

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



KARABUĞDAYIN ANTİ-BESİNSEL BİLEŞİKLERİNİN
FARKLI YÖNTEMLER İLE UZAKLAŞTIRILMASI VE
GLUTENSİZ EKMEK ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

DOKTORA TEZİ

AYŞENUR ARSLAN

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Erkan Yalçın

BOLU, HAZİRAN - 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ayşenur ARSLAN tarafından hazırlanan “KARABUĞDAYIN ANTİ-BESİNSEL BİLEŞİKLERİNİN FARKLI YÖNTEMLER İLE UZAKLAŞTIRILMASI VE GLUTENSİZ EKMEK ÜRETİMİNDE KULLANILMASI” adlı tez çalışması, jürimiz tarafından, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.
12/06/2024

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Erkan YALÇIN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Hande Selen ERGE
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Semra TURAN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Sedat SAYAR
Mersin Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. M. Tuğrul MASATCIOĞLU
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına 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 beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

.....
AYŞENUR ARSLAN

ÖZET

KARABUĞDAYIN ANTI-BESİNSEL BİLEŞİKLERİNİN FARKLI YÖNTEMLER İLE UZAKLAŞTIRILMASI VE GLUTENSİZ EKMEK ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

DOKTORA TEZİ

AYŞENUR ARSLAN

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ERKAN YALÇIN)

BOLU, HAZİRAN - 2024

XVI + 194

Bu çalışmanın amacı, farklı lokasyonlarda yetiştirilen yerli, sekiz adet *Güneş cv.* çeşidi karabuğday ve *Aktaş cv.* çeşidi kontrol karabuğdayının valsli değirmende kırma unu (KU) ve öğütme ununa (ÖU), yüksek hızlı santrifüj öğütücüde tam karabuğday ununa (TKU) öğüttükten sonra anti-besinsel bileşik (A-BB) miktarlarını araştırmak; A-BB'leri malta işleme ve ultra-viyole (UV-C) ışık uygulaması ile uzaklaştırmak; işlem görmüş karabuğday unlarını glutensiz ekmek (GE) üretiminde kullanmak ve kalite özelliklerini belirlemektir. Tüm un örneklerinde fitik asit (FA) miktarları kuru madde üzerinden (kmü) ÖU>TKU>KU olarak; kondanse tanen (KT) ve toplam saponin (TS) miktarları kmü TKU>ÖU>KU olarak; tripsin inhibitörü aktivitesi (TİA) kmü TKU ve ÖU unlarında birbirine benzer, KU örneklerinde en düşük; kimotripsin inhibitörü aktivitesi (KİA) kmü KU>TKU>ÖU olarak bulunmuştur. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğday, A-BB miktarını azaltmak amacıyla iki farklı koşulda malta işlenmiştir. KT ve TS miktarları, I. koşulda üretilen malt ununda (M1) en fazla azalmıştır. FA, TİA ve KİA miktarlarındaki en fazla azalış II. koşulda üretilen malt ununda (M2) görülmüştür. M1 ve M2; %10 (M110, M210), %25 (M125, M225) ve %50 (M150, M250) oranlarında GE üretiminde kullanılmış, en düşük nem ve pişme kaybı M150, en yüksek hacim M210 GE örneklerinde belirlenmiştir. Malt unu katım miktarı arttıkça sertlik genellikle artmış; esneklik, bağlayıcılık ve elastikiyet/direnç azalmıştır. Malt unu katım miktarı arttıkça, GE'lerde nişasta sindirilirliği azalmış, toplam flavonoid madde miktarı yükselmiştir. *Güneş cv.* karabuğdayının A-BB'lerini uzaklaştırmak amacıyla dört farklı enerji seviyesinde (15, 30, 45, 60 W) UV-C ışık uygulanmıştır. A-BB miktarında en fazla azalış 45 W enerji seviyesinde sağlanmıştır. 15 W (U1) ve 45 W (U2) enerji seviyelerinde işlem gören karabuğday unları; %10 (U110, U210), %25 (U125, U225) ve %50 (U150, U250) oranlarında GE'lerde kullanılmış; en düşük hacim ve spesifik hacim U250 ve en düşük pişme kaybı U150 GE'nde bulunmuştur. GE'lerde antioksidan aktivite, UV-C uygulanmış karabuğday unu katım oranı arttıkça yükselmiştir. TKU, ÖU, KU unları ve GE'lerin protein görüntüleri jel elektroforezde ayrıca incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Karabuğday, Öğütme fraksiyonları, Anti-besinsel bileşikler, Malta işleme, Ultra-Viyole ışık (UV-C) uygulaması, Glutensiz ekmek

ABSTRACT

REMOVING ANTINUTRITIONAL COMPOUNDS OF BUCKWHEAT BY DIFFERENT METHODS AND ITS UTILIZATION IN GLUTEN-FREE BREAD PRODUCTION

PHD THESIS

AYŞENUR ARSLAN

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. ERKAN YALÇIN)

BOLU, JUNE 2024

XVI + 194

The purpose of this study was to mill native eight buckwheat (*Güneş cv.*) grown in different locations and buckwheat cultivar of *Aktaş cv.* into break flour (BF) and reduction flour (RF) using roller mill and wholegrain buckwheat flour (WBF) using ultra-centrifugal mill, then investigate the contents of antinutritional compounds (AC), and then remove the AC by malting and ultra-violet light (UV-C) treatments and utilize the treated buckwheat flours in gluten-free bread (GB) production, and determine the quality properties. In all flour samples, phytic acid (PHA) contents were found as RF>WBF>BF; condensed tannin (CT) and total saponin (TS) contents changed as WBF>RF>BF; trypsin inhibitor activity (TIA) was similar in WBF and RF flours and was the lowest in BF samples; chymotrypsin inhibitor activity (CIA) changed like BF>WBF>RF on dry weight basis. Buckwheat (*Güneş cv.*) grown in Konya location was processed for malting at two different conditions for removing the AC. The contents of CT and TS was reduced at the highest rate in the malt flour 1 (M1) produced at first condition. The contents of PHA, TIA and CIA were reduced at the highest rate in malt flour 2 (M2) produced at second condition. M1 and M2 were incorporated into GB formulations at levels of 10% (M110, M210), 25% (M125, M225) and 50% (M150, M250). The lowest moisture and cooking loss was found in GB of M150 and the highest volume was determined GB of M210. Hardness generally increased and springiness, cohesiveness and resilience decreased while increasing of malt flour. While increasing of malt flour incorporation, total flavonoid compounds of GBs increased, however starch digestibility decreased. Buckwheat (*Güneş cv.*) was treated with UV-C light at four different power levels (15, 30, 45, 60 W) for removing the AC. The highest reduction was provided at 45 W energy levels. Buckwheat flours treated at 15 W (U1) and 45 W (U2) energy levels were incorporated into GB formulations at 10% (U110, U210), 25% (U125, U225) and 50% (U150, U250) levels. The lowest volume and specific volume were found in GB of U250 and the lowest baking loss was determined in GB of U150. The antioxidant activity of GBs increased while increasing the incorporation level of UV-C treated buckwheat flour. Protein profiles of WBF, RF, BF flours and GBs were also investigated on gel electrophoresis.

KEYWORDS: Buckwheat, Milling fractions, Antinutritional compounds, Malting, Ultra-Violet light (UV-C) treatment, Gluten-free bread

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ	xii
FOTOĞRAF LİSTESİ	xiv
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xv
TEŞEKKÜR	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Karabuğday ve Genel Özellikleri	4
2.1.1 Botaniksel Özellikler	5
2.1.2 Tarımsal Özellikler	7
2.1.3 Karabuğdayın Kimyasal Kompozisyonu	10
2.2 Karabuğdayı İşleme ve Öğütme Yöntemleri	14
2.3 Karabuğdayın Glutensiz Gıda Teknolojisindeki Önemi.....	16
2.4 Karabuğdayın Anti-Besinsel Bileşikleri ve Sağlığa Etkileri	20
2.5 Karabuğdayın Anti-Besinsel Bileşiklerini Azaltma/ Uzaklaştırma Yöntemleri	25
2.5.1 Yöntemler	25
2.5.2 Malta İşleme	27
2.5.3 Ultra-Viyole (UV) Işık Uygulaması	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM	32
3.1 Materyal	32
3.2 Yöntem	36
3.2.1 Nem Miktarı Tayini	36
3.2.2 Kül Miktarı Tayini	36
3.2.3 Protein Miktarı Tayini	36
3.2.4 Ham Yağ Miktarı Tayini	36
3.2.5 Toplam Besinsel Lif Miktarı Tayini	36
3.2.6 Toplam Nişasta Miktarı Tayini.....	37
3.2.7 Anti-Besinsel Bileşik Miktarı Analizleri	37
3.2.7.1 Fitik Asit Miktarı Tayini	37
3.2.7.2 Toplam Saponin Miktarı Tayini	38
3.2.7.3 Kondense Tanen Miktarı Tayini	39
3.2.7.4 Tripsin İnhibitörü Aktivitesi Tayini	39

3.2.7.5 Kimotripsin İnhibitörü Aktivitesi Tayini.....	40
3.2.8 Proteaz Aktivitesi Tayini	41
3.2.9 α -amilaz Aktivitesi Tayini	42
3.2.10 Malt Yapma İşlemi.....	42
3.2.11 Kısa Dalga Boylu Ultra-Viyole Işık (UV-C) Uygulaması.....	45
3.2.12 Renk Tayini.....	46
3.2.13 Glutensiz Ekmek Üretimi.....	47
3.2.14 Glutensiz Ekmeklerde Yapılan Fiziksel Analizler.....	51
3.2.15 Glutensiz Ekmeklerde Yapılan Kimyasal Analizler	52
3.2.16 Glutensiz Ekmeğin Sindirilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	52
3.2.16.1 Protein Sindirilirliğinin <i>in vitro</i> Yöntem İle Tayini	52
3.2.16.2 Nişasta Sindirilirliğinin <i>in vitro</i> Yöntem İle Tayini.....	53
3.2.17 Glutensiz Ekmeğin Biyoaktif Madde Özelliklerinin Belirlenmesi.....	53
3.2.17.1 Serbest Fenolik Madde Miktarı Tayini	53
3.2.17.2 Toplam Flavonoid Madde Miktarı Tayini.....	54
3.2.17.3 Antioksidan Aktivite Tayini.....	55
3.2.18 Sodyum Dodesilsülfat Poliakrilamid Jel Elektroforez (SDS-PAGE).....	57
3.2.18.1 SDS-PAGE İçin Örnek Hazırlanması	57
3.2.18.2 SDS-PAGE Yöntemi	57
3.2.19 İstatistik.....	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	59
4.1 Karabuğday Öğütme Fraksiyonlarının Bazı Kimyasal Özellikleri.....	59
4.2 Karabuğday Tane ve Öğütme Fraksiyonlarının Renk Özellikleri	66
4.3 Karabuğdayın Öğütme Ürünlerinin Anti-Besinsel Bileşik Miktarları.....	72
4.4 Karabuğdayın Malta İşlenmesi ve Anti-Besinsel Bileşik Miktarlarındaki Değişimin İncelenmesi	84
4.5 Karabuğday Maltı Unlarının Renk Özellikleri	90
4.6 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Kalite Özellikleri	91
4.6.1 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Nem ve Fiziksel Özellikleri.....	91
4.6.2 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Renk Özellikleri	94
4.6.3 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Tekstür Özellikleri	99
4.6.4 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Bazı Besinsel Özellikleri.....	102
4.6.5 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Biyoaktif Madde Özellikleri	107
4.7 Karabuğdayın Anti-Besinsel Bileşiklerinin UV-C Işık Uygulaması İle Uzaklaştırılması.....	111
4.8 UV-C Işık Uygulanmış Karabuğday Taneleri ve Unlarının Renk Özellikleri.....	115
4.9 UV-C İşlemi Uygulanmış Karabuğdayların Glutensiz Ekmek Üretiminde Kullanımı.....	120
4.9.1 Glutensiz Ekmeklerin Nem ve Fiziksel Özellikleri.....	120
4.9.2 Glutensiz Ekmeklerin Renk Özellikleri.....	122
4.9.3 Glutensiz Ekmeklerin Tekstür Özellikleri.....	127
4.9.4 Glutensiz Ekmeklerin Bazı Besinsel Özellikleri	130
4.9.5 Glutensiz Ekmeklerin Biyoaktif Madde Özellikleri.....	135

4.9.6 Karabuğdayların Tam, Kırma ve Öğütme Unlarının Jel Elektroforezde (SDS-PAGE) Protein Profillerinin İncelenmesi	139
4.9.7 Karabuğday Maltı Unlarının ve Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Jel Elektroforezde (SDS-PAGE) Protein Profillerinin İncelenmesi	144
4.9.8 UV-C İşlem Görmüş Karabuğday Unlarının ve Glutensiz Ekmeklerinin Jel Elektroforezde (SDS-PAGE) Protein Profillerinin İncelenmesi	146
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	150
6. KAYNAKLAR.....	164
7. EKLER.....	175



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. 2017-2022 yılları arasında dünya karabuğday üretimi	8
Şekil 2.2. Karabuğdayın anatomik tohum yapısı	11
Şekil 2.3. Karabuğday unu ve ekmeginde bulunan bileşenlerin insan metabolizmasındaki işlev ve etkileri	18
Şekil 2.4. Fitik asitin mineral, protein ve nişastaya bağlanması	21
Şekil 2.5. Kondense tanen ve protein zinciri arasında hidrojen bağının meydana getirilmesi	22
Şekil 2.6. Saponinlerin genel kimyasal yapısı	23
Şekil 3.1. Valsli değirmende öğütme diyagramı	34
Şekil 4.1. Tam karabuğday unları, valsli değirmen ürünleri olan öğütme ve kıрма unlarının L^* , a^* , b^* renk özellikleri	69
Şekil 4.2. Tam karabuğday unları, valsli değirmen ürünleri olan öğütme ve kıрма unlarının C^* , h° , B_I renk özellikleri	71
Şekil 4.3. Tam karabuğday unları, valsli değirmen ürünleri öğütme unları ve kıрма unlarının α -amilaz aktivitesi ve proteaz aktivitesi değerleri	81
Şekil 4.4. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> çeşidi karabuğdayın iki farklı koşulda malta işlenmesi sonucunda α -amilaz ve proteaz aktivitesi değerlerinin aynı örneğin tam karabuğday unu ile karşılaştırılması	88
Şekil 4.5. Tam karabuğday unu ve farklı koşullarda üretilen malt unlarının renk özellikleri	91
Şekil 4.6. Kontrol ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özellikleri	95
Şekil 4.7. Kontrol ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli glutensiz ekmeklerin ekmek içi renk özellikleri	97
Şekil 4.8. Kontrol ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli glutensiz ekmeklerin serbest fenolik madde ve antioksidan aktivite özellikleri	108
Şekil 4.9. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> çeşidi karabuğdaya farklı UV-C enerji seviyelerinin uygulanması ile α -amilaz aktivitesi ve proteaz aktivitesindeki değişimin kontrol tam karabuğday unu ile karşılaştırılması	115
Şekil 4.10. Farklı enerji seviyelerinde UV-C işlemi uygulanmış karabuğday tanelerinin renk özellikleri	116
Şekil 4.11. Farklı enerji seviyelerinde UV-C işlemi uygulanmış karabuğdayların tam tane unlarının renk özellikleri	118
Şekil 4.12. Kontrol ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özellikleri	123
Şekil 4.13. Kontrol ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli glutensiz ekmeklerin ekmek içi renk özellikleri	125

Şekil 4.14. Kontrol ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli glutensiz ekmeklerin serbest fenolik madde ve antioksidan aktivite özellikleri.....	136
Şekil 4.15. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday örneklerinin tam unlarının protein kompozisyonlarının, β -merkaptöetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi.....	140
Şekil 4.16. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday örneklerinin kırma unlarının protein kompozisyonlarının, β -merkaptöetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi.....	142
Şekil 4.17. Kastamonu lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday çeşidinin tam unu, öğütme unu ve kırma ununun protein kompozisyonlarının, β -merkaptöetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi	143
Şekil 4.18. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday çeşidinden iki farklı koşulda üretilen karabuğday maltı unlarının ve bu malt unlarının belli oranlarda glutensiz ekmek formülasyonlarına katılarak üretilen glutensiz ekmeklerin protein kompozisyonlarının, β -merkaptöetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi	145
Şekil 4.19. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday çeşidinin 15 ve 45 W enerji seviyelerinde UV-C ile muamele edildikten sonra öğütülen tam karabuğday unlarının ve bu unların belli oranlarda glutensiz ekmek formülasyonlarına katılmasıyla üretilen glutensiz ekmeklerin protein kompozisyonları, β -merkaptöetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi	147

