri sırasıyla 53,50 GPU, 44,00 GPU ve 32,50 GPU olarak bulunmuştur ve termal işlem uygulamaları buğday unlarının gluten maksimum direncinden 15 sn sonraki direnç değerlerinde de önemli bir değişikliğe neden olmamıştır ($p>0,05$). Goldstein vd. (2010) ve Marti vd. (2015b), güçlü unların daha yüksek gluten maksimum direncine sahip olduğunu ve bu direncin daha yavaş azalma gösterdiğini bildirmişlerdir. Gluten maksimum direncinden 15 sn sonra en fazla azalma bisküvilik unda (%28) görülürken; yüksek proteinli ve düşük proteinli unlarda bu azalma %15 ile %25 aralığındadır. Bu sonuç, gluten agregasyon özellikleri açısından diğer un türlerine göre bisküvilik unun daha zayıf özellikte olduğunu göstermektedir (Şekil 3). Ayrıca buğday unlarının gluten maksimum dirençleri ile ham protein ($r=0,812$, $p=0,000$), yaş gluten ($r=0,687$, $p=0,000$) ve sedimantasyon ($r=0,790$, $p=0,000$) değeri arasında istatistiksel olarak önemli, pozitif doğrusal korelasyonlar bulunmaktadır. Buna göre, GlutoPeak cihazı, gluten kalitesinin değerlendirilmesinde klasik metotlara alternatif olarak kullanılabilirliği görülmektedir.

İşlem görmemiş yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların glutenlerinin maksimum direnç gösterdiği süreler sırasıyla 74,50 sn, 85,00 sn ve 111,50 sn'dir (Tablo 8). Termal işlem uygulamaları sonucunda tüm un çeşitlerinin glutenlerinin maksimum direnç gösterdiği süreler önemli oranda azalmıştır ($p<0,05$). Termal işlem görmüş örnekler içerisinde glutenleri en yüksek ve en düşük sürelerde maksimum direnç gösteren unlara ait GlutoPeak grafikleri Şekil 4'te sunulmuştur. Hem kısa hem orta dalga boyunda 1000 W gücünde işlenmiş düşük proteinli unların glutenlerinin maksimum direnç gösterdiği süreler daha düşük güçlerde işlenen örneklerle kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca orta dalga boyunda işlem görmüşlerle kıyaslandığında, kısa dalga boyunda işlenen bisküvilik unların glutenlerinin maksimum direnç gösterdiği süreler daha kısadır. Benzer şekilde irmik örneklerinin gluten agregasyon özelliklerini inceleyen bir çalışmada, kuvvetli gluten yapısına sahip olan örneklerin gluten maksimum direncinin yüksek, maksimum direnç gösterdiği sürenin kısa olduğu görülmüştür (Marti vd., 2013). Ayrıca yumuşak

buğdaylardan elde edilen zayıf unların daha uzun sürede daha düşük gluten maksimum direncine ulaştıkları bildirilmiştir (Lu ve Seetharaman, 2014; Marti vd., 2015a). Buna göre, daha yüksek gluten maksimum direncine sahip olması ve daha kısa sürede gluten maksimum direncine ulaşması sebebiyle tez çalışmasında kullanılan un türleri arasında yüksek proteinli unun daha güçlü olduğu söylenebilir (Şekil 3).

İşlem görmemiş yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların su absorpsiyon değerleri sırasıyla %65,67, %60,79 ve %56,46 olarak belirlenmiştir (Tablo 8). Uygulanan termal işlemler yüksek proteinli ve bisküvilik unların su absorpsiyon değerlerinde önemli bir değişime neden olmazken ($p>0,05$); düşük proteinli ununun su absorpsiyon değerinin önemli düzeyde artmasını sağlamıştır ($p<0,05$). Ancak bu değişim sayısal olarak incelendiğinde, yaklaşık %3 düzeyinde gerçekleşen bu artışın pratikte önemli olmadığı düşünülmektedir. Ayrıca, unların su absorpsiyon değerleri ile gluten maksimum direncinden 15 sn öncesi direnç değerleri ($r=0,763$, $p=0,000$), gluten maksimum dirençleri ($r=0,900$, $p=0,000$), gluten maksimum direncinden 15 sn sonraki direnç değerleri ($r=0,981$, $p=0,000$) ve gluten indeksleri ($r=0,615$, $p=0,000$) arasında istatistiksel olarak önemli, pozitif yönlü doğrusal korelasyonlar bulunmuştur. Böylece unların su absorpsiyon değerlerinin gluten özelliklerinden etkilendiği görülmüştür.

4.6. Nişasta Değerleri

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş buğday unlarının toplam nişasta, zedelenmiş nişasta ve enzime dirençli nişasta içerikleri Tablo 9'da sunulmuştur. İşlem görmemiş yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların toplam nişasta içerikleri sırasıyla %69,39, %72,68 ve %73,06'dır. Benzer şekilde, Fu vd. (2008) de, kuvvetli, orta ve zayıf kalitede glutene sahip unların nişasta içeriklerini sırasıyla %74,5, %76,0 ve %79,8 olarak bulmuşlardır.

Termal ve hidrotermal işlemlerin, yüksek proteinli buğday unlarının toplam nişasta değerlerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunsa da sonuçlar arasında uygulanan işlem türü, dalga boyu ve emitter gücü ile ilişkilendirilebilecek bir değişim gözlenmemiştir

($p<0,05$). Bununla beraber, yüksek proteinli unlar içerisinde orta dalga boyunda 600 W gücünde termal işlem gören örnek en yüksek toplam nişasta içeriğine sahipken, en düşük toplam nişasta içeriği yine aynı koşullarda hidrotermal işlem gören örnekte bulunmuştur. Düşük proteinli ve bisküvilik unlara uygulanan termal ve hidrotermal işlemler ile örneklerin toplam nişasta içerikleri istatistiksel olarak önemli oranda azalmıştır ($p<0,05$). Toplam nişasta içeriğindeki bu azalış düşük proteinli un için %15,77; bisküvilik un için ise %17,14 seviyesinde gerçekleşmiştir. Termal işlem görmüş düşük proteinli unların toplam nişasta içerikleri arasında önemli bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$). Diğer yandan kısa dalga boyunda uygulanan termal işlemlerde emitter gücünün artmasıyla bisküvilik unun toplam nişasta içeriği azalma eğilimi göstermiştir.

Yüksek proteinli ve düşük proteinli unlar ile karşılaştırıldığında bisküvilik unların zedelenmiş nişasta içerikleri önemli oranda daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 9). León vd. (2006) ve Wang vd. (2020), yumuşak buğdayların öğütülmesi esnasında nişastanın zedelenme oranının daha az olduğunu, ayrıca tavlama ve öğütme işlem koşullarının tanedeki zedelenmiş nişasta miktarını belirleyen önemli faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Buna göre bisküvilik un üretiminde kullanılan buğdayların daha yumuşak olması ve bu un çeşidinin farklı firmadan temin edilmiş olması, dolayısıyla farklı koşullarda tavlama ve öğütme işlemi uygulanması, un örneklerinin zedelenmiş nişasta içeriklerinde görülen bu farklılığın nedenleri olabilir.

Yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların zedelenmiş nişasta içeriklerinde termal ve hidrotermal uygulamalar ile istatistiksel olarak önemli değişiklikler gözlenmiştir ($p<0,05$). Yüksek proteinli unda orta dalga boyunda 600 W; düşük proteinli unda ise kısa dalga boyunda 600 W gücünde işlem gören örnekler en yüksek zedelenmiş nişasta içeriği sahiptir ($p<0,05$). Bisküvilik unda ise kısa dalga boyunda 600 W gücündeki işlem diğerlerinden daha düşük zedelenmiş nişasta değeriyle sonuçlanmıştır ($p<0,05$).

Tablo 9

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş unların toplam nişasta (%km), zedelenmiş nişasta (%km) ve enzime dirençli (%km) nişasta değerleri, (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Toplam Nişasta			Zedelenmiş Nişasta			Enzime Dirençli Nişasta		
			Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Termal	Kontrol		69,39±1,95 ABCDE	72,68±3,58 A	73,06±2,63 A	7,60±0,21 ABC	9,22±0,03 AB	3,62±0,10 AB	3,97±0,28 ^A	2,65±0,11 A	1,67±0,02 BC
	Kısa dalga	600	67,24±1,92 ABCDEF	62,83±1,48 AB	64,40±0,46 ABC	7,26±0,40 ABCD	10,21±0,23 A	3,07±0,02 B	3,99±0,17 ^A	2,43±0,03 A	1,62±0,02 BCD
		700	65,20±0,86 BCDEF	61,32±0,95 AB	60,73±1,58 BC	7,83±0,01 AB	8,87±0,28 ABCD	3,50±0,02 AB	3,55±0,10 AB	2,41±0,13 A	1,80±0,06 BC
		800	68,61±0,97 ABCDE	59,55±4,96 AB	59,46±3,31 BC	7,74±0,05 ABC	9,04±0,24 ABC	3,67±0,23 A	3,19±0,22 BC	2,44±0,14 A	1,97±0,13 ABC
		900	66,29±1,85 BCDEF	59,88±0,75 AB	57,53±0,78 BC	7,61±0,16 ABC	8,66±1,33 ABCDE	3,72±0,06 A	3,08±0,05 BC	2,43±0,04 A	1,94±0,12 ABC
		1000	71,83±0,91 ABC	60,77±3,39 AB	55,92±0,00 C	7,98±0,02 A	9,13±0,19 ABC	3,68±0,01 A	2,29±0,22 DEF	2,59±0,14 A	1,99±0,02 ABC
	Orta dalga	600	75,70±0,99 A	65,76±4,40 AB	66,05±0,52 AB	8,15±0,23 A	8,20±0,08 ABCDE	3,76±0,04 A	2,68±0,10 CD	2,25±0,02 A	2,60±0,06 A
		700	72,48±1,88 AB	70,20±2,20 AB	66,44±2,03 AB	7,50±0,16 ABC	8,05±0,25 ABCDE	3,55±0,05 AB	2,53±0,06 CDE	2,22±0,02 A	2,67±0,07 A
		800	71,21±2,21 ABCD	66,63±0,18 AB	66,85±0,66 AB	7,12±0,22 ABCDE	7,76±0,03 ABCDE	3,72±0,04 A	2,55±0,05 CDE	2,22±0,06 A	2,37±0,12 AB
		900	71,08±0,05 ABCDE	66,93±3,67 AB	62,55±0,75 BC	7,94±0,07 A	7,81±0,01 ABCDE	3,70±0,00 A	2,76±0,07 CD	2,35±0,06 A	1,90±0,15 ABC
1000		72,63±0,79 AB	69,79±0,51 AB	65,95±0,05 AB	7,96±0,02 A	7,64±0,01 BCDE	3,72±0,04 A	2,77±0,06 CD	2,28±0,04 A	1,96±0,00 ABC	

Tablo 9'un devamı...

Hidrotermal	Kısa dalga	600	65,10±0,33 BCDEF	62,00±2,70 AB	59,11±4,12 BC	5,83±0,72 EF	7,38±0,04 BCDE	3,70±0,04 A	1,67±0,11 FGH	1,68±0,01 B	1,30±0,23 CDEF
		700	67,62±0,56 ABCDE	65,02±0,27 AB	60,63±1,78 BC	5,79±0,19 EF	7,62±0,04 BCDE	3,38±0,09 AB	1,67±0,00 FGH	1,52±0,02 BC	1,33±0,14 CDEF
		800	62,62±3,57 EF	63,51±3,92 AB	65,72±0,09 AB	5,97±0,17 DEF	7,79±1,01 ABCDE	3,84±0,13 A	1,56±0,22 FGH	1,46±0,27 BC	1,34±0,25 CDEF
		900	64,91±0,28 BCDEF	61,96±1,29 AB	65,01±0,40 ABC	5,47±0,35 F	6,64±0,46 CDE	3,52±0,09 AB	1,58±0,02 FGH	1,54±0,04 BC	1,49±0,21 CDE
		1000	70,56±0,94 ABCDE	59,94±0,88 AB	66,33±0,24 AB	6,56±0,12 BCDEF	7,48±0,34 BCDE	3,45±0,39 AB	1,53±0,02 GH	1,51±0,09 BC	1,36±0,23 CDEF
	Orta dalga	600	58,97±1,52 F	59,10±1,91 AB	61,70±1,17 BC	8,02±0,02 A	6,91±0,07 BCDE	3,61±0,37 AB	1,75±0,02 FGH	1,09±0,03 C	0,86±0,03 DEF
		700	64,99±1,63 BCDEF	56,91±0,10 B	63,83±0,46 ABC	5,45±0,06 F	6,17±0,32 E	3,58±0,27 AB	1,86±0,00 EFG	1,04±0,00 C	0,78±0,15 EF
		800	63,20±0,63 DEF	59,56±2,55 AB	66,72±0,09 AB	5,36±0,08 F	6,24±0,47 E	3,84±0,02 A	1,46±0,17 GH	1,04±0,02 C	0,79±0,16 EF
		900	63,32±1,80 CDEF	64,30±2,49 AB	63,60±0,98 ABC	6,10±0,01 DEF	6,64±0,38 CDE	3,37±0,02 AB	1,22±0,09 GH	1,09±0,02 C	0,83±0,05 EF
		1000	70,77±0,71 ABCDE	64,11±0,29 AB	63,15±2,78 BC	6,41±0,18 CDEF	6,50±0,25 DE	3,64±0,07 A	1,02±0,06 H	1,10±0,04 C	0,58±0,05 F
p		0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p < 0,05$).

Diğer yandan hidrotermal işlem ile yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların zedelenmiş nişasta içerikleri sırasıyla %5,47-8,02; %6,17-7,79 ve %3,37-3,84 aralığında değişmektedir (Tablo 9). Örneklerin zedelenmiş nişasta oranlarındaki değişime, uygulanan hidrotermal işlemlerin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunsa da matematiksel olarak değerlendirildiğinde bu varyasyonun %0,5 ile %2,5 seviyesinde olduğu görülmüştür. Bu nedenle, örneklerin zedelenmiş nişasta oranlarındaki değişim pratikte önemli değildir. Diğer yandan, tez kapsamındaki hidrotermal uygulamalarda, unlara belirlenen miktarda su verildikten sonra, nem içeriğinin dengeye gelebilmesi için örnekler yaklaşık 1 saat bekletilmiştir. Unların zedelenmiş nişasta içeriklerindeki bu varyasyon belirtilen bekletme aşamasında unlarda bulunan amilaz enzim aktivitelerine atfedilebilir. Benzer şekilde, Ovando-Martínez vd. (2013), 120 °C ve 130 °C’de otoklavlanan, 106 °C’de buhar işlemi uygulanan yulaf unlarının zedelenmiş nişasta içeriklerinin amilaz enzim aktivitelerine bağlı olarak azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu görüntülerinde, ısı işlem ile nişasta granüllerinin yapısal bozulmadan ziyade fiziksel olarak yeniden yapılandığı belirlenmiştir.

Yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların enzime dirençli nişasta içerikleri sırasıyla %3,97, %2,65 ve %1,67’dir (Tablo 9). Yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların enzime dirençli nişasta içeriklerine termal ve hidrotermal işlemlerin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Uygulanan termal işlemler, yüksek proteinli unun enzime dirençli nişasta içeriğinin önemli oranda azalmasına neden olmuş; orta dalga boyunda işlem gören örneklerin enzime dirençli nişasta içerikleri kısa dalga boyunda işlem görenlerden daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca, bu un çeşidine kısa dalga boyunda uygulanan termal işlemlerde emitter gücünün artmasıyla örneklerin enzime dirençli nişasta içerikleri azalan bir eğilim sergilemiştir. Diğer yandan, düşük proteinli unun enzime dirençli nişasta içeriğinde termal işlemler ile istatistiksel olarak önemli değişiklikler belirlenmemiştir ($p>0,05$). Termal işlem görmüş bisküvilik unların enzime dirençli nişasta içerikleri ise %1,62 ile %2,67 aralığında değişmektedir. Sonuçlar matematiksel olarak değerlendirildiğinde yaklaşık %1 oranındaki bu varyasyonun tesadüfi hatalardan kaynaklanabileceği ve pratikte önemli olmadığı düşünülmektedir.

Diğer yandan uygulanan hidrotermal işlemler 3 buğday unu çeşidinin de enzime dirençli nişasta içeriğinin önemli oranda azalmasına neden olmuştur ($p < 0,05$). Genel olarak değerlendirildiğinde hidrotermal işlem gören tüm örneklerin enzime dirençli nişasta değerleri %0,58 ile %1,86 aralığında değişmekte olup “Megazyme Enzime Dirençli Nişasta Kiti” için %2’nin altındaki enzime dirençli nişasta miktarlarını belirlemek için uygun hassasiyete sahip olmadığı belirtilmektedir (Megazyme, 2019). Bu nedenle örneklerin enzime dirençli nişasta içeriklerindeki varyasyon tesadüfi hatalardan kaynaklı olup pratikte önemli değildir.

Chen vd. (2015), farklı nem içeriklerine (%15, %25 ve %35) sahip unlara 120 °C’de 24 saat süresince hidrotermal işlem uygulamış ardından örnekleri 40 °C’de 1 gece kurutmuşlardır. Hu vd. (2017) de, %27 neme sahip buğday ununa 140 ve 170 °C’de 1, 2 ve 4 dk boyunca aşırı ısıtılmış buhar uygulamışlardır. İki çalışmada da nişasta yapılarının konfokal lazer tarama mikroskobu ile incelemesiyle, belirtilen hidrotermal işlemlerin unlardaki nişasta granüllerinin bir araya toplanarak, homojen dağılım göstermeyen, küçük nişasta kümelerinin oluşmasına neden olduğu görülmüştür. Ayrıca denatüre olan gluten proteinlerinin nişasta kümelerinin çevresini sardığı da belirlenmiştir. Benzer bir görüntü Ma vd. (2021b) tarafından, 130 °C, 150 °C ve 170 °C’de (1 dk ve 4dk) aşırı ısıtılmış buhar uyguladıkları buğday unlarını (%9,0 protein, %1,2 yağ, %13,1 nem ve %0,52 kül taramalı elektron mikroskobu ve konfokal lazer tarama mikroskobu ile incelediklerinde gözlenmiştir.

Van Steertegem vd. (2013) de, 80 °C ve 100 °C de 2 ve 5 saat süresince termal işlem uyguladıkları unlarda, nişasta granüllerinin etrafının denatüre buğday proteinlerince çevrelendiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, denatüre buğday proteinlerinin oluşturduğu bariyer nedeniyle nişastaya enzim erişiminin engellenebileceğini belirtmişlerdir (Chen vd., 2015; Hu vd., 2017; Van Steertegem vd., 2013). Ayrıca birçok çalışmada, uygulanan ısı işlemlerde nişastanın yapısının yeniden düzenlenmesinin, oluşan nişasta-protein ve nişasta-lipid interaksiyonlarının da enzimlerinin nişastaya erişimini ve hidrolizini etkileyebileceği dolayısıyla örneklerin nişasta özelliklerinde varyasyona neden olabileceği belirtilmiştir (Kim vd., 2008; Martínez vd., 2014; Singh vd., 2010). Diğer yandan unlarda doğal olarak bulunan enzim inhibitörlerinin, endojen proteinlerin ve

örneğin viskozitesinin de analizlerde belirlenen nişasta miktarının değişmesine neden olabileceği bildirilmektedir (Dupuis vd., 2014).

Tez kapsamında buğday unlarının toplam nişasta, zedelenmiş nişasta ve enzime dirençli nişasta değerleri enzim kitleriyle belirlenmiştir. Bu kitlerle gerçekleştirilen analizlerde, mevcut nişasta çeşitli amilaz ve amiloglukozidaz enzimleriyle D-glukoz birimlerine hidroliz edilmekte ve oluşan glukoz miktarı üzerinden örneklerin nişasta özellikleri (toplam nişasta, zedelenmiş nişasta ve enzime dirençli nişasta miktarı) belirlenmektedir. Tez dahilinde uygulanan termal ve hidrotermal işlemler neticesinde unlarda meydana gelen moleküler ve yapısal değişiklikler bu kitlerdeki enzimlerinin nişastaya erişimini ve hidrolizini engelleyebileceği için tespit edilen nişasta miktarlarında varyasyona neden olabilir. Bu varyasyonlar pratikte önemli değildir. Semwal ve Meera (2021) de protein ve nişastanın bir arada bulunduğu tahıl ve bakliyat unlarında, nişasta granüllerinin yüzeyini saran proteinlerin, IR radyasyonun nişasta özelliklerine önemli bir etkisinin olmasını engellediğini belirtmişlerdir.

4.7. Düşme Sayısı Değerleri

Buğday unlarının amilaz aktivitesinin bir göstergesi olan düşme sayısı analizi sonuçları Tablo 10'da gösterilmiştir. İşlem görmemiş bisküvilik buğday ununun düşme sayısı değeri diğer buğday unlarından (yüksek ve düşük proteinli) önemli düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Diğer bir ifadeyle, bisküvilik buğday unu diğer un çeşitlerine kıyasla daha yüksek amilaz enzim aktivitesine sahiptir.

Termal işlem uygulaması ile buğday unlarının düşme sayısı değerlerinde istatistiksel olarak önemli artış meydana gelmiş, dolayısıyla enzim aktiviteleri önemli düzeyde düşmüştür ($p<0,05$). Bisküvilik buğday ununun düşme sayısı değerindeki artış (%15,24), yüksek proteinli (%12,60) ve düşük proteinli (%10,88) unlarından daha fazla olmuştur. Delatte vd. (2019) de, 2 farklı buğday ununa 4 dk boyunca buhar işlemi (ıslak buhar 5-20 L/100 kg un; 95 °C ve 1,5 bar'da) uygulamışlardır. Buhar uygulanmış unların, işlem görmemiş unlara kıyasla daha yüksek düşme sayısı değerlerine sahip olduğu

görülmüştür. Ayrıca hem düşme sayısı değeri hem de enzim aktivitesinin zedelenmiş nişasta içeriği ile benzer bir eğilim gösterdiğini de bulmuşlardır (Delatte vd., 2019). Tez çalışması kapsamında da buğday unlarının düşme sayısı değerleri ile zedelenmiş nişasta içerikleri arasında pozitif ve önemli bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir ($r= 0,847$, $p=0,000$).

Tablo 10

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş unların düşme sayısı değerleri (sn), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Yüksek Proteinli un	Düşük Proteinli un	Bisküvilik un
Termal	Kontrol		358,60±14,60 ^{CDE}	410,43±8,97 ^{BCDE}	270,64±9,95 ^G
	Kısa dalga	600	396,18±0,545 ^{ABC}	415,50±10,50 ^{ABCDE}	301,6±11,00 ^{DEFG}
		700	405,05±3,74 ^{AB}	467,18±5,99 ^A	301,59±7,22 ^{DEFG}
		800	393,60±2,28 ^{ABC}	463,10±10,10 ^{AB}	292,71±9,90 ^{EFG}
		900	400,22±2,87 ^{ABC}	451,40±10,80 ^{ABC}	295,20±13,70 ^{EFG}
		1000	418,36±1,05 ^A	454,30±13,80 ^{ABC}	300,32±9,62 ^{DEFG}
	Orta dalga	600	389,26±5,27 ^{ABC}	463,35±0,00 ^{AB}	291,86±0,97 ^{EFG}
		700	382,89±2,19 ^{ABCD}	452,10±18,30 ^{ABC}	308,20±5,43 ^{DEFG}
		800	371,77±4,24 ^{BCDE}	429,12±6,26 ^{ABCD}	284,29±5,16 ^{EFG}
		900	394,59±8,60 ^{ABC}	455,10±14,60 ^{ABC}	282,72±5,30 ^{FG}
1000		396,29±1,81 ^{ABC}	454,30±13,70 ^{ABC}	311,88±5,74 ^{CDEFG}	
Hidrotermal	Kısa dalga	600	346,36±5,62 ^{DE}	373,00±11,30 ^{EF}	306,50±12,50 ^{DEFG}
		700	343,21±2,77 ^{DE}	387,54±4,80 ^{DEF}	335,56±7,63 ^{ABCDE}
		800	345,86±1,67 ^{DE}	392,08±3,31 ^{DEF}	327,00±14,20 ^{BCDEF}
		900	338,80±14,60 ^E	401,03±3,74 ^{CDE}	327,30±11,80 ^{BCDEF}
		1000	389,49±7,61 ^{ABC}	404,81±3,07 ^{CDE}	348,10±5,63 ^{ABCD}
	Orta dalga	600	369,10±3,54 ^{BCDE}	392,93±17,90 ^{DEF}	307,92±7,72 ^{DEFG}
		700	360,50±10,10 ^{CDE}	339,49±2,65 ^F	301,00±10,80 ^{DEFG}
		800	369,22±4,81 ^{BCDE}	366,89±4,48 ^{EF}	362,13±3,91 ^{ABC}
		900	368,86±8,07 ^{BCDE}	380,73±1,53 ^{DEF}	377,66±3,99 ^{AB}
		1000	373,00±15,10 ^{BCDE}	383,89±0,56 ^{DEF}	383,00±11,50 ^A
<i>p</i>			0,000	0,000	0,000

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Hidrotermal uygulamanın buğday unlarına etkisi ise un çeşidine ve işlem koşullarına göre değişmiştir. Yüksek proteinli buğday ununa yüksek güçte (1000 W)

uygulanan işlem haricinde kısa dalga boyunda uygulanan diğer işlemler, bu unun düşme sayısının azalmasına; orta dalga boyunda uygulanan tüm işlemler ise düşme sayısını artmasına neden olmuştur (Tablo 10). Cetiner vd. (2017), Bayraktar 2000 ve Tosunbey çeşidi ekmeklik buğdaylardan elde etikleri unların düşme sayısı değerlerini sırasıyla 331 sn ve 521 sn olarak bulmuşlardır. Buğday unlarına farklı nem (%13 ile %19 nem aralığında) ve sıcaklık (55 °C ile 95 °C aralığında) değerlerinde uyguladıkları ısı işlemler sonucu örneklerin düşme sayısı değerlerinin hem nem hem de sıcaklık değerlerine bağlı olarak 257-435 sn (Bayraktar 2000) ve 447-584 sn (Tosunbey) aralıklarında değiştiğini bildirmişlerdir.

Hidrotermal işlem uygulaması düşük proteinli buğday ununun düşme sayısının azalmasıyla sonuçlanmıştır. Bucsella vd. (2016), ekmek ve kek unu örneklerine 96 °C'de 5 dk süresince hidrotermal işlem uygulamasının düşme sayısı değerini azalttığını bildirmişlerdir. Hu vd. (2017) de, başlangıç nem içeriği %27 olan buğday ununa aşırı ısıtılmış buhar uyguladıkları çalışmada, sıcaklığın ve sürenin artması ile düşme sayısı değerinin azaldığını bulmuşlardır. Araştırmacılar, ısı işlem ile nişasta granüllerinin değişen şişme davranışları ve hızlı ısınmaya daha dayanıklı olmaları nedeniyle düşme sayılarının azaldığını bildirmişlerdir (Bucsella vd., 2016; Hu vd., 2017). Bununla birlikte, Delatte vd. (2019)'ne göre de düşme sayısı değeri, işlemler sırasında nişasta granüllerinin modifikasyonlarından ve nişastanın diğer bileşenlerle etkileşimden de etkilenebilmektedir.

Hidrotermal uygulamalarla bisküvilik buğday ununun düşme sayısında önemli bir artış olmakla birlikte, bu artış (%41,52) termal işleme kıyasla daha fazladır (Tablo 10). Sudha vd. (2016) ise, farklı protein içeriklerine sahip ekmeklik buğday ununa uygulanan termal ve hidrotermal işlem sonucunda, termal işlem uygulanmış örneklerin düşme sayıları hidrotermal işlem uygulananlara göre daha yüksek tespit edilmiş, dolayısıyla amilaz enziminin inaktivasyonunda termal işlemin daha etkili olduğu bildirilmiştir.

4.8. Solvent Tutma Kapasitesi Değerleri

Solvent tutma kapasitesi değerleri ile polimer yapıdaki un bileşenlerinin (gluten, zedelenmiş nişasta ve pentozan) çözünürlükleri ve bu bileşenlerin unun fonksiyonel özelliklerine katkıları hakkında bilgi edinilmektedir. Unda bulunan polimerik yapıdaki 3 bileşenin her biri suda hidrate olup şişebildiği için, solvent tutma kapasitesi analizinde referans solvent “su”dur. Diğer solventler (sükroz, laktik asit ve sodyum karbonat) ise polimerik un bileşenleri için spesifiktir ve her bir polimerik bileşen kendi spesifik solventini sudan daha fazla bağlayabilmektedir (Duyvejonck vd., 2012; Kweon vd., 2011). Yapılan çalışmalarda, sükroz solvent tutma kapasitesinin (sükroz-STK), unun pentozan ve gliadin içeriği; laktik asit solvent tutma kapasitesinin (laktik asit-STK), glutenin içeriği; sodyum karbonat solvent tutma kapasitesinin (sodyum karbonat-STK), zedelenmiş nişasta içeriği ve su solvent tutma kapasitesinin (su-STK) ise unun bu 4 bileşeni ile ilgili olduğu belirtilmiştir (Guttieri vd., 2001).

Literatüre göre 1 g gluten, 2,8 g su tutabilirken; gluten dışındaki diğer buğday proteinlerinin tuttuğu su ihmal edilebilir düzeydedir. Doğal buğday nişastasını kendi ağırlığının 0,30-0,45 katı su tutabilirken; zedelenmiş nişasta 1,5-2,0 katı; jelatinize olmuş nişasta 10 katı su tutabilmektedir. Ayrıca iyi düzeyde su tutma kapasitesine sahip olan buğday pentozanları da kendi ağırlıklarının 10 katı kadar suyu tutabilmektedir (Guttieri vd., 2001). İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş unların su-STK değerleri Tablo 11’de sunulmuştur. İşlem görmemiş bisküvilik un örneğinin su-STK değeri, yüksek proteinli ve düşük proteinli unların su-STK değerlerinden önemli düzeyde daha düşüktür ($p<0,05$). Benzer şekilde, Guttieri vd. (2001) tarafından da bisküvi ve kraker yapımında kullanılan zayıf unların su tutma kapasitelerinin düşük olduğu belirtilmiştir. Termal işlemler buğday unlarının su-STK değerlerinin önemli düzeyde artmasına neden olmuştur ($p<0,05$). Düşük proteinli (%9,12) ve bisküvilik (%8,12) unlara kıyasla yüksek proteinli unda (%6,25) bu artış daha düşük oranda olmuştur. Diğer yandan, buğday unlarının su-STK değerlerinde uygulanan termal işlemlerin dalga boyu ve emitter gücü ile ilişkilendirilebilir bir değişim belirlenmemiştir.