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Karabuğdayın taksonomik sınıflandırması	6
Tablo 2.2. Ultra-viyole ışığın dalga boylarına göre sınıflandırılması	29
Tablo 3.1. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örnekleri ve tane nem miktarları.....	32
Tablo 3.2. Karabuğdayların ekim, yetiştirme koşulları ve verim değerleri.....	33
Tablo 3.3. Tripsin aktivitesi tayini için hazırlanan örnekler	39
Tablo 3.4. İki farklı koşulda malt yapma işleminde ıslatma, çimlendirme ve kurutma aşamalarında uygulanan parametreler.....	43
Tablo 3.5. Karabuğday maltı unlarının nem değerleri	44
Tablo 3.6. UV-C ışık uygulanmış karabuğdayların tam unlarının nem değerleri.....	46
Tablo 3.7. Kontrol, karabuğday malt unu ve UV-C uygulanmış karabuğday unlarının glutensiz ekmek formülasyonlarında kullanılması	47
Tablo 3.8. SDS-PAGE yönteminde kullanılan geniş aralıklı protein markör karışımı içeriği.....	58
Tablo 4.1. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların tam karabuğday unlarının kimyasal kompozisyonu	60
Tablo 4.2. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların valsli değirmen öğütme unlarının kimyasal kompozisyonu	62
Tablo 4.3. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların valsli değirmen kıрма unlarının kimyasal kompozisyonu	64
Tablo 4.4. Karabuğday tanelerinin renk özellikleri.....	67
Tablo 4.5. Tam karabuğday unlarının anti-besinsel bileşik miktarları.....	73
Tablo 4.6. Karabuğdayların valsli değirmen ürünü öğütme unlarının anti-besinsel bileşik miktarları	75
Tablo 4.7. Karabuğdayların valsli değirmen ürünü kıрма unlarının anti-besinsel bileşik miktarları	77
Tablo 4.8. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> çeşidi karabuğdayın iki farklı koşulda malta işlenmesi sonucunda anti-besinsel bileşiklerde meydana gelen değişimlerin aynı örneğin tam karabuğday unu ile karşılaştırılması.....	86
Tablo 4.9. Kontrol ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli glutensiz ekmeklerin nem ve fiziksel özellikleri.....	92
Tablo 4.10. Kontrol ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli glutensiz ekmeklerin tekstür özellikleri	100
Tablo 4.11. Kontrol ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli glutensiz ekmeklerin nem ve bazı besinsel özellikleri	103
Tablo 4.12. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> çeşidi karabuğdaya farklı UV-C enerji seviyelerinin uygulanması ile anti-besinsel bileşik miktarlarındaki değişimin aynı örneğin işlem uygulanmamış tam karabuğday unu ile karşılaştırılması ...	112
Tablo 4.13. Kontrol ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli glutensiz ekmeklerin nem ve bazı fiziksel özellikleri.....	121

Tablo 4.14. Kontrol ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli glutensiz ekmeklerin tekstür özellikleri..	128
Tablo 4.15. Kontrol ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli glutensiz ekmeklerin nem ve bazı besinsel özellikleri.....	131



FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 2.1. Karabuğday çiçeklenme evresi ve olgunlaşmış, hasat zamanı gelmiş karabuğday.....	4
Fotoğraf 3.1. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday çeşidinin tam karabuğday tanesi, tam karabuğday unu, öğütme unu, kırma unu, kalın kepek ve ince kepek fraksiyonları..	35
Fotoğraf 3.2. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday çeşidinin malt yapma aşamaları	44
Fotoğraf 3.3. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday çeşidinin iki farklı koşulda üretilen malt unları	44
Fotoğraf 3.4. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday çeşidinin ultraviyole ışık (UV-C) uygulaması	45
Fotoğraf 3.5. Konya lokasyonunda yetiştirilen <i>Güneş cv.</i> karabuğday çeşidinin dört farklı enerji seviyesinde UV-C uygulandıktan sonra tam karabuğday unu halinde öğütülen unları	46
Fotoğraf 3.6. Kontrol ve %10, %25 ve %50 karabuğday malt unu (I. Koşulda üretim, M1) içeren glutensiz ekmek hamurları ve glutensiz ekmekler.....	48
Fotoğraf 3.7. Kontrol ve %10, %25 ve %50 karabuğday malt unu (II. Koşulda üretim, M2) içeren glutensiz ekmek hamurları ve glutensiz ekmekler.....	49
Fotoğraf 3.8. Kontrol ve %10, %25 ve %50 oranlarında U1 unu (15 W UV-C uygulanmış) katkılı glutensiz ekmek hamuru ve glutensiz ekmekleri	50
Fotoğraf 3.9 Kontrol ve %10, %25 ve %50 oranlarında U2 unu (45 W UV-C uygulanmış) katkılı glutensiz ekmek hamuru ve glutensiz ekmekleri	51

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

AA	: α -amilaz aktivitesi
ABTS	: 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)
BSA	: Bovin serum albümin
BTEE	: <i>N</i> -benzoil-L-tirozin etil ester
DMSO	: Dimetil sülfoksit
DNS	: 3,5-dinitrosalisilik asit
DPPH	: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
KİA	: Kimotripsin inhibitörü aktivitesi
KİU	: Kimotripsin inhibitörü unit
MEBAK	: Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission
PA	: Proteaz aktivitesi
SFM	: Serbest fenolik madde
TCA	: Trikloroasetik asit
TEAK	: Troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi
TİA	: Tripsin inhibitörü aktivitesi
TFVN	: Toplam flavonoid madde
UV-C	: Ultra-viyole ışık

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimleriyle destek olan değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Erkan YALÇIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca,

Doktora eğitimin süresince aylık eğitim bursu sağlayan Yükseköğretim Kurulu (YÖK)'nun 100/2000 YÖK Doktora Burs Programına,

Tez çalışmamın bir bölümüne maddi destek sağlayan TÜBİTAK Ulusal Araştırma Destek Programına (TÜBİTAK Program Kodu: 1002, Proje No: 221O632);

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bilimsel Endüstriyel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki laboratuvar imkânlarını kullanımımıza açan Merkez Müdürü Prof. Dr. İbrahim ÇAKIR'a,

Karabuğdayların farklı lokasyonlardan temin edilmesindeki katkılarından dolayı Konya Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve aynı kurumun araştırmacılarından Dr. Ahmet GÜNEŞ'e;

Karabuğdayların valsli değirmende ve yüksek hızlı santrifüj değirmende öğütülmesi ve karabuğdayların malta işlenmesindeki katkılarından dolayı bizlere laboratuvarlarını açan Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne;

Ultraviyole ışık (UV-C) uygulamasının gerçekleştirilmesinde, laboratuvarındaki cihazı kullanımımıza açan bölümümüz öğretim üyesi Prof. Dr. Seda KARASU YALÇIN'a ve desteklerini her zaman gördüğüm bölümümüz tüm öğretim üyelerine;

Tez çalışmam sırasında özveri ve anlayış gösteren, bana her zaman güvenen, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

AYŞENUR ARSLAN

1. GİRİŞ

Pseudo-tahıllar, yapı ve işlev bakımından tahıllardan farklı olup, gluten içermeyen, çift çenekli, tahıl benzeri bitkilerdir. Pseudo-tahıllar, karabuğday, amarant ve kinoadır. Çölyak hastalığı, buğday alerjisi ve gluten hassasiyeti son yıllarda sıkça karşılaşılan gluten kaynaklı başlıca rahatsızlıklardır. Pseudo-tahılların glutensiz ürünler olmaları popülerliğini artırmakta, dünya genelinde ekimi ve tüketimi giderek yaygınlaşmaktadır. Pseudo-tahıllar polifenoller, flavonoidler, mineraller ve vitaminler gibi birçok biyoaktif bileşik bakımından zengindirler. Pseudo-tahıllarda bulunan fenolik bileşiklerin kanser, diyabet, hipertansiyon ve kalp hastalıkları gibi kronik rahatsızlıklara olumlu yönde etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Pseudo-tahıllardan karabuğday, *Polygonaceae* familyasına ait, düşük kalorili, besinsel içerik bakımından zengin ve gluten içermemesi sebebiyle çölyak hastaları için alternatif bir gıda kaynağıdır (Naqash vd., 2017; Thakur vd., 2021; Sofi vd., 2022).

Dünyada karabuğdayı başlıca üreten ülkeler Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Kanada, Ukrayna ve Polonya'dır. Karabuğday nişasta ve protein bakımından zengin bir kaynaktır. Besinsel lif ve antioksidan bileşikleri yüksek miktarda içerdiği açıklanmıştır. Pseudo-tahıllar arasında rutin fenolik bileşiği sadece karabuğdayda bulunur ve yüksek antioksidan, anti-inflamatuar ve anti-kanser özelliklere sahip olduğu açıklanmıştır. Karabuğdayın, dünyada, fırıncılık ürünleri (ekmek, bisküvi ve kurabiye), erişte (*noodle*) ve makarna üretiminde kullanıldığı belirtilmiştir. Çin, Ukrayna, Japonya, Kanada, Hindistan, Nepal gibi ülkelerde çoğunlukla erişte, krep ve muffin kek yapımı için tercih edilir. Glutensiz ekmek üretiminde karabuğday ununun kullanılması ile protein, polifenolik madde, antioksidan aktivite, mineral madde miktarı ve diğer kalite özelliklerinde artış sağlandığı fakat tekstürel özelliklerin olumsuz etkilendiği açıklanmıştır. Ayrıca, glisemik indeksin azaltılmasında etkili olduğu rapor edilmiştir (Sofi vd., 2022; Kaur vd., 2023; Shahbaz vd., 2023).

Pseudo-tahıllar, saponin, tanen, nitrat, oksalat, lektin, proteaz inhibitörleri ve fitik asit gibi bazı anti-besinsel bileşikler içerirler. Pseudo-tahıllarda bulunan anti-besinsel bileşikler, besinsel yararlanımlarını kısıtlamakta, gıda güvenliğini riske atmakta ve dolayısıyla tüketimlerini sınırlandırmaktadır. Gıdalarda bulunan anti-besinsel bileşiklerin, gıdaların besinsel değerini düşürerek, sindirilirliği ve

besinlerin emilimini azalttığı veya engellediği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir. Besin maddelerinin emiliminde azalma ve bunun sonucunda büyüme ve ağırlık artışında gerileme, tiroit bezi fonksiyonunda azalma, lokal kanamalar, divalent katyonların ve amino asitlerin şelatlanarak absorpsiyonlarındaki azalma ve sonucunda dengesiz beslenmenin ortaya çıkması ve bağışıklık sisteminin zayıflaması gibi olumsuz etkilerin görüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca, anti-besinsel bileşiklerin, tek mideli hayvanların performanslarını ve yaşamlarını olumsuz yönde etkilediği de aktarılmıştır (Satheesh ve Fanta 2018; Mir vd., 2018; Thakur ve Kumar, 2019).

Anti-besinsel bileşiklerin sebep olduğu metabolik rahatsızlıkları azaltmak/ortadan kaldırmak için, pseudo-tahıllar uygun bir teknikle işlenmesi gerektiği bildirilmiştir. Uygulanacak yöntem seçilirken, anti-besinsel bileşiklerin kimyasal yapısının, tohum içerisindeki dağılımının, biyolojik etkilerinin, ısıya duyarlılık ve suda çözünürlüklerinin ve ayrıca işlemin maliyetinin bilinmesi önerilmiştir. Bu yöntemlerin kavuz ayırma, mekanik aşındırma, su ile yıkama, ıslatma, kaynatma, kavurma, ekstrüzyon, çimlendirme, fermentasyon, yüksek hidrostatik basınç ve genetik yöntemler olduğu çeşitli çalışmalarda anlatılmıştır (Gobbetti vd., 2020; Manyelo vd., 2020; Melini, F ve Melini, V, 2021; Thakur vd., 2021).

Bu çalışmada, ülkemizin farklı lokasyonlarından (Konya, Afyon, Aksaray, Bilecik, Çorum, Kastamonu, Niğde, Şanlıurfa) toplanan yerli karabuğday örneklerimiz (1 adet *Aktaş cv.*, 8 adet *Güneş cv.* çeşidi), gıda güvenliği bakımından önem arz eden anti-besinsel bileşik miktarlarının incelenmesi amacıyla; yüksek hızlı santrifugal öğütücü kullanılarak tam karabuğday ununa ve ayrıca valsli değirmende öğütme unu ve kırma unu fraksiyonlarına öğütülmüştür. Karabuğday örneklerimizin farklı lokasyonlardan toplanmasında, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Merkezi (Konya) ile işbirliği yapılmıştır.

İlk olarak, tam karabuğday unu, öğütme ve kırma unlarının kimyasal özellikleri, renk özellikleri, α -amilaz aktivitesi, proteaz aktivitesi ve anti-besinsel bileşik (fitik asit, kondanse tanen, toplam saponin, tripsin inhibitörü aktivitesi, kimotripsin inhibitörü aktivitesi) miktarları detaylı olarak incelenmiştir. İkinci olarak, anti-besinsel bileşikler bakımından en yüksek karabuğday örneği (Konya lokasyonunda yetişen *Güneş cv.* çeşidi karabuğday) seçilerek, malta işleme ve

ultra-viyole ışık (UV-C) yöntemleri ile muamele edilmiş, anti-besinsel bileşiklerdeki azalma izlenmiştir.

Malta işleme yöntemi ıslatma, çimlendirme ve kurutma aşamalarından meydana gelmiştir. Bu çalışmada, iki farklı koşulda malta işleme yapılarak, farklı ıslatma, çimlendirme ve kurutma koşullarının anti-besinsel bileşik miktarı üzerine etkileri incelenmiştir. Malta işleme, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü (Ankara)'nde bulunan, bilgisayar kontrollü mikro-maltlama ünitesinde gerçekleştirilmiştir.

Aynı karabuğdaya, 254 nm dalga boyundaki UV-C ışığı dört farklı enerji (15, 30, 45, 60 W) seviyesinde, 3 saat süreyle uygulanmıştır.

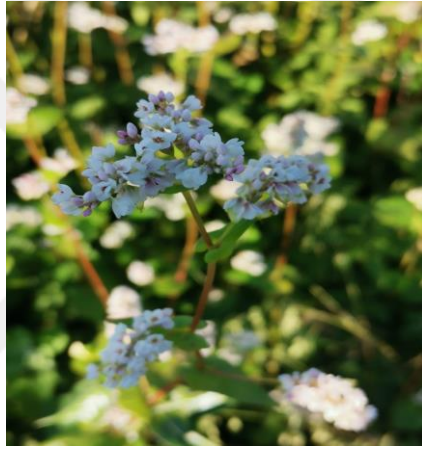
Karabuğday maltları ve UV-C uygulanmış karabuğdaylar öğütülerek anti-besinsel bileşiklerdeki azalma incelenmiştir. Ayrıca, öğütülmüş karabuğday maltı unları ve UV-C ışığı uygulanmış karabuğday unları (yalnızca 15 ve 45 W uygulananlar) glutensiz ekmek formülasyonunda kullanılarak, glutensiz ekmeklerin bazı kimyasal, fiziksel, tekstürel ve teknolojik kalite özellikleri araştırılmıştır. Buradaki amacımız, çölyak hastası, buğday alerjisi ve glutene hassasiyeti bulunan bireylerin tüketmeleri için, besinsel özellikleri iyileştirilmiş karabuğdayın glutensiz ekmek üretimindeki performansını belirlemektir. Bu amaçla öncelikle, mısır nişastası+pirinç unu+diğer katkılar karışımından oluşan kontrol glutensiz ekmek formülasyonu çeşitli denemeler sonucunda başarıyla hazırlanmıştır.

Bu doktora tezinin bir bölümü, TÜBİTAK Ulusal Araştırma Destek Programı (TÜBİTAK Program Kodu: 1002, Proje No: 221O632) tarafından desteklenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Karabuğday ve Genel Özellikleri

Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench), çoğu tahıldan daha iyi besinsel kompozisyona sahip olması ve gluten içermemesi sebebiyle son yıllarda alternatif bir gıda kaynağı olmuştur. En çok yetiştirilen iki tür, yaygın (*common*) karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) ve Tatar karabuğdayıdır (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.). Yaygın ekimi yapılan karabuğdayın, dünya üretiminin %90'ını oluşturduğu söylenmiştir (Woo vd. 2010; Huda vd. 2021; Choton vd., 2021).



(a)



(b)

Fotoğraf 2.1. Karabuğday çiçeklenme evresi (a) ve olgunlaşmış, hasat zamanı gelmiş karabuğday (b).