Tablo 11

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin su-STK değerleri (%), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	
Termal	Kontrol		77,33±0,61 ^{CDE}	77,76±0,12 ^C	66,84±0,10 ^G	
	Kısa dalga	600	80,88±0,16 ^{BCDE}	83,41±0,35 ^{ABC}	71,56±0,60 ^{FG}	
		700	79,95±2,69 ^{BCDE}	84,81±1,04 ^{ABC}	72,70±0,63 ^{DEF}	
		800	80,01±0,17 ^{BCDE}	83,47±2,08 ^{ABC}	70,82±0,22 ^{FG}	
		900	81,62±0,40 ^{ABCDE}	86,57±1,19 ^A	72,20±0,86 ^{EF}	
		1000	82,03±0,65 ^{ABCD}	82,39±0,75 ^{ABC}	74,96±0,51 ^{DEF}	
	Orta dalga	600	80,69±0,26 ^{BCDE}	85,93±0,13 ^{AB}	71,06±0,23 ^{FG}	
		700	81,50±0,78 ^{ABCDE}	84,56±0,62 ^{ABC}	72,48±0,13 ^{EF}	
		800	82,52±1,93 ^{ABC}	83,69±0,39 ^{ABC}	72,05±0,32 ^{EF}	
		900	83,58±0,24 ^{AB}	86,88±0,49 ^A	72,27±0,30 ^{EF}	
		1000	81,90±0,62 ^{ABCD}	86,59±0,32 ^A	71,68±0,45 ^{FG}	
	Hidrotermal	Kısa dalga	600	76,37±1,20 ^{DE}	78,35±2,84 ^C	73,35±0,34 ^{DEF}
			700	79,15±0,81 ^{BCDE}	80,32±1,19 ^{ABC}	74,94±1,17 ^{DEF}
			800	82,87±0,96 ^{ABC}	78,78±2,22 ^{BC}	81,34±1,76 ^{ABC}
900			81,18±0,28 ^{BCDE}	80,79±2,43 ^{ABC}	77,51±1,38 ^{BCD}	
1000			87,04±0,55 ^A	83,11±1,58 ^{ABC}	81,70±1,57 ^{AB}	
Orta dalga		600	76,01±0,14 ^E	78,15±0,51 ^C	72,13±1,05 ^{EF}	
		700	76,36±0,15 ^{DE}	81,89±0,91 ^{ABC}	74,62±0,60 ^{DEF}	
		800	77,57±1,62 ^{CDE}	78,28±0,35 ^C	76,69±0,42 ^{CDE}	
		900	83,85±1,03 ^{AB}	78,79±1,47 ^{BC}	76,93±1,59 ^{BCDE}	
		1000	84,62±1,20 ^{AB}	82,92±0,73 ^{ABC}	82,57±0,26 ^A	
<i>p</i>			0,000	0,000	0,000	

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Uygulanan tüm hidrotermal işlemlerde düşük proteinli ve bisküvilik unların su-STK değerleri artarken; yüksek proteinli un da ise sadece yüksek güçlerde uygulanan işlemler örneklerin su-STK değerlerinde önemli bir artışa neden olmuştur ($p<0,05$) (Tablo 11). Hidrotermal işlem, bisküvilik unun su-STK değerlerinde (%15,73), yüksek proteinli (%9,71) ve düşük proteinli (%5,35) una göre daha fazla bir artışla sonuçlanmıştır. Yüksek proteinli una hem kısa hem orta dalga boyunda uygulanan işlemlerde, emitter gücünün artmasıyla beraber örneklerin su-STK değerleri de artan bir eğilim sergilemiştir.

Diğer yandan buğday unlarının su-STK değerleri ile zedelenmiş nişasta içerikleri arasında önemli bir pozitif korelasyon ($r=0,704$, $p=0,000$) gözlenmiş ve bu durum zedelenmiş nişastanın kendi ağırlığının 1,5-2,0 katı su tutabilmesine atfedilmiştir.

Tablo 12

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin sükroz-STK değerleri (%), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	
Termal	Kontrol		111,82±1,33 ^{BCDE}	110,94±0,53 ^{BCDE}	111,07±1,16 ^{EF}	
	Kısa dalga	600	122,88±1,25 ^{AB}	119,37±0,39 ^{AB}	119,79±0,05 ^B	
		700	123,39±2,14 ^{AB}	121,38±0,61 ^A	120,75±0,15 ^{AB}	
		800	121,80±0,13 ^{AB}	121,48±1,83 ^A	118,78±0,43 ^B	
		900	124,02±0,30 ^A	122,73±0,78 ^A	124,39±1,64 ^A	
		1000	123,47±1,74 ^{AB}	119,36±2,83 ^{AB}	120,15±0,37 ^{AB}	
	Orta dalga	600	120,18±1,17 ^{AB}	118,90±0,25 ^{ABC}	116,91±0,27 ^{BC}	
		700	120,40±0,08 ^{AB}	121,14±1,24 ^A	117,30±0,00 ^{BC}	
		800	121,45±1,44 ^{AB}	119,23±1,04 ^{AB}	117,05±0,51 ^{BC}	
		900	122,56±0,94 ^{AB}	122,55±0,00 ^A	118,91±0,33 ^B	
		1000	120,89±7,91 ^{AB}	121,09±1,74 ^A	116,50±1,10 ^{BCD}	
	Hidrotermal	Kısa dalga	600	104,03±1,35 ^{CDE}	109,19±3,14 ^{CDEF}	104,83±0,65 ^{HI}
			700	107,19±0,76 ^{CDE}	106,36±1,44 ^{DEF}	106,57±0,61 ^{GHI}
			800	112,80±1,98 ^{ABCDE}	102,18±2,31 ^{EF}	113,16±0,39 ^{CDE}
			900	114,04±0,64 ^{ABCD}	108,53±2,91 ^{DEF}	110,67±0,06 ^{EFG}
1000			115,82±0,71 ^{ABC}	114,09±2,93 ^{ABCD}	116,57±0,99 ^{BCD}	
Orta dalga		600	101,58±0,00 ^E	99,61±0,99 ^F	103,19±0,69 ^I	
		700	102,71±1,56 ^{DE}	106,10±1,02 ^{DEF}	105,31±1,51 ^{HI}	
		800	102,11±0,75 ^E	103,75±0,85 ^{EF}	107,35±0,10 ^{FGHI}	
		900	112,44±1,46 ^{ABCDE}	105,22±0,54 ^{DEF}	108,18±0,18 ^{FGH}	
		1000	112,34±0,32 ^{ABCDE}	109,39±2,26 ^{CDE}	112,56±0,94 ^{DE}	
<i>p</i>			0,000	0,000	0,000	

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Nötr pH değerine sahip sükroz çözeltisi, arabinoksilanların ksilan yapısı için iyi bir çözücü olup, arabinoksilanların şişmesini arttırmaktadır (Kweon vd., 2011). İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş unların sükroz-STK değerleri Tablo 12’de sunulmuştur. Yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik un örneklerinin sükroz-STK

değerleri sırasıyla %111,82, %110,94 ve %111,07 olarak bulunmuştur. Termal işlem uygulaması ile tüm un çeşitlerinin sükroz-STK değerleri istatistiksel olarak önemli düzeyde artmıştır (yaklaşık %12-13) ($p<0,05$). Tüm un çeşitlerinde, en yüksek sükroz-STK değeri kısa dalga boyunda 900 W gücünde işlenen örneklerde gözlenmiştir ($p<0,05$).

Unların sükroz-STK değerlerine, hidrotermal işlemin etkisi de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 12). Hidrotermal işlem gören tüm buğday unu çeşitleri için en düşük sükroz-STK değeri orta dalga boyunda 600 W gücünde; en yüksek sükroz-STK değeri ise kısa dalga boyunda 1000 W gücünde işlenen örneklerde tespit edilmiştir ($p<0,05$). Yüksek proteinli ve bisküvilik unlara uygulanan hidrotermal işlemlerde emitter gücünün artması ile örneklerin sükroz-STK değerleri artan bir eğilim sergilemiştir. Diğer yandan, düşük proteinli unların sükroz-STK değerlerinde uygulanan hidrotermal işlemin dalga boyu ve emitter gücü ile ilişkilendirilebilir bir değişim belirlenememiştir.

Analizde kullanılan laktik asit çözeltisinin pH değeri yaklaşık 2'dir. Bu asidik pH, fermantasyon esnasında laktik asit bakterilerinin gluteninlerin üzerindeki etkisini taklit etmektedir (Kweon vd., 2011). Yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik un örneklerinin laktik asit-STK değerleri Tablo 13'de sunulmuştur. Laktik asit-STK değerlerine göre işlem görmemiş unlar şu şekilde sıralanabilir: yüksek proteinli un > bisküvilik un > düşük proteinli un. Termal işlem görmüş yüksek proteinli unların laktik asit-STK değerleri %127,29-135,67; düşük proteinli unların laktik asit-STK değerleri %114,19-118,89; bisküvilik unların laktik asit-STK değerleri %117,82-124,82 aralığında değişmiştir. Termal işlemin etkisi açısından değerlendirildiğinde örneklerin laktik asit-STK değerleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar olmasına rağmen, varyasyonların dalga boyu ve emitter gücü faktörleri ile ilişkili olmadığı ve tesadüfi hatadan kaynaklandığı belirlenmiştir.

Tablo 13

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin laktik asit-STK değerleri (%), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Termal	Kontrol		128,99±1,67 ^A	110,77±0,82 ^{BC}	120,29±1,83 ^A
	Kısa dalga	600	135,67±2,34 ^A	114,19±1,37 ^{AB}	123,70±2,39 ^A
		700	133,82±0,14 ^A	117,01±1,17 ^{AB}	124,78±0,03 ^A
		800	134,60±1,55 ^A	116,10±0,15 ^{AB}	124,01±1,32 ^A
		900	134,14±0,12 ^A	118,89±2,26 ^A	124,24±2,31 ^A
		1000	130,49±0,05 ^A	116,05±0,66 ^{AB}	124,82±0,22 ^A
	Orta dalga	600	128,28±5,85 ^{AB}	118,77±0,92 ^{AB}	122,37±0,50 ^A
		700	127,29±0,87 ^{ABC}	118,65±0,50 ^{AB}	123,15±0,31 ^A
		800	133,01±0,70 ^A	115,51±0,44 ^{AB}	123,05±0,60 ^A
		900	133,11±1,84 ^A	118,59±0,33 ^{AB}	122,93±0,54 ^A
1000		133,76±0,22 ^A	118,82±0,90 ^{AB}	117,82±3,28 ^{AB}	
Hidrotermal	Kısa dalga	600	112,29±0,62 ^D	99,39±1,83 ^D	105,18±1,38 ^{CD}
		700	114,27±0,08 ^D	99,93±1,65 ^D	106,16±0,32 ^{CD}
		800	117,11±0,20 ^D	97,33±2,56 ^D	110,72±0,54 ^{BC}
		900	117,60±0,43 ^D	102,68±3,37 ^D	106,39±1,11 ^{CD}
		1000	117,70±0,47 ^D	105,01±0,58 ^{CD}	104,46±0,24 ^{CD}
	Orta dalga	600	117,19±1,89 ^D	99,23±0,92 ^D	103,48±0,28 ^D
		700	114,18±0,51 ^D	100,41±0,20 ^D	105,09±0,93 ^{CD}
		800	115,03±0,56 ^D	99,02±1,21 ^D	104,34±0,52 ^{CD}
		900	119,67±0,55 ^{BCD}	100,94±1,71 ^D	103,30±0,31 ^D
		1000	118,87±0,58 ^{CD}	103,17±0,46 ^{CD}	106,30±0,31 ^{CD}
<i>p</i>			0,000	0,000	0,000

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Hidrotermal işlem ile buğday proteinleri denatüre olduğu için unların laktik asit-STK değerleri önemli düzeyde azalmıştır ($p<0,05$) (Tablo 13). Düşük proteinli unun laktik asit-STK değerindeki azalma (%13,44), yüksek proteinli (%16,70) ve bisküvilik (%16,99) unlardakinden daha düşük olmuştur. Laktik asit-STK değerlerindeki azalma, glutenin şişmesindeki ve gluten kalitesindeki azalma ile ilişkilidir (Kaur vd., 2014). Bu bağlamda, buğday unlarının laktik asit-STK değerlerindeki azalma, hidrotermal işlemlerden dolayı gluten işlevselliğinin kaybını göstermektedir. Bu durumu destekler şekilde tez kapsamında hidrotermal işlem görmüş örneklerin yaş glutenleri ekstrakte edilememiş ve GlutoPeak analizleri gerçekleştirilememiştir. Ayrıca buğday unlarının laktik asit-STK değerleri ile

ham protein içerikleri ($r=0,908$, $p=0,000$) ve sedimantasyon değerleri ($r=0,853$, $p=0,000$) arasında istatistiksel olarak önemli pozitif ve kuvvetli bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle buğday unlarının protein/gluten değerleri ve kaliteleri azaldığında, laktik asit-STK değerleri de azalmaktadır.

Sodyum karbonat çözeltisinin pH değeri yaklaşık 12'dir. Nişastanın hidroksil gruplarının pK değerlerinin üzerinde olan bu yüksek alkali pH değerinde, zedelenmiş nişasta kolayca çözünebilmekte ve şişebilmektedir (Kweon vd., 2011). İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin sodyum karbonat-STK değerleri Tablo 14'de gösterilmiştir. Yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik un örneklerinin sodyum karbonat-STK değerleri sırasıyla %88,80, %95,21 ve %82,79 olarak bulunmuştur. Zedelenmiş nişasta sonuçlarına benzer şekilde, işlem görmemiş örnekler arasında en düşük sodyum karbonat-STK değeri bisküvilik unda gözlenmiştir ($p<0,05$). Termal işlem uygulaması, buğday unlarının sodyum karbonat-STK değerlerinin istatistiksel olarak önemli düzeyde artmasına neden olmuştur ($p<0,05$). Bununla birlikte, dalga boyuna ve emitter gücüne bağlı olarak, yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik unların sodyum karbonat-STK değerlerindeki artış sırasıyla %11,21, %12,56 ve %9,32 seviyesine ulaşmıştır. Kısa dalga boyunda termal işlem gören yüksek proteinli ve bisküvilik unların sodyum karbonat-STK değeri, orta dalga boyunda işlem görmüş örneklerinkinden daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Diğer yandan, düşük proteinli unların sodyum karbonat-STK değerleri arasında dalga boyuna ve emitter gücüne bağlı olarak önemli bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$).

Hidrotermal işlemlerin buğday unlarının sodyum karbonat-STK değerleri üzerine etkisi un çeşidine ve emitter gücüne göre değişmiştir. Yüksek proteinli ve bisküvilik unlara düşük emitter güçlerinde (600 W ve 700 W) uygulanan işlemler örneklerin sodyum karbonat-STK değerlerinin azalmasına; yüksek emitter güçlerinde uygulanan işlemler ise artmasına neden olmuştur. Düşük proteinli unda ise tüm hidrotermal işlemler sonrası örneklerin sodyum karbonat-STK değerleri azalmıştır. Ayrıca, orta dalga boyunda işlenmiş örneklerin sodyum karbonat-STK değerleri kısa dalga boyunda işlenmiş örneklerinkinden daha düşüktür ($p<0,05$). Tüm un çeşitlerinde, kısa ve orta dalga boylarında 1000 W

gücünde işlem gören unlar, hidrotermal işlem görmüş numuneler arasında en yüksek sodyum karbonat-STK değerlerine sahiptir ($p<0,05$).

Ayrıca tez kapsamında incelenen buğday unlarının sodyum karbonat-STK değerleri ile zedelenmiş nişasta içerikleri arasında pozitif ve önemli bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir ($r= 0,754$, $p= 0,000$). Bu sonuç, Guttieri vd. (2001)'nin belirttiği şekilde sodyum karbonat-STK değerinin örneğin zedelenmiş nişasta içeriği ile ilgili olduğunu destekler niteliktedir.

Tablo 14

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin sodyum karbonat-STK değerleri (%), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	
Termal	Kontrol		88,80±0,48 ^{DEF}	95,21±0,33 ^B	82,79±0,38 ^{DEFGH}	
	Kısa dalga	600	99,00±0,27 ^A	104,17±1,62 ^A	91,79±2,58 ^A	
		700	99,72±0,81 ^A	105,72±1,04 ^A	90,08±0,329 ^{AB}	
		800	98,27±0,20 ^{AB}	103,99±1,68 ^A	91,03±0,19 ^{AB}	
		900	99,50±0,64 ^A	107,77±1,31 ^A	91,47±0,94 ^A	
		1000	100,01±0,13 ^A	103,55±1,22 ^A	92,18±2,31 ^A	
	Orta dalga	600	97,66±1,10 ^{AB}	104,26±0,03 ^A	87,36±0,82 ^{ABCDEF}	
		700	97,46±0,08 ^{AB}	106,06±0,30 ^A	88,43±1,68 ^{ABCDE}	
		800	98,16±1,16 ^{AB}	102,37±0,46 ^A	89,52±1,06 ^{ABC}	
		900	99,20±1,46 ^A	104,95±0,74 ^A	87,38±0,02 ^{ABCDEF}	
		1000	98,08±0,17 ^{AB}	104,35±0,15 ^A	88,76±0,98 ^{ABCD}	
	Hidrotermal	Kısa dalga	600	84,26±0,69 ^F	89,33±2,21 ^{BCD}	79,74±0,75 ^{GH}
			700	87,40±0,94 ^{EF}	91,63±2,31 ^{BCD}	80,84±0,11 ^{FGH}
			800	93,34±1,87 ^{BCD}	91,65±0,47 ^{BCD}	85,93±1,14 ^{ABCDEF}
			900	93,50±0,73 ^{BCD}	91,15±1,70 ^{BCD}	84,53±2,16 ^{BCDEFGH}
1000			95,17±0,07 ^{ABC}	93,69±0,73 ^{BC}	87,30±0,15 ^{ABCDEF}	
Orta dalga		600	85,43±0,70 ^{EF}	85,07±0,69 ^D	78,58±0,40 ^H	
		700	84,75±0,45 ^F	87,68±0,36 ^{CD}	81,76±0,50 ^{EF}	
		800	85,37±1,23 ^{EF}	86,17±0,24 ^D	82,69±1,19 ^{DEFGH}	
		900	93,18±1,80 ^{BCD}	84,76±1,65 ^D	83,21±0,64 ^{CDEFGH}	
		1000	90,55±0,50 ^{CDE}	88,63±1,57 ^{BCD}	87,11±1,06 ^{ABCDEF}	
<i>p</i>			0,000	0,000	0,000	

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Van Steertegem vd. (2013), kek ununa uyguladıkları termal işlem (80 °C ve 100 °C’de, 2 ve 5 saat) ile örneklerin su-STK (%55,6’dan %62,4’e) ve süzkroz-STK (%85,0’dan %113,5’e) değerlerinin artırdığını, laktik asit-STK değerlerinin ise (%113,1’dan %97,4’e) azalttığını bulmuşlardır. Öte yandan, belirtilen ısıl işlemlere tabi tutulan numunelerin sodyum karbonat-STK değerlerinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Benzer şekilde Keppler vd. (2018) de, 110-200°C arasındaki sıcaklıklarda farklı sürelerde (1-30 dk) konveksiyon fırınında uygulanan ısıl işlemler ile buğday unlarının su-STK, süzkroz-STK ve sodyum karbonat-STK değerlerinin arttığını bulmuştur. Ancak numunelerin laktik asit-STK değeri kısa işlem sürelerinde (1-5 dk) yükselmiş ve daha uzun işlem sürelerinde ise kademeli olarak azalmıştır.

Sonuç olarak, tez kapsamında uygulanan termal ve hidrotermal işlemler nedeniyle buğday unlarının polimerik yapıdaki bileşenlerinin (gluten, zedelenmiş nişasta ve pentozan) yapısında ve moleküler etkileşimlerinde meydana gelen değişimleri örneklerin solvent tutma kapasitelerinin de değişmesine neden olmuştur. Bu değişimlerin hem buğday unu çeşidine hem de işlem koşullarına bağlı olduğu gözlenmiştir.

4.9. Mikro Visko-Amilograf Değerleri

Mikro Visko-Amilograf cihazında, jelatinizasyon ve retrogradasyon sırasında nişastanın granüller yapısındaki değişiklikler ve nişasta ile protein ve lipid gibi diğer un bileşenleri arasındaki etkileşimler incelenmektedir (Delatte vd., 2019). İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin Mikro Visko-Amilograf cihazı ile belirlenen jelatinizasyon özellikleri Tablo 15, Tablo 16 ve Tablo 17’de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5’te işlem görmemiş unların Mikro Visko-Amilograf grafikleri gösterilmiştir. Termal ve hidrotermal işlem görmüş unların grafikleri ise EK 2, EK 3 ve EK 4’de sunulmuştur.

Tablo 15

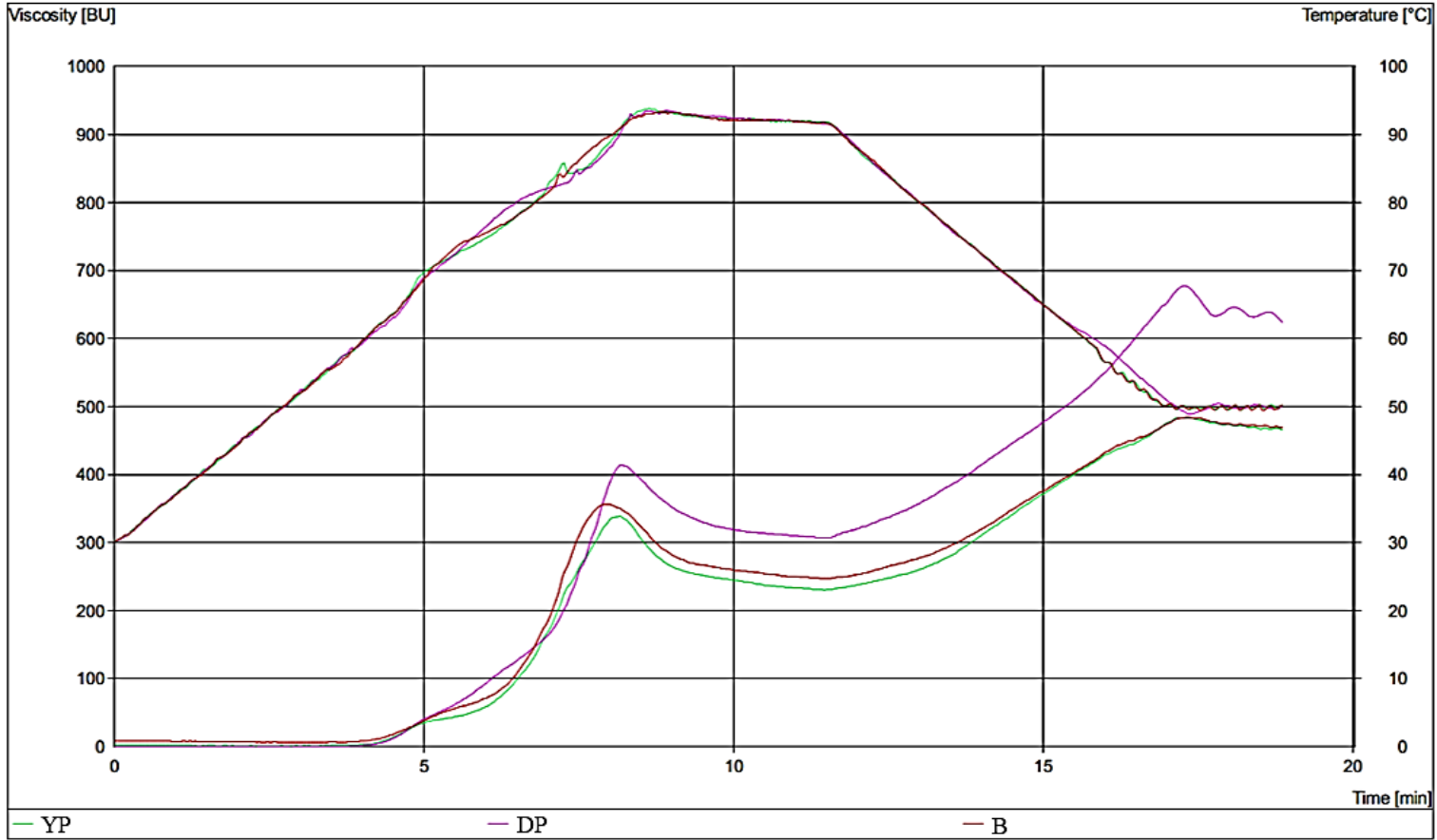
İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin jelatinizasyon başlangıç ve maksimum viskozite sıcaklığı (°C), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Jelatinizasyon başlangıç sıcaklığı			Maksimum viskozite sıcaklığı		
			Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Termal	Kontrol		63,55±0,05 E	63,25±0,15 D	63,45±0,05 D	90,45±0,35 CDE	89,70±0,40	89,50±0,20 F
		600	63,05±0,05 E	62,65±0,25 D	63,45±0,15 D	90,75±0,25 BCDE	90,25±0,75	89,90±0,30 DEF
	Kısa dalga	700	63,05±0,05 E	62,65±0,05 D	63,15±0,25 D	90,20±0,00 DE	90,55±0,75	89,90±0,10 DEF
		800	62,6±0,10 E	63,15±0,25 D	63,25±0,15 D	90,30±0,20 CDE	90,40±0,20	90,10±0,10 CDEF
		900	63,05±0,45 E	62,60±0,20 D	63,10±0,40 D	90,45±0,05 CDE	90,35±0,15	89,55±0,15 F
		1000	62,65±0,45 E	62,90±0,30 D	63,30±0,00 D	90,65±0,05 BCDE	90,95±0,65	90,00±0,20 CDEFG
	Orta dalga	600	62,90±0,10 E	62,55±0,05 D	63,10±0,10 D	89,80±0,30 E	89,90±0,20	90,15±0,15 BCDEF
		700	62,75±0,15 E	62,10±0,50 D	63,35±0,05 D	90,40±0,10 CDE	91,15±0,55	89,80±0,00 EF
		800	63,05±0,25 E	62,65±0,15 D	63,05±0,15 D	89,75±0,35 E	90,65±1,45	90,00±0,10 CDEFG
		900	62,85±0,05 E	62,60±0,30 D	63,20±0,00 D	90,65±0,45 BCDE	90,10±0,50	89,80±0,10 EF
1000		62,75±0,15 E	62,50±0,00 D	63,35±0,05 D	90,45±0,15 CDE	90,25±0,75	90,05±0,45 CDEF	
Hidrotermal		Kısa dalga	600	67,60±0,30 BCD	66,60±0,60 ABC	67,25±0,05 C	92,25±0,05 AB	91,70±0,30
	700		68,35±0,05 ABC	66,35±0,15 ABC	67,70±0,10 ABC	92,15±0,35 AB	90,95±0,15	91,15±0,05 ABCDE
	Orta dalga	800	68,45±0,15 ABC	67,60±0,20 AB	68,20±0,30 ABC	92,50±0,20 A	92,05±0,05	91,40±0,10 ABC
		900	69,20±0,10 AB	67,65±0,05 A	68,15±0,15 ABC	92,75±0,15 A	91,55±0,15	91,00±0,50 ABCDE
		1000	69,50±0,90 A	67,90±0,30 A	68,60±0,10 A	92,55±0,35 A	92,05±0,35	92,00±0,10 A
		600	66,10±0,40 D	66,00±0,20 C	67,30±0,10 C	90,80±0,20 BCDE	91,60±0,10	91,30±0,40 ABCD
	Orta dalga	700	67,05±0,05 CD	66,05±0,35 BC	67,50±0,20 BC	91,40±0,50 ABCDE	91,10±0,30	91,10±0,00 ABCDE
		800	67,70±0,00 ABCD	66,35±0,05 ABC	67,90±0,20 ABC	91,95±0,55 ABC	90,90±0,20	90,90±0,00 ABCDEF
		900	67,50±0,60 BCD	66,40±0,40 ABC	68,10±0,20 ABC	92,60±0,40 A	91,35±0,05	91,65±0,050 A
		1000	67,60±0,30 BCD	66,75±0,35 ABC	68,40±0,30 AB	91,55±0,15 ABCD	91,25±0,25	91,55±0,05 AB
<i>p</i>			0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,000

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

İşlem görmemiş yüksek proteinli (63,55 °C), düşük proteinli (63,25 °C) ve bisküvilik (63,45 °C) buğday unlarının jelatinizasyon başlangıç sıcaklıkları oldukça benzer bulunmuştur (Tablo 15). Buğday unlarının jelatinizasyon başlangıç sıcaklıklarında termal işlem uygulaması ile istatistiksel olarak önemli değişiklikler gözlenmemiştir ($p>0,05$). Hidrotermal işlem ise, tüm buğday unlarının jelatinizasyon başlangıç sıcaklıklarında istatistiksel olarak önemli ölçüde bir artışa neden olmuştur ($p<0,05$). Hem kısa hem de orta dalga boyunda düşük IR güçlerinde (600 W ve 700 W) işlenen örnekler ile karşılaştırıldığında, yüksek IR güçlerinde (800 W, 900 W ve 1000 W) işlenen buğday unlarının daha yüksek jelatinizasyon başlangıç sıcaklıklarına sahip olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Ayrıca, kısa dalga boyunda 1000 W gücünde uygulanan hidrotermal işlem, tüm buğday unu çeşitlerinin jelatinizasyon başlangıç sıcaklığında en yüksek artışa neden olmuştur (%7,35 ile %9,36 aralığında). Jelatinizasyon başlangıç sıcaklığındaki bu artış, hidrotermal işlem ile nişasta yapısının yeniden düzenlenmesi sonucu granüldeki kristal bölgenin artışına atfedilebilir. Ayrıca, hidrotermal işlem sırasında nişasta-protein etkileşimleri ile nişasta zincirleri arasında oluşan etkileşimler, jelatinizasyon başlangıç sıcaklığındaki bu artışın diğer bir nedeni olabilir (Chen vd., 2015; Sun vd., 2014).

İşlem görmemiş yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unlarının maksimum viskozite sıcaklıkları sırasıyla 90,45 °C, 89,70 °C ve 89,50 °C olarak bulunmuştur (Tablo 15). Termal ve hidrotermal uygulamalar ile birlikte yüksek proteinli ve bisküvilik buğday unlarının maksimum viskozite sıcaklıklarındaki değişim istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p<0,05$); düşük proteinli undaki değişimler ise önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Ancak, buğday unlarının maksimum viskozite sıcaklıklarında işlem parametreleri ile ilişkilendirilebilir değişimler gözlenmeyip, matematiksel olarak değerlendirildiğinde 2,5-3,0 °C aralığındaki bu değişimlerin tesadüfi hatadan kaynaklı olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 5. İşlem görmemiş un örneklerinin Mikro Visko-Amilograf grafikleri*

*YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un.