Arkeolojik veriler, karabuğdayın M.Ö. 5.-3. yüzyıllarda Çinliler tarafından yaygın bir şekilde yetiştirildiğini ve temel gıda kaynağı olarak kullanıldığını göstermektedir. Karabuğdayın dünyaya Doğu Tibet Platosu'ndan (Yunnan, Çin) yayıldığı düşünülmektedir. Karabuğdaydan üretilen gıdaların sağlığa olumlu etkileri ilk olarak M.S. 600'lerde fark edilmiştir. Karabuğday, 8. yüzyılda Güneydoğu Asya, Hindistan ve Küçük Asya'ya, 13. yüzyılda Sibiryaya ve Rusya'ya, 15. yüzyılda Avrupa'ya, 17. yüzyılda Amerika'ya ve daha sonra Afrika'ya yayılmıştır. Yayılımın önemli bir kısmının ipek yolu üzerinden göçmenlerle birlikte olduğu düşünülmektedir (Cawoy vd., 2009; Woo vd. 2010; Ahmed vd., 2014).

Karabuğdayın, çeşitli sağlık ve farmasötik etkilere sahip biyoaktif bileşenler açısından iyi bir kaynak olduğu ispatlanmıştır. Bu şekilde potansiyel olarak daha fazla dikkat çektiği bildirilmiştir. Bu biyoaktif bileşikler polifenolik bileşikler (başlıca flavonoidler), besinsel lifler, esansiyel amino asit ve yağ asitleri, vitamin ve minerallerdir. Karabuğdayın, başlıca tiamin, riboflavin ve piridoksin olmak üzere B grubu vitaminleri ve ayrıca sodyum, potasyum, bakır, çinko, magnezyum, demir, kalsiyum ve manganez gibi bazı makro ve mikro elementleri içerdiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Cawoy vd., 2009; Huda vd. 2021).

2.1.1 Botaniksel Özellikler

Karabuğday, *Polygonaceae* familyasına ait bir pseudo-tahıldır. Karabuğday, botanik olarak *Gramineae* veya *Poaceae* familyasının bir üyesi olmamasına rağmen, tahıllara benzer şekilde işlenmekte veya tüketilmektedir. Çift çenekli ve geniş yapraklıdır. *Polygonaceae* familyası yaklaşık 50 cins ve 1100'den fazla bitki türünden meydana gelmektedir. Karabuğdayın Latince adı “fagus (kayın ağacı)” ve Yunanca “pyrus (buğday)” kelimelerinden gelir ve aknenin kayın ağacı meyvesine benzemesinden ve buğday gibi tüketilmesinden kaynaklandığı anlatılmıştır. “*Esculentum*” kelimesi Latince kökenli olup “yenilebilir” anlamına gelmektedir. Benzer şekilde İngilizce karabuğday kelimesi “buckwheat”, Hollanda kökenli olup, kayın ağacı meyvesi ve buğday kelimelerinden meydana getirilmiştir (Gondola ve Papp, 2010; Woo vd. 2010).

Fagopyrum cinsi içindeki türler arasındaki genetik ilişkilere dair bilgiler 1980'lere kadar belirsizliğini korumuştur. Çok yıllık karabuğday (*F. cymosum* (Trev.) Meisn), uzun süre yaygın karabuğdayın yabani atası olarak kabul edilmiştir. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, birçok yeni türün keşfiyle birlikte, köken, coğrafi dağılım ve türleşme düzeyi hakkında yeni veriler sağlamıştır. Karabuğday türlerinde kloroplast DNA analizi, *F. esculentum*'un DNA'sının filogenetik olarak *F. tataricum* ve *F.cymosun*'un DNA'sından farklı olduğunu göstermiştir. Bu şekilde tür ilişkilerinin büyük bir kısmı ortaya çıkarılmıştır. Günümüzde kullanılan DNA temelli moleküler markörlerin geliştirilmesi, cins içindeki genetik ilişkilerin incelenmesi için oldukça etkili bir yol olmuştur (Gondola ve Papp, 2010; Woo vd. 2010; Chrungoo ve Chettry, 2021).

Fagopyrum esculentum karabuğdayının taksonomik sınıflandırması **Tablo 2.1.**'de verilmiştir.

Tablo 2.1. *Fagopyrum esculentum* karabuğdayının taksonomik sınıflandırması*.

Alem	<i>Plantae</i>
Şube	<i>Magnoliophyta</i> (Çiçekli bitkiler)
Sınıf	<i>Magnoliopsida</i> (Çift çenekli bitkiler)
Takım	<i>Caryophyllales</i>
Familya	<i>Polygonaceae</i>
Cins	<i>Fagopyrum</i>
Tür	<i>esculentum</i> (Moench 1794)
Botanik adı	<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench

*Gondola ve Papp, 2010.

Yunnan'da (Çin) yetiştirilen karabuğdayların kalıtım özellikleri, çiçeklerinin rengi ve şekli, tane şekli, tane kabuk rengi ve uzun büyüme dönemi gibi morfolojik özellikler açısından da farklılıklarının olduğu belirtilmiştir. Yunnan karabuğdayının tipik evrimsel eğilimi şekillerine göre; çok yıllık yabani türler → yıllık yabani türler → yıllık yetiştirilen türler olarak belirlenmiştir (Gondola ve Papp, 2010).

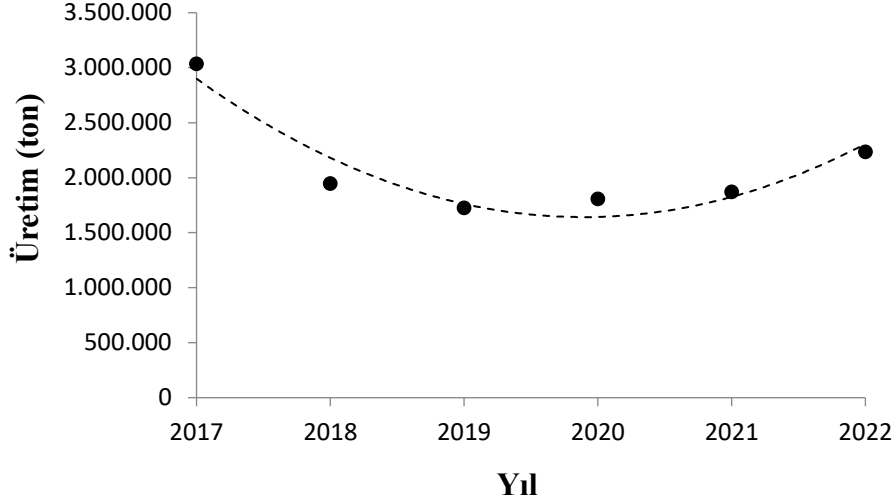
Polygonaceae familyasının bir üyesi olan *Fagopyrum* cinsi, çoğunlukla kuzey ılıman kuşağında yayılış gösteren 30 türden meydana geldiği bildirilmiştir. Geleneksel olarak *Fagopyrum* cinsi altında 19 türün bulunduğu biliniyorken, son 10 yılda bu cinse çok sayıda tür eklenerek toplam tür sayısı 30'a çıkarılmıştır. Türler farklı kromozom sayılarına sahiplerdir. Ekonomik açıdan en önemli tür olan *F. esculentum*'dur. Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench), kromozom sayısı $2n=16$ olan diploid, tek yıllık bir bitkidir. Çin'de yetiştirilen üç önemli karabuğday türünün: *Fagopyrum esculentum* Moench, *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn., *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara. (çok yıllık karabuğday) olduğu bildirilmiştir. Bu üç karabuğday türünün hem tüketim hem de tıbbi kullanım açısından daha çok tercih edilmesi ile daha fazla kimyasal ve

farmakolojik çalışmalar yürütülmüştür (Gondola ve Papp, 2010; Jing vd. 2016; Chrungoo ve Chettry, 2021).

2.1.2 Tarımsal zellikler

Karabuğday (*buckwheat*) kelimesi, kayın ağıacı meyvesine benzemesi sebebiyle, Anglo-Sakson dilinde *boc* (kayın ağıacı) ve *whoet* (buğday) kelimelerinden meydana getirilmiştir. Çeşitli iklim koşullarına adaptasyonu yüksek ve çoklu ekim sistemlerine uygun bir bitkidir. Karabuğdayın ekimi ve işlenmesi 13. yüzyılda Almanya, İtalya, Avusturya ve ek Cumhuriyeti'nde başlamıştır. Karabuğday, 17. ve 19. yüzyıllar arasında çok poplerken, 20. yüzyılda buğday ekiminin yaygınlaşmasıyla, Batı lkelerinde ekimi azalmıştır. Bu sebeple ağırlıklı olarak Asya ve Doğı Avrupa'da tüketilen karabuğday, Batı lkelerinde ise tahıllara alternatif olarak ilgi görmüştür. Dünyanın önde gelen karabuğday üretici ve ihracatçı ülkeleri Çin, Rusya, Fransa, Ukrayna, Polonya, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Kazakistan'dır. Günümüzde ABD, Kanada ve Avrupa'da glutensiz ve vegan beslenmenin yaygınlaşması ile poplerliğı artmıştır (Ahmed vd., 2014; Qaiser vd., 2023; Skşivan vd., 2023).

Karabuğdayın, büyüme mevsimi boyunca düzenli yağış alır ise, ılıman veya subtropikal iklimde en iyi performansı gsterdiğı bildirilmiştir. Tropikal bölgelerin yüksek rakımlarında başarıyla yetiştirilmektedir. Karabuğdayın, hemen hemen her türlü zorlu ortamda gelişen güçlü bir ekolojik uyum yeteneğıne sahip olduğı açıklanmıştır. Tahılların birçoğunun yetişmesinin g olduğı topraklara kolaylıkla uyum sağıladığı belirtilmiştir. Hastalıklardan ve zararlılardan etkilenmediğı bildirilmiştir. *Fagopyrum esculentum* (yaygın karabuğday) ve *Fagopyrum tataricum* (Tatar karabuğdayı) farklı büyüme davranışları sergilediğı açıklanmıştır. Tatar karabuğdayı dona dayanıklıdır ve genellikle daha yüksek rakımlarda (>2500 m) yetiştiğı, yaygın karabuğdayın ise daha düşük rakımlarda (500-2500 m) yetişebilme yeteneğıne sahip olduğı ifade edilmiştir (Potapov vd., 2017; Choton vd., 2021). 2017-2022 yılları arasında dünya karabuğday üretimi istatistiğı (FAOSTAT, 2024) şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. 2017-2022 yılları arasında dünya karabuğday üretimi (FAOSTAT, 2024).

Yaygın karabuğday, genellikle arpa hasadından sonra ikinci ürün olarak yetiştirilir. Bu durum, kısa büyüme süresi ve düşük girdi gereksinimi ile birlikte, hem organik hem de geleneksel üretim için büyük bir potansiyel sunmaktadır. *F. esculentum*, pembemsi veya beyaz çiçek kümelerine ve kahverengi üçgen tohumlara (4-7x3-4 mm büyüklüğünde) sahiptir. *F. esculentum* tohumları daha tatlı, daha iri ve tohum kavuzunun daha kolay ayrılması gibi avantajlara sahiptir. *F. tataricum* tohumları ise acı tat, küçük tohum ve sıkı tohum kavuzuna sahiptir. *F. tataricum*, belirtilen dezavantajlara rağmen, *F. esculentum*'a kıyasla daha fazla fenolik madde içerdiği belirtilmiştir (Jing vd. 2016; Choton vd., 2021; Qaiser vd., 2023).

Yaygın karabuğdayın bitki boyu, 30-120 cm arasında değişir. Ana bir kök ve kök sistemini oluşturan ince yan köklere sahiptir (toplam bitki ağırlığının yaklaşık %3-4'ü). Kısa ana kökü 30-50 cm derinliğe ve ince yan kökleri 25-30 cm genişliğe kadar toprakta yayılmaktadır. Sapları 3-15 mm çapında ve yuvarlaktır. Sapların içi boştur ve bu nedenle şiddetli rüzgâr veya doluya maruz kaldıklarında kırılırlar. Yapraklar saplı gövdenin karşıt taraflarında konumlanmış olup, kalp, oval-üçgen veya üçgen şeklinde ve 4-8 cm uzunluğunda olduğu bildirilmiştir. Çiçekler hermafrodit ve heteromorfiktir, yani ayrı bitkilerde iki tür çiçek üretilir. Gövde ve dalların rengi, olgunlaşma öncesinde, yeşilden kırmızıya değişir. Olgunlaştığında ise kırmızımsı kahverengi oldukları görülmüştür. Aşırı kuraklığa

maruz kalmanın, olgunlaşmanın gecikmesine sebep olduğu aktarılmıştır (Gondola ve Papp, 2010; Woo vd. 2010; Potapov vd., 2017).

Karabuğday taneleri, soya fasulyesi tanelerinden yaklaşık on kat daha küçüktür ve bin tane ağırlıkları sırasıyla 20 g ve 200 g olarak belirlenmiştir. Karabuğday tohumları ılık toprağa ekildiğinde genellikle 3-4 gün içinde hızla çimlenir ve çiçeklenmenin ekiminden 4-6 hafta sonra başladığı bildirilmiştir. Bir çiçeğin tozlaşmasından sonra, 10 gün içerisinde tam boyutlu bir tohum meydana gelir. Ancak bu tohumun olgunluğa ulaşması için 1-2 haftaya daha ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Tohumların alt gövdede daha erken ortaya çıktığı, bitki olgunlaştıkça tohum gelişiminin üst gövdeye doğru devam ettiği açıklanmıştır (Cawoy vd., 2009; Ahmed vd., 2014).

Bitki boyu ve olgunlaşma hızı ekim tarihine bağlıdır. Ekim yaz başında yapılırsa ve iyi verimlilik sağlanırsa bitkiler genellikle en az 1 m boyunda olur ve olgunlaşmaları 11-12 hafta sürer. Ekim, temmuz ayının ikinci yarısında yapılırsa, karabuğday 9-10 haftada olgunlaşır ve boyu iyi topraklarda 0,76 m, kötü topraklarda 0,61 m veya daha kısa olmaktadır. Bitki gelişimi sırasındaki sıcak ve kurak dönem, mahsulün verimini ve boyutunu sınırlayan faktörlerdir. Ne çok sıkı ne de kumlu topraklarda iyi yetişmediği ifade edilmiştir. Nemli topraklara bir dereceye kadar dayanır, ancak drenajın yeterli olduğu topraklarda genellikle daha iyi sonuç alındığı bildirilmiştir. Karabuğday yüksek verimli topraklara ihtiyaç duymaz, ancak orta düzeyde azot (N) verimliliğine katkıda bulunduğu söylenmiştir (Cawoy vd., 2009; Potapov vd., 2017).

Karabuğday, sıra dışı araziler (taşlık, kayalık), kötü işlenmiş topraklar dahil olmak üzere çok çeşitli çevre koşullarında büyüebilmesine rağmen, asidik pH'ya sahip kumlu topraklarda daha iyi verim alındığı aktarılmıştır. Karabuğday dona karşı hassas olması sebebiyle, ılıman bölgelerdeki alçak rakımlarda hasadın erken donlardan önce yapılması gerektiği söylenmiştir. Karabuğday, özellikle çiçeklenme döneminde, yüksek sıcaklıklara ve kuru rüzgârlara karşı hassastır. Büyümesi için en uygun sıcaklığın 18-23°C arasında olması gerektiği bildirilmiştir. Yüksek sıcaklıklar ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) ve kuru rüzgârlar, dişi çiçekteki yumurtanın düşmesine, çiçeklerin solmasına, üreme yapılarının gelişim aşamasında bozulmasına, embriyo kesesinde şekil bozukluklarına ve meyve kurumasına sebep olduğu kaydedilmiştir (Cawoy vd., 2009; Chrungoo ve Chettry, 2021).

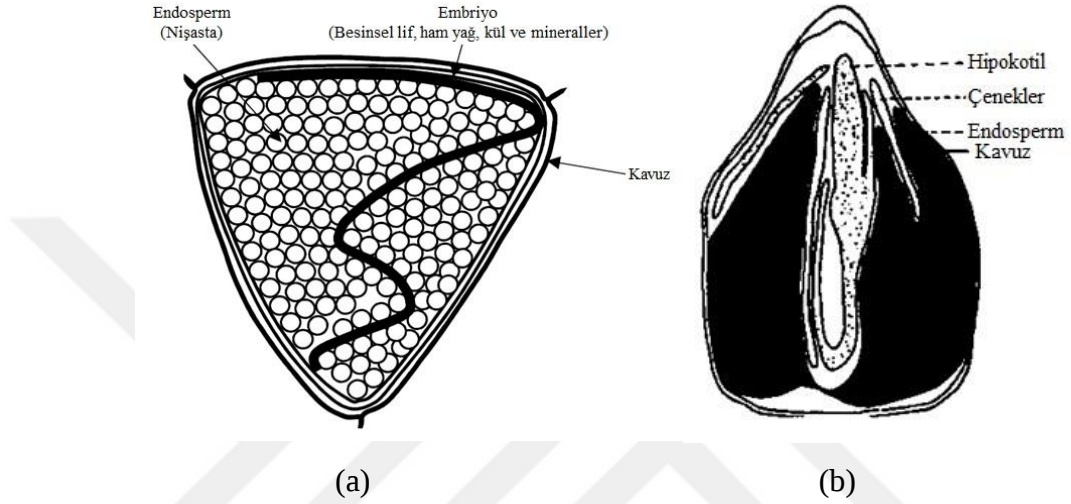
Karabuğday ekiminden önce, toprağın gözenekliliğini artırmak ve uygun drenajı sağlamak için yabancı otların uzaklaştırılması işlemi yapılarak tarlanın hazırlanması gerekir. Çiçeklenme ve tohum olgunlaşması sırasında sulamanın sınırlandırılması, endospermın zarar görmemesi için önemlidir. Polenler hayatta kalabilmek için neme ihtiyaç duyarlar. Polenlerin, kuru atmosferde ve 23°C'de canlılığını 1 saat içerisinde kaybettiği aktarılmıştır (Cawoy vd., 2009; Ahmed vd., 2014).