İşlem görmemiş düşük proteinli buğday ununun maksimum viskozitesi, yüksek proteinli ve bisküvilik unlara göre daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 16) (Şekil 5). Termal işlem ile yüksek proteinli unun maksimum viskozite değerinde %15 seviyesine ulaşan önemli bir artış meydana gelmiştir ($p<0,05$). Termal işlem gören düşük proteinli ve bisküvilik unların maksimum viskoziteleri ise sırasıyla 401,00-438,00 BU ve 331,00-351,00 BU aralığında değişmektedir. Bununla birlikte, örneklerin maksimum viskozitelerinde dalga boyu ve emitter gücü ile ilişkilendirilebilir tutarlılıkta bir değişim bulunmamıştır. Tüm buğday unu çeşitlerinin maksimum viskoziteleri ise hidrotermal işlem ile önemli düzeyde artmıştır ($p<0,05$) (EK 2, EK 3 ve EK 4). Buğday unlarının maksimum viskozite değerlerinde en yüksek artış sırasıyla yüksek proteinli (%28,23), düşük proteinli (%21,93) ve bisküvilik (%20,35) unda meydana gelmiştir. Ayrıca, örneklerin maksimum viskozite değerleri ile zedelenmiş nişasta içerikleri ($r=0,410$, $p=0,000$) ve düşme sayısı değerleri ($r=0,464$, $p=0,000$) arasında pozitif ve önemli korelasyonlar gözlenmiştir. Bu sonuçlar, maksimum viskozitelerdeki artışın amilaz enziminin aktivitesinin hidrotermal işlemlerden sonra azalmasıyla ilişkili olduğunu (Hu vd., 2017) destekler niteliktedir.

Ayrıca buğday unlarının maksimum viskozite değerleri verileri ile ham protein ($r=-0,551$, $p=0,000$), sedimantasyon ($r=-0,566$, $p=0,000$) ve laktik asit-STK ($r=-0,657$, $p=0,000$) verileri arasında negatif, düşük ama önemli korelasyon bulunmuştur. Buna göre, örneklerin maksimum viskozite değerleri üzerine sadece nişasta özelliklerinin değil protein özelliklerinde etkisi bulunmaktadır.

Maksimum viskozite sonuçlarına benzer şekilde, işlem görmemiş düşük proteinli buğday ununun, son viskozitesi de yüksek proteinli ve bisküvilik unlarından daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 16) (Şekil 5). Buğday unlarına uygulanan termal işlemin, son viskozitesine etkisi un çeşidine ve işlem koşullarına göre değişmiştir. Yüksek proteinli buğday unun son viskozitesi, termal işlem ile istatistiksel olarak önemli düzeyde artmıştır ($p<0,05$). En fazla artış (%16,43) kısa dalga boyunda 1000 W gücünde işlenmiş yüksek proteinli unda görülmüştür. Diğer yandan, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unlarının son viskozitesine termal işlemin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Termal işlem görmüş tüm buğday unları içerisinde en yüksek son viskozitesine orta dalga boyunda 1000 W gücünde işlenmiş düşük proteinli un sahiptir.

Hidrotermal işlem ise, tüm buğday unlarının son viskozitelerinde önemli bir artışa neden olmuştur ($p<0,05$) (EK 2, EK 3 ve EK 4). Bisküvilik buğday ununun son viskozitesindeki artış (%60,67), yüksek proteinli (%47,95) ve düşük proteinli (%31,72) unlarınkinden daha fazla gerçekleşmiştir.

Bununla birlikte, maksimum viskozite sonuçlarında olduğu gibi buğday unlarının son viskoziteleri de ham protein ($r=-0,744$, $p=0,000$), sedimentasyon ($r=-0,779$, $p=0,000$) ve laktik asit-STK ($r=-0,840$, $p=0,000$) verileri ile negatif önemli korelasyon göstermektedir. Buna göre, örneklerin son viskozitelerinin de protein özelliklerinden etkilendiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda, uygulanan ısı işlem ile proteinler arasında oluşan yeni çapraz bağların (cross-linkage) viskoziteyi arttırdığı belirtilmiştir (Hu vd., 2017; Kim vd., 2004; Neill vd., 2012).

Benzer birçok çalışmada da buğday unlarının hem maksimum (peak) hem de son (final) viskozitelerinin hidrotermal işlemler ile arttığı bildirilmiştir (Bucsella vd., 2016; Delatte vd., 2019; Hu vd., 2017). Araştırmacılar, viskozitelerdeki artışı nişasta yapısındaki değişikliklere ve nişasta ile diğer un bileşenlerinin (protein, lipid gibi) etkileşimlerine atfetmişlerdir. Ayrıca, ısı işlemler ile yeniden düzenlenen protein ağ yapısının, nişasta granüllerinin daha fazla su tutmasına izin vererek viskoziteyi artırabileceği de belirtilmiştir (Delatte vd., 2019; Hu vd., 2017).

Tablo 16

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin maksimum viskozite ve son viskozite değerleri (BU), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu (W)	Emitt er gücü (W)	Maksimum viskozite			Son viskozite		
			Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Termal	Kontrol		356,00±17,00 G	415,00±1,00 FG	344,00±12,00 BCDEFG	474,50±7,50 C	640,00±1,00 C	464,00±3,00 E
		600	385,00±1,00 BCDEFG	429,00±14,00 EFG	334,50±14,50 FG	526,50±13,50 BC	682,00±21,00 C	485,50±30,50 E
	Kısa dalga	700	370,50±8,50 FG	435,00±6,00 DEFG	342,50±8,50 CDEFG	507,00±14,00 BC	684,50±6,50 C	486,50±18,50 E
		800	389,50±0,50 BCDEFG	429,00±4,00 EFG	331,00±17,00 G	504,50±2,50 BC	669,50±1,50 C	462,50±17,50 E
	Orta dalga	900	382,00±15,00 CDEFG	422,50±5,50 FG	340,00±13,00 DEFG	523,00±1,00 BC	640,00±9,00 C	475,00±12,00 E
		1000	409,50±7,50 ABCDEFG	415,00±2,00 FG	351,50±5,50 ABCDEFG	552,50±15,50 B	633,00±6,00 C	491,50±3,50 E
	Orta dalga	600	378,00±8,00 EFG	428,00±2,00 EFG	342,00±2,00 CDEFG	493,50±4,50 BC	657,00±1,00 C	466,50±3,50 E
		700	370,00±13,00 FG	401,00±2,00 G	343,00±2,00 CDEFG	504,50±1,50 BC	644,01±11,00 C	479,00±5,00 E
	Orta dalga	800	381,00±17,00 DEFG	429,00±8,00 EFG	339,00±10,00 EFG	497,00±11,00 BC	679,50±6,50 C	474,00±9,00 E
		900	385,00±11,00 BCDEFG	433,00±1,00 EFG	344,00±3,00 BCDEFG	528,50±17,50 BC	672,50±2,50 C	479,00±0,00 E
Orta dalga	1000	382,50±3,50 CDEFG	438,00±4,00 CDEFG	343,50±13,50 CDEFG	500,50±2,50 BC	686,50±5,50 C	507,50±0,50 E	
	600	451,00±11,00 A	464,50±23,50 ABCDEF	398,0±18,00 ABCDEF	669,00±4,00 A	773,50±32,50 B	640,00±12,00 D	
Kısa dalga	700	432,50±9,50 ABCDE	506,00±2,00 A	400,50±5,50 ABCDE	650,00±5,00 A	828,00±8,00 AB	667,00±7,00 BCD	
	800	413,00±2,00 ABCDEF	505,50±5,50 A	381,00±17,00 ABCDEFG	669,50±10,50 A	841,00±2,00 A	651,50±21,50 CD	
Kısa dalga	900	429,00±1,00 ABCDE	458,00±13,00 ABCDEF	411,50±11,50 A	688,00±5,00 A	793,50±0,50 AB	710,50±5,50 ABCD	
	1000	407,00±5,00 ABCDEFG	442,00±7,00 BCDEFG	414,00±13,00 A	702,00±8,00 A	787,00±9,00 AB	745,50±7,50 A	
Hidrotermal	600	435,50±6,50 ABCD	489,50±4,50 ABC	405,50±7,50 ABC	641,50±8,50 A	770,00±3,00 B	656,50±2,50 CD	
	700	456,50±5,50 A	477,00±2,00 ABCDE	407,50±10,50 AB	670,00±6,00 A	772,00±4,00 B	664,50±20,50 BCD	
Orta dalga	800	440,00±4,00 AB	496,00±14,00 AB	390,00±4,00 ABCDEFG	660,00±11,00 A	813,00±8,00 AB	664,00±1,00 BCD	
	900	438,50±19,50 ABC	488,00±17,00 ABCD	410,00±14,00 A	698,00±27,00 A	814,0±20,00 AB	712,50±14,50 ABC	
Orta dalga	1000	415,00±6,00 ABCDEF	499,00±14,00 A	403,00±7,00 ABCD	674,50±13,50 A	843,00±8,00 A	733,50±7,50 AB	
	<i>p</i>		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Kırılma viskozitesi, sürekli karıştırmaya ve ısıtmaya karşı jel yapısının direncinin bir ölçüsüdür ve yüksek kırılma viskozitesi düşük stabilitenin göstergesidir (Delatte vd., 2019). İşlem görmemiş buğday unları içerisinde en düşük kırılma viskozitesi bisküvilik unda tespit edilmiş ve onu sırasıyla düşük proteinli ve yüksek proteinli buğday unları takip etmiştir (Tablo 17). Termal işlem görmüş buğday unlarının kırılma viskozitelerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmasına rağmen; değerler incelendiğinde bu varyasyonların dalga boyu ve emitter gücü ile ilişkilendirilebilir tutarlılıkta olmadığı gözlenmiştir.

Uygulanan hidrotermal işlemlerin parametrelerine bağlı olarak örneklerin kırılma viskozitelerinin istatistiksel olarak önemli düzeyde azaldığı gözlenmiştir ($p<0,05$). Diğer bir ifadeyle hidrotermal uygulamalar ile buğday unlarının jel yapısının direnci artmıştır. Bisküvilik buğday ununun kırılma viskozitesindeki azalma (%49,49), yüksek proteinli (%40,51) ve düşük proteinli (%38,03) unlarıkinden daha fazla olmuştur. Tüm un çeşitlerinde en düşük kırılma viskozitesi kısa dalga boyunda 1000 W gücünde hidrotermal işlem görmüş örneklerde gözlenmiştir. Delatte vd. (2019) de, buhar uyguladıkları buğday unlarının kırılma viskozitelerinin azaldığını bulmuşlar ve bunu ısı işlem ile yapıda bulunan proteinler arasında oluşan yeni çapraz bağların daha güçlü ve stabil yapıya neden olmasına atfetmişlerdir. Ek olarak, buğday unlarının kırılma viskoziteleri ile ham protein ($r=0,569$, $p=0,000$), sedimentasyon ($r=0,577$, $p=0,000$), laktik asit-STK ($r=0,533$, $p=0,000$) ve zedelenmiş nişasta ($r=0,573$, $p=0,000$) değerleri arasında tespit edilen pozitif yönlü korelasyonlar literatürü destekler niteliktedir.

Katılaşma viskozitesi ise, soğutma periyodu boyunca (92 °C'den 50 °C'ye) nişasta moleküllerinin yeniden birleşmesinden dolayı viskozitedeki artışı gösteren bir değerdir. Artan retrogradasyon eğilimi, daha yüksek katılaşma viskozitesi ile sonuçlanmaktadır (Hu vd., 2017). Maksimum viskozite ve son viskozite sonuçlarında olduğu gibi, işlem görmemiş düşük proteinli buğday ununun, katılaşma viskozitesi de yüksek proteinli ve bisküvilik unlarıkinden daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 17). Termal işlem ile birlikte düşük proteinli unun katılaşma viskozitelerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p<0,05$); yüksek proteinli ve bisküvilik buğday unlarıinki ise önemsiz

bulunmuştur ($p>0,05$). Düşük proteinli buğday ununa sadece kısa dalga boyunda 600 W ve orta dalga boyunda 1000 W gücünde uygulanan termal işlemler örneklerin katılaşma viskozitelerinin önemli düzeyde artmasına neden olmuştur; ancak matematiksel olarak değerlendirildiğinde bu artış, yaklaşık %6 seviyesinde olmuştur ve pratikte önemli değildir.

Hidrotermal uygulamalar sonrası tüm buğday unlarının katılaşma viskozite değerleri önemli düzeyde artmıştır ($p<0,05$) (Tablo 17). Bu artış uygulanan hidrotermal işlemler ile nişastanın yeniden oryantasyonu ve birleşmesinin sonucu olarak retrogradasyon eğilimlerinin arttırdığını göstermektedir. Bununla birlikte, bisküvilik buğday ununun katılaşma değerlerindeki artış (%74,77), yüksek proteinli (%54,22) ve düşük proteinli (%30,32) unlarından daha fazla olmuştur. Benzer şekilde Hu vd. (2017) ve Ma vd. (2021a) uyguladıkları aşırı ısıtılmış buhar işlemi sonrası buğday unlarının katılaşma viskozitelerinin arttığını bulmuşlardır. Araştırmacılar bu durumu, aşırı ısıtılmış buhar işlemi sırasında oluşan kısmi nişasta jelatinizasyonuna atfetmişlerdir. Bucsella vd. (2016) de, termal işlem görmüş unların retrogradasyon eğiliminin işlem görmemiş unlara göre arttığını belirtmişlerdir.

Bununla birlikte, buğday unlarının katılaşma viskoziteleri ile, sedimantasyon ($r=-0,710$, $p=0,000$) ve laktik asit-STK ($r=-0,823$, $p=0,000$) verileri arasında negatif; düşme sayısı ($r=0,404$, $p=0,000$) verileri arasında ise pozitif önemli korelasyonlar bulunmuştur. Buna göre, katılaşma viskozitelerindeki değişimlerin sadece nişasta özelliklerinden kaynaklı olmadığı, proteinlerin yapısal değişiminin ve amilaz enzim aktivitesindeki farklılıkların da soğuma esnasındaki viskozite artışında etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 17

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin kırılma ve katılaşma viskozitesi (BU), (n=2)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Kırılma viskozitesi			Katılaşma viskozitesi		
			Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Termal	Kontrol		118,50±10,50 A	106,50±0,50 AB	98,00±10,00 A	237,00±1,00 B	331,50±1,50 D	218,00±1,00 D
		600	119,50±2,50 A	100,50±1,50 AB	86,50±1,50 AB	261,00±12,00 B	353,50±8,50 CD	237,50±17,50 D
	Kısa dalga	700	114,50±5,50 A	102,00±9,00 AB	88,50±2,50 AB	251,00±11,00 B	351,50±3,50 D	232,50±12,50 D
		800	129,00±2,00 A	107,00±2,00 AB	85,50±4,50 AB	244,00±0,00 B	347,50±0,50 D	217,00±5,00 D
		900	118,0±14,00 A	111,00±1,00 A	89,00±5,00 AB	259,00±2,00 B	328,50±4,50 D	224,00±4,00 D
		1000	132,00±3,00 A	110,00±4,00 A	88,00±4,00 AB	275,00±11,00 B	328,00±4,00 D	228,00±2,00 D
	Orta dalga	600	124,50±4,50 A	108,50±2,50 AB	93,50±1,50 AB	240,00±1,00 B	337,50±1,50 D	218,00±3,00 D
		700	110,00±12,00 AB	86,00±0,00 ABC	90,00±1,00 AB	244,50±2,50 B	329,00±9,00 D	226,00±6,00 D
		800	127,50±12,50 A	100,00±10,00 AB	91,50±6,50 AB	243,50±6,50 B	350,50±4,50 D	226,50±5,50 D
		900	120,50±15,50 A	107,50±1,50 AB	91,50±4,50 AB	264,00±13,00 B	347,00±2,00 D	226,50±1,50 D
1000		126,00±4,00 A	104,50±0,50 AB	82,00±8,00 ABC	244,00±2,00 B	353,00±2,00 CD	246,00±5,00 D	
600		118,50±7,50 A	94,00±7,00 ABC	79,50±12,50 ABCD	336,50±0,500 A	403,00±16,00 AB	321,50±6,50 C	
Hidrotermal	Kısa dalga	700	112,50±9,50 AB	100,00±2,00 AB	73,00±1,00 ABCD	330,00±5,00 A	422,00±8,00 AB	339,50±2,50 BC
		800	90,00±1,00 AB	94,00±1,00 ABC	63,50±4,50 BCD	346,50±7,50 A	429,50±2,50 A	334,00±9,00 BC
	Orta dalga	900	91,50±0,50 AB	77,00±11,00 BC	65,50±6,50 BCD	350,50±4,50 A	412,50±1,50 AB	364,50±0,50 AB
		1000	70,50±8,50 B	66,00±4,00 C	49,50±4,50 D	365,50±4,50 A	411,00±6,00 AB	381,00±1,00 A
		600	128,50±1,50 A	108,50±1,50 AB	81,50±8,50 ABCD	334,50±13,50 A	389,00±0,00 BC	332,50±1,50 BC
		700	124,50±2,50 A	96,00±7,00 ABC	82,00±2,00 ABC	338,00±3,00 A	391,00±1,00 B	339,00±12,00 BC
	Orta dalga	800	115,00±1,00 A	100,50±5,50 AB	68,50±3,50 ABCD	335,00±6,00 A	417,50±0,50 AB	342,50±1,50 BC
		900	96,00±1,00 AB	91,50±7,50 ABC	63,00±5,00 BCD	355,50±8,50 A	417,50±10,50 AB	365,50±5,50 AB
		1000	94,50±0,50 AB	88,00±11,00 ABC	50,50±1,50 CD	354,00±8,00 A	432,00±11,00 A	381,00±2,00 A
<i>p</i>			0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Sonuç olarak araştırma kapsamında uygulanan termal ve hidrotermal işlemler nedeniyle örneklerin nişasta ve protein yapısında, moleküler etkileşimlerinde ve amilaz aktiviterinde oluşan değişiklikler, jelatinizasyon özelliklerini etkilemiştir. Özellikle hidrotermal işlem, örneklerin viskozitelerinin ve jelatinizasyon sıcaklıklarının artmasını sağlamış, ancak oluşan jellerin stabilitelelerinin düşmesine neden olmuştur.

4.10. Renk Değerleri

Yüksek proteinli, düşük proteinli ve bisküvilik buğday unlarının renk değerleri Tablo 18 ve Tablo 19'da gösterilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde işlem görmemiş buğday unlarının renk değerleri birbirine oldukça benzerdir (Tablo 18). Bununla birlikte, termal ve hidrotermal işlemlerin deneme planı oluşturulurken görsel açıdan yanmış veya rengi koyulaşmış koşullar seçilmediğinden, örneklerin renk değerleri arasında görsel ve matematiksel olarak önemli farklar bulunmamaktadır. Ancak, renk ölçümlerinin çok sayıda tekrür ile yapılması dolayısıyla standart sapmanın çok düşük olması nedeniyle istatistiksel değerlendirmelerde örnekler arasında önemli farklar bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca incelenen renk karakteristikleri de uygulanan işlemlerin türü ve parametreleri ile ilişkilendirilebilir tutarlılıkta bir değişim de göstermemektedir.

Her bir buğday unu için işlem görmemiş örneğe göre toplam renk değişimleri belirlenmiştir ve bu değişimler tüm un çeşitlerinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 19). Buğday unları uygulanan hem termal hem de hidrotermal işlemlerde uygulanan gücün artmasıyla birlikte örneklerin toplam renk değişimi de artmıştır ($p<0,05$). Yüksek proteinli ve düşük proteinli buğday unlarına kısa dalga boyunda 1000 W gücünde uygulanan termal işlemler ile; bisküvilik unda ise orta dalga boyunda 1000 W gücünde uygulanan hidrotermal işlem ile örnekler en fazla toplam renk değişimine uğramıştır.

Tablo 18

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerleri, (n=4)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	L^*			a^*			b^*		
			Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Termal	Kontrol		91,14±0,28 ABC	91,70±0,30 ABCDEFG	91,71±0,45 ABCD	-1,02±0,09 ABCD	-0,97±0,01 ABC	-0,73±0,12 DEF	13,12±0,37 DEF	12,52±0,38 ABCDEF	10,47±0,13 FGHI
	Kısa dalga	600	91,24±0,22 ABC	92,38±0,19 ABC	91,41±0,55 ABCDE	-1,26±0,02 CD	-1,24±0,02 FGH	-0,43±0,08 ABC	13,99±0,22 ABCDE	12,47±0,26 ABCDEF	10,67±0,23 EFGHI
		700	90,60±0,32 ABC	91,99±0,41 ABCDE	91,37±0,33 ABCDEF	-1,31±0,04 CD	-1,29±0,02 H	-0,48±0,01 ABCD	14,12±0,40 ABCDE	12,70±0,16 ABCDE	9,64±0,54 IJ
		800	91,49±0,64 ABC	91,91±0,55 ABCDEF	91,87±0,86 ABC	-1,40±0,04 ^D	-1,25±0,03 H	-0,47±0,01 ABCD	13,67±0,28 ABCDEF	12,90±0,29 ABCD	10,46±0,32 FGHI
		900	90,28±0,86 ABC	90,70±0,33 CDEFGH	90,38±0,51 BCDEFGH	-1,26±0,05 CD	-0,91±0,04 AB	-0,39±0,03 ABC	14,49±0,37 ABCD	13,22±0,07 ABC	10,39±0,59 GHI
		1000	89,49±0,35 C	89,38±0,30 H	92,52±0,28 ^A	-1,27±0,07 CD	-0,96±0,03 ABC	-0,40±0,01 ABC	15,38±0,11 A	11,83±0,36 DEF	8,74±0,13 J
	Orta dalga	600	92,21±0,30 AB	92,70±0,14 AB	92,41±0,35 AB	-1,21±0,03 BCD	-1,20±0,03 EFGH	-0,94±0,01 F	13,10±0,18 DEF	12,16±0,35 BCDEF	10,80±0,30 DEFGHI
		700	91,62±0,55 ABC	93,12±0,30 A	91,19±0,36 ABCDEFG	-1,36±0,01 D	-1,25±0,01 GH	-0,90±0,01 F	13,19±0,16 CDEF	11,58±0,25 EF	10,05±0,35 HIJ
		800	92,62±0,38 A	93,23±0,087 A	91,04±0,42 ABCDEFGH	-1,38±0,04 D	-1,15±0,05 DEFGH	-0,84±0,04 EF	12,37±0,35 EFG	11,33±0,10 F	11,33±0,30 CDEFGH
		900	92,57±0,51 AB	92,24±0,62 ABCD	91,71±0,55 ABCD	-1,40±0,01 D	-1,04±0,04 BCDE	-0,95±0,01 F	12,54±0,64 EFG	11,94±0,22 CDEF	11,09±0,27 DEFGHI
1000		92,21±0,41 AB	91,58±0,53 ABCDEFG	90,48±0,51 ABCDEFGH	-0,95±0,11 ABC	-1,13±0,03 CDEFGH	-0,97±0,02 F	11,18±0,35 G	12,96±0,22 ABCD	10,94±0,16 DEFGHI	

Tablo 18'in devamı...

Kısa dalga	600	90,38±0,24 ABC	90,83±0,26 BCDEFGH	90,13±0,24 CDEFGH	-0,93±0,11 ABC	-1,07±0,06 BCDEFG	-0,21±0,01 AB	13,51±0,50 BCDEF	13,41±0,21 AB	11,79±0,22 BCDEFG
	700	90,69±0,35 ABC	90,41±0,45 DEFGH	89,47±0,29 EFGH	-1,21±0,02 BCD	-1,05±0,03 BCDE	-0,20±0,01 A	14,68±0,11 ABCD	12,98±0,45 ABCD	11,64±0,19 BCDEFGH
	800	90,57±0,40 ABC	90,59±0,12 CDEFGH	89,40±0,35 EFGH	-1,26±0,02 CD	-0,89±0,01 AB	-0,24±0,02 AB	15,02±0,27 ABC	13,68±0,18 A	12,01±0,30 ABCDEF
	900	89,31±0,55 C	89,86±0,41 GH	89,62±0,25 DEFGH	-1,19±0,03 ABCD	-0,84±0,02 A	-0,28±0,06 AB	15,08±0,40 AB	13,44±0,22 AB	12,88±0,20 ABC
	1000	89,67±0,70 C	89,98±0,06 GH	89,23±0,31 GH	-1,34±0,05 D	-0,91±0,02 AB	-0,25±0,03 AB	15,17±0,12 AB	13,76±0,09 A	13,50±0,25 A
Orta dalga	600	90,94±0,21 ABC	90,82±0,16 BCDEFGH	89,73±0,20 DEFGH	-1,16±0,01 ABCD	-1,03±0,02 BCDE	-0,47±0,05 ABCD	13,69±0,23 ABCDEF	13,32±0,18 AB	12,34±0,41 ABCD
	700	90,24±0,26 ABC	90,31±0,30 EFGH	90,01±0,26 CDEFGH	-1,01±0,13 ABCD	-1,00±0,03 ABCD	-0,58±0,02 CDE	13,41±0,33 BCDEF	12,62±0,19 ABCDE	13,09±0,14 AB
	800	89,71±0,24 C	90,04±0,61 FGH	89,58±0,27 EFGH	-0,81±0,13 ^A	-1,06±0,04 BCDEF	-0,50±0,11 BCD	13,10±0,38 DEF	12,77±0,17 ABCDE	12,88±0,17 ABC
	900	90,26±0,40 ABC	90,17±0,34 EFGH	89,04±0,35 H	-1,09±0,14 ABCD	-1,05±0,02 BCDE	-0,39±0,07 ABC	12,97±0,56 DEFG	13,39±0,12 AB	12,20±0,43 ABCDE
	1000	90,20±0,69 BC	90,00±0,46 FGH	89,27±0,17 FGH	-0,86±0,08 AB	-1,21±0,01 EFGH	-0,43±0,10 ABC	12,10±0,45 FG	13,16±0,26 ABC	13,61±0,24 A
p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p < 0,05$).

Tablo 19

İşlem görmemiş, termal ve hidrotermal işlem görmüş un örneklerinin ΔE (toplam renk değişimi) değerleri, (n=4)*

İşlem türü	Dalga boyu	Emitter gücü (W)	Yüksek proteinli un	Düşük proteinli un	Bisküvilik un
Kontrol			-	-	-
Termal	Kısa dalga	600	1,13±0,08 ^{CD}	1,04±0,12 ^B	1,23±0,32 ^E
		700	1,42±0,37 ^{ABCD}	1,22±0,17 ^{AB}	1,66±0,17 ^{CDE}
		800	1,72±0,16 ^{ABCD}	1,50±0,36 ^{AB}	1,92±0,36 ^{BCDE}
		900	2,57±0,32 ^{ABC}	1,75±0,23 ^{AB}	2,10±0,32 ^{BCDE}
		1000	2,88±0,24 ^A	2,55±0,30 ^A	2,02±0,18 ^{BCDE}
	Orta dalga	600	1,26±0,20 ^{CD}	1,26±0,10 ^{AB}	1,21±0,23 ^E
		700	1,20±0,34 ^{CD}	1,49±0,32 ^{AB}	1,31±0,10 ^{DE}
		800	1,87±0,38 ^{ABCD}	1,60±0,06 ^{AB}	1,51±0,22 ^{CDE}
		900	2,39±0,21 ^{ABC}	1,53±0,09 ^{AB}	1,50±0,11 ^{CDE}
		1000	2,46±0,27 ^{ABC}	1,64±0,04 ^{AB}	1,62±0,35 ^{CDE}
Hidrotermal	Kısa dalga	600	1,51±0,11 ^{ABCD}	1,76±0,30 ^{AB}	2,18±0,22 ^{BCDE}
		700	1,79±0,18 ^{ABCD}	2,10±0,33 ^{AB}	2,63±0,24 ^{ABCD}
		800	2,21±0,23 ^{ABCD}	2,10±0,19 ^{AB}	2,87±0,38 ^{ABC}
		900	2,86±0,53 ^A	2,45±0,44 ^{AB}	3,24±0,26 ^{AB}
		1000	2,73±0,56 ^{AB}	2,54±0,08 ^{AB}	3,98±0,30 ^A
	Orta dalga	600	0,88±0,15 ^D	1,71±0,16 ^{AB}	2,87±0,23 ^{ABC}
		700	1,33±0,14 ^{BCD}	1,74±0,21 ^{AB}	3,14±0,24 ^{AB}
		800	1,75±0,14 ^{ABCD}	1,99±0,60 ^{AB}	3,27±0,21 ^{AB}
		900	1,77±0,16 ^{ABCD}	2,20±0,31 ^{AB}	3,28±0,44 ^{AB}
		1000	2,28±0,18 ^{ABCD}	2,18±0,52 ^{AB}	4,02±0,17 ^A
p			0,000	0,006	0,000

*Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Genel olarak, işlem görmemiş unlar ile termal ve hidrotermal işlem gören örneklerin renk değerleri istatistiksel olarak farklı bulunmasına rağmen, matematiksel olarak birbirine oldukça yakındır. Tüm işlem gören örneklerin toplam renk farkının da 4'den daha düşük olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, söz konusu şartlarda uygulanan termal ve hidrotermal işlemlerin, unlarının renk değerleri üzerinde çok büyük bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

4.11. Termal ve Hidrotermal İşlem Görmüş Unların Çeşitli Ürünlerde Kullanımı

Tez çalışmasının devamında termal ve hidrotermal işlem gören buğday unlarının çeşitli fırın ürünlerinde kullanım olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda tez çalışmasının önceki bölümünde elde edilen veriler göz önünde bulundurularak her bir un çeşidinden seçilen örneklerden ekmek ve kek üretilmiştir. Ekmek ve keklerin çeşitli kalite özellikleri belirlenerek, işlem gören unların bu fırıncılık ürünlerinin üretiminde kullanım potansiyelleri değerlendirilmiştir. Ürünlerin formülasyonları ve yapım aşamaları materyal metot bölümünde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

4.12. Termal İşlem Görmüş Unlardan Üretilen Ekmeklerin Özellikleri

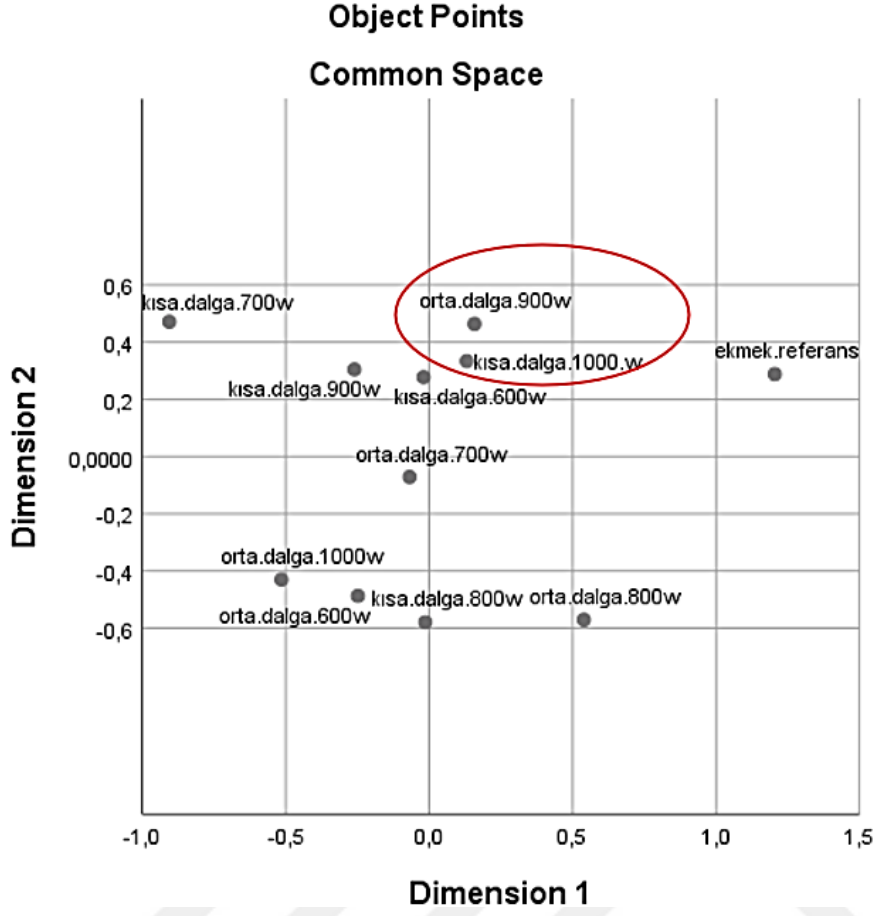
4.12.1. Ekmek Üretiminde Kullanılacak Örneklerin Belirlenmesi

Gluten proteinlerinin denatüre olması sebebiyle hidrotermal işlem görmüş un örneklerinden beklenen kalite özelliklerine sahip ekmek üretimi mümkün olmamıştır. Bu sebeple ekmek üretiminde kullanılacak unlar termal işlem gören örnekler arasından belirlenmiştir. Tez kapsamında temin edilen yüksek proteinli un, ekmeklik undur. Bu nedenle, ekmek üretiminde kullanılacak örneklerin belirlenmesinde işlem görmemiş yüksek proteinli un referans un (kontrol) olarak alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda en az besinsel kayıp ve referans örneğine en yakın özellikleri gösteren örneklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. İşlem görmemiş yüksek proteinli un da dahil olmak üzere her bir un türünden 3 adet, toplamda da 9 adet buğday unu seçilmiştir. Bu unların belirlenmesinde farklı yöntemler denenerek en uygun (doğruluğu en yüksek) olanı ile ekmek üretiminde kullanılacak örnekler seçilmiştir.

Çok boyutlu ölçekleme analizi (Multidimensional Scaling Analysis , MDS), nesne ya da birimler arasında gözlemlenen benzerlikler ya da farklılıklardan oluşan uzaklık değerlerine dayalı olarak, bu nesnelerin tek ya da çok boyutlu uzaydaki gösterimini elde etmeyi amaçlayan, böylece nesnelere arasındaki ilişkilerin belirlenmesini sağlayan çok

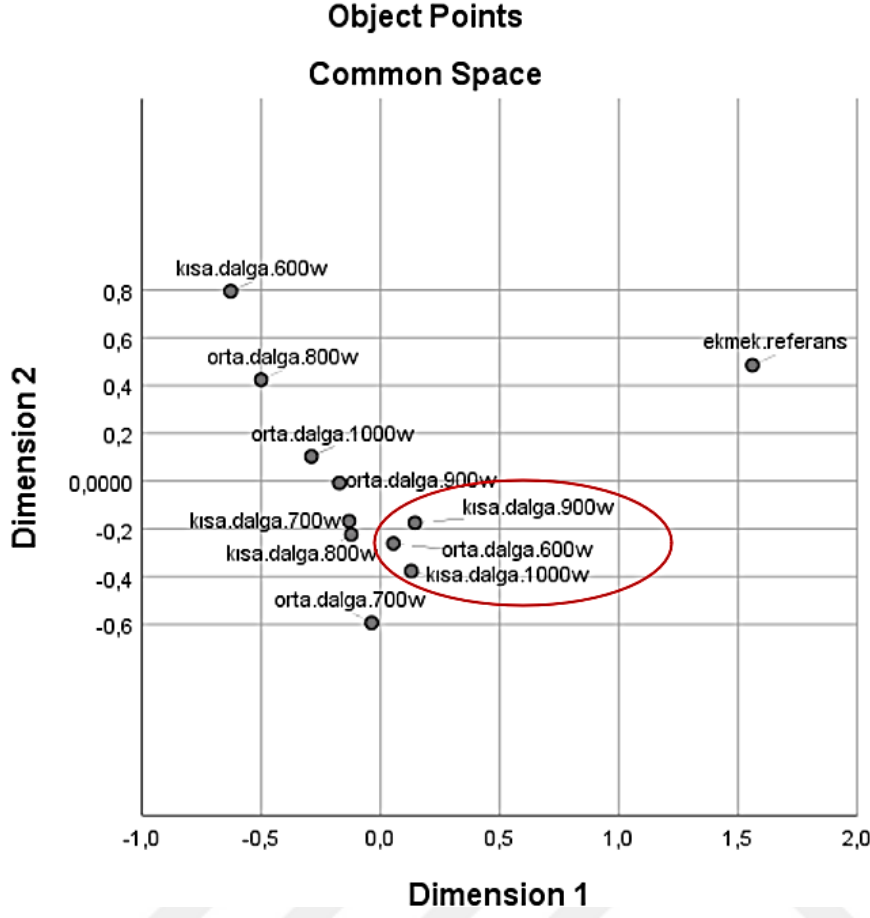
değişkenli istatistiksel analiz yöntemidir (Bayraktar vd., 2017). Örneklerin belirlenmesinde çok boyutlu ölçekleme analizinin Proxcal yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntemde stres değeri analizin uygunluğunun göstergesidir ve 0,2'den düşük stres değeri kabul edilebilirdir (Kruskal, 1964). Ayrıca hesaplanan dağılım (dispersion accounted for, DAF) değerinin 1'e yakın olması modelin uygunluğunu göstermektedir (Dugerd vd., 2010). Yapılan analizlerde stres değerlerinin düşük, hesaplanan dağılım değerlerinin yüksek çıkması sebebiyle bu yöntem ile ekmek üretiminde kullanılacak örnekler belirlenmiştir. Bu analiz her bir un türüne ayrı ayrı uygulanmıştır. Referans olarak işlem görmemiş yüksek proteinli un alınmış ve bu unun verileri kullanılmıştır. Referans ürüne en yakın örnekler dolayısı ile en benzer unlar ekmek yapımında kullanılmak üzere seçilmiştir. Aşağıda her bir un çeşidi için yapılan çok boyutlu ölçekleme analizi sonuçları verilmiş ve seçilen örnekler belirtilmiştir.

Yüksek proteinli una ait çok boyutlu ölçekleme analizi grafiği ve seçilen örnekler Şekil 6'da gösterilmiştir. Yüksek proteinli un örneklerinde uygulanan çok boyutlu ölçekleme analizinde stres değeri 0,021; hesaplanan dağılım değeri ise 0,978'dir. Bu un türünde, referansa en yakın dolayısıyla en benzer olması sebebiyle, kısa dalga boyunda 1000W ve orta dalga boyunda 900 W gücünde işlem gören örnekler seçilmiştir. Bu örneklerin referans örneğe olan uzaklıkları sırasıyla 1,061 ve 1,074 birimdir.



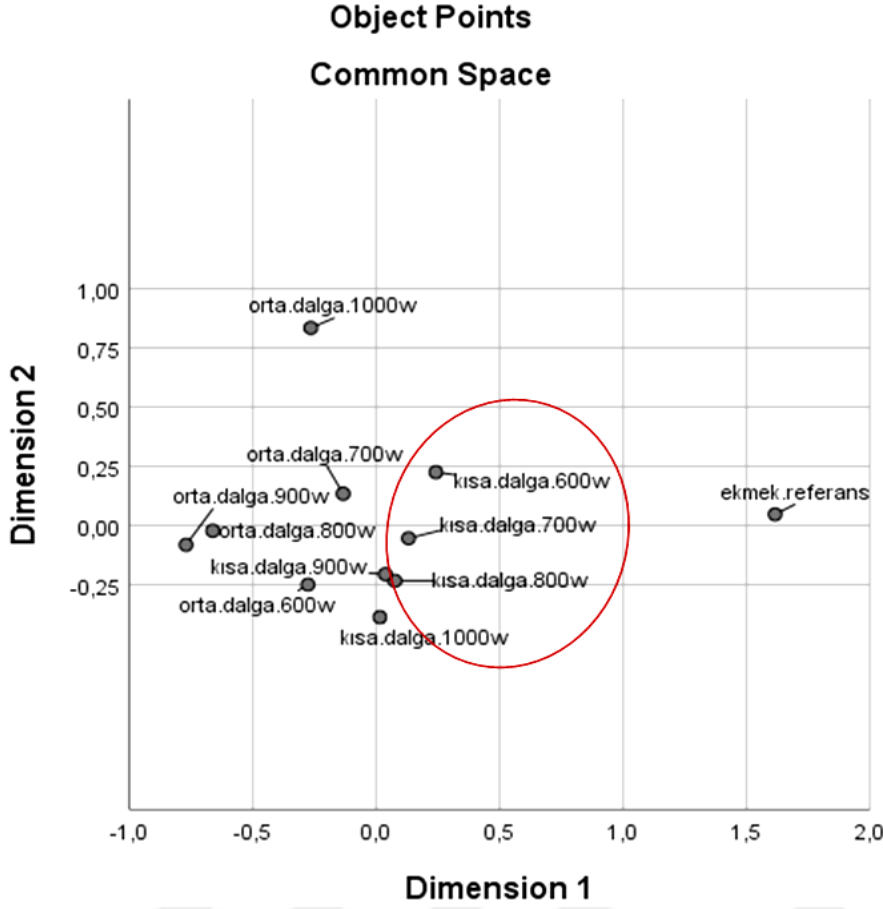
Şekil 6. Termal işlem görmüş yüksek proteinli unların ve referans unun çok boyutlu ölçkleme analizi ile 2 boyutta dağılımı

Düşük proteinli una ait çok boyutlu ölçkleme analizi grafiği ve seçilen örnekler Şekil 7’de sunulmuştur. Oluşturulan modelin stres değeri 0,001; hesaplanan dağılım değeri ise 0,999’dur. Ekmek referans ürününe en benzer verilere sahip olan örnekler kısa dalga boyunda 900 W ve 1000 W gücünde; orta dalga boyunda 600 W gücünde işlem gören örneklerdir. Bu örneklerin, referans örneğe olan uzaklıkları sırasıyla 1,561, 1,671 ve 1,681 birimdir.



Şekil 7. Termal işlem görmüş düşük proteinli unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı

Bisküvilik un örneklerinde uygulanan çok boyutlu ölçekleme analizinin grafiği ve seçilen örnekler Şekil 8’de gösterilmiştir. Bu un türü için uygulanan ölçekleme analizinin stres değeri 0,005; hesaplanan dağılım değeri ise 0,995 bulunmuştur. Kısa dalga boyunda 600 W, 700 W ve 800 W gücünde işlem gören referans ürüne en benzer olan örneklerdir. Bu örneklerin referans örneğe olan uzaklıkları sırasıyla 1,385, 1,488 ve 1,565 birimdir.



Şekil 8. Termal işlem görmüş bisküvilik unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı

4.12.2. Ekmek Özellikleri

Belirlenen koşullarda termal işlem gören buğday unları kullanılarak üretilen ekmeklerin nem, pişme kaybı, hacim ve spesifik hacim değerleri Tablo 20’de gösterilmiştir. Ekmekler ait görseller ise Şekil 9’da sunulmuştur. Kontrol ekmeği işlem görmemiş yüksek proteinli un kullanılarak üretilen ekmektir.

Ekmeklerin nem içerikleri %34,11 ile %39,99 aralığında tespit edilmiştir. Ekmeklerin nem değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Buna ek olarak, ekmeklerin nem değerleri ile ekmek üretiminde kullanılan unların protein ($r=-0,815$, $p=0,007$), gluten ($r=-0,744$, $p=0,022$), sedimantasyon ($r=-0,692$, $p=0,039$) ve GlutoPeak analizinden elde edilen gluten maksimum direnç ($r=-0,945$,

$p=0,000$) değerleri arasında istatistiksel olarak önemli negatif korelasyonlar tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, protein/gluten miktar ve kalitesi düşük olan unlardan üretilen ekmeklerin daha yüksek nem içeriğine sahip olduğu görölmüştür. Keppler vd. (2018) ve Neill vd. (2012)'ne göre, nişasta granülünün yüzeyindeki proteinler granül içine su emilimini engelleyen bir bariyer oluşturmaktadır. Bu yüzey proteinlerinin ısı işlem ile kısmi denatürasyonu sayesinde, granül içerisine su geçişi kolaylaşmakta ve absorbe edilen su miktarı artmaktadır. Bu bağlamda, tez kapsamında üretilen ekmeklerin de nem içeriklerindeki fark, buğday unlarına uygulanan termal işlemler sonucu unların protein/gluten yapılarında meydana gelen kısmi denatürasyon ile nişasta granülünün absorbe edebildiği su miktarı değişime atfedilebilir.

Verim açısından fırın ürünlerinde önemli bir kriter olan pişme kaybı, hamurun nem içeriğindeki kaybın yanı sıra, organik asit ester ve alkol gibi uçucu bileşenlerindeki kayıpları da göstermektedir (Kotoki ve Deka, 2010). Buna paralel olarak, ekmeklerin nem içerikleri ile pişme kaybı değerleri arasında istatistiksel olarak önemli negatif korelasyon bulunmuştur ($r=-0,861$, $p=0,003$). Ayrıca, pişme kaybının çok olması, daha sert, kuru ve erken bayatlayan ürün elde edilmesine neden olmaktadır (Kotoki ve Deka, 2010). İşlem görmüş yüksek proteinli unlardan üretilen ekmeklerin pişme kayıpları kontrol unundan daha yüksek bulursa da, %2,78 seviyesindeki bu artış istatistiksel açıdan önemli olmakla birlikte pratikte önemli bir artış değildir (Tablo 20). Diğer yandan işlem görmüş düşük proteinli ve bisküvilik unlardan üretilen ekmeklerin pişme kayıpları kontrol ekmeğine göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). En düşük pişme kaybı kısa dalga boyunda 800 W gücünde işlenmiş bisküvilik undan yapılan ekmekte (%6,87); en yüksek pişme kaybı kısa dalga boyunda 1000 W gücünde işlenmiş yüksek proteinli undan yapılan ekmekte (%15,82) tespit edilmiştir. Bisküvilik una uygulanan işlemlerde emitter gücünün atmasıyla bu unlardan üretilmiş ekmeklerin pişme kayıpları azalmıştır. Bu bağlamda, unlara yüksek emitter güçlerinde termal işlem uygulaması ile üretilen ekmeklerin pişme kaybının azalması, daha yumuşak ve geç bayatlayan ürün elde edilmesini sağlamıştır.

Tablo 20

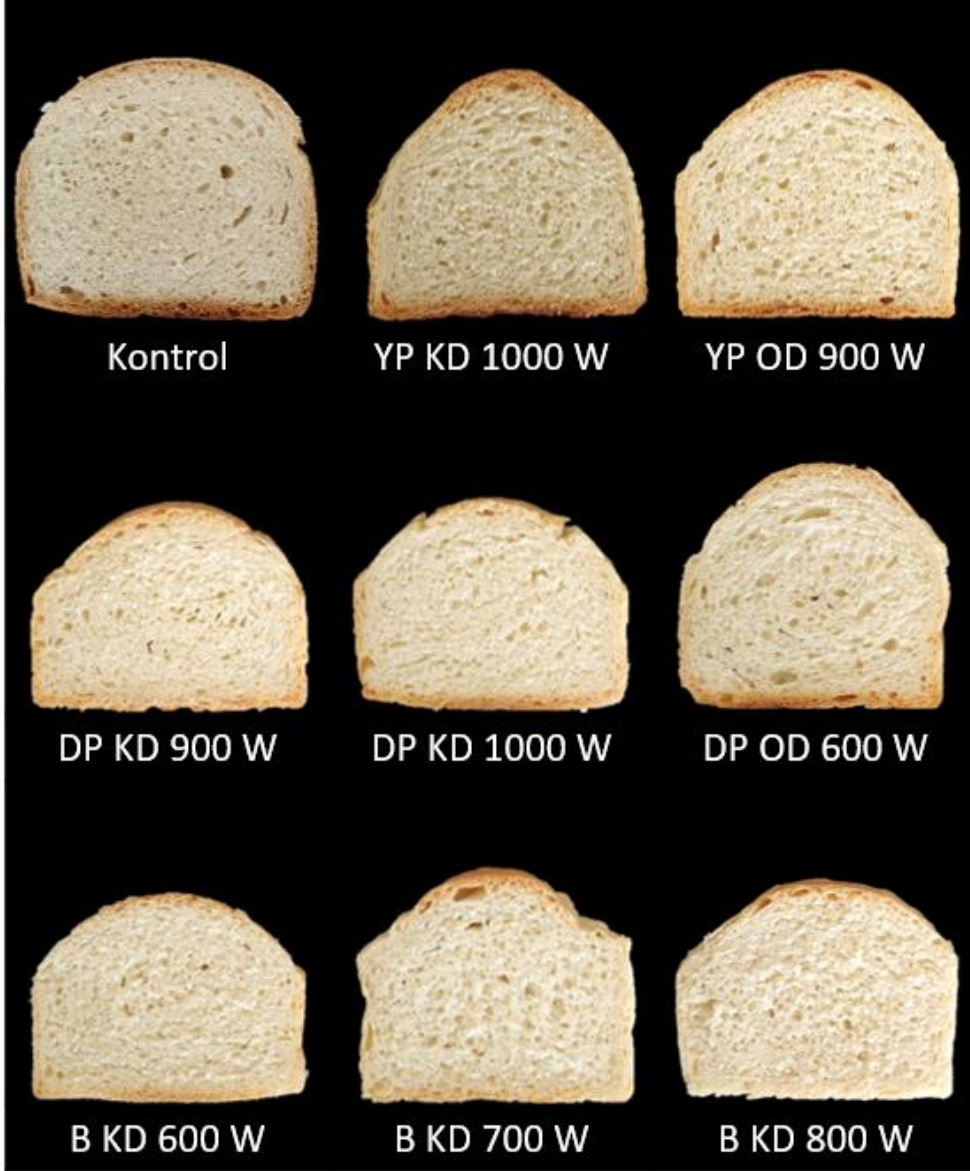
Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin nem, pişme kaybı, hacim ve spesifik hacim değerleri, (n=4)*

	Nem (%)	Pişme kaybı (%)	Hacim (mL)	Spesifik hacim (mL/g)
Kontrol	35,12±0,75	13,04±0,05 ^{BC}	1347,50±13,00 ^A	3,09±0,03 ^A
YP KD 1000 W	34,11±0,69	15,82±0,35 ^A	1227,50±3,23 ^{BCD}	2,91±0,02 ^A
YP OD 900 W	34,84±1,08	14,01±0,52 ^{AB}	1275,00±7,36 ^{ABC}	2,96±0,10 ^A
DP KD 900 W	39,32±0,86	11,89±0,53 ^C	1066,50±7,50 ^E	2,42±0,01 ^C
DP KD 1000 W	36,62±0,53	11,16±0,77 ^{CD}	1164,00±64,40 ^{CDE}	2,61±0,12 ^{BC}
DP OD 600 W	38,43±1,16	12,06±0,52 ^{BC}	1303,50±9,99 ^{AB}	2,96±0,01 ^A
B KD 600 W	39,59±1,79	9,53±0,09 ^{DE}	1157,50±18,90 ^{DE}	2,55±0,04 ^{BC}
B KD 700 W	39,99±2,81	8,27±0,33 ^{EE}	1226,80±14,30 ^{BCD}	2,67±0,02 ^B
B KD 800 W	39,72±2,62	6,87±0,30 ^F	1245,00±13,20 ^{ABCD}	2,67±0,03 ^B
p	0,058	0,000	0,000	0,000

*YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

**Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

İşlenmiş unlardan üretilmiş ekmeklerin hacimleri kontrol ekmeğinden istatistiksel olarak önemli düzeyde daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$) (Tablo 20). İşlenmiş unlardan üretilen ekmekler içerisinde, orta dalga boyunda 600 W gücünde işlenmiş düşük proteinli un örneğinden üretilen ekmek en yüksek hacim değerine, dolayısıyla kontrol örneğine en yakın hacim değerine sahiptir. Diğer yandan kısa dalga boyunda 900 W gücünde işlenmiş düşük proteinli undan üretilmiş ekmek ise en düşük hacimli örnektir. Bisküvilik una uygulanan işlemlerde emitter gücünün atmasıyla, bu unlardan üretilmiş ekmeklerin hacimleri de artmaktadır. Benzer bir eğilim kısa dalga boyunda işlenmiş düşük proteinli unlardan üretilen ekmeklerde de tespit edilmiştir.



Şekil 9. Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmekler*

* YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

Ekmeklerin diğer karakteristik kalite parametrelerinden biri olan spesifik hacim değeri de, hamurun kabarma (şişme) yeteneğinin göstergesidir (Giannou ve Tzia, 2007). Bununla birlikte, tez kapsamında üretilen ekmeklerin spesifik hacim değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$) (Tablo 20). Yüksek proteinli una uygulanan termal işlemler bu unlardan üretilen ekmeklerin spesifik hacim değerleri üzerinde önemli bir değişime neden olmamıştır ($p > 0,05$). Diğer yandan, kısa dalga boyunda işlem görmüş düşük proteinli ve bisküvilik unlardan üretilen ekmeklerin spesifik

hacimleri kontrol örneğinden düşük bulunmuştur. Ayrıca, orta dalga boyunda işlem gören unlardan üretilmiş ekmekler ile kıyaslandığında, kısa dalga boyunda işlem görmüş unlardan üretilen ekmekler daha düşük spesifik hacim değerlerine sahiptir. Sudha vd. (2016), 100 °C’de 2 saat süresince ısı işlem uyguladıkları unlardan ürettikleri ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerlerinin azaldığını, ekmeklerin daha düz bir görünüme sahip olduğunu bildirmişlerdir. Cetiner vd. (2017)’ne göre buğday unlarına yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısı işlemler ile örneklerin protein yapılarındaki değişikliklere bağlı olarak ekmek hacimlerinin azaldığı dolayısıyla ekmek kalitelerinin düştüğünü bildirmişlerdir. Benzer şekilde González vd. (2021), termal işlem uyguladıkları unlardan ürettikleri ekmeklerin spesifik hacim değerlerindeki azalmayı, ısı işleminden kaynaklı kısmi protein denatürasyonuna atfetmişlerdir. Literatürü destekler şekilde ekmeklerin spesifik hacimleri ile ekmeklerin üretildiği unların ham protein ($r=0,704$, $p=0,034$) ve sedimentasyon ($r=0,792$, $p=0,011$) değerleri arasında istatistiksel olarak önemli ve pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, tez kapsamında uygulanan termal işlemlerin buğday unlarının protein/gluten yapısında neden olduğu değişikliklere bağlı olarak, bu unlardan üretilen ekmeklerin de nem, pişme kaybı, hacim ve spesifik hacim değerlerinin de etkilendiği gözlenmiştir.

4.12.3. Ekmeklerin Tekstür Özellikleri

Tekstür özellikleri, ekmeklerin formülasyonu, işlenmesi, tazeliği gibi birçok konuda bilgi sağlamaktadır. Seçilen koşullarda termal işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin tekstür analiz sonuçları Tablo 21’de sunulmuştur.

Tazelik algısıyla güçlü bir ilişkisi olan sertlik değeri, örnekleri sıkıştırmak için gerekli kuvvetle bağlantılı bir özelliktir. Tez çalışması kapsamında üretilen ekmeklerin sertlik değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$). Kısa dalga boyunda 1000 W gücünde işlem görmüş yüksek proteinli undan üretilen ekmeğin sertlik değeri hem kontrol hem de diğer ekmeklerden daha düşük bulunmuştur. Diğer yandan, kısa dalga

boyunda işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin sertlik değerleri ise kontrol ekmeğinden daha yüksektir. Bununla birlikte, işlem görmüş bisküvilik unlarda emitter gücünün artmasıyla ekmeklerin sertlik değerleri azalmaktadır. Benzer bir eğilim kısa dalga boyunda işlem görmüş düşük proteinli unlardan üretilen ekmeklerde de tespit edilmiştir.

Ayrıca, ekmeklerin sertlik değerleri ile spesifik hacimleri arasında istatistiksel olarak önemli negatif korelasyon tespit edilmiştir ($r=-0,776$, $p=0,014$). Dolayısıyla ekmeklerin spesifik hacim değeri azaldıkça, sertlik değerleri artmaktadır. Benzer bir korelasyon ($r=-0,89$, $p<0,05$) Sabanis vd. (2009) tarafından mısır nişastası ve pirinç unu ile yapılan glutensiz ekmeklerde de bulunmuştur.

Ekmeklerin yapışkanlık ve esneklik değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir değişim bulunmamıştır ($p>0,05$) (Tablo 21). Bununla birlikte ekmeklerin esneklik değerleri ile ekmeklerin üretildiği unların gluten indeksi ($r=0,803$, $p=0,009$) ve düşme sayısı ($r=0,832$, $p=0,005$) arasında istatistiksel olarak önemli pozitif korelasyon tespit edilmiş, dolayısı ile gluten kalitesi yüksek ve enzim aktivitesi düşük unlardan daha esnek ekmekler elde edildiği belirlenmiştir. Tez kapsamında üretilen ekmeklerin bağlayıcılık değerleri 0,87-0,96; elastikiyet değerleri ise 5,44-6,28 mm aralığında tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde, farkların matematiksel olarak çok küçük olması sebebiyle bu değişimlerin pratikteki karşılığının önemi bulunmamaktadır.

Tablo 21

Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin tekstür özellikleri, (n=3)*

	Sertlik/ hardness (g)	Yapışkanlık/ adhesiveness (mj)	Esneklik/ resilience	Bağlayıcılık/ cohesiveness	Elastikiyet/ springiness (mm)	Sakızimsılık/ gumminess (g)	Çiğnenebilirlik/ chewiness (mj)
Kontrol	740,00±13,90 ^{DE}	0,02±0,01	0,60±0,00	0,90±0,01 ^{BC}	5,90±0,05 ^B	663,30±13,10 ^{CD}	38,42±0,93 ^{CD}
YP KD 1000 W	636,50±21,80 ^E	0,06±0,01	0,58±0,03	0,88±0,01 ^C	5,91±0,00 ^B	566,00±12,40 ^D	32,82±0,67 ^D
YP OD 900 W	778,30±26,10 ^{DE}	0,03±0,00	0,60±0,01	0,88±0,00 ^C	5,96±0,06 ^B	686,60±23,00 ^{CD}	40,15±1,64 ^{CD}
DP KD 900 W	999,70±49,40 ^{BC}	0,02±0,00	0,60±0,01	0,90±0,00 ^{BC}	5,93±0,05 ^B	896,60±41,70 ^{AB}	52,16±2,66 ^{AB}
DP KD 1000 W	928,30±15,40 ^{BCD}	0,03±0,01	0,60±0,00	0,89±0,00 ^C	5,86±0,03 ^B	826,40±18,70 ^{BC}	47,53±1,26 ^{BC}
DP OD 600 W	762,33±7,60 ^{DE}	0,04±0,00	0,60±0,00	0,96±0,01 ^A	6,28±0,01 ^A	733,43±2,05 ^{BCD}	45,19±0,24 ^{BC}
B KD 600 W	1192,20±90,30 ^A	0,05±0,02	0,57±0,00	0,88±0,00 ^C	5,79±0,07 ^B	1055,50±84,40 ^A	60,03±5,46 ^A
B KD 700 W	1098,00±22,40 ^{AB}	0,03±0,00	0,58±0,00	0,94±0,01 ^{AB}	6,22±0,04 ^A	1038,30±31,70 ^A	63,36±2,30 ^A
B KD 800 W	848,20±18,10 ^{CD}	0,03±0,01	0,56±0,00	0,87±0,00 ^C	5,44±0,04 ^C	744,30±11,60 ^{BC}	39,74±0,90 ^{CD}
p	0,000	0,398	0,368	0,000	0,000	0,000	0,000

*YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

**Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Ekmeklerin sakızımsılık ve çiğnenebilirlik değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilmiştir ($p<0,05$) (Tablo 21). Kısa dalga boyunda (1000 W gücünde) işlem gören yüksek proteinli undan üretilmiş ekmek hem kontrol hem de işlem gören unlardan üretilmiş ekmeklere göre daha düşük sakızımsılık ve çiğnenebilirlik değerlerine sahiptir. Diğer yandan, en yüksek sakızımsılık ve çiğnenebilirlik değerleri ise 600 W ve 700 W güçlerinde işlenmiş bisküvilik un örneklerinde görülmektedir. Ayrıca ekmeklerin sakızımsılık ($r=0,791$, $p=0,011$) ve çiğnenebilirlik ($r=0,753$, $p=0,019$) değerleri ile nem içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli pozitif korelasyon tespit edilmiş, yüksek nem değerine sahip ekmeklerin sakızımsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak, tez kapsamında üretilen ekmeklerin sertlik, sakızımsılık ve çiğnenebilirlik değerleri arasında kullanılan un çeşidine ve işlem koşullarına (dalga boyu ve emitter gücü) göre önemli farklar tespit edilmiştir.

4.12.4. Ekmeklerin Renk Özellikleri

Ekmeklerin renk ölçümleri, ekmek içinden gerçekleştirilmiştir. Seçilen örneklerden yapılan ekmeklerin renk değerleri Tablo 22’de sunulmuştur.