Karabuğday yetiştiriciliğinin avantajları, yetiştirme süresinin kısa olması (70-90 gün) ve polifenolik madde ve antioksidan aktivite özelliklerini kaybetmeden uzun süre depolanabilmesidir. Karabuğday tanelerinin tazeliği, kalitesinin en önemli parametresidir. Kavuzlu karabuğdayın raf ömrü, tahıllara kıyasla oldukça düşüktür. Uzun süre depolama, karabuğdayın oksidasyona uğramasına ve tipik aromasını etkileyen önemli duyusal bileşiklerin kaybına ve renk değişikliğine sebep olduğu bildirilmiştir. Bu kayıpların, karabuğday tanelerinin daha düşük sıcaklıklarda ve %45'in altındaki bağıl nemde depolandığında azaltılabileceği aktarılmıştır. Karabuğday tarımında karşılaşılan başlıca sorunlar; donma toleransının düşük olması, tohumlarının eş zamansız olgunlaşması, çiçek dökülmesi ve tohumlarının kırılması sebebiyle tane veriminin düşük olmasıdır. Tahıllar ile karşılaştırıldığında, hasatta, çok daha fazla teknik sorunlar ortaya çıktığı ve pazar değerinin düştüğü belirtilmiştir (Potapov vd., 2017; Chrungoo ve Chettry, 2021; Skşivan vd., 2023).

2.1.3 Karabuğdayın Kimyasal Kompozisyonu

Karabuğdayın anatomik tohum yapısı ve kısımları **Şekil 2.2. (a) ve (b)**'de gösterilmiştir. Buna göre, karabuğday kavuz, endosperm (perisperm) ve embriyo kısımlarından meydana gelmiştir. Karabuğday birçok biyoaktif bileşikleri içermesinin yanında önemli miktarda nişasta, protein ve ham yağ miktarına sahiptir. Karabuğdayda bulunan biyoaktif bileşikler flavonoidler (rutin, kuersetin, orientin, isoorientin, viteksin ve isoviteksin), yağ asitleri, amino asitler, iminoşekerler, besinsel lifler, enzime dirençli nişasta, vitaminler ve minerallerdir. Bu bileşiklerin miktarı tür, yetiştirme koşulları ve çevresel faktörlere bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Karabuğday, kardiyoprotektif, vazoprotektif, anti-hipertansif, anti-inflamatuar, sitoprotektif ve anti-diyabetik özelliklere sahip ve önemli bir flavonoid olan rutin başlıca kaynağı olduğu bildirilmiştir.

Karabuğdayın kavuzunda bulunan flavonoidler ve diğer polifenolik bileşiklerin antioksidan aktiviteye sahip olduğu ifade edilmiştir. Ancak, karabuğdayın başlıca tüketim şekli kavuzu ayrılmış haldeki tanesidir (*buckwheat groat*). Kavuzsuz karabuğdayın enerji değeri 355 kcal/100 g olup, pirinç, buğday ve mısır (sırasıyla 345 kcal/100 g, 346 kcal/100 g ve 365 kcal/100 g) benzer bulunmuştur (Chrungoo ve Chetty, 2021 ; Huda vd., 2021).



Şekil 2.2. Karabuğdayın iki farklı (a, b) anatomik tohum yapısı (Alonso-Miravalles ve O'Mahony, 2018; Henrion vd., 2021).

Karabuğday ununun protein miktarının pirinç, buğday, millet (darı), sorgum ve mısır göre önemli miktarda yüksek, yulaf unundan daha düşük olduğu beyan edilmiştir. Karabuğdayın protein miktarının, çeşide ve çevresel faktörlere bağlı olarak %12-19 arasında değiştiği ifade edilmiştir. Karabuğday öğütme fraksiyonları olan kavuzun %4, embriyonun %55,9 ve endosperm ununun %8,5-19 arasında protein miktarına sahip olduğu bildirilmiştir. Genel olarak karabuğday depo proteinlerinin, %70 oranında globülinler, %25 oranında albüminler, %4 oranında glutelinleri içerdiği ve prolamin tip proteinleri ise çok az içerdiği aktarılmıştır. Karabuğday proteinleri ekmeklik buğday proteinleri ile kıyaslandığında daha yüksek globülin ve albümin içerdiği, çok az prolamin ve glutelin tip proteinleri içerdiği ifade edilmiştir. Karabuğday proteinleri, dengeli miktarda esansiyel amino asit içeriği ile %5'in üzerinde lisin amino asiti içeriğine sahip, yüksek kaliteli proteinler olarak tanımlanmıştır. Düşük Lys/Arg ve Met/Gly

oranları ile karabuğday proteininin güçlü hipolipidemik aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir (Schoenlechner vd., 2008; Chrungoo ve Chettry, 2021).

Karabuğday proteinlerinin sağlık etkilerinden en önemlisinin kolesterol düşürücü özellikte olmalarıdır. Ayrıca, çölyak hastaları için toksik etkili prolamin proteinlerini hemen hemen hiç içermemeleridir. Karabuğday proteini ile ilgili en büyük sorun, hem insanlarda hem de hayvanlarda düşük sindirilirlik özelliğine sahip olmasıdır. Düşük sindirilirliğin, karabuğdayda bulunan proteaz inhibitörleri (tripsin ve kimotripsin inhibitörleri) ve tanen gibi anti-besinsel bileşiklerden kaynaklandığı bildirilmiştir (Tang vd., 2009; Kaur vd., 2023).

Karabuğdayın toplam karbonhidrat miktarı %67-70 arasındadır. Karbonhidrat miktarının %50-60'ı nişasta olmakla birlikte zengin bir nişasta kaynağı olduğu aktarılmıştır. Karabuğday nişastası, %25 amiloz ve %75 amilopektinden meydana gelmiştir. Uzun zincirli amilopektin polisakkaritinin, fizikokimyasal, yapısal ve fonksiyonel özelliklere önemli katkı sağladığı bildirilmiştir. Karabuğday, toplam nişasta miktarının %30-35'i arasında dirençli nişasta içerir. Karabuğday nişastası, çimlenme ve tane gelişimi için gerekli besin maddelerini sağlayan endospermde toplanmıştır. Öğütme sırasında mekanik ve termal işlemlerin nişasta granüllerinde hasara sebep olarak, nişastayı enzimatik hidrolize daha hassas hale getirdiği belirtilmiştir. Bu şekilde, karabuğday una öğütüldüğünde nişasta granülleri amilolitik enzimler tarafından daha kolay hidrolize olmaktadır. Mısır ve buğday nişastası ile kıyaslandığında, amiloz içeriği, su bağlama kapasitesi ve pik viskozitesi daha yüksektir. Karabuğday nişastasının, tahıl nişastalarına kıyasla daha yavaş sindirildiği açıklanmıştır (Qian vd., 1998; Steadman vd., 2001; Mariotti vd., 2008; Pirzadah vd. 2019).

Karabuğday toplam besinsel lif ve özellikle çözünebilir besinsel lif bakımından zengindir. Karabuğdaydaki toplam besinsel lifin temel bileşenleri, selülöz, hemiselülöz, gamlar ve lignindir. Çözünebilir besinsel lif, pektin, arabinoksilan ve ksiloglukanlardan meydana gelir. Besinsel lif miktarı kavuzsuz karabuğday tanesinde, kavuz+kepekte ve kavuzsuz-kepeksiz karabuğday ununda sırasıyla %5-11, %40 ve %1,7-8,5 arasında bulunmuştur. Kavuz ayırmanın besinsel lif miktarını önemli ölçüde azalttığı ifade edilmiştir. Toplam besinsel lif miktarının, kavuz kısımlarına sahip kepekte %40 (%25'i çözünebilir besinsel liftir) ve kavuz kısımları içermeyen kepekte ise %16 (%75'i çözünebilir besinsel liftir) olduğu açıklanmıştır. Besinsel lif tüketiminin, tokluk hissini artırarak kilo

vermeyi kolaylaştırdığı bildirilmiştir. Düşük besinsel lif tüketiminin kabızlık, hemoroit, kanda yüksek kolesterol ve yüksek şeker seviyelerine yol açtığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Aşırı besinsel lif tüketiminin ise bağırsak tıkanıklığına, ishale ve dehidrasyona sebep olduğu aktarılmıştır (Zhu, 2020; Raguindin vd., 2021).

Karabuğdayın ham yağ miktarı %1,5-3,7 arasında değişmektedir. Embriyo, ham yağ bakımından en zengin (%7-14), kavuz en düşük (%0,4-0,9) kısımdır. Doymamış yağ asitleri bakımından zengin olması besleyici özelliğini artırmaktadır. Esansiyel yağ asitlerinden, oleik asit (%47), linoleik asit (%39) ve linolenik asiti (%4) ve ayrıca palmitik asit (%5,8), stearik asit (%2,5) ve diğer yağ asitlerini (%0,7) de içerdiği bildirilmiştir (Mota vd., 2016; Pirzadah vd. 2019).

Karabuğday, B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, C ve E vitaminlerini önemli miktarda içerir. Karabuğday kepeği, B grubu vitaminler bakımından en zengin kısımdır. Karabuğdayın tiamin, riboflavin, niasin ve E vitamini (α -tokoferoller) miktarı sırasıyla 3,3, 10,6, 18,0 ve 40,0 mg/100 g tane olarak bulunmuş ve tahıllara kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Çimlendirme aşamasında C, B₁ ve B₂ vitamin miktarları yükselmektedir. Karabuğday tohumundaki mineral madde miktarı (~%2) ekmeklik buğdaya göre daha düşüktür. Karabuğdayın ayrıca K, Mg, P, Fe, Ca, Cu, Zn, Se, Ba ve B, I, Pt, Co gibi makro ve mikro elementleri de içerdiği beyan edilmiştir (Pirzadah vd., 2019; Chrungoo ve Chettry, 2021).

Kavuzsuz karabuğday tanesinin %55 nişasta, %12 protein, %4 ham yağ, %2 çözünebilir karbonhidrat, %7 toplam besinsel lif, %2 kül ve %18 diğer bileşenlerden (organik asitler, fenolik bileşikler, fosforile şekerler, nükleotidler ve nükleik asitler) meydana geldiği belirtilmiştir. Çoğunlukla endospermden oluşan kepeksiz, açık renkli un %75 nişasta, %6 protein, %1 ham yağ, %1 çözünebilir karbonhidrat, %3 toplam besinsel lif, %1 kül ve %13 diğer bileşenleri içerdiği ifade edilmiştir. Karabuğday kepeğinin ise %18 nişasta, %36 protein, %11 ham yağ, %6 çözünebilir karbonhidrat, %15 toplam besinsel lif, %7 kül ve %7 diğer bileşenleri içerdiği gösterilmiştir (Choton vd., 2021; Huda vd., 2021; Podolska vd., 2021).

2.2 Karabuğdayı İşleme ve Öğütme Yöntemleri

Karabuğdayın hasat sonrası işleme yöntemleri, son ürün kalitesini ve potansiyel kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu işlemler, tohumları yabancı maddelerden temizleme, kavuz ayırma ve öğütme yöntemidir. Kavuz ayırma ve öğütmenin, tohum bileşenlerinin biyoyararlanımını artırdığı ve sindirimi kolaylaştırdığı bildirilmiştir. Karabuğday tanelerine hasat sırasında taş, yabancı tohumlar, yabancı ot tohumları, saman ve kırık taneler karışmaktadır. Yabancı maddelerin uzaklaştırılması, tüketici güvenliğini sağlamak ve son ürün kalitesini artırmak açısından önemlidir. Ayrıca yabancı maddelerin uzaklaştırılması, işlenmiş karabuğdayın lezzet, doku ve raf ömrünün artmasına katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Karabuğdayı temizlemek için elek, aspirasyon sistemi, manyetik ve sensörlü optik ayırıcılar gibi mekanik düzenlere ihtiyaç olduğu dile getirilmiştir (Ikeda, 2002; Solanki vd., 2023).

Kavuz ayırma, kavuzun içindeki taneden ayrılması işlemidir. Geleneksel yöntemler, mekanik aşındırmayı içerirken, modern teknolojiler aşındırıcı valsli, darbeli değirmenler veya havalı sınıflandırma sistemlerini içermektedir. Karabuğdayın kavuzunun ayrılması, anti-besinsel bileşiklerin (tanen ve fitik asit gibi) azaltılmasını ve işleme verimliliğinin artırılmasını sağlar. Ayrıca, sindirilirlikte artış meydana geldiği belirtilmiştir. Aşındırıcı kavuz ayırma yönteminde, sürtünme ile kavuz ayrılır ve iç taneye minimum düzeyde zarar verilir. Darbeli kavuz ayırma yönteminde, kavuzu içindeki taneden ayırmak için mekanik kuvvet kullanılır ve bu genellikle daha yüksek bir verimle sonuçlanmaktadır. Fakat daha fazla iç tanenin kırılmasına sebep olur. Enerji verimliliği, su kullanımı ve çevresel etkiler dikkate alınarak kuru ve ıslak yöntemlerin kullanıldığı bildirilmiştir. Ayrıca, kavuz ayırma, karabuğdayın tanesinin protein miktarını, nişasta özelliklerini ve antioksidan aktivitesini etkilediği aktarılmıştır. Kavuz ayırma işleminin yan ürünü olan karabuğday kavuzu, hayvan yemi ve besinsel lif kaynağı olarak ve ayrıca ambalaj uygulamalarında kullanılabilmek potansiyeline sahip olduğu beyan edilmiştir (Solanki vd., 2023).

Öğütme, tanenin çeşitli parçacık boyutlarına indirgenerek farklı fraksiyonların elde edilmesidir. Karabuğday ununun kimyasal bileşimi, fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri farklı öğütme yöntemlerinden büyük ölçüde etkilenir. Bu sebeple, karabuğday unu üretiminde uygulanacak öğütme

yönteminin seçimi önemlidir. Öğütmede kullanılan başlıca beş yöntem, taş değirmende öğütme, valsli değirmende öğütme, ultra-santrifugal öğütme, çekiçli değirmende öğütme ve ıslak öğütmedir. Karabuğday, genellikle taş değirmen ve çekiçli değirmen kullanılarak öğütülür. Çekiçli değirmenin, kolay kullanım, düşük bakım maliyeti, zaman tasarrufu ve yüksek enerji verimliliği sağlaması bakımından öğütmede yaygın olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Liu vd., 2018; Yu vd., 2018; Solanki vd., 2023; Zhang vd., 2023).

Çekiçli değirmende öğütmede, karabuğday tanelerinin kavuzu (karabuğday tanesinin %17-20'si) taş kavuz ayırıcı ile ayrılır. Ayrılan kavuzu uzaklaştırmak için ürün elenir. Kavuzu ayrılmış tane, gıdalarda yaygın kullanılmayan bir yan ürün olan kepek (%10-24) ve gıdalarda kullanılan unun elde edildiği endospermden (%55-70) meydana gelmektedir. Kavuzu ayrılmış karabuğday tanesinin valsli değirmende öğütülmesiyle karabuğday unu ve dıştan içe doğru çeşitli fraksiyonlar elde edilir. Dış katmanlar protein, ham yağ, besinsel lif ve kül miktarı açısından iç katmanlara kıyasla daha zengindir. Ayrıca, kepekte bulunan fenolik bileşikler sebebiyle, dış katmanlardaki un fraksiyonlarının antioksidan aktivitesinin iç katmanlara göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Steadman vd., 2001; Martín-García vd., 2019).

Islak öğütme, kimyasal, biyokimyasal ve mekanik işlemleri içeren endüstriyel bir işlemdir. Islak öğütmede amaç, tohumun başlıca bileşenlerini en saf halde ayırmaktır. Islatma, mekanik ayırma ve kurutma aşamalarından oluşur. Islak öğütmede, karabuğdayın kavuz, kepek+embriyo, nişasta, protein kısımları ayrı ayrı elde edilebilmektedir. Islak öğütme yoluyla ayrılan karabuğday nişastası, çeşitli gıda formülasyonlarında kıvam verici ve stabilize edici ajan olarak kullanılabildiği bildirilmiştir (Arslan vd., 2021).