Ekmeklerin L^* değerleri 66,57 ile 69,75 aralığında değişmekte olup bu değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Tez çalışması kapsamında üretilen ekmeklerin kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) değerlerindeki farklar ise istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir ($p<0,05$). Bisküvilik unlardan üretilen ekmekler, diğer ekmeklerden daha yüksek a^* değerlerine sahiptir. Benzer şekilde bisküvilik unların a^* değerleri de diğer unlardan yüksek bulunmuştur. Dolayısıyla bu fark, ekmek yapımında kullanılan unların renk karakteristiğindeki farklılara atfedilebilir. Kısa dalga boyunda işlenmiş unlardan üretilen ekmeklerin b^* değerleri, kontrol ekmeğinden istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Yüksek proteinli unlardan üretilmiş ekmeklerin kontrol ekmeği ile arasında en düşük toplam renk farkı bulunmaktadır. Düşük proteinli ve bisküvilik unlara uygulanan işlemlerde emitter güçlerinin artmasıyla bu unlardan üretilen

ekmeklerin toplam renk farkı da artmıştır. İşlenmiş unlardan üretilen ekmekler arasında, 1000 W gücünde işlenmiş bisküvilik undan üretilen ekmeğin kontrol ekmeği ile arasındaki toplam renk farkı en yüksektir.

Tablo 22

Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin renk değerleri, (n=6)*

	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>ΔE</i> (toplam renk farkı)
Kontrol	68,75±0,47	-1,53±0,03 ^{DE}	13,99±0,29 ^C	-
YP KD 1000 W	68,52±0,46	-1,45±0,02 ^{CD}	15,24±0,37 ^{BC}	1,56±0,16 ^C
YP OD 900 W	67,04±0,05	-1,69±0,06 ^E	14,86±0,17 ^C	1,91±0,06 ^C
DP KD 900 W	69,75±0,31	-1,47±0,04 ^{CD}	16,88±0,21 ^A	3,05±0,16 ^{AB}
DP KD 1000 W	69,28±1,27	-1,32±0,03 ^C	16,88±0,53 ^A	3,73±0,14 ^A
DP OD 600 W	66,57±0,75	-1,61±0,05 ^{DE}	14,60±0,26 ^C	2,51±0,48 ^{BC}
B KD 600 W	69,44±0,48	-0,50±0,03 ^{AB}	16,84±0,16 ^A	3,16±0,14 ^{AB}
B KD 700 W	67,41±1,01	-0,66±0,04 ^B	16,45±0,30 ^{AB}	3,36±0,34 ^{AB}
B KD 800 W	68,00±0,36	-0,30±0,00 ^A	17,13±0,03 ^A	3,45±0,10 ^{AB}
<i>p</i>	0,055	0,000	0,000	0,000

*YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

**Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Genel olarak, tez kapsamında üretilen ekmeklerin renk değerleri istatistiksel olarak farklı bulunmasına rağmen, matematiksel olarak birbirine oldukça yakındır. Tüm ekmek örneklerinin toplam renk farkının da 4'den daha düşük olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, söz konusu şartlarda uygulanan işlemlerin, unlarının renk değerleri üzerinde çok büyük bir etkisi olmamasının yanı sıra bu unlardan üretilen ekmeklerin de renk değerlerinde önemli bir farka neden olmadığı sonucuna varılmıştır.

4.12.5. Ekmeklerin Duyusal Özellikleri

Tez kapsamında üretilen ekmekler, üniversite personellerinden oluşan 30 kişilik bir gruba tattırılarak tüketici beğenirliği testi yapılmıştır. Bu test için 7 noktalı hedonik skala kullanılmış olup en yüksek beğeni değeri 7'dir. Ayrıca tüketicilerden ekmekleri beğenileri

doğrultusunda sıralamaları da istenmiştir. Dolayısıyla burada en düşük değer en yüksek beğeniyi ifade etmektedir. Buna göre, termal işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin duyuusal özellikleri Tablo 23'te sunulmuştur. Genel olarak, kontrol unundan üretilen ekmek görünüş bakımından işlem gören unlardan üretilmiş ekmeklerden daha yüksek puan almıştır. Ancak, ekmeklerin görünüş özelliklerindeki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Düşük proteinli un dan üretilen ekmeklerin tekstür özellikleri diğer işlem gören örneklerden daha çok beğenilmiş ve kontrol örneğine yakın puan almıştır. Bisküvilik un dan üretilen ekmekler ise görünüş, tekstür ve lezzet özellikleri yönünden diğer ekmeklerden daha düşük puan almıştır. Ekmekler, aroma ve lezzet yönünden sırasıyla 4,72-5,54 ve 4,18-5,54 arasında puanlar almışlardır. Ekmek örneklerinin görünüş, aroma ve lezzet özelliklerinde istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Genel beğeni sıralaması bakımından en yüksek puanı düşük proteinli un dan üretilen ekmekler almıştır. En az beğenilen ekmekler ise termal işlem görmüş bisküvilik un dan üretilen ekmekler olmuştur.

Tablo 23

Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin duyuusal özellikleri, (n=30) *

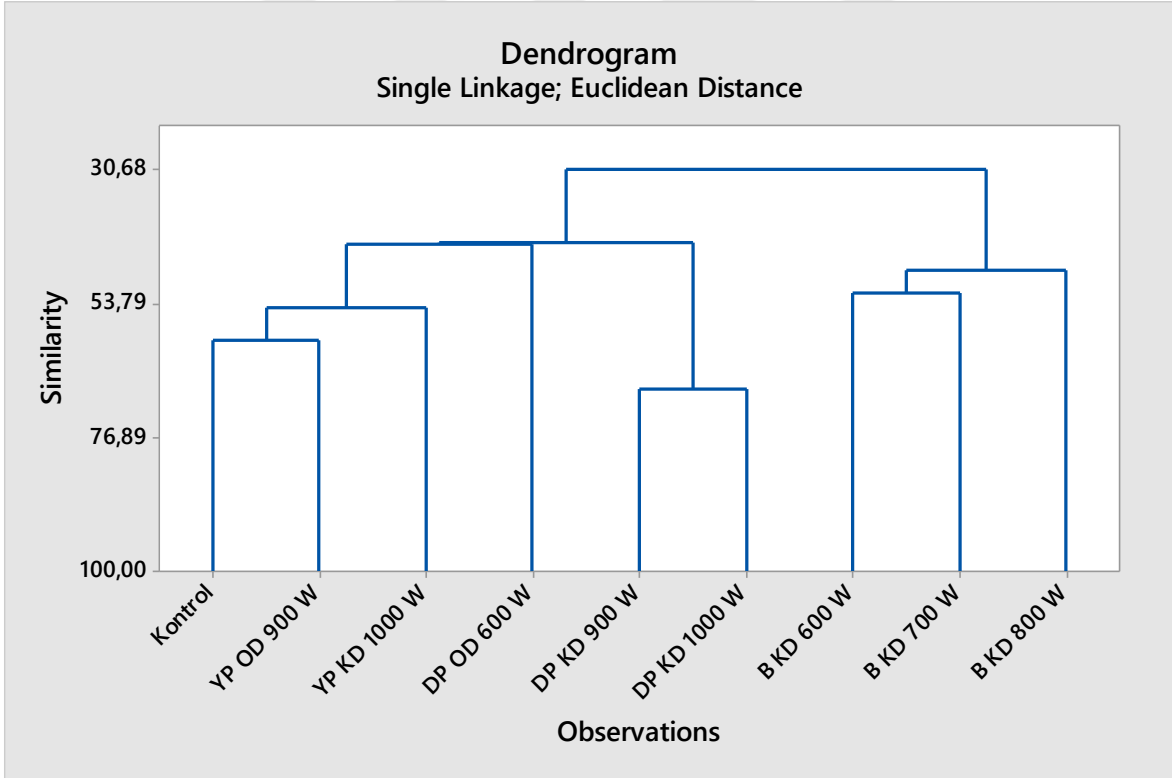
	Görünüş	Tekstür	Aroma	Lezzet	Sıralama
Kontrol	6,09±0,21	5,45±0,28 ^{AB}	5,00±0,44	5,09±0,31	3,63±0,83 ^{AB}
YP KD 1000 W	5,81±0,26	5,09±0,28 ^{ABC}	5,27±0,19	4,90±0,41	4,00±0,33 ^{AB}
YP OD 900 W	5,54±0,34	4,72±0,33 ^{ABC}	4,72±0,38	4,81±0,32	5,27±0,57 ^{BC}
DP KD 900 W	5,45±0,24	5,54±0,24 ^{AB}	5,45±0,24	5,45±0,31	3,18±0,58 ^A
DP KD 1000 W	5,63±0,31	5,63±0,27 ^{AB}	5,54±0,34	5,36±0,41	3,18±0,68 ^A
DP OD 600 W	5,54±0,28	5,54±0,31 ^{AB}	5,45±0,28	5,54±0,34	3,18±0,89 ^A
B KD 600 W	4,90±0,34	4,27±0,40 ^C	5,09±0,47	4,18±0,42	6,00±0,76 ^C
B KD 700 W	4,63±0,49	4,54±0,39 ^{BC}	5,36±0,41	4,54±0,31	5,36±0,75 ^{BC}
B KD 800 W	4,90±0,49	4,27±0,42 ^C	4,81±0,44	4,18±0,37	6,18±0,74 ^C
p	0,183	0,023	0,858	0,091	0,005

*YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

**Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Dunn testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

4.12.6. Ekmeklerin Belirlenen Özellikleri Yönünden Değerlendirilmesi

Uygulanan analiz sonuçlarına göre üretilen ekmeklerin yakınlıkları ya da ayrılıklarına göre toplu olarak değerlendirildiği dendrogram Şekil 10'da sunulmuştur. Orta dalga boyunda 900 W gücünde işlenmiş yüksek proteinli undan üretilen ekmeğin %62 benzerlik oranıyla, kontrole en benzer olan ekmeğdir. Bunu sırasıyla kısa dalga boyunda 1000 W gücünde işlenmiş yüksek proteinli undan üretilen ekmeğin %54 benzerlik oranıyla takip etmektedir. Tüketiciler tarafından genel beğeni sırasında en yüksek puanı alan düşük proteinli unlardan üretilen ekmekler, kontrol ekmeğine %42 benzerlik göstermektedir. Kısa dalga boyunda işlenmiş düşük proteinli unlardan üretilen ekmekler birbirlerine %67 gibi yüksek benzerlik oranına sahiptir. İşlenmiş bisküvilik unlardan üretilen ekmekler, diğer ekmeklerin oluşturduğu kümelerden %31 benzerlik seviyesinden sonra ayrılmıştır. Bu unlardan üretilen ekmekler genel olarak daha sert olup, duyuşal yönden tüketici beğenirliğı düşüktür.



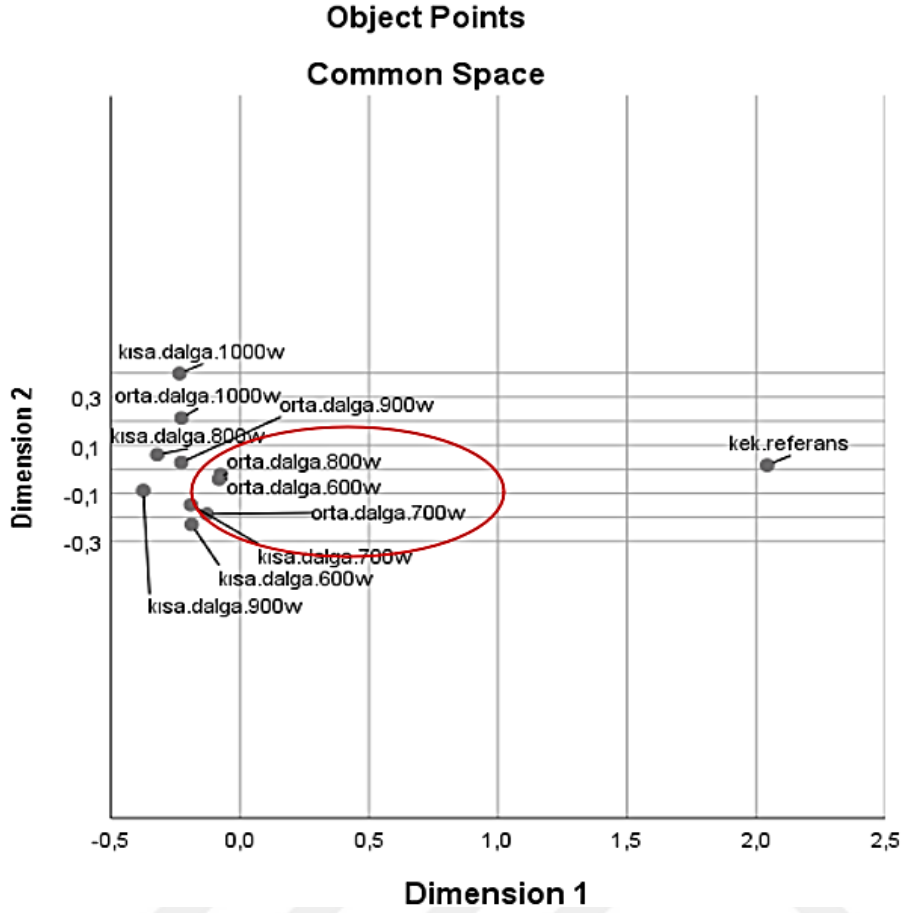
Şekil 10. Uygulanan analiz sonuçlarına göre tüm ekmeklerin toplu olarak karşılaştırılması*
* YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

4.13. Hidrotermal İşlem Görmüş Unlardan Üretilen Keklerin Özellikleri

4.13.1. Kek Üretiminde Kullanılacak Örneklerin Belirlenmesi

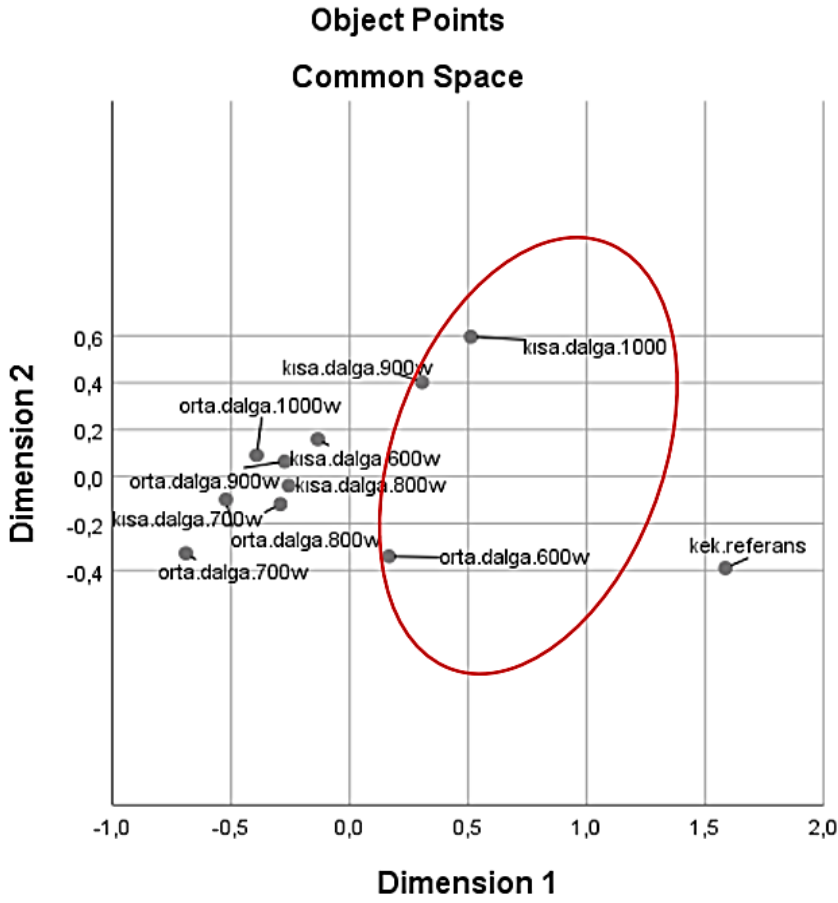
Kek üretiminde kullanılacak örnekler hidrotermal işlem görenler arasından belirlenmiştir. Tez kapsamında kullanılan düşük proteinli un kek unudur. Bu nedenle kek yapımında kullanılacak örneklerin seçilmesinde işlem görmemiş düşük proteinli un (kontrol) referans olarak kullanılmıştır. İşlem görmemiş düşük proteinli un ile birlikte her bir un türünden üçer adet örnek belirlenmiştir. Toplamda seçilen 9 örnekten kek üretimi gerçekleştirilmiştir. Kek yapımında kullanılacak örneklerin belirlenmesi için de farklı yöntemler denenmiştir. Ekmek yapımında kullanılacak örneklerin seçiminde olduğu gibi kek yapımında kullanılacak örneklerin seçiminde de stres değerlerinin istenenden düşük, hesaplanan dağılım değerlerinin 1'e yakın çıkması sebebiyle Proxcal yaklaşımı ile çok boyutlu ölçekleme analizi kullanılmıştır. Her bir un türüne ayrı ayrı uygulanana çok boyutlu ölçekleme analizine ait stres ve hesaplanan dağılım değerleri ile belirlenen işlem koşulları aşağıda belirtilmiştir.

Yüksek proteinli una uygulanan çok boyutlu ölçekleme analizine ait grafik ve seçilen örnekler Şekil 11'de gösterilmektedir. Şekle göre kek referansına en yakın dolayısı ile en benzer olan unlar orta dalga boyunda 600 W, 700 W ve 800 W gücünde işlem gören örneklerdir. Bu örneklerin referans örneğe sırasıyla 2,117, 2,180 ve 2,124 birim uzaklıktadır. Bu analizin stres değeri 0,001; hesaplanan dağılım değeri ise 0,999 olarak bulunmuştur.



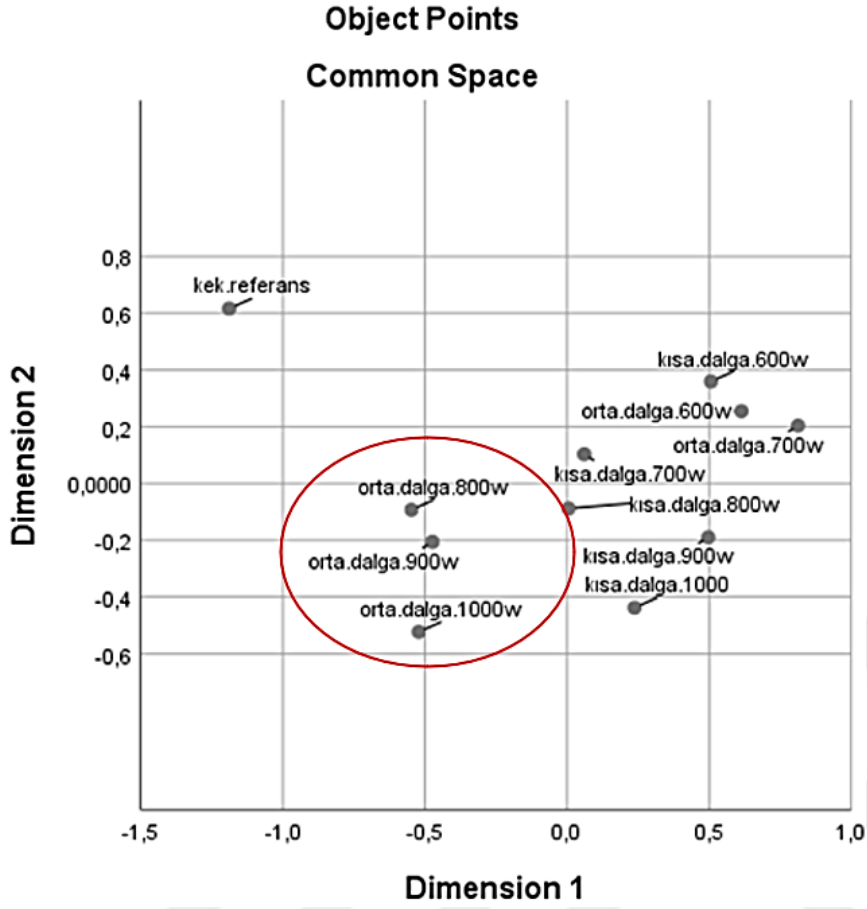
Şekil 11. Hidrotermal işlem görmüş yüksek proteinli unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı

Düşük proteinli unlara uygulanan çok boyutlu ölçekleme analizine ait grafik ve seçilen örnekler Şekil 12’de sunulmaktadır. Çok boyutlu ölçekleme analizine göre düşük proteinli unlarda oluşturulan modelin stres değeri 0,001; hesaplanan dağılım değeri ise 0,999’dır. Kek referansına en yakın olan örnekler kısa dalga boyunda 1000 W; orta dalga boyunda 600 W gücünde işlem gören örneklerdir. Bu örneklerin referans örneğe olan uzaklıkları sırasıyla 1,458 ve 1,421 birim bulunmuştur.



Şekil 12. Hidrotermal işlem görmüş düşük proteinli unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı

Bisküvilik un örneklerinde uygulanan çok boyutlu ölçekleme analizine ait grafik ve seçilen örnekler Şekil 13’de sunulmaktadır. Bu analizinin stres değeri 0,001; hesaplanan dağılım değeri ise 0,999 olarak bulunmuştur. Şekilde de görüldüğü üzere referans ürününe en yakın konumda olan örnekler orta dalga boyunda 800 W, 900 W ve 1000 W gücünde işlem gören örneklerdir. Bu örneklerin referans örneğe olan uzaklıkları sırasıyla 0,956, 1,090 ve 1,321 birim bulunmuştur.



Şekil 13. Hidrotermal işlem görmüş bisküvilik unların ve referans unun çok boyutlu ölçekleme analizi ile 2 boyutta dağılımı

4.13.2. Kek Özellikleri

Seçilen koşullarda hidrotermal işlem görmüş unlardan üretilen kekler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra polipropilen ambalaj ile tek tek paketlenerek 30 °C ve %65 RH ortamında 30 gün süresince depolanmıştır. Depolama boyunca her 7 günde bir öneklere nem, hacim, ağırlık kaybı, tekstür ve renk analizleri yapılmıştır. Kontrol keki işlem görmemiş düşük proteinli un kullanılarak üretilen kektir. Buna göre tez kapsamında üretilen keklerin depolama süresince nem, ağırlık kaybı, hacim ve spesifik hacim değerlerindeki değişimler Tablo 24'te sunulmuştur. Keklerin 0. gününe ait görseller ise Şekil 14'te gösterilmiştir.

Tablo 24

Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen keklerin 30 günlük depolama süresince (30 °C, %65 RH) nem, pişme kaybı, hacim ve spesifik hacim değerleri, (n=4)*

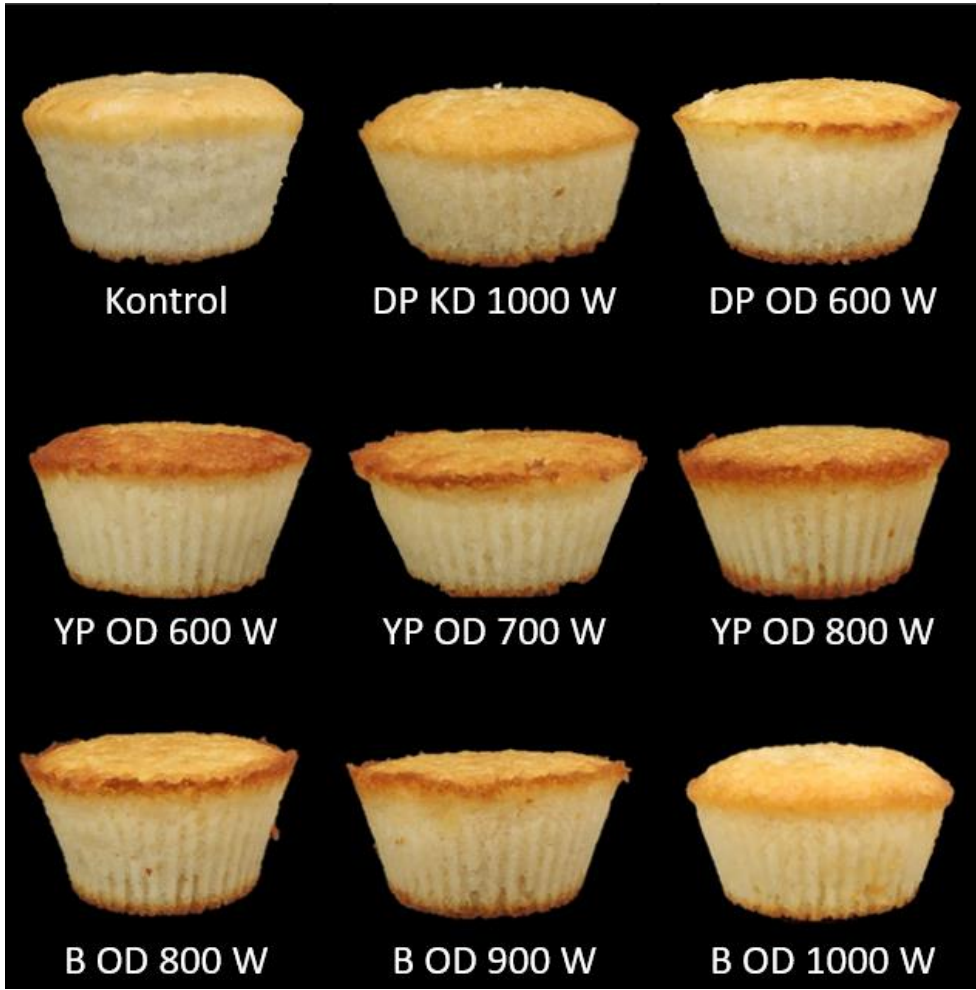
	Depolama günü	Nem (%)	Pişme kaybı (%)	Hacim (mL)	Spesifik hacim (mL/g)
Kontrol	0	27,12±0,41	11,33±0,71	81,00±1,00 ^A	1,82±0,03
	7	26,90±0,03	12,13±0,85	78,00±2,00 ^{AB}	1,77±0,02
	14	26,67±0,21	12,76±0,60	75,50±0,50 ^{AB}	1,73±0,02
	21	26,57±0,01	13,08±0,28	74,50±0,50 ^B	1,71±0,01
	30	25,61±0,35	13,13±0,21	75,00±1,00 ^{AB}	1,72±0,01
	<i>p</i>	0,058	0,288	0,043	0,117
	DP KD 1000 W	0	29,63±0,16	8,27±0,89	69,50±0,50 ^A
7		28,24±0,25	9,16±0,08	67,50±0,50 ^{AB}	1,49±0,01 ^A
14		27,32±0,93	9,62±0,70	65,50±0,50 ^B	1,44±0,02 ^{AB}
21		27,79±0,65	9,57±1,21	64,50±0,50 ^{BC}	1,42±0,01 ^{AB}
30		27,77±0,68	9,85±0,39	61,00±1,00 ^C	1,35±0,01 ^B
<i>p</i>		0,216	0,640	0,002	0,008
DP OD 600 W		0	29,57±0,02	8,39±0,09	72,00±2,00 ^A
	7	28,23±0,61	9,07±0,59	66,50±1,50 ^{AB}	1,46±0,04 ^{AB}
	14	28,17±0,27	9,60±0,22	65,00±1,00 ^{AB}	1,43±0,02 ^{AB}
	21	28,16±0,20	10,10±0,28	63,00±1,00 ^B	1,40±0,02 ^{AB}
	30	27,67±0,50	9,68±0,12	62,50±0,50 ^B	1,38±0,01 ^B
	<i>p</i>	0,106	0,069	0,018	0,046
	YP OD 600 W	0	29,54±0,20	8,48±0,56	75,50±0,50 ^A
7		29,03±0,64	8,67±0,51	73,00±1,00 ^{AB}	1,60±0,03
14		28,37±0,32	8,98±0,52	71,00±1,00 ^{AB}	1,56±0,03
21		27,92±0,11	8,74±0,44	69,00±1,00 ^B	1,51±0,02
30		27,81±0,23	9,74±0,24	69,00±1,00 ^B	1,52±0,02
<i>p</i>		0,068	0,448	0,016	0,081

Tablo 24'ün devamı...

YP OD 700 W	0	28,80±0,87	9,36±0,36	73,50±0,50 ^A	1,62±0,00 ^A
	7	28,31±0,66	9,64±0,54	71,00±3,00 ^{AB}	1,59±0,06 ^{AB}
	14	27,78±0,01	9,90±0,30	69,00±1,00 ^{AB}	1,53±0,02 ^{AB}
	21	27,57±0,09	9,99±0,21	67,00±1,00 ^{AB}	1,48±0,01 ^{AB}
	30	26,66±0,60	10,89±0,15	64,00±1,00 ^B	1,42±0,01 ^B
	<i>p</i>	0,225	0,138	0,046	0,038
YP OD 800 W	0	28,54±0,71	9,54±0,10	71,00±1,00 ^A	1,56±0,02 ^A
	7	27,81±0,14	10,01±0,03	65,50±0,50 ^B	1,47±0,02 ^{AB}
	14	27,70±0,43	10,31±0,25	64,50±1,50 ^B	1,43±0,03 ^{AB}
	21	27,46±0,29	11,01±0,07	61,50±0,50 ^B	1,38±0,01 ^B
	30	26,42±0,23	11,20±0,96	61,50±0,50 ^B	1,36±0,01 ^B
	<i>p</i>	0,104	0,183	0,003	0,011
B OD 800 W	0	30,38±0,13 ^A	7,05±0,63 ^B	75,00±1,00 ^A	1,61±0,01 ^A
	7	29,20±0,05 ^{AB}	7,68±0,38 ^{AB}	71,00±1,00 ^{AB}	1,53±0,01 ^B
	14	28,84±0,17 ^B	7,96±0,14 ^{AB}	67,50±0,50 ^{BC}	1,46±0,01 ^{BC}
	21	28,27±0,47 ^B	8,47±0,25 ^{AB}	65,00±1,00 ^C	1,42±0,01 ^C
	30	28,25±0,29 ^B	9,25±0,09 ^A	64,50±0,50 ^C	1,42±0,01 ^C
	<i>p</i>	0,011	0,046	0,001	0,001
B OD 900 W	0	30,06±0,07 ^A	7,35±0,21 ^C	69,50±0,50 ^A	1,50±0,01 ^A
	7	28,66±0,18 ^B	8,07±0,29 ^{BC}	67,50±0,50 ^{AB}	1,46±0,01 ^A
	14	28,37±0,31 ^B	8,20±0,18 ^{BC}	65,50±0,50 ^{BC}	1,43±0,01 ^{AB}
	21	28,24±0,13 ^B	8,73±0,25 ^{AB}	65,00±1,00 ^{BC}	1,42±0,02 ^{AB}
	30	28,23±0,33 ^B	9,59±0,11 ^A	62,50±0,50 ^C	1,38±0,01 ^B
	<i>p</i>	0,010	0,006	0,004	0,010
B OD 1000 W	0	29,96±0,46	7,55±0,37 ^C	65,50±0,50	1,41±0,01
	7	28,87±0,33	8,27±0,31 ^{BC}	65,00±1,00	1,41±0,02
	14	28,59±0,28	8,50±0,18 ^{ABC}	64,50±0,50	1,40±0,01
	21	28,12±0,68	8,94±0,04 ^{AB}	63,00±1,00	1,38±0,02
	30	27,90±0,72	9,67±0,11 ^A	61,50±0,50	1,36±0,01
	<i>p</i>	0,192	0,011	0,056	0,289

*YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

**Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).



Şekil 14. Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen kekler*

* YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

Depolama süresince hidrotermal işlem görmüş unlardan üretilen keklerle kıyasla, kontrol unundan üretilen kekin nem içeriği istatistiksel olarak daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). En yüksek nem içeriği ise 800 W ve 900 W gücünde hidrotermal işlem görmüş bisküvilik unlardan üretilen keklerde tespit edilmiştir ($p<0,05$). Yüksek proteinli ve bisküvilik unlara uygulanan hidrotermal işlemlerde emitter gücünün artmasıyla birlikte, bu unlardan üretilen keklerin nem içerikleri azalmıştır ($p<0,05$). Nişasta granülünün yüzeyinde, içine su emilimini engelleyen bir bariyer oluşturan proteinlerin ısı ile kısmi denatürasyonu sayesinde, granül içerisine su geçişinin kolaylaştığı ve absorbe edilen su miktarı arttığı bildirilmiştir (Keppler vd., 2018; Neill vd., 2012). Bu bağlamda, tez çalışması kapsamında buğday unlarına uygulanan hidrotermal işlemler nedeniyle unların protein/gluten yapılarının kısmi denatürasyonu sonucu nişasta granülü

tarafından emilen su miktarı artmış, dolayısıyla kontrol (işlem görmemiş undan üretilen) kek örneğine göre bu işlenmiş unlardan yapılan keklerin nem içerikleri den daha yüksek bulunmuş olabilir.

Diğer yandan, sadece 800 W ve 900 W gücünde hidrotermal işlem görmüş bisküvilik unlardan üretilen keklerin depolama boyunca nem içeriklerindeki azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak bu azalma sayısal olarak değerlendirildiğinde %2,13 düzeyinde olup pratikte önemli değildir. Tez kapsamında üretilen diğer keklerin nem değerlerinde ise depolama süresince %1,51 ile %2,14 aralığında, istatistiksel olarak önemli bulunmayan azalmalar tespit edilmiştir ($p>0,05$). Luyts vd. (2013), konveksiyonel fırında (160 °C'de 55 dk) pişirdikleri kekleri plastik torbalar içerisinde 23 °C'de 12 gün süresince depolamışlardır. Depolama süresince keklerin nem değerlerinin %26,2'den %20,9'a azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar depolamanın ilk 8 günlük periyodunda çok yoğun bir nem göçünün olduğu, sonrasında ise bu göçün yavaşlayarak nemin dengelendiği belirtmişlerdir.

Özellikle verim açısından fırın ürünlerinde önemli bir kriter olan pişme kaybı, temelde hamurdan buharlaşan suyu ifade etse de bunun yanında çok az miktarda alkol, esterler ve organik asit gibi uçucu bileşenlerin kaybını da kapsamaktadır. Pişme kaybının fazla olması, bayatlamayı hızlandıran bir faktör olup ürünün tekstür ve duyu özelliklerini de olumsuz yönde etkilemektedir (Tuncel vd., 2014). Depolama süresince en yüksek pişme kaybı kontrol unundan üretilen kekte gözlenmiş olup, hidrotermal işlem ile keklerin pişme kaybında istatistiksel olarak önemli bir düşüş sağlanmıştır ($p<0,05$) (Tablo 24). Genel olarak işlem görmüş bisküvilik unlardan üretilen keklerin pişme kaybı diğer keklerden daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca hidrotermal işlem görmüş yüksek proteinli ve bisküvilik unlardan üretilen keklerde, unlara uygulanan emitter gücünün artmasıyla orantılı olarak, bu unlardan üretilen keklerin pişme kayıpları da artmıştır ($p<0,05$). Benzer şekilde Liu vd. (2020) de, farklı sürelerde (1, 3, 5, 7 ve 9 dk) aşırı ısıtılmış buhar (buhar sıcaklığı 115 °C ile 225 °C arasında) uyguladıkları unlardan kek üretmişlerdir. İşlenmiş unlardan üretilen keklerin pişme kayıplarının daha düşük olduğu, işlem süresinin artmasıyla pişme kaybının da azaldığını belirlenmiştir. Araştırmacılar bu sonucu, protein denatürasyonu sayesinde, kek hamurunun su tutma kapasitesinin artmasına ve sonuç olarak da keklerin pişirme sırasında su kaybının azalmasına atfetmişlerdir. Bu durumu destekler şekilde çalışmamızda uygulanan hidrotermal işlem sonrası buğday unlarının protein

denatürasyonuna bağlı olarak örneklerin gluten proteinleri ekstrakte edilememiş ve sedimentasyon değerleri oldukça düşük bulunarak protein kalitesi kötü olarak nitelendirilmiştir. Dolayısıyla tez kapsamında üretilen keklerin pişme kaybının kontrolden daha düşük bulunması da hidrotermal işlemlerin neden olduğu protein denatürasyonuna atfedilebilir. Ayrıca, keklerin nem içerikleri ile pişme kayıpları arasında negatif yönlü doğrusal korelasyon istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($r=-0,901$, $p=0,000$). Bu, hamurdan buharlaşan suyun esas olarak pişme kaybına neden olmasına atfedilebilir.

Diğer yandan, düşük proteinli ve yüksek proteinli unlardan üretilen keklerin pişme kaybı üzerine depolama süresinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Ancak, hidrotermal işlem görmüş bisküvilik unlardan üretilen keklerin depolama boyunca pişme kaybındaki artış istatistiksel olarak önemli bulunmakla birlikte ($p<0,05$), bu değişimlerin %2,12 ile %2,24 aralığında oldukça küçük olduğu belirlenmiştir. Örneklerin pişirme kaybındaki artışın nedeni depolama sırasındaki nem kaybına atfedilebilir.

Kekler için bir diğer önemli kalite parametreleri olan hacim ve spesifik hacim değerleri, kabartma tozu tarafından salınan karbondioksit ve karıştırma sırasında hamura dahil edilen havaya bağlı olarak değişmektedir. Kontrol kek örneği, 30 günlük depolama süresi boyunca diğer kekler örneklerine göre daha yüksek hacim ve spesifik hacim değerlerine sahip olmuştur ($p<0,05$) (Tablo 24). Hidrotermal işlem görmüş unlardan yapılan kek örnekleri arasında ise en yüksek hacim ve spesifik hacim değerleri 600 W gücünde işlem görmüş yüksek proteinli undan üretilmiş kekte gözlenmiştir ($p<0,05$). En düşük hacim ve spesifik hacim değerleri ise 1000 W emitter gücünde işlenmiş bisküvilik undan üretilen kekte tespit edilmiştir. Unlara uygulanan emitter gücünün artmasıyla orantılı olarak, yüksek proteinli ve bisküvilik unlardan üretilen keklerin hacim ve spesifik hacim değerleri azalmıştır ($p<0,05$). Liu vd. (2020), unlara 165 °C, 190 °C ve 215 °C’de kısa sürelerde (sırasıyla 3 dk, 1 dk, 1 dk) uygulanan aşırı ısıtılmış buhar işleminin keklerin spesifik hacim değerlerinde önemli bir artışa sebep olduğunu, ancak işlem süresinin artmasıyla örneklerin spesifik hacim değerlerinin azaldığını bulmuşlardır. Araştırmacılar, aşırı ısıtılmış buhar işleminin koşullarına bağlı olarak oluşan belirli seviyedeki protein denatürasyonu ile birlikte proteinin hidrofobikliğinin arttığını belirtmişlerdir. Bunun sonucunda da pişirme sırasında keklerin gaz tutma kapasitesinin belirli oranda artabileceği ifade edilmiştir.

Sadece, 1000 W gücünde işlenmiş bisküvilik undan üretilen kekin hacim değeri üzerine depolama süresinin etkisi önemsiz bulunurken ($p>0,05$), tez kapsamında üretilen diğer keklerin hacim değerinde depolama süresince istatistiksel olarak önemli azalmalar tespit edilmiştir ($p<0,05$). Düşük proteinli ve yüksek proteinli unlardan yapılan keklerin hacim değerinde depolama süresinin istatistiksel olarak önemli değişimler tespit edilmiştir ($p<0,05$). Spesifik hacim değerine bakıldığında ise bu örneğe (1000 W gücünde işlenmiş bisküvilik undan üretilen kek) ek olarak işlem görmemiş düşük proteinli (kontrol) ve 600 W gücünde işlenmiş yüksek proteinli unlardan üretilen keklerin de depolama süresince spesifik hacim değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Ancak değerler matematiksel olarak incelendiğinde bu örneklerin spesifik hacim değerlerinin sırasıyla %5,49 ve %7,88 oranında azaldığı görülmektedir. Ayrıca tüm kek örneklerinin hacim ve spesifik hacim değerlerinde depolama süresi boyunca sırasıyla %10,88 ve %9,49 oranlarına ulaşan azalmalar tespit edilmiştir ($p<0,05$). Depolamanın ilk 7 günlük süresinde bu azalmanın daha fazla olduğu görülmektedir.

4.13.3. Keklerin Tekstür Özellikleri

Gıda ürünlerinin dokusu, tekstür analizi veya duyuusal değerlendirme ile belirlenebilir. Tekstür analizinde, kontrollü bir kuvvete karşı deformasyon eğrisi oluşturulmakta ve ürünün mekanik özellikleri değerlendirilmektedir (Ben Jeddou vd., 2017). Keklerin tekstür özellikleri ürünün formülasyonu, pişirilmesi, tazeliği gibi birçok konuda bilgi sağlamaktadır. Seçilen koşullarda hidrotermal işlem görmüş unlardan üretilen keklerin 30 günlük depolama boyunca tekstür özelliklerindeki değişimler Tablo 25'te gösterilmiştir.

Bir gıdanın sertliği, sıkıştırılması için gerekli kuvvet olarak tanımlanır ve tazelik algısıyla güçlü bir ilişkisi bulunmaktadır (Milner vd., 2020). Kek örneklerinin depolama süresince sertlik değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Depolamanın 0. gününde en düşük sertlik değeri kontrol unundan üretilen kekte tespit edilmiş, unlara uygulanan hidrotermal işlemin keklerin sertlik değerlerinin artmasına neden olduğu görülmüştür. Bununla beraber, hidrotermal işlem görmüş unlardan üretilen kekler arasında en düşük sertlik değeri 600 W gücünde işlenmiş yüksek proteinli undan üretilen kekte gözlenmiştir ($p<0,05$) ve 30 günlük depolama sonunda bu kekin sertlik değeri kontrol örneğine benzer bulunmuştur ($p>0,05$).

Hidrotermal işlemde unlara uygulanan emitter gücünün artmasıyla orantılı olarak, yüksek proteinli ve bisküvilik unlardan üretilen keklerin sertlik değerleri de artmıştır ($p<0,05$).

Depolama süresi boyunca tüm kek örneklerinin sertlik değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir artış meydana gelmiştir ($p<0,05$) (Tablo 25). Sertlik değeri 30 günlük depolama süresi sonunda kontrol unundan üretilen keklerde 1,64 kat artarken, işlem görmüş unlardan üretilen keklerde ise 0,73 ile 1,24 kat arasında artmıştır. Kek içi sertliğinin depolama süresi boyunca artırdığı, daha önce başka araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir (Pierre Gélinas vd., 1999; Luyts vd., 2013; Milner vd., 2020). Araştırmacılar bu durumu, gözenekli yapısı nedeniyle keklerin içerdiği nemi depolama süresince dış ortama aktarmasına ve bunun sonucunda tekstürün bozularak daha sert bir yapı kazanmasına atfetmişlerdir. Bununla birlikte keklerin sertlik değerleri ile hacim ($r=-0,919$, $p=0,000$) ve spesifik hacimleri ($r=-0,858$, $p=0,000$) arasında istatistiksel olarak önemli ve negatif korelasyonlar tespit edilmiştir. Yüksek hacimli keklerin daha düşük bir sertlik değerine sahip olduğu daha önce başka araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Gómez vd., 2008; Liu vd., 2020; Moiraghi vd., 2013). Alvarez-Ramirez vd. (2020) bu durumu, düşük hacimli keklerin daha az gözenekli dolayısıyla daha yoğun bir iç yapıya sahip olması sonucu daha sert tekstür sergilemesine atfetmişlerdir.

Tekstür analizinde belirlenen esneklik değeri, ilk sıkıştırma giderildiğinde ürünün geri kazanılabildiği enerji oranıdır (Lu vd., 2010). Tez kapsamında üretilen keklerin 0,42 ile 0,53 arasında değişen esneklik değeri depolama ile istatistiksel olarak önemli oranda azalarak, depolama sonunda 0,31 ile 0,37 arasına düşmüştür ($p<0,05$) (Tablo 25). Nhouchi ve Karoui (2018), kolza tohumu yağı ve palm yağı kullanarak hazırladıkları kekleri plastik poşetler içerisinde 20 °C ve %65 RH bağıl nemde 58 gün depolamışlardır. Araştırmacılar, depolamanın 5. gününden 58. gününe kadar, kolza tohumu yağı ve palm yağı kullanarak hazırladıkları keklerin esneklik değerlerinde sırasıyla %38,46 ve %31,25 oranlarında azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Ayrıca, tez kapsamında üretilen keklerin esneklik değeri ile nem ($r=0,566$, $p=0,000$) ve hacim ($r=0,670$, $p=0,000$) değerleri arasında istatistiksel olarak önemli pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Bu durum, örneklerin nem kaybına ve hacmindeki azalmaya bağlı olarak daha

kırılgan yapıya sahip olmasına ve geri kazanımının (esnekliğinin) düşmesine atfedilmiştir (Díaz-Ramírez vd., 2016).

Bağlayıcılık değeri, kek yapısını oluşturan iç bağların gücünü göstermektedir (Lu vd., 2010). Tez kapsamında üretilen tüm keklerin bağlayıcılık değerleri depolama süresi boyunca 0,73 ile 0,95 arasında değişmiş ve bu istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kek örneklerinin depolama süresince bağlayıcılık değerlerindeki bu varyasyon disülfit, hidrojen ve iyonik bağlardaki değişikliklere atfedilebilir (Mauricio Sergio Esteller vd., 2004).

Elastikiyet değeri ise, ürün üzerindeki deforme edici kuvvet kaldırıldıktan sonra kendini toparlayarak deformasyondan önceki haline dönme hızı olarak tanımlanmaktadır (Lu vd., 2010)). Hamur elastikiyetinin öznel değerlendirmesi normalde tüketiciler tarafından yapılıp ve pişmiş ürünün parmak ile hafifçe bastırılması sonucu orijinal şekline ne kadar kolay döndüğünün doğrulanmasından oluşur (Esteller vd., 2004). Keklerin bağlayıcılık değerlerine benzer şekilde, elastikiyet değerlerinde de depolama süresince istatistiksel olarak önemli değişimler tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Benzer şekilde Gélinas vd. (1999) de, 21 günlük depolama süresinin keklerin elastikiyet değerlerinde önemli bir değişime neden olmadığını belirtmişlerdir.

Sakızımsılık ve çiğnenebilirlik, gıdanın ağızda ne kadar kolay parçalanabileceği ile pozitif ilişkili parametrelerdir. Sakızımsılık, ürünün sertlik ve bağlayıcılık değerleri kullanılarak belirlenirken; çiğnenebilirlik değerinin belirlenmesinde bunlara ek olarak elastikiyet değerleri de kullanılır (Wee vd., 2018). En düşük sakızımsılık ve çiğnenebilirlik değerleri kontrol unundan üretilen kek örneğinde tespit edilmiştir ($p<0,05$) (Tablo 25). Yüksek proteinli ve bisküvilik unlara uygulanan hidrotermal işlemde emitter gücünün artmasıyla orantılı olarak, bu unlardan üretilen keklerin sakızımsılık ve çiğnenebilirlik değerleri de artmıştır ($p<0,05$). Liu vd. (2020) de unlara uyguladıkları aşırı ısıtılmış buhar işleminin, bu unlardan üretilen keklerin çiğnenebilirlik değerlerinde artışa neden olarak, tekstür özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir.

Tablo 25

Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen keklerin 30 günlük depolama süresince (30 °C, %65 RH) tekstür özellikleri, (n=2)*

	Depolama günü	Sertlik/ hardness (g)	Esneklik/ resilience	Bağlayıcılık/ cohesiveness	Elastikiyet/ springiness (mm)	Sakızmsılık/ gumminess (g)	Çiğnenebilirlik/ chewiness (mj)
Kontrol	0	740,80±26,30 ^D	0,42±0,01 ^{AB}	0,87±0,01	4,66±0,01	650,50±26,70 ^B	29,76±1,19 ^B
	7	1311,00±2,00 ^C	0,44±0,01 ^A	0,88±0,02	4,69±0,01	1153,40±28,30 ^A	53,11±1,24 ^{AB}
	14	1672,00±32,50 ^B	0,38±0,01 ^{AB}	0,83±0,05	4,64±0,19	1384,30±60,70 ^A	63,10±5,34 ^A
	21	1802,30±6,75 ^{AB}	0,37±0,02 ^{AB}	0,83±0,04	4,59±0,22	1498,30±76,70 ^A	67,61±6,69 ^A
	30	1959,00±51,50 ^A	0,35±0,02 ^B	0,79±0,05	4,61±0,10	1552,00±148,00 ^A	70,30±8,22 ^A
	<i>p</i>	0,000	0,046	0,587	0,980	0,003	0,015
DP KD 1000 W	0	1991,00±43,50 ^D	0,46±0,02 ^A	0,90±0,06	4,74±0,15	1791,10±91,80 ^C	83,39±6,91 ^B
	7	2726,80±24,30 ^C	0,39±0,01 ^{AB}	0,80±0,05	4,40±0,09	2196,00±156,00 ^{BC}	94,89±8,67 ^{AB}
	14	3257,30±43,20 ^B	0,35±0,01 ^B	0,79±0,05	4,63±0,15	2568,00±205,00 ^{ABC}	117,00±13,20 ^{AB}
	21	4344,80±51,30 ^A	0,32±0,01 ^B	0,79±0,05	4,77±0,04	3108,80±51,20 ^{AB}	145,44±3,61 ^A
	30	4467,50±6,50 ^A	0,33±0,02 ^B	0,77±0,06	4,46±0,06	3474,00±287,00 ^A	152,30±14,80 ^A
	<i>p</i>	0,000	0,014	0,540	0,201	0,006	0,018
DP OD 600 W	0	1936,80±2,75 ^C	0,44±0,02 ^A	0,87±0,06	4,70±0,12	1688,00±120,00 ^B	78,02±7,61 ^B
	7	2597,30±83,8 ^B	0,37±0,01 ^{AB}	0,75±0,00	4,35±0,06	1941,30±66,90 ^{AB}	82,95±4,09 ^{AB}
	14	3626,00±103,00 ^A	0,34±0,02 ^{AB}	0,79±0,07	4,97±0,09	2905,00±355,00 ^{AB}	141,40±14,60 ^{AB}
	21	3767,80±42,30 ^A	0,30±0,02 ^B	0,77±0,06	4,32±0,18	2922,00±222,00 ^{AB}	124,20±14,60 ^{AB}
	30	3853,00±47,00 ^A	0,31±0,03 ^B	0,80±0,09	4,79±0,07	3075,00±315,00 ^A	144,30±12,60 ^A
	<i>p</i>	0,000	0,039	0,760	0,051	0,028	0,023
YP OD 600 W	0	946,00±38,00 ^C	0,53±0,02 ^A	0,95±0,01	4,87±0,01	902,90±48,70 ^B	43,13±2,41
	7	1496,50±77,0 ^B	0,43±0,01 ^B	0,89±0,04	4,66±0,18	1328,00±127,00 ^{AB}	61,00±8,23
	14	1785,30±38,30 ^A	0,40±0,01 ^B	0,91±0,02	4,77±0,06	1623,90±65,60 ^A	76,08±4,11
	21	1865,00±0,00 ^A	0,36±0,01 ^B	0,85±0,06	4,70±0,13	1584,00±118,00 ^A	73,24±7,54
	30	1892,80±11,70 ^A	0,37±0,01 ^B	0,91±0,09	4,94±0,21	1716,00±183,00 ^A	83,50±12,40
	<i>p</i>	0,000	0,003	0,728	0,655	0,023	0,075

Tablo 25'in devamı...

YP OD 700 W	0	1333,00±53,50 ^C	0,48±0,01 ^A	0,89±0,02	4,77±0,03	1194,70±83,90 ^C	55,91±4,28 ^B
	7	1659,00±131,00 ^C	0,44±0,01 ^{AB}	0,88±0,06	4,74±0,19	1466,00±212,00 ^{BC}	68,50±12,60 ^{AB}
	14	2265,30±12,70 ^B	0,35±0,01 ^C	0,80±0,04	4,46±0,17	1813,20±83,00 ^{ABC}	79,44±6,65 ^{AB}
	21	2891,00±142,00 ^A	0,36±0,02 ^{BC}	0,83±0,07	4,46±0,22	2401,00±319,00 ^{AB}	105,80±19,30 ^{AB}
	30	2942,30±18,20 ^A	0,36±0,01 ^{BC}	0,90±0,00	4,82±0,01	2648,90±7,75 ^A	125,34±0,02 ^A
	<i>p</i>	0,000	0,005	0,528	0,376	0,009	0,030
YP OD 800 W	0	1869,30±47,30 ^C	0,46±0,02 ^A	0,87±0,04	4,73±0,16	1640,00±123,00 ^C	76,25±8,29 ^C
	7	2865,00±148,00 ^B	0,36±0,02 ^B	0,75±0,02	4,28±0,13	2159,30±29,30 ^{BC}	90,67±3,98 ^{BC}
	14	3270,00±221,00 ^{AB}	0,36±0,00 ^B	0,84±0,02	4,73±0,10	2734,00±118,00 ^{AB}	126,69±2,79 ^{AB}
	21	4011,80±60,30 ^A	0,33±0,01 ^B	0,88±0,01	4,54±0,11	3535,30±26,60 ^A	157,55±2,80 ^A
	30	3988,00±175,00 ^A	0,34±0,00 ^B	0,89±0,03	4,82±0,04	3592,00±297,00 ^A	170,10±15,60 ^A
	<i>p</i>	0,001	0,008	0,095	0,103	0,001	0,002
B OD 800 W	0	1459,00±25,50 ^C	0,48±0,01 ^A	0,89±0,04	4,80±0,07	1308,20±90,20 ^B	61,70±5,22
	7	2110,50±63,50 ^B	0,42±0,02 ^{AB}	0,89±0,05	4,85±0,03	1892,00±172,00 ^{AB}	90,03±8,73
	14	2263,00±115,00 ^B	0,35±0,01 ^B	0,81±0,06	4,36±0,36	1861,00±239,00 ^{AB}	80,50±16,90
	21	2967,00±99,00 ^A	0,33±0,03 ^B	0,80±0,08	4,56±0,20	2382,00±328,00 ^{AB}	107,30±19,50
	30	3229,30±77,30 ^A	0,36±0,01 ^{AB}	0,88±0,01	4,80±0,01	2854,40±56,60 ^A	134,38±2,94
	<i>p</i>	0,000	0,021	0,629	0,421	0,020	0,056
B OD 900 W	0	1856,30±14,80 ^C	0,47±0,02 ^A	0,88±0,05	4,82±0,11	1642,00±108,00 ^A	77,80±6,95
	7	2679,50±24,50 ^B	0,47±0,01 ^A	0,91±0,03	4,82±0,01	2447,70±72,60 ^{AB}	115,69±3,19
	14	2709,80±95,80 ^B	0,38±0,02 ^{AB}	0,83±0,00	4,48±0,06	2250,60±71,50 ^{AB}	99,03±4,58
	21	3498,50±67,00 ^A	0,31±0,02 ^B	0,75±0,07	4,39±0,01	2610,00±191,00 ^{AB}	112,32±7,97
	30	3610,30±1,25 ^A	0,34±0,03 ^B	0,82±0,09	4,66±0,17	2951,00±327,00 ^{AB}	135,40±19,80
	<i>p</i>	0,000	0,010	0,421	0,076	0,027	0,073
B OD 1000 W	0	2211,50±29,00 ^C	0,45±0,03 ^A	0,87±0,06	4,76±0,11	1941,00±173,00	90,90±10,30
	7	3036,80±37,70 ^B	0,36±0,01 ^{AB}	0,73±0,01	4,53±0,13	2236,20±70,10	99,55±6,08
	14	3344,00±178,00 ^{AB}	0,35±0,01 ^{AB}	0,80±0,01	4,73±0,03	2686,00±187,00	124,54±7,87
	21	3723,00±122,00 ^A	0,33±0,01 ^{AB}	0,82±0,02	4,66±0,01	3063,40±4,55	140,14±0,360
	30	3834,00±152,00 ^A	0,32±0,03 ^B	0,77±0,09	4,52±0,28	2968,00±476,00	133,00±29,40
	<i>p</i>	0,001	0,041	0,462	0,719	0,084	0,213

*YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

**Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

Örneklerin sertlik değerlerine benzer şekilde, depolama süresi boyunca tüm kek örneklerinin sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinde de istatistiksel olarak önemli artışlar tespit edilmiştir ($p<0,05$). Bu, her iki tekstür değerinin de sertliğe bağlı parametreler olmasına atfedilebilir. Ji vd. (2007) de, pirinç unundan buharda pişirerek hazırladıkları Çin keklerini polietilen torbalarda oda sıcaklığında 5 gün süresince depolamışlardır. Araştırmacılar, saklama süresi boyunca örneklerin sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde Esteller vd. (2004), 10 günlük depolama süresi boyunca kek örneklerinin çiğnenebilirlik değerlerinin arttığını bulmuşlardır.

Ayrıca keklerin sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerleri ile hacim değerleri arasında istatistiksel olarak önemli negatif korelasyonlar tespit edilmiş, daha düşük hacimli keklerin sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür ($r = -0,927$, $p=0,000$; $r=-0,911$, $p=0,000$). Sertlik değerine bağlı parametreler olması sebebiyle bu iki değer de hacim ve spesifik hacim değerleri ile (sertlik değerine) benzer bir korelasyon göstermiş olabilir.

4.12.4. Keklerin Renk Özellikleri

Renk özellikleri, fırıncılık ürünlerinde tüketici tercihinde katkıda bulunan önemli özelliklerinden biridir. Ürünün şeker ve amino asit içeriğine, bağlı nemine, pişirme sıcaklığına ve süresine bağlı olarak renk özellikleri değişmektedir (Esteller ve Lannes, 2008). Tez kapsamında üretilen keklerin renk ölçümlerinde kek içi rengi esas alınmıştır ve depolama süresince renk karakteristiklerindeki değişimler (L^* , a^* ve b^*) Tablo 26'da sunulmuştur.

Keklerin renk karakteristikleri üzerine depolama süresinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Genel olarak depolama süresi boyunca kontrol kekinin L^* (aydınlık/parlaklık) değeri, hidrotermal işlem görmüş unlardan üretilen keklerinkinden daha büyük bulunmuştur ($p<0,05$). Tez kapsamında üretilen kek örnekleri içerisinde sadece 800 W gücünde işlenen yüksek proteinli undan yapılan kekin L^* değerlerine depolama süresinin etkisi (%2,25 azalma) istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Bu örnek haricindeki tüm

kek örneklerinin L^* değerlerinde depolama süresince istatistiksel olarak önemli azalmalar (%2,79 ile %5,86 aralığında) gözlenmiştir ($p<0,05$).

Depolama boyunca tüm kek örneklerinin a^* değeri -3,54 ile -1,51 aralığında değişmiştir. Kek örneklerinin a^* (kırmızılık) değerlerinde depolamayla birlikte istatistiksel olarak önemli bir artış bulunmasına ($p<0,05$) rağmen, değerler sayısal olarak incelendiğinde bu artışın matematiksel olarak çok küçük olup pratikteki karşılığının önemsiz olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, depolamanın başlangıcında (0. gün), keklerin b^* (sarılık) değerleri 19,88 ile 20,64 aralığında bulunmuştur. Depolama ile birlikte keklerin b^* değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir artış (%10,05 ile %20,30 aralığında) söz konusudur ($p<0,05$).

Karaoğlu ve Kotancılar (2009) tarafından, 4 °C'de 90 gün depolanan keklerin renk değerlerinde de benzer değişimler tespit edilmiştir. Araştırmacılar, depolama süresince keklerin renk karakteristiklerindeki bu değişimin, indirgen şeker miktarındaki değişiklikten kaynaklanıyor olabileceğini bildirmişlerdir. Diğer yandan Nhouchi ve Karoui (2018)'ye göre ise, depolama süresince meydana gelen lipid oksidasyonu keklerin koyulaşması gibi renk karakteristiklerinde değişikliklere neden olduğunu belirtmişlerdir.

Tez kapsamında incelenen keklerin toplam renk değişimleri 0. Gün örneklerine göre belirlenmiştir. Tüm kek örneklerinde depolama süresince 3,04 ile 4,87 aralığında toplam renk değişimi gözlenmiştir. Kek örneklerinde meydana gelen renk değişimleri, depolama süresince keklerin fiziko-kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler atfedilebilir. Ayrıca depolama süresince lipidlerin ve doğal pigmentlerin oksidasyonu keklerin renk değişimlerine neden olabilmektedir (Janjarasskul vd., 2016; Nhouchi ve Karoui, 2018).