Ultra-santrifugal öğütme teknolojisinin birçok ticari uygulama için yüksek potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, karabuğday öğütme fraksiyonlarının ekstrüde atıştırmalıklarda, bitkisel et benzeri ürünlerde ve içeceklerde kullanılması, fonksiyonel ve sağlıklı gıda üretimi için çok yönlü potansiyele sahip oldukları gösterilmiştir. Öğütme tekniğinin seçimi son ürün özelliklerini, verimliliği ve sürdürülebilirliği etkilediği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Ikeda, 2002; Liu vd., 2018; Yu vd., 2018; Solanki vd., 2023).

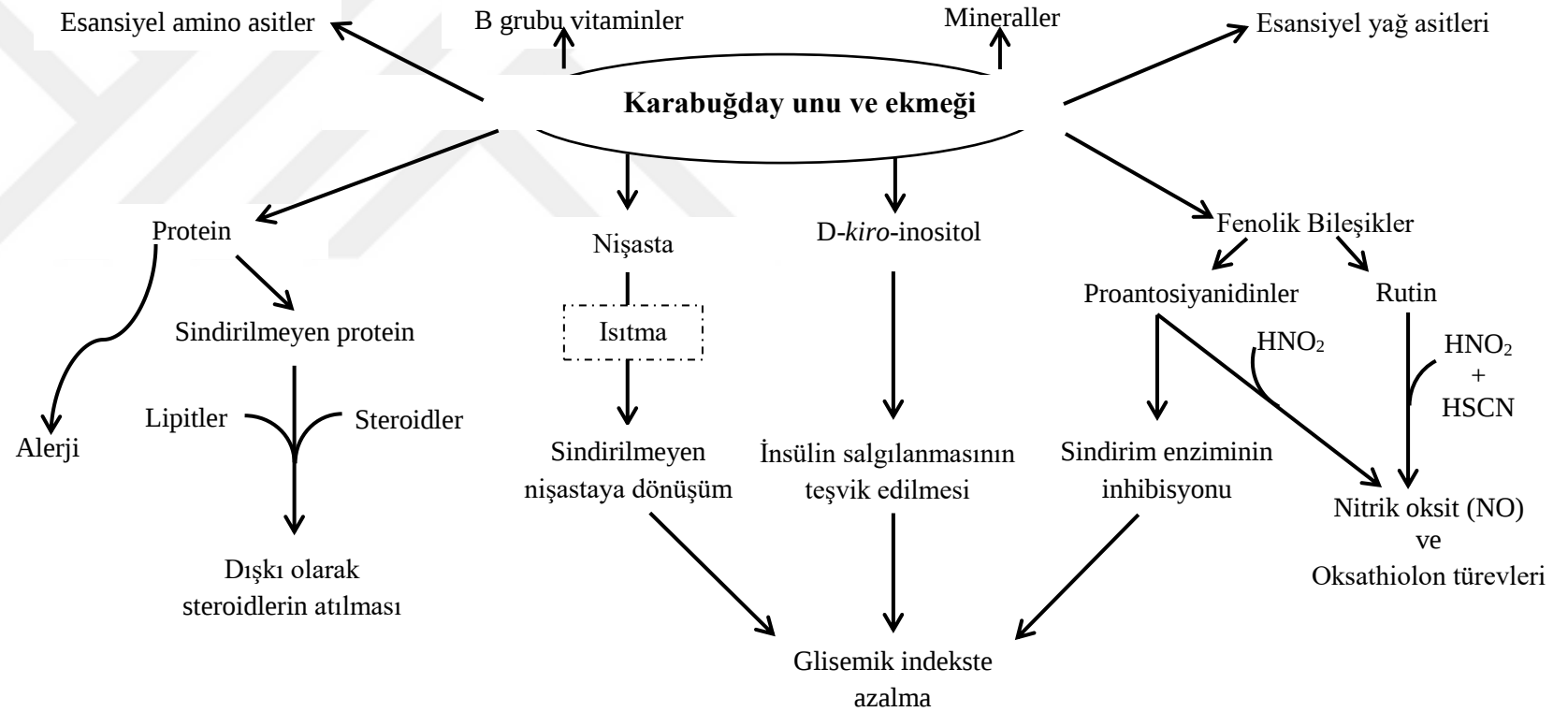
2.3 Karabuğdayın Glutensiz Gıda Teknolojisindeki Önemi

Çölyak hastalığı, buğday, arpa ve çavdarda bulunan prolamin tip proteinlerin (sırasıyla gliadin, hordein, sekalin) tüketilmesi ile ortaya çıkan otoimmün bir rahatsızlıktır. Prolamin proteinlerinde bulunan ve özellikle prolin ve glutamin amino asitleri bakımından zengin peptitler, proteolitik sindirime karşı direnç oluşturur. Bu toksik peptitler ince bağırsak mukozasında hasar meydana getirerek bireyde bazı belirtilere sebep olurlar. Bunlar; ishal, şişkinlik, kabızlık, kilo kaybı, anemi, kronik yorgunluk, kemik ağrısı ve kas kramplarıdır. Bu bireyler çölyak hastası olarak adlandırılır. Çölyak hastalığının dünya genelinde görülme sıklığı bölgesel farklılıklarla birlikte %1, Türkiye’de ise %0,6-1 oranındadır. Çölyak hastaları buğday, arpa ve çavdar tüketmemelidirler. Diğer bir rahatsızlık buğday alerjisidir, çölyak hastalığından farklı olarak, buğday proteinlerine, özellikle de α -amilaz inhibitörleri, oksidaz, fruktoz-bifosfat aldolaz, buğday unu peroksidazı ve x-5 gliadine karşı alerjik reaksiyonlar meydana gelmektedir. Buğday alerjisi, toplumun %0,33-1,17’sinde görüldüğü bildirilmiştir. Gluten hassasiyeti ise çölyak hastalığı veya buğday alerjisi olmayan, ancak gluten içeren gıdaların tüketilmesiyle ilişkili bağırsak belirtilerinin görüldüğü rahatsızlıktır. Gluten hassasiyetinin, çölyak hastalığından daha yaygın görüldüğü ve nüfusun tahminen %6’sında bulunduğu düşünülmektedir (Naqash vd., 2017; Mir vd., 2018; Woome ve Adedeji, 2021).

Çölyak hastalığının tek tedavisi, yaşam boyu glutensiz diyetdir. Uluslararası Gıda Otoritesi (The International Food Authority), bir ürünün glutensiz denmesi için glutenin hiç bulunmaması, Gıda Kodeksi (Codex Alimentarius) ise bir glutensiz gıdada 200 ppm glutene kadar izin verilebileceği şeklinde karar almıştır. Türk Gıda Kodeksi Glutensiz Ürünler Tebliği’ne göre ise glutensiz bir üründe gluten hiç bulunmamalı veya maksimum 20 ppm’e kadar glutene izin verilmiştir. Çölyak hastalarının %20-38’inde kalori eksikliği, protein, besinsel lif, mineral ve vitamin gibi bazı besin maddesi eksikliklerinin gözlemlendiği bildirilmiştir. Çölyak hastalarının en büyük sorunlarından birisi besinsel kalitesi yüksek glutensiz ürünlerin azlığıdır. Bu sebeple gluten içermeyen pseudo-tahıllar (karabuğday, kinoa ve amarant) alternatif gıda kaynakları olarak glutensiz ürünlerin üretiminde kullanılabileceği bir çok çalışmada belirtilmiştir (Giménez-Bastida vd., 2015a; Leonard vd., 2017; Naqash vd., 2017; Woome ve Adedeji, 2021; Sofi vd., 2022).

Pseudo-tahılların glutensiz ürünlere dahil edilmesi ile protein, besinsel lif, kalsiyum, demir, E vitamini ve polifenolik bileşik içeriği ve antioksidan aktivitesinin artırılabilceğı bildirilmiştir. İşleme açısından bakıldığında, üç pseudo-tahıldan yalnızca karabuğday, buğdaya benzer şekilde işlenirken, amarant ve kinoa ise farklı morfolojik ve fonksiyonel özelliklerinden dolayı farklı işlemler gerektirdiğı söylenmiştir. Karabuğday, zengin besinsel içeriği ve glutensiz olması ile çölyak hastaları için mükemmel bir gıda kaynağıdır. Karabuğdayın çeşitli glutensiz gıda formülasyonlarına dahil edilmesi, son ürünün besinsel profilini, duyuşal özelliklerini ve pazar çekiciliğini artıracakğı ifade edilmiştir (Giménez-Bastida vd., 2015b; Pirzadah vd., 2019).

Yenilikçi ürün geliştirmede, ana bileşen olarak karabuğday ununun kullanılması glutensiz ürün çeşitliliğini artırmıştır. Karabuğday, gıdalarda, kavuzu ayrıldıktan sonra ortaya çıkan tanenin öğütölüp un haline dönüştüröldükten sonra kullanılır. Kavuzsuz karabuğday ununda bulunan proteinlerin jel oluşturma kapasitesi, su tutma kapasitesi, emülsifikasyon ve köpük oluşturma gibi bazı fonksiyonel özelliklerinin bulunduğı açıklanmıştır. Karabuğday kepeğinin, gıdaların besinsel lif miktarını ve antioksidan aktivitesini artırdığı ve yapı geliştirici özelliklere sahip olduğı bildirilmiştir. Kavuzsuz karabuğday unu, ekmek, kurabiye, bisküvi, çerez gıdalar, erişte (*noodle*) ve makarna gibi gıdaların üretiminde önemli bir hammadde olarak kullanılabileceğı belirtilmiştir. Karabuğdayın şarap, sirke ve çay üretiminde de büyük bir potansiyele sahip olduğı çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir (Sofi vd., 2022; Solanki vd., 2023). Karabuğday unu ve ekmeğinde bulunan bileşenlerin insan metabolizmasındaki işlev ve etkileri **Şekil 2.3.**'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Karabuğday unu ve ekmeğinde bulunan bileşenlerin insan metabolizmasındaki işlev ve etkileri (Takahama vd., 2011).

Karabuğday ununun ekmek formülasyonuna dahil edilmesinin, ekmeğin protein ve mineral miktarını ve besinsel kalitesini artırdığı açıklanmıştır. Karabuğday ekmeğinin, amarant ve kinoa unu ile zenginleştirilmiş glutensiz ekmeğe kıyasla daha yüksek protein, fenolik madde miktarı ve antioksidan aktiviteye ve düşük glisemik indekse sahip olduğu belirtilmiştir. Glutensiz formülasyona karabuğday unu eklenmesi ekmeğin teknolojik kalitesini olumlu yönde etkilemiş, protein ve mikro elementler (özellikle Cu ve Mg) açısından zenginleştiği aktarılmıştır. Glutensiz formülasyona karabuğday unu eklenmesi (%30) ile ekmeğin duyusal kalitesi ve reolojik özellikleri olumlu yönde etkilenmiştir. Ayrıca, çalışmalarda, glutensiz ekmek formülasyonuna karabuğday unu eklenmesi nişasta retrogradasyonunu geciktirerek ekmeğin bayatlamasını geciktirdiği beyan edilmiştir. Umami tadı ve karakteristik aroması ile tüketiciler tarafından kabul edilebilirliğinin arttığı belirtilmiştir (Chrungoo ve Chettry, 2021; Solanki vd., 2023; Zhang vd., 2023).

Soğuk ekstrüzyon teknolojisiyle üretilen makarna, hazırlanması kolay ve tüketiciler tarafından kabul edilebilirliği yüksek bir üründür. Karabuğday unundan glutensiz makarnanın geliştirilmesine yönelik optimizasyon çalışmalarında, daha iyi sertlik, yapı ve pişme ve duyusal kalite hedeflenmiştir. Karabuğday unu, makarna hamuru yapısı ve makarna kalitesini artırma üzerine genelde iyi bir etki yaratırken, yapı, pişme kaybı ve renk parametreleri üzerinde daha az etkili olduğu bildirilmiştir. Bunun yanı sıra, makarna yapımında kullanılan karabuğday ununun besinsel lif, protein ve mineral madde miktarını artırdığı belirtilmiştir. Erişte (noodle) hamurunda karabuğday proteinlerinin, tekstürü olumlu etkileyecek yapışkan bir yapı meydana getiremediği bildirilmiştir. Karabuğday eriştesinin (*soba noodle*) besinsel kalitesinin iyi olmasına rağmen, viskoelastik ağ eksikliği sebebiyle üretiminin zor olduğu aktarılmıştır (Giménez-Bastida vd., 2015a; Naqash vd., 2017; Khairuddin ve Lasekan, 2021).

Karabuğday unu katılan bisküvilerin fizikokimyasal ve organoleptik özelliklerinde iyileşme, yayılma, sertlik ve kırılabilirlik özelliklerinde artış gözlenmiştir. Karabuğday unlu kurabiyeler aynı zamanda tüketiciler tarafından kabul edilir bulunmuştur. Karabuğday unlu kurabiyelerin, buğday unundan yapılanlara göre protein ve besinsel lif miktarı daha fazla bulunmuştur. Karabuğday maltından çölyak hastaları için bira üretilmektedir. Karabuğday birası, aroma, yapı ve acılık bakımından kabul edilebilir bulunmuştur.

Karabuğday maltından hazırlanan fermente birada serbest amino asitler, serbest azot ve minerallerde artış, anti-besinsel bileşiklerde azalma gözlemlendiği bildirilmiştir. Ayrıca, karabuğday bitkisel fermente süt ürünleri üretiminde kullanılarak, probiyotikler bakımından zengin, süt benzeri ürünlerin alternatif gıdalar olarak sunulabileceği belirtilmiştir (Giménez-Bastida vd., 2015a; Mir vd., 2018; Kaur vd., 2023).

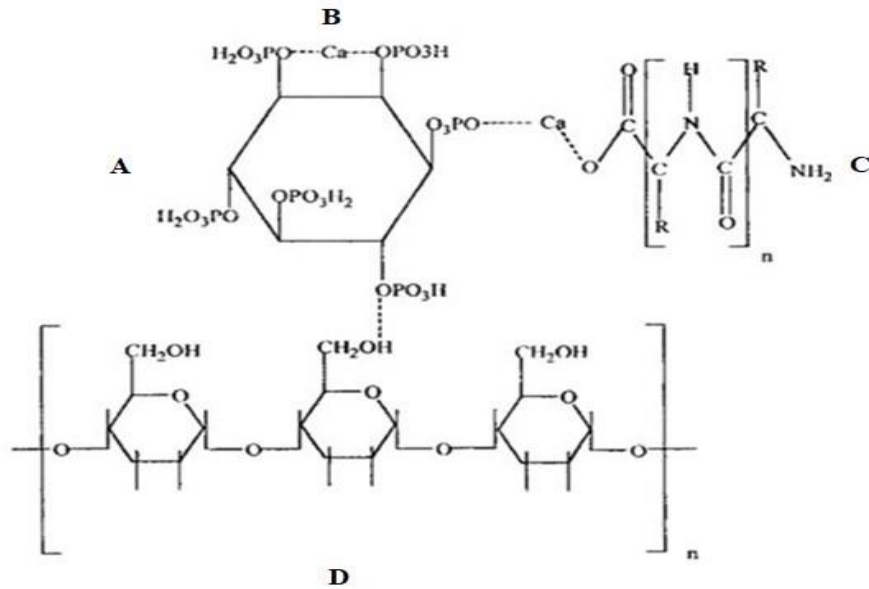
2.4 Karabuğdayın Anti-Besinsel Bileşikleri ve Sağlığa Etkileri

Karabuğdayda bulunan bazı anti-besinsel bileşiklerin, besinlerin biyoyararlanımlarını azaltarak/engellerek önlediği bildirilmiştir. Bu anti-besinsel bileşikler arasında fitik asit, tanenler, saponinler ve proteaz inhibitörleri yer almaktadır. Bu anti-besinsel bileşiklerin ince bağırsakta metabolizmayı olumsuz etkilediği, nişasta ve protein sindirilirliğini azalttığı ve mineral biyoyararlanımını düşürdüğü açıklanmıştır. Fazla miktarda tüketimlerinin toksik etki meydana getirdiği aktarılmıştır. Örneğin, fitik asit, tanenler, saponinler ve proteaz inhibitörlerinin besin maddelerinin emilimini azaltan ve büyümenin durmasına sebep olan en önemli anti-besinsel bileşikler olduğu bildirilmiştir (Wijngaard ve Arendt, 2006a; Adeyemo ve Onilude, 2013).

Anti-besinsel bileşikler, bitkilerde ikincil metabolitler olarak bilinir ve biyolojik olarak aktiftirler. Bu ikincil metabolitler, birincil metabolitlerin sentezine yol açan süreçlerin yan ürünleri olarak ortaya çıkarlar. Başta baklagiller olmak üzere, birçok bitki türünde bulundukları tespit edilmiştir. Bu yüzden, karabuğdayın besinsel değerini, sindirilirliğini ve biyoyararlanımını kaybetmeden uygun bir işleme yönteminin seçilerek bu anti-besinsel bileşiklerin miktarı azaltılmalı veya güvenli seviyeye indirilmeleri gerekir. Böylece daha sağlıklı karabuğday ürünlerinin tüketimi sağlanmış olacaktır (Wijngaard ve Arendt, 2006a; Gemede ve Retta, 2014; Wronkowska vd., 2015).

Fitik asit (miyo-inositol hekzafosfat) veya fitat (fitik asitin tuz formu), bitkideki toplam fosforun %50-85'ini kapsayan başlıca fosfor deposudur. Başlıca tek ve çift değerlikli K^+ , Mg^{+2} ve Ca^{+2} katyonlarının tuzu şeklinde bulunur ve olgunlaşma döneminde tohumda depolandığı bildirilmiştir. Fitik asitin, yüksek negatif yükü sebebiyle, minerallerin (Ca^{+2} , $Fe^{+2/+3}$, Mg^{+2} , Zn^{+2} , Mn^{+2} ve Cu^{+2} gibi) yanı sıra nişasta, protein ve enzimleri de şelatlayarak biyoyararlanımlarını azalttığı bildirilmiştir. Örneğin, Ca^{+2} kemik yapısında önemlidir ve emilimindeki

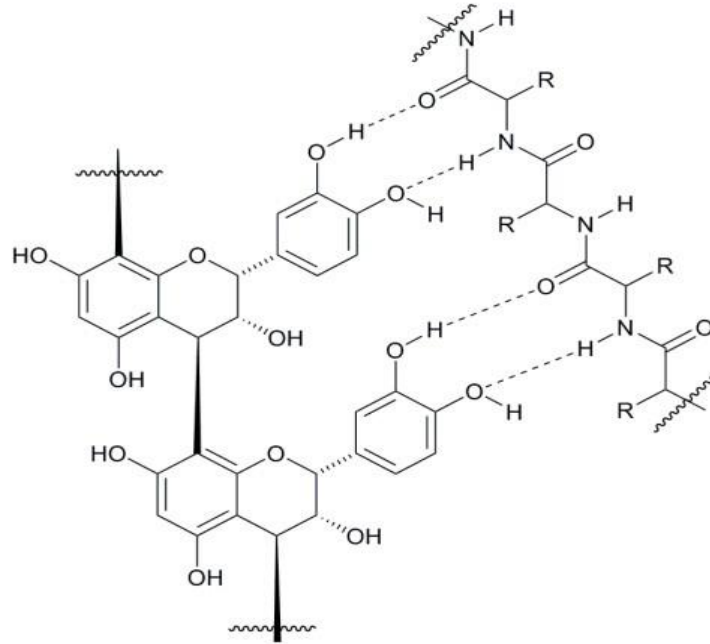
herhangi bir fizyolojik azalma kemik yapısını olumsuz yönde etkileyebilir. Fitik asitin vücutta bulunmaması ile çinko ve magnezyum, besinlerden sırasıyla %20 ve %60 daha fazla emildiği bildirilmiştir. Farklı ülkelerde önerilen fitik asit tüketim miktarı İngiltere/ABD, Finlandiya, İtalya ve İsveç'te sırasıyla 631-746; 370; 219 ve 180 mg/gün olarak belirlenmiştir. Çoğu tahıl ve baklagil kepeğinde kuru madde üzerinden %1-3 oranında bulunduğu açıklanmıştır. Karabuğday tanelerinin dış katmanları, iç katmanlarından birkaç kat daha fazla fitik asit içerir. Fitik asit çinko ve demir emiliminin başlıca inhibitörlerinden olduğundan dolayı tahıl ve baklagil bazlı gıdalardan uzaklaştırılması besinsel yararlanımı artıracaktır. Fitik asit ısıya dayanıklı olduğu için pişirme sırasında zarar görmemektedir. Ancak, pişirmenin ilk aşamalarında endojen fitazların veya fosfatazların aktivasyonunun, fitik asit miktarını azaltabileceği belirtilmiştir. Gıdalara fitaz enziminin eklenmesi, tahıl ve baklagillere işlenmeden önce ıslatma, çimlendirme, fermentasyon, iyonlaştırıcı radyasyon, ekstüzyon ve kavuz ayırma işlemlerinin uygulanması fitat içeriğini azaltılabileceği araştırmalarda gösterilmiştir (Filho vd., 2017; Nikmaram vd., 2017; Duliński vd., 2017; Mattila vd., 2018; Manyelo vd., 2020; Joshi vd., 2020; Feizollahi vd., 2021; Klepacka ve Najda, 2021). Fitik asitin ($C_6H_{18}O_{24}P_6$), mineral, protein ve nişastaya bağlanma şekilleri **Şekil 2.4.**'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Fitik asitin ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) (A), mineral (B), protein (C) ve nişastaya (D) bağlanması (Oatway vd., 2001).

Tanenler, protein, amino asit ve alkaloidler dahil olmak üzere çeşitli organik bileşiklere bağlanarak onları çökelten, acı tada sahip bitki polifenolikleridir. Başlıca tanenler, kondense tanenler ve hidrolize tanenlerdir. Kondense tanenler, flavan-3-ol birimlerinden oluşan oligomerler veya polimerler olduğu bildirilmiştir. Hidrolize tanenler, sırasıyla gallik ve elajik asitlere hidrolize edilebilen gallotanninleri ve elajitanninleri içerdiği belirtilmiştir.

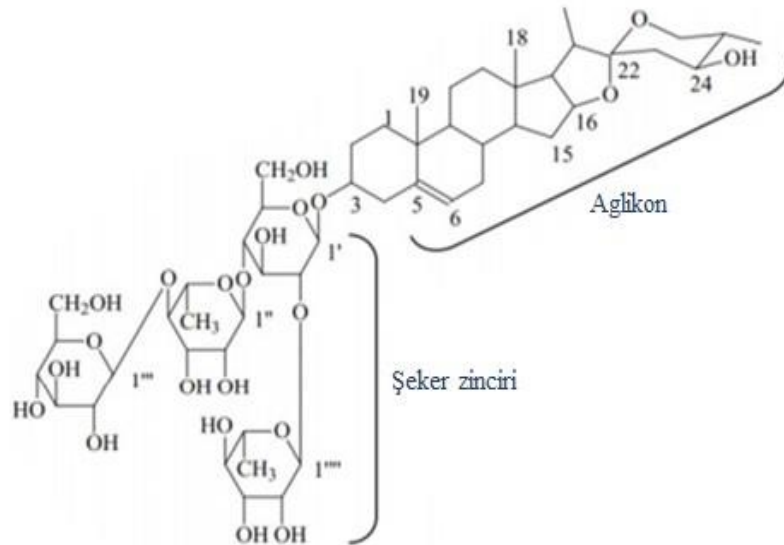
Tanenlerin, protein ve nişasta ile kompleks oluşturarak birçok sindirim enziminin inaktivasyonuna sebep olduğu bildirilmiştir. Tanenler tripsin, kimotripsin, amilaz ve lipaz enzimi aktivitelerini engelleyerek gıdaların sindirilirliğini ve besinsel değerini azalttığı rapor edilmiştir. Ayrıca, bağırsak mukozasında hasar meydana getirerek demir, glukoz ve B₁₂ vitamininin emilimini engellediği çeşitli araştırmalarda belirtilmiştir. Tanenler, karabuğdayda acımtırak tada sebep olmaktadır. Tanenler, karabuğday kepeğinde daha yüksek miktarlarda bulunmaktadır. Genellikle karabuğday fidelerinin gelişimi boyunca tanen konsantrasyonunun yavaş yavaş artış gösterdiği belirtilmiştir (Nikmaram vd., 2017; Mattila vd., 2018; Thakur vd., 2019; Joshi vd., 2020; Jin vd., 2022; Fotschki vd., 2020). Kondense tanen ve protein zinciri arasında hidrojen bağının meydana getirilmesi **Şekil 2.5.**'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Kondense tanen ve protein zinciri arasında hidrojen bağının meydana getirilmesi (Naumann vd., 2017).

Saponinler, sulu çözeltilerde köpürmeye neden olan, yoğun acı tada sahip yüzey aktif bileşiklerdir. Moleküllerindeki polar ve polar olmayan yapılar, saponinlere yüzey aktif madde özelliği katmaktadır. Saponinler, bitkilerin, zararlı mikroorganizmalara, kuşlara ve böceklere karşı kendisini korumak için sentezlediği bitki glikozitleridir. Saponinlerin, bir veya daha fazla monosakkarit veya oligosakkarite bağlı aglikon biriminden meydana geldiği belirtilmiştir. Aglikon biriminin *D*-galaktoz, *L*-arabinoz, *L*-ramnoz, *D*-glukoz, *D*-ksiloz, *D*-mannoz ve *D*-glukuronik asite bağlandığı bildirilmiştir. Saponinlerin şeker birimleri yüksek hidrofilik özellikler gösterirken, saponinlerin (sadece triterpen fraksiyonu tarafından oluşturulur) lipofilik özellikler gösterdiği açıklanmıştır (Sinha ve Khare, 2017; Hernández-Ledesma, 2019; Melini, F ve Melini, V, 2021). Saponinlerin genel kimyasal yapısı **Şekil 2.6.**'da gösterilmiştir.

Saponinler, proteinler ve lipidler ile kompleks bileşikler oluştururlar ve hemolitik etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Saponinlerin emilimi düşüktür ve başlıca etkileri bağırsak yolu ile sınırlıdır. Büyüme bozukluğu ve boğazı tahriş edici özellikleri sebebiyle de anti-besinsel bileşikler olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, saponinlerin besinlerin biyoyararlanımını azalttığı, tripsin ve kimotripsin gibi çeşitli sindirim enzimlerini inhibe ederek protein sindirilirliğini azalttığı bildirilmiştir. Saponinlerin, karabuğday tanesinin kavuzunda daha yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu aktarılmıştır (Mattila vd., 2018; Suárez-Estrella vd., 2018; Priego-Poyato vd., 2021).



Şekil 2.6. Saponinlerin genel kimyasal yapısı (Nguyen vd., 2020).

Proteaz inhibitörleri, ince bağırsaktaki tripsin ve kimotripsin enzimlerinin aktivitesini baskılayarak, protein sindirilirliğini azaltır ve amino asit Emilimini ve proteinlerin biyoyararlanımını düşürürler. Proteaz inhibitörleri, kanserojen maddeler olarak da tanımlanmıştır. Karabuğdayın fonksiyonel gıda formülasyonlarında kullanılması, proteaz inhibitörlerinin sebep olduğu proteinlerinin düşük sindirilirliğinden dolayı sınırlı kalmıştır. Çimlendirme sürecinde, proteaz aktivitesi artar ve tripsin ve kimotripsin inhibitörü aktivitesinin bu süreçte azaldığı bildirilmiştir. Proteaz inhibitörleri, özel protein yapıları sebebiyle, üretilen gıdalarda hala bir miktar aktivite göstermesine rağmen, yüksek sıcaklıklarda ısı ile işlemle denatüre edilebileceği gösterilmiştir (Wysocka ve Lesner, 2013; Zhou vd., 2015; Mikulajová vd., 2016; Nikmaram vd., 2017; Reguera ve Haros, 2017; Avilés-Gaxiola vd., 2018; Mattila vd., 2018; Satheesh ve Fanta 2018; Jin vd., 2022; Fotschki vd., 2020).

α -amilaz (1,4- α -D-glukan-glukanohidrolaz), nişasta granülündeki lineer amiloz zincirindeki bitişik glukoz birimleri arasındaki 1,4- α -D-glukozidik bağlarını rastgele parçalayan bir enzimdir. Tahıl α -amilazları, gelişen ve çimlenen tahıllardaki nişasta metabolizmasında çok önemli rol oynarlar. Gibberellik asit (GA3) gibi bitki büyüme hormonlarının etkisi altında sentezlenmekte ve çoklu formlarda bulundukları bildirilmiştir. Ekmek üretiminde özel öneme sahip amilolitik enzimler, nişastanın oligosakkaritlere ve sonuç olarak maltoza hidrolizini katalize eden α - ve β -amilaz enzimlerini içerirler. α -amilaz inhibitörü, nişasta polisakkaritinin α -amilaz tarafından parçalanmasını engelleyerek nişastanın sindirimini ve glukozun Emilimini sınırladıkları gösterilmiştir. α -amilaz inhibitörünün bu etkisi, diyabet hastaları için önemli olup yemek sonrası kan şekeri seviyesinin yükselmesinin önüne geçilmiş olur. Bundan dolayı diyabet hastalarının beslenmesine pozitif etki ettiği bildirilmiştir. Ancak, α -amilaz inhibitörü miktarının stabil kalması hassas kişilerde alerjik reaksiyonlara sebep verdiği söylenmiştir (Muralikrishna ve Nirmala, 2005; Hemalatha vd., 2016; Keharom vd., 2016; Piechowiak vd., 2018; Gong vd., 2020; Henrion vd., 2021).

2.5 Karabuğdayın Anti-Besinsel Bileşiklerini Azaltma/Uzaklaştırma Yöntemleri

Karabuğdayda bulunan anti-besinsel bileşikler fitik asit, tanenler, saponinler ve proteaz inhibitörleridir (tripsin ve kimotripsin inhibitörü). Bundan dolayı bu bileşiklerin sebep olduğu zararlı metabolik olayları azaltmak/ortadan kaldırmak için pseudo-tahılların tüketiminden önce uygun bir teknikle işlenmesi gerektiği bildirilmiştir. Pseudo-tahılların anti-besinsel bileşiklerini azaltma yöntemleri ıslak (yıkama, kaynatma) yöntemler, kuru yöntemler (ısıl işlem, ekstrüzyon, kavurma veya mekanik aşındırma) ve genetik yöntemler (genetiği değiştirilmiş ve melez tohumlar, örneğin saponinsiz kinoa) olarak sınıflandırılmıştır. Uygulanacak yöntem seçilirken anti-besinsel bileşiklerin kimyasal yapısı, tohum içerisindeki dağılımı, biyolojik etkileri, ısıya duyarlılıkları ve suda çözünürlükleri ile işlemin maliyetinin belirlenmesi tavsiye edilmiştir (Mir vd., 2018; Mattila vd., 2018; Satheesh ve Fanta 2018; Yousif vd., 2020).

2.5.1 Yöntemler

Anti-besinsel bileşiklerin azaltılması veya uzaklaştırılması için kavuz ayırma, yıkama, ıslatma, kaynatma, çimlendirme ve fermantasyon yöntemleri literatürde incelenmiştir. Çimlendirme ve fermantasyon uygulamasının, anti-besinsel bileşik miktarını azaltmada en etkili yöntemler olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, çimlendirme ve fermantasyondan önce kavuz ayırma, yıkama ve ıslatma gibi ön işlemlerin etkiyi artırdığı söylenmiştir. Kavuz ayırma, gıda güvenliğini sağlamak ve lezzeti artırmak için hasat sonrası yapılan ilk işlemlerdendir. Tanenler ve saponinler kavuzda yüksek konsantrasyonlarda bulunur ve miktarlarının azaltılması bakımından etkili bir yöntemdir. Ancak, fitik asit ve proteaz inhibitörlerini azaltmaya yönelik etkisinin düşük olduğu belirtilmiştir. Endüstride, saponinleri uzaklaştırmak için mekanik aşındırma yönteminin de kullanıldığı anlatılmıştır. Ancak, bu yöntemin dezavantajı, kepeklerle birlikte protein, vitamin ve mineral madde miktarlarında kayıpların meydana geldiği ifade edilmiştir (Filho vd., 2017; Coelho vd., 2018; Aderibigbe vd., 2020; Kumar vd., 2021a).

Belirli bir süre oda sıcaklığında ıslatma ile anti-besinsel bileşik miktarında azalma meydana geldiği bildirilmiştir. Anti-besinsel bileşik miktarındaki azalmanın, ıslatma suyuna (su, tuzlu su veya bikarbonatlı su) ve süreye bağlı

olduğu bildirilmiştir. Fitik asit suda çözünebilir olduğu için suda bekletme ile fitik asit miktarının azaltılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca suya sodyum bikarbonat eklenmesinin tripsin inhibitörü, tanen ve saponin miktarını düşürdüğü kaydedilmiştir. Saponinleri uzaklaştırmak için kullanılan su ile yıkama yönteminin, hem laboratuvar hem de endüstride en çok kullanılan etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, su ile yıkama yönteminin çevre kirliliği yaratması, su israfı, tanenin çimlenme problemi ve kurutma maliyeti sebebiyle ekonomik ve ekolojik açıdan dezavantajlarının olduğu bildirilmiştir (Abbas ve Ahmad, 2018; Manyelo vd. 2020; Kumar vd., 2021a; Melini, F ve Melini, V, 2021).