Tablo 26

Seçilen koşullarda işlem görmüş unlardan üretilen keklerin 30 günlük depolama süresince (30 °C, %65 RH) renk değerleri, (n=4)*

	Depolama günü	L^*	a^*	b^*	ΔE (toplam renk farkı)
Kontrol	0	76,90±0,36 ^A	-2,63±0,01 ^C	20,26±0,15 ^B	-
	7	74,58±0,44 ^{AB}	-2,24±0,05 ^B	21,50±0,16 ^{AB}	2,71±0,34
	14	74,48±0,38 ^B	-1,95±0,13 ^{AB}	22,26±0,19 ^A	3,22±0,42
	21	73,40±0,77 ^B	-1,99±0,05 ^{AB}	22,25±0,29 ^A	4,09±0,81
	30	73,32±0,57 ^B	-1,83±0,06 ^A	22,70±0,55 ^A	4,41±0,78
	<i>p</i>	0,002	0,000	0,000	0,252
	DP KD 1000 W	0	68,76±0,35 ^A	-2,62±0,04 ^C	20,64±0,24 ^C
7		67,37±0,15 ^{AB}	-2,29±0,11 ^{BC}	23,30±0,31 ^{AB}	1,70±0,14 ^B
14		67,94±0,87 ^{AB}	-2,30±0,12 ^{BC}	23,25±0,61 ^B	2,38±0,21 ^{AB}
21		66,57±0,40 ^B	-2,00±0,04 ^{AB}	23,76±0,18 ^{AB}	2,88±0,28 ^{AB}
30		66,54±0,17 ^B	-1,90±0,04 ^A	24,83±0,27 ^A	3,18±0,41 ^A
<i>p</i>		0,020	0,000	0,000	0,014
DP OD 600 W		0	69,70±0,07 ^A	-2,73±0,03 ^B	19,99±0,12 ^C
	7	69,70±0,60 ^A	-2,58±0,14 ^B	21,42±0,22 ^B	2,62±0,42
	14	67,52±0,44 ^B	-2,15±0,06 ^A	22,51±0,11 ^A	2,71±0,11
	21	67,06±0,17 ^B	-2,10±0,02 ^A	22,93±0,13 ^A	3,09±0,15
	30	67,49±0,15 ^B	-2,12±0,02 ^A	23,25±0,25 ^A	3,34±0,24
	<i>p</i>	0,000	0,000	0,000	0,233
	YP OD 600 W	0	74,86±0,97 ^A	-2,59±0,13 ^C	19,87±0,48 ^B
7		74,63±0,61 ^A	-2,07±0,02 ^B	19,97±0,40 ^B	2,31±0,24 ^B
14		71,41±0,51 ^B	-1,94±0,10 ^B	20,56±0,12 ^B	3,76±0,48 ^{AB}
21		70,23±0,91 ^B	-1,70±0,06 ^{AB}	22,31±0,35 ^A	4,78±0,89 ^A
30		70,47±0,44 ^B	-1,51±0,09 ^A	23,56±0,45 ^A	4,87±0,49 ^A
<i>p</i>		0,000	0,000	0,000	0,030

Tablo 26'nin devamı...

YP OD 700 W	0	66,72±0,47 ^A	-3,34±0,09 ^C	19,91±0,14 ^B	-
	7	65,55±0,39 ^{AB}	-2,51±0,13 ^{AB}	20,29±0,23 ^B	1,63±0,26 ^B
	14	64,27±0,98 ^{AB}	-2,74±0,09 ^B	20,59±0,34 ^B	2,86±0,80 ^{AB}
	21	64,36±0,50 ^{AB}	-2,72±0,07 ^B	22,28±0,42 ^A	3,56±0,23 ^{AB}
	30	63,70±0,30 ^B	-2,16±0,05 ^A	22,97±0,28 ^A	4,47±0,35 ^A
	<i>p</i>	0,016	0,000	0,000	0,008
YP OD 800 W	0	65,50±0,36	-3,54±0,18 ^D	19,88±0,28 ^B	-
	7	64,92±0,37	-2,96±0,05 ^C	20,39±0,17 ^B	1,18±0,13 ^B
	14	64,75±0,43	-2,84±0,11 ^{BC}	21,06±0,33 ^{AB}	1,79±0,22 ^{AB}
	21	63,77±0,35	-2,27±0,09 ^{AB}	21,99±0,26 ^A	3,05±0,33 ^A
	30	64,02±0,75	-2,39±0,09 ^A	22,10±0,29 ^A	3,07±0,58 ^A
	<i>p</i>	0,132	0,000	0,000	0,006
B OD 800 W	0	69,79±0,23 ^A	-2,32±0,06 ^B	20,22±0,16 ^C	-
	7	69,17±0,78 ^A	-1,99±0,18 ^{AB}	20,53±0,17 ^C	1,49±0,33 ^B
	14	68,84±0,24 ^A	-2,06±0,10 ^B	20,98±0,16 ^C	1,25±0,25 ^B
	21	68,28±0,28 ^{AB}	-1,87±0,08 ^{AB}	22,20±0,17 ^B	2,53±0,27 ^B
	30	66,24±0,54 ^B	-1,52±0,07 ^A	23,08±0,21 ^A	4,63±0,50 ^A
	<i>p</i>	0,001	0,002	0,000	0,000
B OD 900 W	0	68,37±0,50 ^A	-2,42±0,13	20,49±0,20 ^C	-
	7	67,42±0,42 ^{AB}	-2,01±0,03	21,06±0,13 ^{BC}	1,33±0,26 ^B
	14	66,87±0,27 ^{AB}	-2,25±0,20	21,15±0,23 ^{BC}	1,72±0,27 ^B
	21	65,72±0,27 ^B	-1,90±0,06	22,13±0,37 ^{AB}	3,22±0,27 ^{AB}
	30	65,26±0,83 ^B	-1,95±0,35	22,64±0,21 ^A	3,89±0,80 ^A
	<i>p</i>	0,004	0,311	0,000	0,006
B OD 1000 W	0	68,05±0,24 ^A	-2,43±0,13 ^B	20,27±0,14 ^B	-
	7	67,80±0,32 ^{AB}	-1,96±0,04 ^A	21,85±0,33 ^A	1,79±0,26 ^B
	14	66,43±0,32 ^{BC}	-1,92±0,03 ^A	22,15±0,16 ^A	2,58±0,24 ^{AB}
	21	66,32±0,39 ^{BC}	-1,82±0,03 ^A	22,22±0,24 ^A	2,75±0,27 ^{AB}
	30	66,15±0,43 ^C	-1,97±0,07 ^A	22,53±0,10 ^A	3,04±0,30 ^A
	<i>p</i>	0,003	0,000	0,000	0,036

*YP, yüksek proteinli un; DP, düşük proteinli un; B, bisküvilik un; KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

**Aynı sütunda farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar Tukey testine göre birbirlerinden farklıdır ($p<0,05$).

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, buğday unlarının termal ve hidrotermal modifikasyonunda IR ısı kaynağı destekli ribbon mikser cihazının kullanım olanaklarının araştırılması; IR enerjisinin unların fiziko-kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin ortaya konması; işlem görmüş unların ekmek ve kek üretiminde kullanım potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu araştırma, buğday unlarının termal ve hidrotermal modifikasyonu amacıyla IR enerjisinin kullanıldığı ilk kapsamlı çalışma niteliğini taşımaktadır.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, IR destekli ribbon mikserinde uygulanan ısı işlemlerin buğday unlarının fiziko-kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin un kompozisyonuna, işlem türüne (termal ve hidrotermal) ve koşullarına (emitter gücü ve süre) bağlı olduğu görülmüştür. Tez kapsamında uygulanan hidrotermal işlemlerde, gluten proteinlerinin denatürasyonu sonucu bu örneklerden gluten ekstrakte edilememiş ve GlutoPeak ile gluten agregasyon özellikleri belirlenememiştir. Ayrıca, bu örneklerin ham protein içerikleri ve sedimentasyon değerleri de istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Bu bağlamda uygulanan işlemlerin buğday unlarının gluten proteinleri üzerine etkisinin daha ayrıntılı incelenmesi gerektiği düşünülmektedir. Diğer yandan termal ve hidrotermal işlemlerin buğday unlarının nişasta yapısında neden olduğu değişimlerle birlikte oluşan nişasta-protein ve nişasta-lipid interaksyonları örneklerin nişasta özelliklerinin değişmesine neden olmuştur. Ayrıca, termal işlem uygulaması ile tüm buğday unlarının enzim aktiviteleri düşerken, hidrotermal işlemin buğday unlarının enzim aktivitesine etkisi un çeşidine ve işlem koşullarına göre değişmiştir.

Uygulanan termal ve hidrotermal işlemler nedeniyle örneklerin nişasta ve protein yapısında, moleküler etkileşimlerinde ve amilaz aktivitelerinde oluşan değişiklikler, buğday unlarının jelatinizasyon özelliklerini ve solvent tutma kapasitesini de etkilemiştir. Özellikle

hidrotermal işlem, örneklerin viskozitelerinin ve jelatinizasyon sıcaklıklarının artmasını sağlamış, ancak oluşan jellerin stabilitelelerinin düşmesine neden olmuştur.

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular, buğday unlarının modifikasyonunda endüstriyel olarak kullanılan yöntemlere alternatif olarak IR enerjisinin kullanılabilceğini göstermiştir. Hem termal hem de hidrotermal işlemlerin buğday unlarının fiziko-kimyasal, reolojik ve fonksiyonel özellikleri üzerine etkisinin ortaya konmasıyla birlikte, uygun işlem türü ve proses koşulları seçimi ile istenilen özelliklere sahip modifiye unların üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, bu çalışma ile IR enerjisi kullanılarak yapılacak diğer modifikasyon çalışmaları için önemli bir altyapı oluşturmuştur. Bununla birlikte, birtakım yapısal değişikliklerin yapılarak IR ısı kaynağı destekli ribbon mikser cihazı farklı un ve nişasta türlerinin modifikasyonunda da kullanılabilceği düşünülmektedir.

Bununla birlikte, tez kapsamında işlem görmüş unlar, ekmek ve kek gibi çeşitli gıda matrisleri içerisinde kullanılarak, bu unların ürünlere gösterdiği etki belirlenmiştir. Bu bağlamda termal işlem görmüş unlardan ekmek, hidrotermal işlem görmüş unlardan ise kek üretimi gerçekleştirilmiştir.

Termal işlem görmüş unlardan üretilen ekmeklerin, fiziksel, tekstürel ve duyuşal özellikleri belirlenmiştir. Kullanılan un çeşidine ve işlem koşullarına (dalga boyu ve emitter gücü) göre, uygulanan termal işlemlerin buğday unlarının protein/gluten yapısında ve enzim aktivitesinde neden olduğu değişikliklere bağlı olarak, bu unlardan üretilen ekmeklerin nem, pişme kaybı, hacim ve spesifik hacim, sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin etkilendiği gözlenmiştir. Termal işlem ekmeklerin renk özelliklerinde ise önemli bir farka neden olmamıştır. Genel beğeni sıralaması bakımından en yüksek puanı ise işlem görmüş düşük proteinli undan üretilen ekmekler almıştır.

Hidrotermal işlem görmüş unlardan üretilen kekler ise polipropilen ambalaj ile tek tek paketlenerek 30 °C ve %65 RH ortamında 30 gün süresince depolanmıştır. Depolama

boyunca her 7 günde bir örneklerin nem, hacim, ağırlık kaybı, tekstür ve renk özellikleri takip edilmiştir. Buğday unlarına uygulanan hidrotermal işlem ile meydana gelen gluten denatürasyonu sayesinde bu unlardan üretilen keklerin nem içerikleri artarak pişme kaybı değerleri azalmıştır. Diğer yandan gluten ağ yapısının zayıflaması sebebiyle hidrotermal işlemin keklerin hacim ve tekstür özelliklerini olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Ancak, depolama süresince işlenmiş unlardan üretilen keklerin sertlik değerlerindeki artışın kontrolden daha az olması göz önünde bulundurulduğunda, bu unların belirli düzeylerde formülasyona eklenmesi ürünün depolama boyunca tekstür stabilitesine olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda hidrotermal işlem gören unlar, farklı ürünlere eklenerek bu ürünlerin depolama süresince kalite özelliklerine etkisinin araştırılmasına yönelik çalışmaların yapılması önerilebilir.

Sonuç olarak, buğday unlarının düşük maliyetli ve etkili bir teknik olan IR enerji ile modifiye edilerek reolojik ve fonksiyonel özelliklerinin geliştirilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca bu modifiye unların, ekme ve kek gibi ürünlerde kullanılması ile kalite özelliklerinin geliştirilebileceği ortaya konmuştur.

KAYNAKÇA

- AACC. (2000). *Approved methods of the AACC (10th ed.)*. American Association of Cereal Chemists. Minnesota, USA.
- About, S. A., Altemimi, A. B., Al-Hilphy, A. R. S., Yi-Chen, L. and Cacciola, F. (2019). "A comprehensive review on infrared heating applications in food processing". *Molecules*, 24(22), e4125.
- Adak, N., Heybeli, N. and Ertekin, C. (2017). "Infrared drying of strawberry". *Food Chemistry*, 219, 109–116.
- Ahmed, J., Ramaswamy, H. S. and Raghavan, V. G. S. (2008). "Dynamic viscoelastic, calorimetric and dielectric characteristics of wheat protein isolates". *Journal of Cereal Science*, 47(3), 417–428.
- Ai, Y. and Jane, J. L. (2015). "Gelatinization and rheological properties of starch". *Starch - Stärke*, 67(3–4), 213–224.
- Alvarez-Ramirez, J., Vernon-Carter, E. J., Carrera-Tarela, Y., Garcia, A. and Roldan-Cruz, C. (2020). "Effects of candelilla wax/canola oil oleogel on the rheology, texture, thermal properties and in vitro starch digestibility of wheat sponge cake bread". *LWT - Food Science and Technology*, 130, e109701.
- Aydoğdu, A., Sumnu, G. and Sahin, S. (2015). "Effects of microwave-infrared combination drying on quality of eggplants". *Food and Bioprocess Technology*, 8(6), 1198–1210.
- Barzegar, M., Zare, D. and Stroshine, R. L. (2015). "An integrated energy and quality approach to optimization of green peas drying in a hot air infrared-assisted vibratory bed dryer". *Journal of Food Engineering*, 166, 302–315.
- Bayraktar, S., Akyol, A. and Esen, S. (2017). "Türkiye'deki bitkisel yağ sektörünün çok boyutlu ölçekleme analizi ile değerlendirilmesi". *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 3 (4), 97, 105.
- Ben Jeddou, K., Bouaziz, F., Zouari-Ellouzi, S., Chaari, F., Ellouz-Chaabouni, S., Ellouz-Ghorbel, R. and Nouri-Ellouz, O. (2017). "Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary

- fiber and protein". *Food Chemistry*, 217, 668–677.
- Braeckman, L., Ronsse, F., Hidalgo, P. C. and Pieters, J. (2009). "Influence of combined IR-grilling and hot air cooking conditions on moisture and fat content, texture and colour attributes of meat patties". *Journal of Food Engineering*, 93(4), 437–443.
- Bualuang, O., Tirawanichakul, Y. and Tirawanichakul, S. (2013). "Comparative study between hot air and infrared drying of parboiled rice: kinetics and qualities aspects". *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(6), 1119–1132.
- Bucella, B., Takács, Á., Vizer, V., Schwendener, U. and Tömösközi, S. (2016). "Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours". *Food Chemistry*, 190, 990–996.
- Cetiner, B., Acar, O., Kahraman, K., Sanal, T. and Koksel, H. (2017). "An investigation on the effect of heat-moisture treatment on baking quality of wheat by using response surface methodology". *Journal of Cereal Science*, 74, 103–111.
- Chakraborty, R., Mukhopadhyay, P., Bera, M. and Suman, S. (2011). "Infrared-assisted freeze drying of tiger prawn: parameter optimization and quality assessment". *Drying Technology*, 29(5), 508–519.
- Chen, B., Zhang, B., Li, M. N., Xie, Y. and Chen, H. Q. (2018). "Effects of glutenin and gliadin modified by protein-glutaminase on pasting, rheological properties and microstructure of potato starch". *Food Chemistry*, 253, 148–155.
- Chen, X., He, X., Fu, X. and Huang, Q. (2015). "In vitro digestion and physicochemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment". *Journal of Cereal Science*, 63, 109–115.
- Chen, Y., Liang, Y., Jia, F., Chen, D., Zhang, X., Wang, Q. and Wang, J. (2021). "Effect of extrusion temperature on the protein aggregation of wheat gluten with the addition of peanut oil during extrusion". *International Journal of Biological Macromolecules*, 66, 1377–1386.
- Chesterton, A. K. S., Wilson, D. I., Sadd, P. A. and Moggridge, G. D. (2014). "A novel laboratory scale method for studying heat treatment of cake flour". *Journal of Food Engineering*, 144, 36–44.

- Chua, K. J. and Chou, S. K. (2005). "A comparative study between intermittent microwave and infrared drying of bioproducts". *International Journal of Food Science and Technology*, 40(1), 23–39.
- Chung, H. J., Liu, Q. and Hoover, R. (2009). "Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches". *Carbohydrate Polymers*, 75(3), 436–447.
- Ćurić, D., Karlović, D., Tušak, D., Petrović, B. and Dugum, J. 2001. "Gluten as a standard of wheat flour quality". *Food Technology and Biotechnology*, 39(4), 353–361.
- Datta, A. K., Sahin, S., Sumnu, G. and Ozge Keskin, S. (2007). "Porous media characterization of breads baked using novel heating modes". *Journal of Food Engineering*, 79(1), 106–116.
- Delatte, S., Doran, L., Blecker, C., De Mol, G., Roiseux, O., Gofflot, S. and Malumba, P. (2019). "Effect of pilot-scale steam treatment and endogenous alpha-amylase activity on wheat flour functional properties". *Journal of Cereal Science*, 88, 38–46.
- Delcour, J. A., Joye, I. J., Wilderjans, E., Brijs, K. and Lagrain, B. (2012). "Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products". *Annual Review of Food Science and Technology*, 469–492.
- Demir, M. K. (2015). "Bisküvi üretiminde tam buğday unu ve paçallarının kullanımı". *Journal of Agricultural Science*, 21, 100–107.
- Díaz-Ramírez, M., Calderón-Domínguez, G., Salgado-Cruz, M. de la P., Chanona-Pérez, J. J., Andraca-Adame, J. A. and Ribotta, P. D. (2016). "Sponge cake microstructure, starch retrogradation and quality changes during frozen storage". *International Journal of Food Science & Technology*, 51(8), 1744–1753.
- Dizlek, H. (2011). "Buğdaydaki gluten proteinleri: Glutenin.". *Akademik Gıda*, 9(5), 75–82.
- Doymaz, I. (2012). "Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices". *Journal of Food Science and Technology*, 49(6), 760–766.

- Doymaz, I. (2015). "Infrared drying kinetics and quality characteristics of carrot slices". *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2738–2745.
- Dugerd, P., Todman, J. and Strains, H. (2010). *Approaching Multivariate Research* (2th baskı). New York, NY, Routledge: Routledge.
- Dupuis, J. H., Liu, Q. and Yada, R. Y. (2014). "Methodologies for increasing the resistant starch Content of food starches: A review". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(6), 1219–1234.
- Duyvejonck, A. E., Lagrain, B., Dornez, E., Delcour, J. A. and Courtin, C. M. (2012). "Suitability of solvent retention capacity tests to assess the cookie and bread making quality of European wheat flours". *LWT - Food Science and Technology*, 47(1), 56–63.
- Esteller, M.S. and Lannes, S. C. S. (2008). "Production and characterization of sponge-dough bread using scalded rye". *Journal of Texture Studies*, 39(1), 56–67.
- Esteller, Mauricio Sergio, Amaral, R. L. and Da Silva Lannes, S. C. (2004). "Effect of sugar and fat replacers on the texture of baked goods". *Journal of Texture Studies*, 35(4), 383–393.
- FAO (2020). Food and agriculture organization statistics. Food and Agriculture Organization, Erişim, 16 Mayıs 2022, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>.
- Fischer, T. (2004). "Effect of extrusion cooking on protein modification in wheat flour". *European Food Research and Technology*, 218, 128–132.
- Fu, L., Tian, J., Sun, C. and Li, C. (2008). "RVA and Farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour". *Agricultural Sciences in China*, 7(7), 812–822.
- Gélinas, P., McKinnon, C. M., Rodrigue, N. and Montpetit, D. (2001). "Heating conditions and bread-making potential of substandard flour". *Journal of Food Science*, 66(4), 627–632.
- Gélinas, P., Roy, G. and Guillet, M. (1999). "Relative effects of ingredients on cake staling based on an accelerated shelf-life test". *Journal of Food Science*, 64(5), 937–940.
- Giannou, V. and Tzia, C. (2007). "Frozen dough bread: Quality and textural behavior

- during prolonged storage - Prediction of final product characteristics". *Journal of Food Engineering*, 79(3), 929–934.
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K. and Delcour, J. A. (2005). "Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality". *Trends in Food Science & Technology*, 16, 12–30.
- Goldstein, A., Ashrafi, L. and Seetharaman, K. (2010). "Effects of cellulosic fibre on physical and rheological properties of starch, gluten and wheat flour". *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1641–1646.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V. and Fernández, E. (2008). "Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends". *LWT - Food Science and Technology*, 41(9), 1701–1709.
- González, M., Vernon-Carter, E. J., Alvarez-Ramirez, J. and Carrera-Tarela, Y. (2021). "Effects of dry heat treatment temperature on the structure of wheat flour and starch in vitro digestibility of bread". *International Journal of Biological Macromolecules*, 166, 1439–1447.
- Guo, P., Yu, J., Copeland, L., Wang, S. and Wang, S. (2018). "Mechanisms of starch gelatinization during heating of wheat flour and its effect on in vitro starch digestibility". *Food Hydrocolloids*, 82, 370–378.
- Guo, Y., Wu, B., Guo, X., Ding, F., Pan, Z. and Ma, H. (2020). "Effects of power ultrasound enhancement on infrared drying of carrot slices: Moisture migration and quality characterizations". *LWT - Food Science and Technology*, 126, 109312.
- Guttieri, M. J., Bowen, D., Gannon, D., O'Brien, K. and Souza, E. (2001). "Solvent retention capacities of irrigated soft white spring wheat flours". *Crop Science*, 41(4), 1054–1061.
- Hebbar, H. U., Vishwanathan, K. H. and Ramesh, M. N. (2004). "Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables". *Journal of Food Engineering*, 65(4), 557–563.
- Hu, Y., Wang, L., Zhu, H. and Li, Z. (2017). "Modification of physicochemical properties and in vitro digestibility of wheat flour through superheated steam processing".

Journal of Cereal Science, 74, 231–237.

- Huang, D., Yang, P., Tang, X., Luo, L. and Sunden, B. (2021). "Application of infrared radiation in the drying of food products". *Trends in Food Science and Technology*, 110, 765-777.
- Jafari, F., Movagharnejad, K. and Sadeghi, E. (2020). "Infrared drying effects on the quality of eggplant slices and process optimization using response surface methodology". *Food Chemistry*, 333, e127423.
- Jain, D. and Pathare, P. B. (2004). "Selection and evaluation of thin layer drying models for infrared radiative and convective drying of onion slices". *Biosystems Engineering*, 89(3), 289–296.
- Janjarasskul, T., Tananuwong, K., Kongpensook, V., Tantratian, S. and Kokpol, S. (2016). "Shelf life extension of sponge cake by active packaging as an alternative to direct addition of chemical preservatives". *LWT - Food Science and Technology*, 72, 166–174.
- Ji, Y., Zhu, K., Qian, H. and Zhou, H. (2007). "Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour". *Food Chemistry*, 104(1), 53–58.
- Jun, S., Krishnamurthy, K., Irudayaraj, J. and Demirci, A. (2011). "Infrared Heating for Food and Agricultural Processing". Zhongli Pan & G. G. Atungulu (Ed.), içinde *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing* (1–18), Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Kaasová, J., Hubáčková, B., Kadlec, P., Příhoda, J. and Bubník, Z. (2018). "Chemical and biochemical changes during microwave treatment of wheat". *Czech Journal of Food Sciences*, 20(2), 74–78.
- Kang, S. W., Hwang, J. H., Chung, K. H. and Park, S. H. (2021). "Evaluation of infrared assisted freeze drying for strawberry snacks: drying kinetics, energy efficiency and quality attributes". *Food Science and Biotechnology*, 30(8), 1087–1096.
- Karaoğlu, M. M. and Kotancilar, H. G. (2009). "Quality and textural behaviour of par-baked and rebaked cake during prolonged storage". *International Journal of Food Science and Technology*, 44(1), 93–99.

- Keppler, S., Bakalis, S., Leadley, C. E., Sahi, S. S. and Fryer, P. J. (2018). "Evaluation of dry heat treatment of soft wheat flour for the production of high ratio cakes". *Food Research International*, 107, 360–370.
- Kim, E. H. J., Petrie, J. R., Motoi, L., Morgenstern, M. P., Sutton, K. H., Mishra, S. and Simmons, L. D. (2008). "Effect of structural and physicochemical characteristics of the protein matrix in pasta on in vitro starch digestibility". *Food Biophysics*, 3(2), 229–234.
- Kim, W., Choi, S. G., Kerr, W. L., Johnson, J. W. and Gaines, C. S. (2004). "Effect of heating temperature on particle size distribution in hard and soft wheat flour". *Journal of Cereal Science*, 40(1), 9–16.
- Köksel, H., Sivri, D., Özboy, Ö., Başman, A., ve Karacan, H. (2000). *Tahıl Laboratuvarı El Kitabı*. Ankara: Hacettepe.
- Kotoki, D. and Deka, S. C. (2010). "Baking loss of bread with special emphasis on increasing water holding capacity". *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 128–131.
- Kowalski, S. J. and Rajewska, K. (2009). "Convective drying enhanced with microwave and infrared radiation". *Drying Technology*, 27(7), 878–887.
- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Soojin, J., Irudayaraj, J. and Demirci, A. (2008). "Infrared heating in food processing: An overview". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(1), 2–13.
- Kruskal, J. B. (1964). "Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis". *Psychometrika*, 29(1), 1–27.
- Kumar, A., Nayak, R., Purohit, S. R. and Rao, P. S. (2021). "Impact of UV-C irradiation on solubility of Osborne protein fractions in wheat flour". *Food Hydrocolloids*, 110, e105845.
- Kweon, M., Slade, L. and Levine, H. (2011). "Solvent retention capacity (SRC) testing of wheat flour: Principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding-A review". *Cereal Chemistry*, 88(6), 537–552.

- Lagrain, B., Brijs, K., Veraverbeke, W. S. and Delcour, J. A. (2005). "The impact of heating and cooling on the physico-chemical properties of wheat gluten-water suspensions". *Journal of Cereal Science*, 42(3), 327–333.
- Lamacchia, C., Di Luccia, A., Baiano, A., Gambacorta, G., la Gatta, B., Pati, S. and La Notte, E. (2007). "Changes in pasta proteins induced by drying cycles and their relationship to cooking behaviour". *Journal of Cereal Science*, 46(1), 58–63.
- Lamacchia, Carmela, Landriscina, L. and D’Agnello, P. (2016). "Changes in wheat kernel proteins induced by microwave treatment". *Food Chemistry*, 197, 634–640.
- Lee, E. H. (2021). "A review on applications of infrared heating for food processing in comparison to other industries". *Innovative Food Processing Technologies*, 431–455.
- León, A. E., Barrera, G. N., Pérez, G. T., Ribotta, P. D. and Rosell, C. M. (2006). "Effect of damaged starch levels on flour-thermal behaviour and bread staling". *European Food Research and Technology*, 224(2), 187–192.
- Leon, A., Rosell, C. M. and De Barber, C. B. (2003). "A differential scanning calorimetry study of wheat proteins". *European Food Research and Technology*, 217(1), 13–16.
- Léonard, A., Blacher, S., Nimmol, C. and Devahastin, S. (2008). "Effect of far-infrared radiation assisted drying on microstructure of banana slices: An illustrative use of X-ray microtomography in microstructural evaluation of a food product". *Journal of Food Engineering*, 85(1), 154–162.
- Li, Z., Wang, L., Chen, Z., Yu, Q. and Feng, W. (2018). "Impact of binding interaction characteristics on physicochemical, structural, and rheological properties of waxy rice flour". *Food Chemistry*, 266, 551–556.
- Lin, Y. L., Li, S. J., Zhu, Y., Bingol, G., Pan, Z. and McHugh, T. H. (2009). "Heat and mass transfer modeling of apple slices under simultaneous infrared dry blanching and dehydration process". *Drying Technology*, 27(10), 1051–1059.
- Lin, Y. P., Lee, T. Y., Tsen, J. H. and King, V. A. E. (2007). "Dehydration of yam slices using FIR-assisted freeze drying". *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1295–1301.
- Lin, Y. P., Tsen, J. H. and King, V. A. E. (2005). "Effects of far-infrared radiation on the

- freeze-drying of sweet potato". *Journal of Food Engineering*, 68(2), 249–255.
- Liu, Y., Guan, E., Li, M., Bian, K., Wen, J. and Ren, C. (2020). "Improvement of cake quality by superheated steam treatment of wheat". *Journal of Cereal Science*, 95, e103046.
- Liu, Y., Li, M., Liu, Y., Guan, E. and Bian, K. (2021). "Effects of superheated steam treatment of wheat on physicochemical properties of wheat flour and cracker quality". *Journal of Cereal Science*, 97, e103165.
- Liu, Y., Zhu, W., Luo, L., Li, X. and Yu, H. (2013). "A mathematical model for vacuum far-infrared drying of potato slices". *Drying Technology*, 32(2), 180–189.
- Lu, T. M., Lee, C. C., Mau, J. L. and Lin, S. D. (2010). "Quality and antioxidant property of green tea sponge cake". *Food Chemistry*, 119(3), 1090–1095.
- Lu, Z. and Seetharaman, K. (2014). "Suitability of Ontario-grown hard and soft wheat flour blends for noodle making". *Cereal Chemistry*, 91(5), 482–488.
- Luyts, A., Wilderjans, E., Van Haesendonck, I., Brijs, K., Courtin, C. M. and Delcour, J. A. (2013). "Relative importance of moisture migration and amylopectin retrogradation for pound cake crumb firming". *Food Chemistry*, 141(4), 3960–3966.
- Ma, Y., Sang, S., Xu, D., Jin, Y., Chen, Y. and Xu, X. (2021a). "The contribution of superheated steam treatment of wheat flour to the cake quality". *LWT - Food Science and Technology*, 141, e110958.
- Ma, Y., Xu, D., Sang, S., Jin, Y., Xu, X. and Cui, B. (2021b). "Effect of superheated steam treatment on the structural and digestible properties of wheat flour". *Food Hydrocolloids*, 112, e106362.
- Ma, Y., Zhang, H., Xu, D., Jin, Y. and Xu, X. (2021c). "Wheat flour superheated steam treatment induced changes in molecular rearrangement and polymerization behavior of gluten". *Food Hydrocolloids*, 118, e106769.
- Mann, J., Schiedt, B., Baumann, A., Conde-Petit, B. and Vilgis, T. A. (2014). "Effect of heat treatment on wheat dough rheology and wheat protein solubility". *Food Science and Technology International*, 20(5), 341–351.