Isıl işlem, pseudo-tahıllar çiğ olarak tüketilemediği için uygulanan başlıca yöntemlerdendir. Özellikle, tohum bileşimi, tohum yapısı ve tohum boyutunun kaynatma ile etkilendiği bildirilmiştir. Kaynatmanın proteaz inhibitörleri, hemagglutinin aktivitesi, fitik asit, tanenler ve saponinleri azaltma ve *in vitro* protein sindirilirliğinde artış sağladığı bildirilmiştir. Moleküler ağırlığı düşük bileşiklerin kaynatma sırasında suya geçtiği gözlenmiştir. Aşırı kaynatma tanelerin fenolik madde miktarını düşürdüğü kaydedilmiştir. Ekstrüzyon, anti-besinsel bileşiklerin azalmasında etkili bir diğer tekniktir. Ekstrüzyon ile tanen, tripsin inhibitörleri ve fitik asit miktarında azalma sağlanabildiği belirtilmiştir. Diğer ısıtma işlemlere kıyasla daha düşük maliyetli ve enerjinin kullanımı bakımından daha verimli bir teknoloji olduğu ifade edilmiştir (Abbas ve Ahmad, 2018; Jin vd., 2020; Kumar vd., 2021a; Agregán vd., 2023).

Çimlendirme, tohumun ıslatılarak, belli bir sıcaklık ve bağıl nem koşulunda ve aydınlık veya karanlık ortamda filizlenmesidir. Çimlendirme kalitesinin, tohum türü, endojen enzimlerin sentezlenmesi için uygun sıcaklık, bağıl nem, süre ve ışık koşullarına bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir. Çimlendirme ile filizlenmiş tohumlarda protein, besinsel lif, mineral madde ve biyoaktif bileşiklerde artış sağlandığı açıklanmıştır. Çimlendirme ile fitaz aktivitesinin arttığı ve anti-besinsel bileşiklerden fitik asitin miktarında azalma meydana geldiği ifade edilmiştir. Aynı şekilde çimlendirme tanen miktarını da azaltmıştır. Çimlendirme ile protein ve nişasta sindirilirliğinin arttığı kaydedilmiştir. Çünkü çimlendirme sırasında amilolitik enzimlerin nişasta üzerindeki etkisi sindirilirliği artırmaktadır. Hücre duvarının parçalanması ile besinsel lif çözünürlüğünde değişme, biyoaktif bileşikler ve antioksidan aktivitede

artış gözlemlendiği belirtilmiştir. Çimlendirme yönteminin avantajının, komplike ekipman gerektirmemesi, dezavantajının ise filizlenmenin zaman alan bir süreç olduğu söylenmiştir (Omary vd., 2012; Gong vd., 2020; Paucar-Menacho vd., 2022; Agregán vd., 2023).

Fermantasyon, spesifik mikroorganizmaların metabolik aktivitesi ile gerçekleşen ve substratların oksidatif dönüştürülmesini sağlayan geleneksel bir tekniktir. Fermantasyon ile besinsel bileşimin değiştiği, besin biyoyararlanımının arttığı ve anti-besinsel bileşik miktarının azaldığı rapor edilmiştir. Fermantasyon işlemi ile pseudo-tahılların fitik asit, tanen ve enzim inhibitörleri gibi anti-besinsel bileşik miktarlarının azaltıldığı bildirilmiştir. Pseudo-tahıl unlarına laktik asit bakterilerinin ilave edilmesi ile gerçekleşen fermantasyon işlemi ile özellikle fitik asit miktarında azalma, fenolik bileşik miktarı ve B grubu vitaminlerinde artış sağlandığı belirtilmiştir. Ayrıca fermantasyonun, protein ve nişastanın sindirilirliğini ve antioksidan aktiviteyi de artırdığı anlatılmıştır. Çalışmalarda, çimlendirme ve ekşi maya fermantasyonunun bir arada uygulanması, fitik asit, tanenler ve tripsin inhibitör aktivitesinde azalma sağlandığı belirtilmiştir (Đorđević vd., 2010; Rollán vd., 2019; Gobetti vd., 2020; Caeiro vd., 2022; Agregán vd., 2023).

2.5.2 Malta İşleme

Malta işleme, sindirilirliği ve biyoyararlanımı artıran ve anti-besinsel bileşik miktarında azalmayı sağlayan bir tekniktir. Ayrıca, ürünün lezzet, doku ve aromasını geliştirdiği ifade edilmiştir. Malta işleme tekniğinin, tanede bazı fizyolojik değişikliklere yol açan ıslatma, çimlendirme ve kurutma aşamalarından meydana geldiği bildirilmiştir. Buna göre, ıslatma, tanenin belirli bir sıcaklık, bağıl nem ve sürede yeterli miktarda su alarak, istenilen nem miktarına ulaşılmasıdır. Çimlendirme, belirli bir sıcaklık, bağıl nem ve sürede embriyonun gelişerek büyümesi, tohumda enzim sentezinin başlatılarak endospermdeki nişasta ve proteinin hidrolizi ile açığa çıkan besinlerin tohumun filizlenmesi için kullanılmasıdır. Kurutma, belli bir büyüklüğe ulaşmış filizlerin çimlendirme kabiliyetinin belli bir sıcaklıkta sonlandırılarak ürün stabilitesinin sağlanmasıdır.

Malt işlemi, kontrollü koşullar altında tohumların sınırlı düzeyde çimlendirilmesini içerir. Çimlendirme temel olarak, enzimlerin sentezlenmesi ve depolanmış besinlerin hidrolizi yoluyla önemli besinlerin öğelerinin (amino asit,

glukoz) sağlandığı katabolik bir süreçtir. Amilolitik enzimler, endo- β -glukanazlar, ksilanazlar ve diğer hücre duvarı parçalayıcı enzimler, lipazlar, proteazlar ve fitaz enzimi hidrolitik parçalanmaya yardımcı olurlar. Proteinler, bir dizi proteolitik enzim tarafından amino asitlere ve peptitlere, nişasta maltoza ve glukozu hidroliz olarak tohumun filizlenmesinde kullanılırlar. Çimlendirmede ayrıca α -amilaz inhibitörlerinde de bir azalma sağlandığı bildirilmiştir. Ayrıca, çimlendirme sırasında bazı polifenollerin ve tanenlerin de miktarının azaldığı ifade edilmiştir (Giménez-Bastida vd., 2015b; Mäkinen ve Arendt, 2015; Motta vd., 2019; Agregán vd., 2023).

Malta işlemede süre ve sıcaklığın optimizasyonu, son ürünün kalitesini artırmak bakımından çok önemlidir. Bir çalışmada, karabuğdayın ıslatma süresinin 7-13 saat aralığında olması önerilmiştir. Bu aralığın, istenen malt kalitesi ile malt kaybı arasındaki dengenin bulunduğu aralık olduğu belirtilmiştir. α - ve β -amilaz, karabuğdayda, sırasıyla küçük dekstrinler ve fermente edilebilir şekerler ve maltoz şekeri açığa çıkaran iki önemli amilolitik enzim olduğu bildirilmiştir. Karabuğday maltında α - ve β -amilaz aktivitelerinin arpa maltına kıyasla daha düşük olduğu açıklanmıştır. Malt işlemi uygulanmış karabuğdayın α -amilaz aktivitesindeki artış, maltın mayşeye işlenmesi ile viskozitesinde azalmaya sebep olarak fermente olabilir şekerlerin meydana gelmesi sağlanmıştır. Karabuğday maltının, endüstride, glutensiz bira üretiminde önemli bir hammadde olması ile gelecekte önemli bir pazar bulacağı aktarılmıştır (Terpinc vd., 2016; Motta vd., 2019; Henrion vd., 2021).

2.5.3 Ultra-Viyole (UV) Işık Uygulaması

Ultra-viyole (UV) ışık uygulaması, gıda işleme yöntemlerine alternatif, ısısal olmayan bir tekniktir. Diğer ısısal olmayan teknikler; darbeli elektrik alan, minimal termal işlemler ve yüksek basınç uygulanan işlemlerdir. Bu alternatif yöntemlerin, gıdalara termal işlemler uygulanması ile meydana gelen besinsel ve duyuşal özelliklerdeki azalmayı en aza indirerek, ürün kalitesinde iyileşmeyi sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca, UV ışığının, mikrobiyal dezenfeksiyonun sağlanması fiziksel bir yöntem olarak kullanıldığı aktarılmıştır. Atık meydana getirmeyen bir yöntemdir. Ultra-viyole ışık, mikroorganizma DNA'sına zarar vererek mikrobiyal inaktivasyonda etkili bir uygulamadır. Patojenler UV ışığı absorbe ederler ve timin dimerleri oluştururlar, bunun sonucunda transkripsiyon

ve replikasyon bloke olarak hücre ölümü gerçekleşir. Ultra-viyole ışın uygulamasının ilaç, elektronik ve su ürünleri endüstrisinde dezenfeksiyon amacı ile uzun yıllardan beri kullanıldığı belirtilmiştir (Guerrero-Beltrán ve Barbosa-Cánovas, 2004; Calle vd., 2021).

Alçak basınçlı, cıva buharlı antiseptik lambalar (LPM) kullanılarak monokromatik UV ışığı elde edilmektedir. Ultra-viyole ışığın dalga boyu aralıklarına göre dört sınıfa ayrıldığı bildirilmiştir, **Tablo 2.2.**'de UV ışığın dalga boylarına göre sınıflandırılması ve karakteristik özellikleri gösterilmiştir. Gıda dezenfeksiyonu için yüksek şiddette UV ışığının kullanılması, besin değeri kaybı ve istenmeyen görünüm ile ilişkilendirilmiştir. Gıda Kodeksi (Codex Alimentarius, 2003)'ne göre, gıdanın UV ışığı ile muamelesi iyi yönetim uygulamalarına uygun olmalıdır, ancak işlemin uygulanacağı gıdalar ve dozları belirtilmemiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration, FDA) ve Birleşik Devletler Tarım Dairesi (United States Department of Agriculture, USDA), UV ışığı uygulamasının güvenli olduğu sonucuna varmıştır. FDA, 2000 yılında taze meyve suyu ürünlerinde UV ışığı uygulamasını, termal pastörizasyonuna alternatif bir işlem olarak onaylamıştır. Gıda muhafazasında UV ışığın kullanılmasına olan ilgi giderek artmaktadır (Koutchma, 2008; Calle vd., 2021; Dittgen vd., 2021).

Tablo 2.2. Ultra-viyole ışığın dalga boylarına göre sınıflandırılması.*

UV Işık Tipi	Dalga boyu	Aralık	Karakteristiği
UV-A	Uzun	320-400 nm	İnsan derisinde değişimler (bronzlaşma)
UV-B	Orta	280-320 nm	Cilt yanması (kanseri)
UV-C	Kısa	200-280 nm	Antiseptik aralığı (mikroorganizmalar)
UV-V		100-200 nm	Vakum UV aralığı

*Guerrero-Beltrán ve Barbosa-Cánovas, 2004.

En yüksek antiseptik etki 250-270 nm arasında görülmüştür, ancak dalga boyu arttıkça bu etkinin azaldığı bildirilmiştir. Örneğin 300 nm'nin üzerinde

antiseptik etkinin görülmediği aktarılmıştır. Bu sebeple, yüzeylerin, suyun ve bazı gıda ürünlerinin dezenfeksiyonunda 254 nm dalga boyu (UV-C tipi) kullanıldığı söylenmiştir. Havada asılı kalan bakterilerin, UV ışığının farklı fiziksel ortamlardan nüfuz etme kapasitesine göre, sıvılarda bulunan bakterilere göre UV-C ışığına daha hassas oldukları saptanmıştır. Ayrıca, UV-C uygulaması ile son üründe duyu özellikleri (tat, koku ve renk) değiştirebilecek istenmeyen yan ürünlerin açığa çıkmadığı açıklanmıştır. Bununla birlikte sterilizasyon veya dezenfeksiyon için ultraviyole ışığın kullanılması ile kimyasal kalıntının meydana gelmediği bildirilmiştir. Diğer sterilizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında düşük maliyetli, basit ve etkili, kuru-soğuk bir teknik olduğu anlatılmıştır. Bir diğer avantajının, UV-C ışığı uygulamasının, iyonlaştırıcı ışıma (gama ışıması) yani radyoaktif ışıma meydana getirmede olduğu açıklanmıştır. Ancak UV-C ışığı, örneğe çok derin nüfuz edemez ve bu sebeple yüzey sterilizasyonunda daha sık kullanılmaktadır. Antiseptik etkinin, yalnızca hedefe doğrudan UV-C ışığı uygulandığında elde edildiği bildirilmiştir. UV-C ışığı ile mikrobiyal azalma oranının, düşük yoğunlukta uzun sürede veya yüksek yoğunlukta kısa sürede görüldüğü söylenmiştir (Allende vd., 2006; Dittgen vd., 2021).

UV uygulamasının sınırlı penetrasyonu nedeniyle, unun işlenmesi üzerine birkaç çalışma bulunmaktadır. Buğday unu, buğday gluteni, izole gliadin özellikleri üzerine UV-C işleminin uygulanması sonucu proteinin yapısal konformasyonlarının değiştiği belirtilmiştir. Gluten içeriği S-S içeriği ile pozitif korelasyon göstermiştir, ancak SH gruplarının sayısı ile negatif korelasyon göstermiştir, bu da UV işleminden sonra gluten ağının daha yapılandırılmış olduğunu ve daha fazla uyum sunduğu ortaya koyulmuştur. Yüksek enerji seviyesi (36 W) uygulamanın hamurun viskozitesini arttırdığını, düşük enerji seviyesinin (12 W) ise azalttığını bulmuşlardır. UV-C işlemi, gluten çözünürlüğünü azaltmıştır. UV-C işlemine maruz kalma süresi ve enerji seviyesi, nişastanın yapısını da etkiler, çünkü UV-C, daha yüksek dereceli yapılar oluşturmak üzere amiloz alt birimlerinin çapraz bağlanmasını teşvik etmektedir. Bunun aksine, koşullara bağlı olarak nişastanın glukozidik bölünmesi ve depolimerizasyonu da gerçekleşebileceği ve bu da amiloz içeriğinde artışa neden olacağı belirtilmiştir (Kumar vd., 2021b; Barros vd., 2023).

UV-C ışığı uygulamasının, antosiyaninler ve stilbenoidler gibi sağlığı teşvik eden bileşiklerin sentezini desteklediği belirtilmiştir. Ancak önceki

Çalışmalarda, uzun süre UV uygulamasının ürün dokusu ve duyusal özellikleri olumsuz yönde etkilediğı rapor edilmiştir. Bu sebeple, ürün kalitesini korumak için iki veya daha fazla işlemin kombine kullanımı önerilmiştir. Ayrıca, soğutma, dezenfeksiyon ve modifiye atmosferde paketlenme gibi diğerk tekniklerle kombine edilebileceğı belirtilmiştir (Guerrero-Beltrán ve Barbosa-Cánovas, 2004; Dittgen vd., 2021).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu araştırmada, Türkiye’de farklı lokasyonlarda 2021 yılında yetiştirilen karabuğdaylar kullanılmıştır, karabuğdayların temin edildiği lokasyonlar, lokasyon koordinatları ve çeşit isimleri **Tablo 3.1.**’de gösterilmiştir. Karabuğdayların ekim, yetiştirme koşulları ve verim sonuçları ise **Tablo 3.2.**’de gösterilmiştir. Karabuğday örnekleri farklı lokasyonlardan temin edildikten sonra yabancı maddelerinden temizlenmiş ve oda sıcaklığında (23°C) kraft kağıt torbalarda depolanmıştır. Daha sonra karabuğdaylar, iki farklı değirmende öğütüldükten sonra öğütme ürünleri incelenmiştir.

Tablo 3.1. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örnekleri ve tane nem miktarları.