- Marti, A., Augst, E., Cox, S., and Koehler, P. (2015a). "Correlations between gluten aggregation properties defined by the GlutoPeak test and content of quality-related protein fractions of winter wheat flour". *Journal of Cereal Science*, 66, 89–95.
- Marti, A., Seetharaman, K., and Pagani, M. A. (2013). "Rheological approaches suitable for investigating starch and protein properties related to cooking quality of durum wheat pasta". *Journal of Food Quality*, 36(2), 133–138.
- Marti, A., Ulrici, A., Foca, G., Quaglia, L. and Pagani, M. A. (2015b). "Characterization of common wheat flours (*Triticum aestivum* L.) through multivariate analysis of conventional rheological parameters and gluten peak test indices". *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 95–103.
- Martínez, M. M., Rosell, C. M. and Gómez, M. (2014). "Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions". *Journal of Food Engineering*, 143, 74–79.
- Mecitoğlu Güçbilmez, Ç., Şahin, M., Göçmen Akçacık, A., Aydoğan, S., Demir, B., Hamzaoğlu, S., Gür, S. and Yakışır, E. (2019). "Evaluation of GlutoPeak test for prediction of bread wheat flour quality, rheological properties and baking performance". *Journal of Cereal Science*, 90, e102827.
- Megazyme (2019). Resistant starch assay procedure: Codex type II method. Erişim: 16 Mayıs 2022, www.megazyme.com.
- Meilgaard, M., Vance Civille, G. and Thomas Carr, B. (1999). *Sensory Evaluation Techniques (3th ed.)*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Memon, A. A., Mahar, I., Memon, R., Soomro, S., Harnly, J., Memon, N., Bhangar, M. and Luthria, D. L. (2020). "Impact of flour particle size on nutrient and phenolic acid composition of commercial wheat varieties". *Journal of Food Composition and Analysis*, 86, e103358.
- Milner, L., Kerry, J. P., O’Sullivan, M. G. and Gallagher, E. (2020). "Physical, textural and sensory characteristics of reduced sucrose cakes, incorporated with clean-label sugar-replacing alternative ingredients". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59, e102235.

- Misra, N. N., Kaur, S., Tiwari, B. K., Kaur, A., Singh, N. and Cullen, P. J. (2015). "Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour". *Food Hydrocolloids*, 44, 115–121.
- Moiraghi, M., de la Hera, E., Pérez, G. T. and Gómez, M. (2013). "Effect of wheat flour characteristics on sponge cake quality". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(3), 542–549.
- Mongpraneet, S., Abe, T. and Tsurusaki, T. (2002a). "Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions". *Journal of Food Engineering*, 55(2), 147–156.
- Mongpraneet, S., Abe, T. and Tsurusaki, T. (2002b). "Far infrared-vacuum and -convection drying of welsh onion". *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 45(5), 1529–1535.
- Neill, G., Al-Muhtaseb, A. H. and Magee, T. R. A. (2012). "Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour". *Journal of Food Engineering*, 113(3), 422–426.
- Nhouchi, Z. and Karoui, R. (2018). "Application of Fourier-transform mid infrared spectroscopy for the monitoring of pound cakes quality during storage". *Food Chemistry*, 252, 327–334.
- Nimmol, C., Devahastin, S., Swasdisevi, T. and Soponronnarit, S. (2007). "Drying of banana slices using combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation". *Journal of Food Engineering*, 81(3), 624–633.
- Nowak, D. and Lewicki, P. P. (2004). "Infrared drying of apple slices". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(3), 353–360.
- Oliveira, F. C., Coimbra, J. S. dos R., de Oliveira, E. B., Zuñiga, A. D. G. and Rojas, E. E. G. (2016). "Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the maillard reaction: A review". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(7), 1108–1125.
- Ovando-Martínez, M., Whitney, K., Reuhs, B. L., Doehlert, D. C. and Simsek, S. (2013). "Effect of hydrothermal treatment on physicochemical and digestibility properties

- of oat starch". *Food Research International*, 52(1), 17–25.
- Ozawa, M., Kato, Y. and Seguchi, M. (2009). "Investigation of dry-heated hard and soft wheat flour". *Starch/Staerke*, 61(7), 398–406.
- Pan, Z., Khir, R., Bett-Garber, K. L., Champagne, E. T., Thompson, J. F., Salim, A., Hartsough, B., R. and Mohamed, S. (2011). "Drying Characteristics and Quality of Rough Rice under Infrared Radiation Heating". *2007 ASABE Annual International Meeting*, 54(1), 203–210.
- Pawar, S. B. and Pratape, V. M. (2017). "Fundamentals of infrared heating and its application in drying of food materials: A review". *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), e12308.
- Pekke, M. A., Pan, Z., Atungulu, G. G., Smith, G. and Thompson, J. F. (2013). "Drying characteristics and quality of bananas under infrared radiation heating". *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 6(3), 58–70.
- Pérez, S. and Bertoft, E. 2010. "The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review". *Starch - Stärke*, 62(8), 389–420.
- Prakash, M. and Rao, P. H. (1999). "Effect of steaming on the rheological characteristics of wheat flour dough". *European Food Research and Technology*, 209(2), 122–125.
- Purlis, E. (2014). "Optimal design of bread baking: Numerical investigation on combined convective and infrared heating". *Journal of Food Engineering*, 137, 39–50.
- Qi, L. L., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Meng, X. Y. and Chen, H. Z. (2014). "Comparison of Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushrooms (*Lentinus edodes*) Using Different Drying Methods". *Drying Technology*, 32(15), 1751–1761.
- Quiroga Ledezma, C. C. (2018). "Starch Interactions With Native and Added Food Components". M. Sjöo and L. Nilsson (Ed.), içinde *Starch in Food: Structure, Function and Applications (2nd ed.)* (769–801), Woodhead Publishing.
- Ragasits, I. (1993). "Effect of drying on the baking quality of wheat". *Cereal Research Communications*, 21(1), 87–92.
- Rahimi, D., Kashaninejad, M., Ziaifar, A. M. and Mahoonak, A. S. (2018). "Effect of

- infrared final cooking on some physico-chemical and engineering properties of partially fried chicken nugget". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 1–8.
- Rastogi, N. K. (2012). "Recent trends and developments in infrared heating in food processing". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(9), 737–760.
- Rombouts, I., Lagrain, B., and Delcour, J. A. (2012). "Heat-induced cross-linking and degradation of wheat gluten, serum albumin, and mixtures thereof". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(40), 10133–10140.
- Sabanis, D., Lebesi, D. and Tzia, C. (2009). "Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread". *LWT - Food Science and Technology*, 42(8), 1380–1389.
- Salehi, F. and Kashaninejad, M. (2018a). "Mass transfer and color changes kinetics of infrared-vacuum drying of grapefruit slices". *Drying Technology*, 394–409.
- Salehi, F. and Kashaninejad, M. (2018b). "Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum drying". *Information Processing in Agriculture*, 5(4), 516–523.
- Salehi, F., Kashaninejad, M. and Jafarianlari, A. (2017). "Drying kinetics and characteristics of combined infrared-vacuum drying of button mushroom slices". *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 53(5), 1751–1759.
- Schirmer, M., Jekle, M. and Becker, T. (2015). "Starch gelatinization and its complexity for analysis". *Starch/Staerke*, 67, 30–41.
- Sharma, G. P., Verma, R. C. and Pathare, P. B. (2005). "Thin-layer infrared radiation drying of onion slices". *Journal of Food Engineering*, 67(3), 361–366.
- Shen, H., Ge, X., Zhang, Q., Zhang, X., Lu, Y., Jiang, H., Zhang, G. and Li, W. (2022). "Dielectric barrier discharge plasma improved the fine structure, physicochemical properties and digestibility of α -amylase enzymatic wheat starch". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, e102991.
- Shyu, Y. S., Sung, W. C., Chang, M. H. and Hwang, J. Y. (2008). "Effect of far-infrared oven on the qualities of bakery products". *Journal of Culinary Science and*

- Technology*, 6(2–3), 105–118.
- Singh, H. and MacRitchie, F. (2004). "Changes in proteins induced by heating gluten dispersions at high temperature". *Journal of Cereal Science*, 39(2), 297–301.
- Singh, J., Dartois, A., and Kaur, L. (2010). "Starch digestibility in food matrix: a review". *Trends in Food Science and Technology*, 21(4), 168-180.
- Skjoldebrand, C. 2001. "Infrared heating". P. Richardson (Ed.), içinde *Thermal Technologies in Food Processing* (208–227). CRC Press.
- Sudha, M. L., Soumya, C. and Prabhasankar, P. (2016). "Use of dry-moist heat effects to improve the functionality, immunogenicity of whole wheat flour and its application in bread making". *Journal of Cereal Science*, 69, 313–320.
- Sun, Q., Dai, L., Nan, C. and Xiong, L. (2014). "Effect of heat moisture treatment on physicochemical and morphological properties of wheat starch and xylitol mixture". *Food Chemistry*, 143, 54–59.
- Susanna, S. and Prabhasankar, P. (2011). "A comparative study of different bio-processing methods for reduction in wheat flour allergens". *European Food Research and Technology*, 233(6), 999–1006.
- Tireki, S., Şumnu, G. and Esin, A. (2006). "Production of bread crumbs by infrared-assisted microwave drying". *European Food Research and Technology*, 222(1–2), 8–14.
- TMO (2021). 2020 yılı hububat sektör raporu. Toprak Mahsülleri Ofisi, Erişim, 16 Mayıs 2022, <https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/sektorraporlari/hububat2020.pdf>.
- Torki-Harchegani, M., Ghanbarian, D., Maghsoodi, V. and Moheb, A. (2017). "Infrared thin layer drying of saffron (*Crocus sativus* L.) stigmas: Mass transfer parameters and quality assessment". *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25(4), 426–432.
- Toutounji, M. R., Farahnaky, A., Santhakumar, A. B., Oli, P., Butardo, V. M. and Blanchard, C. L. (2019). "Intrinsic and extrinsic factors affecting rice starch digestibility". *Trends in Food Science & Technology*, 88, 10–22.
- TÜİK (2021). Bitkisel üretim istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu Erişim, 16 Mayıs

2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2021-37249>.

- Tuncel, N. B., Yilmaz, N., Kocabiyik, H., Öztürk, N. and Tunçel, M. (2010). "The effects of infrared and hot air drying on some properties of corn (*Zea mays*)". *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(1), 63–68.
- Tuncel, N. B., Yılmaz, N., Kocabiyik, H. and Uygur, A. (2014). "The effect of infrared stabilized rice bran substitution on physicochemical and sensory properties of pan breads: Part I". *Journal of Cereal Science*, 59, 155–161.
- Turabi, E., Sumnu, G. and Sahin, S. (2008). "Optimization of baking of rice cakes in infrared-microwave combination oven by response surface methodology". *Food and Bioprocess Technology*, 1(1), 64–73.
- Umesh Hebbar, H. and Rastogi, N. K. (2001). "Mass transfer during infrared drying of cashew kernel". *Journal of Food Engineering*, 47(1), 1–5.
- Uysal, N., Sumnu, G. and Sahin, S. (2009). "Optimization of microwave–infrared roasting of hazelnut". *Journal of Food Engineering*, 90(2), 255–261.
- Vamadevan, V. and Bertoft, E. (2015). "Structure-function relationships of starch components". *Starch - Stärke*, 67(1–2), 55–68.
- Van Steertegem, B., Pareyt, B., Slade, L., Levine, H., Brijs, K. and Delcour, J. A. (2013). "Impact of heat treatment on wheat flour solvent retention capacity (SRC) profiles". *Cereal Chemistry*, 90(6), 608–610.
- Veraverbeke, W. S. and Delcour, J. A. (2002). "Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(3), 179–208.
- Vishwanathan, K. H., Giwari, G. K. and Hebbar, H. U. (2013). "Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot". *Food and Bioprocess Technology*, 91(2), 89–94.
- Wang, L., Zhang, M., Fang, Z. and Xu, B. (2014). "Application of intermediate-wave infrared drying in preparation of mushroom chewing tablets". *Drying Technology*, 32(15), 1820–1827.

- Wang, Q., Li, L. and Zheng, X. (2020). "A review of milling damaged starch: Generation, measurement, functionality and its effect on starch-based food systems". *Food Chemistry*, 315, 1–12.
- Wang, S. and Copeland, L. (2013). "Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: A review". *Food & Function*, 4(11), 1564–1580.
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q. and Wang, S. (2015). "Starch retrogradation: A comprehensive review". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 568–585.
- Wang, X., Appels, R., Zhang, X., Diepeveen, D., Torok, K., Tomoskozi, S., Bekes, F., Ma, W., Sharp, P. and Islam, S. (2017). "Protein interactions during flour mixing using wheat flour with altered starch". *Food Chemistry*, 231, 247–257.
- Wee, M. S. M., Goh, A. T., Stieger, M. and Forde, C. G. (2018). "Correlation of instrumental texture properties from textural profile analysis (TPA) with eating behaviours and macronutrient composition for a wide range of solid foods". *Food and Function*, 9(10), 5301–5312.
- Wu, B., Ma, H., Qu, W., Wang, B., Zhang, X., Wang, P., Wang, J., Atungulu, G. and Pan, Z. (2014). "Catalytic infrared and hot air dehydration of carrot slices". *Journal of Food Process Engineering*, 37(2), 111–121.
- Wu, J., McClements, D. J., Chen, J., Hu, X. and Liu, C. (2016). "Improvement in nutritional attributes of rice using superheated steam processing". *Journal of Functional Foods*, 24, 338–350.
- Yadav, G., Gupta, N., Sood, M., Anjum, N. and Chib, A. (2020). "Infrared heating and its application in food processing". *The Pharma Innovation Journal*, 9(2), 142–151.
- Yıldız Turp, G., İcier, F., and Kor, G. (2016). "Influence of infrared final cooking on color, texture and cooking characteristics of ohmically pre-cooked meatball". *Meat Science*, 114, 46–53.
- Yılmaz, F., Yılmaz Tuncel, N. and Tuncel, N. B. (2018). "Stabilization of immature rice grain using infrared radiation". *Food Chemistry*, 253, 269–276.

- Yılmaz, N. (2016). "Middle infrared stabilization of individual rice bran milling fractions". *Food Chemistry*, 190, 179–185.
- Yılmaz Tuncel, N. and Tuncel, N. B. (2016). "Kızılötesi teknolojisi ve gıda işlemedeki kullanımı". *Akademik Gıda*, 14(2), 196–203.
- Zare, D., Naderi, H. and Ranjbaran, M. (2015). "Energy and quality attributes of combined hot-air/infrared drying of paddy". *Drying Technology*, 33(5), 570–582.
- Zhang, B., Qiao, D., Zhao, S., Lin, Q., Wang, J. and Xie, F. (2021). "Starch-based food matrices containing protein: Recent understanding of morphology, structure, and properties". *Trends in Food Science & Technology*, 114, 212–231.
- Zhang, W. P., Chen, C., Pan, Z., Xiao, H. W., Xie, L., Gao, Z. J. and Zheng, Z. A. (2019). "Design and performance evaluation of a pilot-scale pulsed vacuum infrared drying (PVID) system for drying of berries". *Drying Technology*, 1340–1355.
- Zia-ud-Din, Xiong, H. and Fei, P. (2017). "Physical and chemical modification of starches: A review". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12), 2691–2705.

EKLER



EK 1

Tüketici testi skor kağıdı

Tarih:

Cinsiyet:

Yaş:

Size sunulan ekmekleri **Görünüş/renek, Doku/Tekstür, Aroma/Koku ve Lezzet** açısından değerlendiriniz.

Görünüş

1	2	3	4	5	6	7
Hiç Beğenmedim			Ne beğendim Ne beğenmedim			Çok beğendim

Tekstür

1	2	3	4	5	6	7
Hiç Beğenmedim			Ne beğendim Ne beğenmedim			Çok beğendim

Aroma

1	2	3	4	5	6	7
Hiç Beğenmedim			Ne beğendim Ne beğenmedim			Çok beğendim

Lezzet

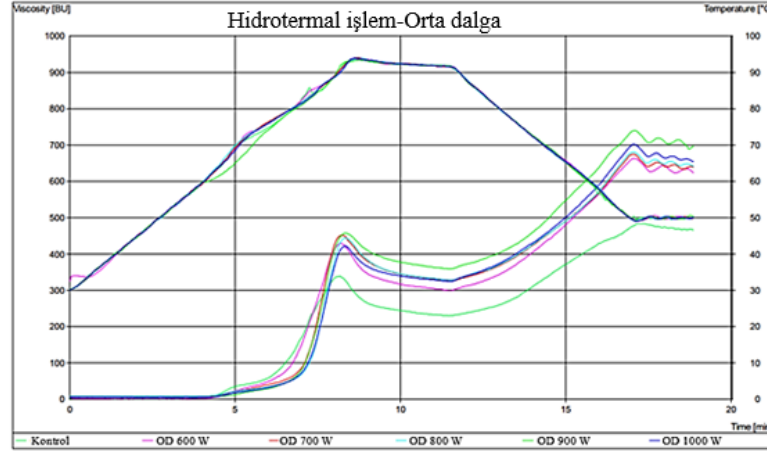
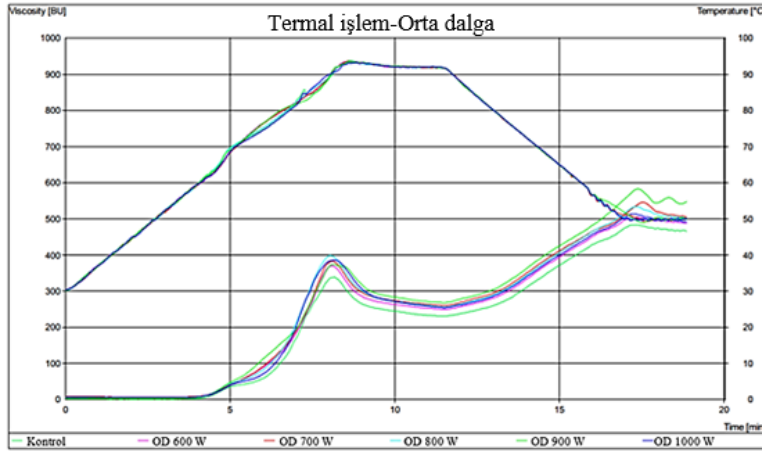
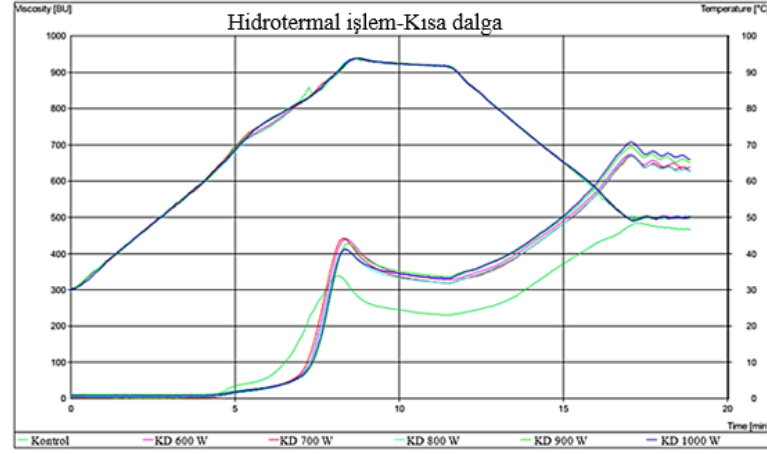
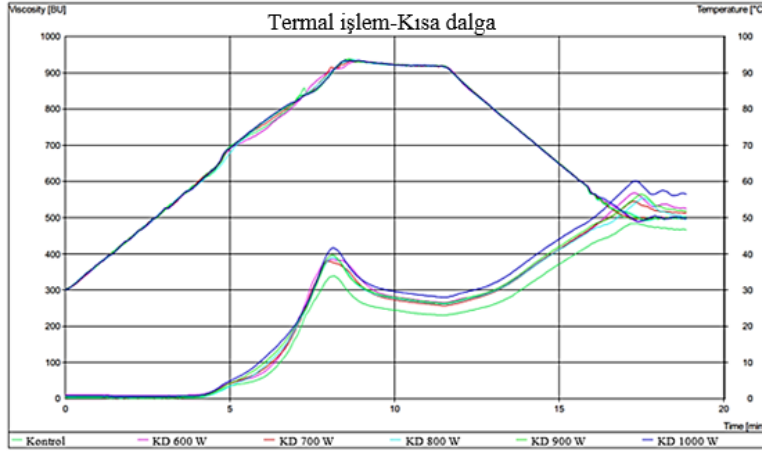
1	2	3	4	5	6	7
Hiç Beğenmedim			Ne beğendim Ne beğenmedim			Çok beğendim

Örnekleri en beğendiğinizden az beğendiğinize göre sıralayınız.

- 1..... En çok beğendiğim
- 2.....
- 3.....
- 4.....
- 5.....
- 6.....
- 7.....
- 8.....
- 9..... En az beğendiğim

EK 2

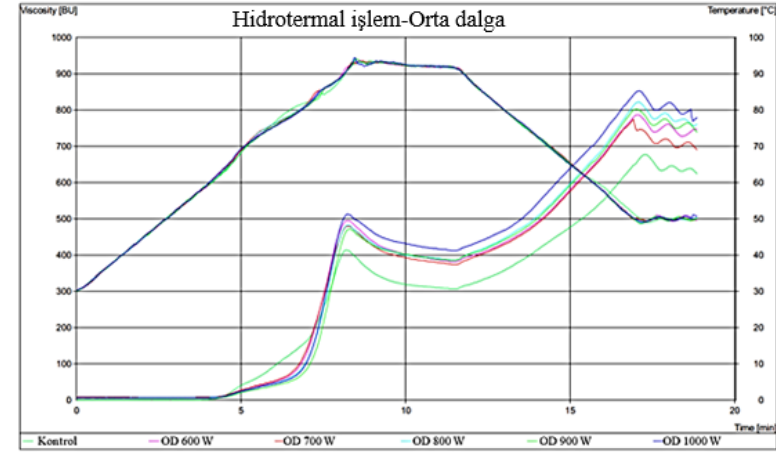
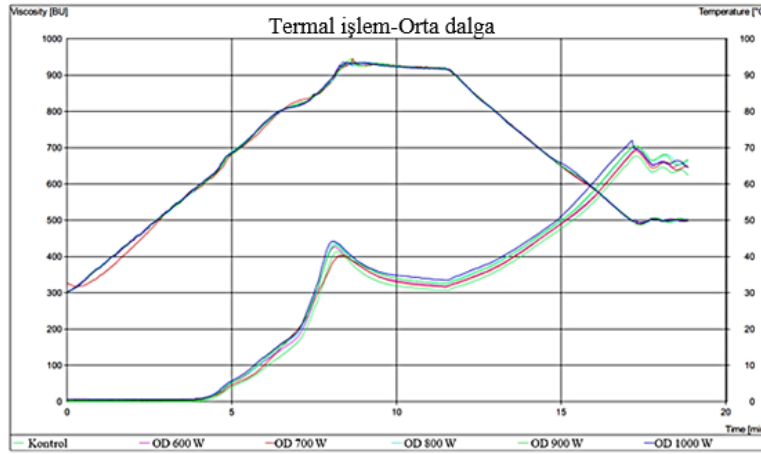
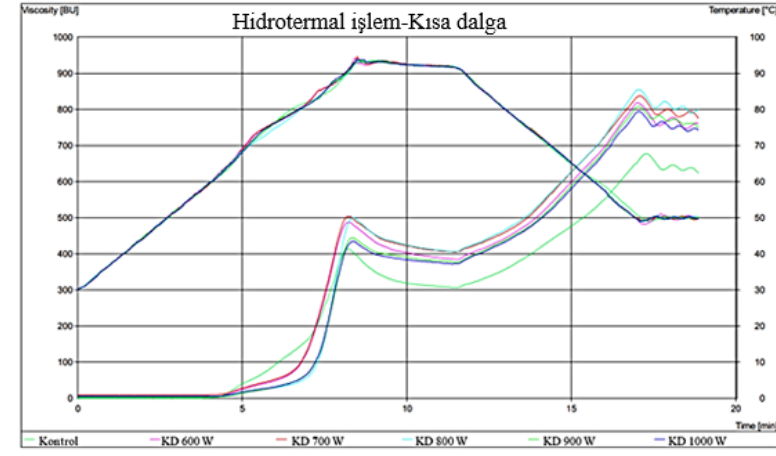
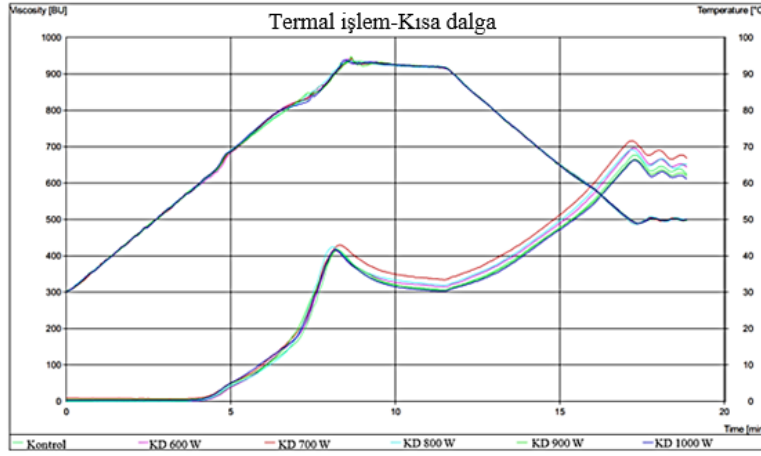
Termal ve hidrotermal işlem görmüş yüksek proteinli unların Mikro Visko-Amilograf grafikleri



*KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

EK 3

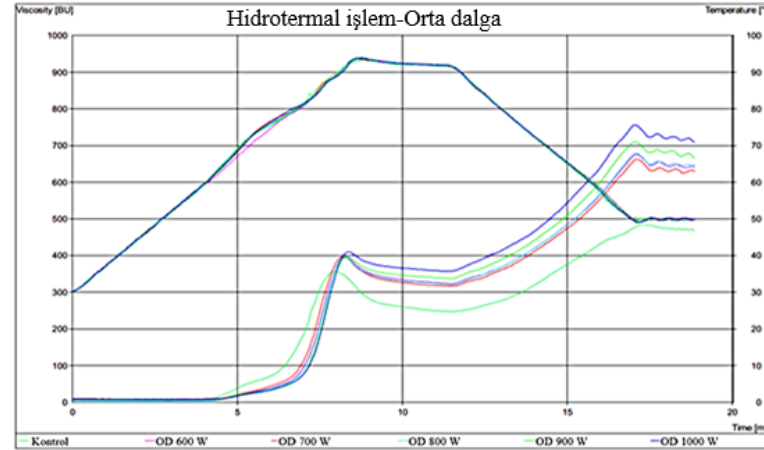
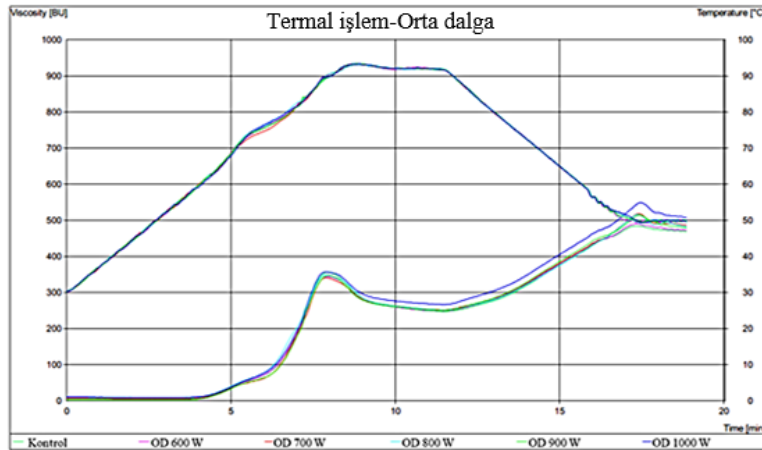
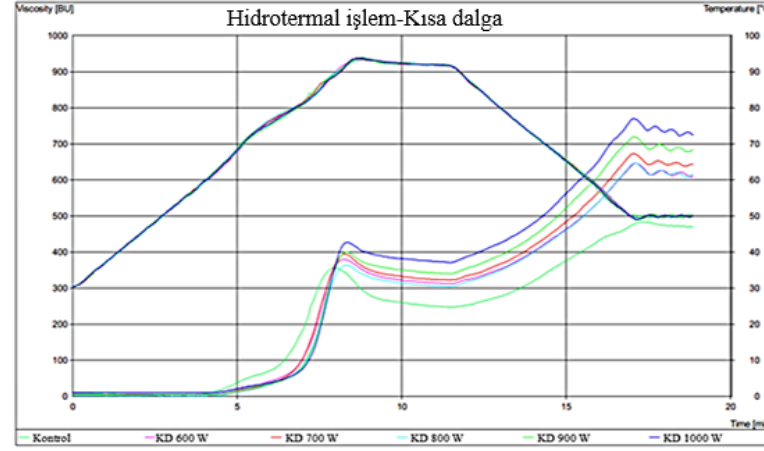
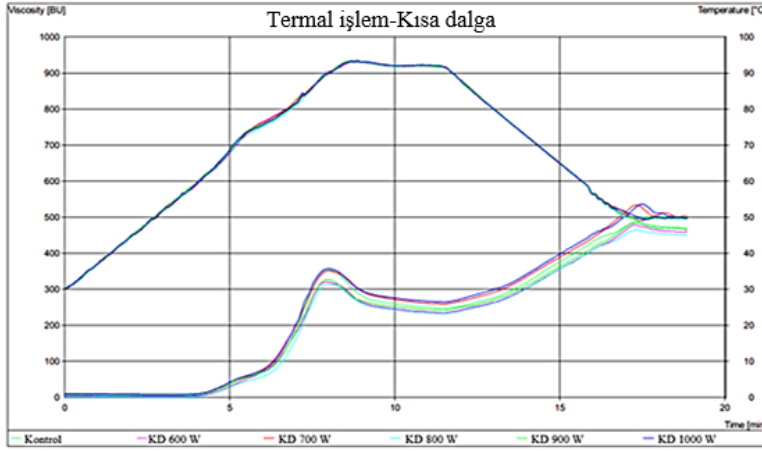
Termal ve hidrotermal işlem görmüş düşük proteinli unların Mikro Visko-Amilograf grafikleri



*KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

EK 4

Termal ve hidrotermal işlem görmüş bisküvilik proteinli unların Mikro Visko-Amilograf grafikleri



*KD, kısa dalga; OD, orta dalga.

ÖZGEÇMİŞ