Lokasyon	Çeşit	Koordinat	Tane Nemi (%)
Konya	<i>Aktaş cv.</i>	37,8746° N, 32,4932° E	11,7 ± 0,03
Konya	<i>Güneş cv.</i>	37,8746° N, 32,4932° E	11,1 ± 0,07
Afyonkarahisar (Dinar)	<i>Güneş cv.</i>	38,7568° N, 30,5387° E	14,7 ± 0,01
Aksaray (Eskil)	<i>Güneş cv.</i>	38,3686° N, 34,0297° E	14,7 ± 0,08
Bilecik (Gölpazarı)	<i>Güneş cv.</i>	40,1426° N, 29,9793° E	13,8 ± 0,06
Çorum (Laçın)	<i>Güneş cv.</i>	40,5499° N, 34,9537° E	11,5 ± 0,10
Kastamonu	<i>Güneş cv.</i>	41,3766° N, 33,7764° E	15,3 ± 0,06
Niğde (Bor)	<i>Güneş cv.</i>	37,9697° N, 34,6766° E	9,3 ± 0,08
Şanlıurfa	<i>Güneş cv.</i>	37,1583° N, 38,7916° E	15,0 ± 0,03

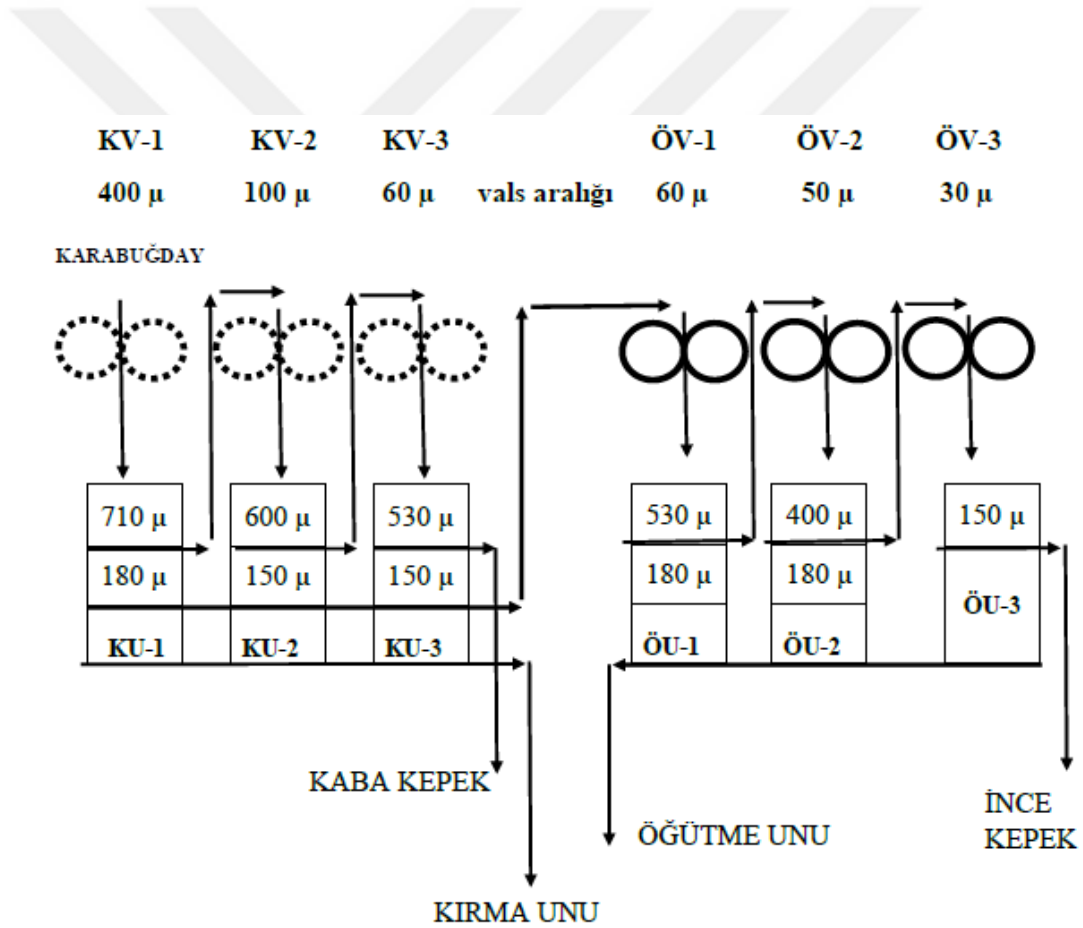
Karabuğdaylar öncelikle %15-16 nem oranına tavlandıktan sonra pilot ölçekli valsli değirmende (MLU 202, Bühler, Uzwil, İsviçre) öğütülmüş ve dört farklı fraksiyona ayrılmıştır, bunlar: öğütme unu, kırma unu, ince kepek ve kalın kepektir. Valsli değirmenin kırma ve öğütme valslerinin aralıkları (μ) ve kırma ve öğütme unlarının elde edilmesinde kullanılan ipek elek çapları (μ) **Şekil 3.1.**’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Karabuğdayların ekim, yetiştirme koşulları ve verim değerleri.

Lokasyon*	Çeşit	Verim (kg/da)	Toprak Yapısı	Organik Madde (%)	Kireç- CaCO ₃ (%)	Tuz (%)	P ₂ O ₅ (kg/da)	K ₂ O (kg/da)	pH
Konya	<i>Aktaş cv.</i>	105	Killi	2,28	29,26	0,27	16,85	92,31	7.82
Konya	<i>Güneş cv.</i>	115	Killi	2,28	29,26	0,27	16,85	92,31	7.82
Afyonkarahisar (Dinar)	<i>Güneş cv.</i>	105	Killi - Kumlu	1,57	11,56	0,21	34,50	107,50	7.90
Aksaray (Eskil)	<i>Güneş cv.</i>	95	Killi - Kumlu	1,20	42,60	0,55	17,48	101,80	8.01
Bilecik (Gölpazarı)	<i>Güneş cv.</i>	120	Killi	1,03	9,51	0,02	0,21	116,52	7.30
Çorum (Laçın)	<i>Güneş cv.</i>	110	Killi	2,18	14,56	0,08	0,25	95,13	8.09
Kastamonu	<i>Güneş cv.</i>	175	Killi - Tınlı	2,05	2,99	0,25	12,15	29,10	7.65
Niğde (Bor)	<i>Güneş cv.</i>	110	Killi - Kumlu	1,87	31,47	0,61	9,30	87,41	8.34
Şanlıurfa	<i>Güneş cv.</i>	125	Siltli - Killi	1,99	3,64	0,07	7,86	55,66	7.54

*Tüm lokasyonlarda 8 kg/da ekim normu, 0-30 cm toprak derinliği, 15 kg/da %18-46'lık diamonyum fosfat gübresi uygulanmıştır.

Ayrıca, karabuğday örneklerinin bir kısmı yüksek hızlı (ultra) santrifugal laboratuvar değirmeninde (ZM 200, Retsch, Almanya) öğütülmüştür. Yüksek hızlı santrifugal laboratuvar değirmeninde homojen partikül büyüklüğünü sağlamak için 500 μ 'luk metal trapezoid elek kullanılmıştır. Öğütme sonunda elde edilen materyal “tam karabuğday unu” olarak tanımlanmıştır. Araştırmada, Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* çeşidi karşılaştırma (kontrol) amaçlı kullanılmıştır. Öğütülen karabuğday örnekleri (kıрма unu, öğütme unu ve tam karabuğday unları) polietilen plastik torbalarda, +4°C’de muhafaza edilmiştir. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidine ait tam karabuğday tanesi, tam karabuğday unu, kıрма unu, öğütme unu, ince kepek ve kalın kepek fraksiyonları **Fotoğraf 3.1.**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Valsli değirmende (MLU 202, Bühler, İsviçre) öğütme diyagramı. KV: Kıрма Valsi, ÖV: Öğütme Valsi, KU: Kıрма Unu, ÖU: Öğütme Unu (Motte vd., 2021; Tanrikulu, 2023).



Fotoğraf 3.1. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidine ait sırasıyla (soldan sağa) tam karabuğday tanesi, tam karabuğday unu, öğütme unu, kırma unu, kalın kepek ve ince kepek fraksiyonları.

3.2 Yöntem

3.2.1 Nem Miktarı Tayini

Karabuğday örneklerinin ve ekmek örneklerinin nem miktarı, AACCI Approved Methods of Analysis Metot No. 44-15.02 (AACCI, 2010)'a göre üçer tekrarlı olarak yapılmıştır. Ortalama nem miktarı sonuçları (%) ilgili tablolarda verilmiştir.

3.2.2 Kül Miktarı Tayini

Karabuğday örneklerinin kül miktarı, AACCI Approved Methods of Analysis Metot No. 08-01.01 (AACCI, 2010)'a göre üçer tekrarlı olarak yapılmıştır. Ortalama kül miktarı sonuçları (%) kuru madde üzerinden verilmiştir.

3.2.3 Protein Miktarı Tayini

Tam karabuğday unu, kırma unu ve öğütme ununda ve ekmek örneklerinde protein miktarı (%), AACCI Approved Methods of Analysis Metot No. 46-12.01 (AACCI, 2010)'a göre üçer tekrarlı olarak yapılmıştır. Mikro-Kjeldahl metoduna göre belirlenen azot miktarı (%N), 6,25 faktörü ile çarpılarak protein miktarı (%) hesaplanmıştır. Ortalama protein miktarı sonuçları (%) kuru madde üzerinden verilmiştir.

3.2.4 Ham Yağ Miktarı Tayini

Tam karabuğday unu ve öğütme unlarında ham yağ miktarı, AACCI Approved Methods of Analysis Metot No. 30-25.01 (AACCI, 2010)'a göre üçer tekrarlı olarak yapılmıştır. Ortalama ham yağ miktarı sonuçları (%) kuru madde üzerinden verilmiştir.

3.2.5 Toplam Besinsel Lif Miktarı Tayini

Tam karabuğday unu, kırma ve öğütme ununda toplam besinsel lif miktarı Megazyme Total Dietary Fiber Assay Kit (Megazyme International Ireland Limited, İrlanda) enzimatik analiz kiti kullanılarak belirlenmiştir. Kullanılan yöntemin prensibi temelde AACCI Approved Methods of Analysis Metot No. 32-05.01 ve Metot No. 32-21.01 yöntemlerine dayanmaktadır. Buna göre 0,25'er g örnek üç adet polipropilen tüplere tartılmıştır. Cam krozelere 0,2 g celite tartılarak 135 °C'de 2 saat bekletildikten sonra darası alınıp analiz için hazırlanmıştır.

Örnekler sırasıyla α -amilaz, proteaz ve amiloglukozidaz enzimleri ile hidrolize edilerek, nişasta ve proteinlerin parçalanması son olarak dekstrinlerin glukoz birimlerine ayrılması sağlanmıştır. Sonrasında %95'lik etil alkol ile besinsel lifler çöktürülmüş ve karışım önceden darası alınmış cam krozelerden vakumda süzölmüştür. Erlendeki kalıntı besinsel lifler sırasıyla %95'lik etil alkol, %78'lik etil alkol ve aseton ile yıkandıktan sonra cam krozeler etüvde bir gece 103°C'de kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra tartılarak ham besinsel lif miktarı belirlenmiştir. Cam krozeler, kül doğrulamasının yapılması için kül fırınında 525°C'de 3 saat yakma işlemine tabi tutulmuştur. Etüvde kurutma işleminden sonra bulunan ham lif miktarından kül miktarı çıkarılarak sonuçlar kuru madde üzerinden % toplam besinsel lif miktarı olarak verilmiştir (Arslan, 2019).

3.2.6 Toplam Nişasta Miktarı Tayini

Tam karabuğday unu, kırma unu ve öğütme ununda toplam nişasta miktarı Megazyme Total Starch Assay Kit (Megazyme International Ireland Limited, İrlanda) enzimatik analiz kiti kullanılarak spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir. Kullanılan yöntemin prensibi temelde AACCI Approved Methods of Analysis Metot No. 76.13 (AACCI, 2010) yöntemine dayanmaktadır. Buna göre, 0,1'er g örnek üç adet polipropilen tüplere tartılmıştır. α -amilaz ve amiloglukosidaz enzimleri ile örneklerdeki nişastanın glukozu kadar parçalanması sağlanarak, açığa çıkan glukoz, glukoz oksidaz/peroksidaz (GOPOD) çözeltisi ile reaksiyona sokulmuştur. Tüplerin 40°C'de 20 dakika inkübasyonu sonunda, 510 nm dalga boyuna ayarlı spektrofotometrede (Shimadzu 1700, Japonya) absorbansları ölçölmüştür. Daha sonra toplam nişasta miktarı (%) kuru madde üzerinden hesaplanmış ve ortalama sonuçlar standart sapma değerleri ile verilmiştir.

3.2.7 Anti-Besinsel Bileşik Miktarı Analizleri

3.2.7.1 Fitik Asit Miktarı Tayini

Karabuğday örneklerinin fitik asit miktarı Megazyme Fitik Asit Assay Kit (Megazyme International Ireland Limited, Wicklow, Ireland) enzimatik analiz kiti kullanılarak spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir. Örneklerden 1 gram tartılmış ve 20 mL 0,66 M HCl eklenerek 3 saat oda sıcaklığında karıştırılarak

ekstraksiyon yapılmıştır. Karıştırma sonunda örneklerden 1'er mL mikrosantrifüj tüplerine alınarak 10 dakika 13,000 rpm'de santrifüj (NF 1200, NÜVE, Ankara) yapılmıştır. Santrifüj sonrasında, örneklerden 0,5 mL alınmış ve üzerine 0,5 mL 0,75 M NaOH eklenmiştir. Serbest fosfor miktarı için mikrosantrifüj tüplerine 0,62 mL distile su, 0,20 mL çözelti-1 ve 0,05 mL örnek ilave edilmiştir. Toplam fosfor miktarı için ise 0,60 mL distile su, 0,20 mL çözelti-1, 0,05 mL örnek ve 0,02 mL fitaz enzimi eklenmiş ve karıştırılmıştır. Örnekler 40°C'de 10 dakika boyunca su banyosunda bekletilmiştir. Sonrasında serbest fosfor miktarı için örneklerle 0,02 mL distile su ve çözelti-3; toplam fosfor miktarı için örneklerle 0,20 mL çözelti-3 ve 0,02 mL süspansiyon-4'ten eklenip karıştırılmış ve 40°C'de 15 dakika boyunca su banyosunda bekletilmiştir. İşlem sonrasında bütün örneklerle 0,30 mL %50'lik trikloroasetik asit eklenerek 13,000 rpm'de 10 dakika santrifüj yapılmıştır. Ardından örneklerden 1'er mL alınıp üzerlerine 0,5 mL renk ajanı eklenmiş ve 40°C'de 1 saat boyunca su banyosunda bekletilmiştir. Süre sonunda örneklerin absorbansı 655 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede belirlenmiştir. Fitik asit miktarı (g/100 g), analiz kitinde belirtilen hesaplama yöntemine göre fosfor ile hazırlanan standart doğru ($y=0,193x+0,061$; $R^2=1,00$) kullanılarak hesaplanmıştır (**Ek A.1.**). Analizler üçer tekrarlı olarak yapılmış, ortalama değer kuru madde üzerinden hesaplanarak standart sapma değerleriyle birlikte verilmiştir.

3.2.7.2 Toplam Saponin Miktarı Tayini

Tam karabuğday unu, kırma unu ve öğütme unlarında saponin miktarının belirlenmesi Moyo vd. (2013), Venegas-Calderón vd. (2017) ve Akbari vd. (2019)'nin yöntemleri modifiye edilerek belirlenmiştir. 1 g örnek 20 mL %80'lik metanol ile 24 saat boyunca manyetik karıştırıcıda ekstrakte edilmiştir. Sonrasında örneklerden 1'er mL alınarak 13 000 rpm'de santrifüj edilmiştir. 0,25 mL örnek, 0,75 mL %80'lik metanol, 0,25 mL %8'lik vanillin ve 2,5 mL %72'lik sülfürik asit ile karıştırılarak 60°C'de 10 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Örnekler soğutulduktan sonra absorbansları 544 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede okunmuştur. Örneklerin toplam saponin miktarı, diosgenin standart maddesi kullanılarak hazırlanan standart doğru denklemine ($y=1,638x+0,0125$; $R^2=0,9971$) göre hesaplanmış (**Ek A.2.**) ve sonuçlar kuru

madde üzerinden mg diosgenin eşd./g olarak verilmiştir. Analizler üç tekrarlı olarak yapılmış, ortalama değerler standart sapmalarıyla birlikte gösterilmiştir.

3.2.7.3 Kondense Tanen Miktarı Tayini

Tam karabuğday unu, kırma unu ve öğütme unlarında tanen miktarının belirlenmesi Dykes vd. (2019) yöntemine göre yapılmıştır. Karabuğday örneklerinden 0,3 g tartılmış, 8 mL %1'lik HCl eklenerek 20 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında 4500 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatantlardan 1'er mL alınmış, 5 mL vanillin reaktifi eklenmiştir. Örnekler 20 dakika oda sıcaklığında inkübe edildikten sonra 500 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede absorbansları okunmuştur. Kondanse tanen miktarının hesaplanmasında kateşin ile hazırlanan standart doğru denklemi ($y=0,5014x+0,0123$; $R^2=0,996$) kullanılmıştır (**Ek A.3.**). Sonuçlar kuru madde üzerinden mg kateşin eşd./g olarak ifade edilmiştir. Analizler üçer tekrarlı olarak yapılmış ve ortalama değerler standart sapmalarıyla birlikte verilmiştir.

3.2.7.4 Tripsin İnhibitörü Aktivitesi Tayini

Karabuğday unlarında tripsin inhibitörü aktivitesi Smith vd. (1980), Liu (2019) ve ISO 14902:2001 (E) yöntemleri modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Analizde, N α -Benzoyl-DL-arginine-4-nitroanilide hidroklorit (L-BAPA, Sigma B4875) substratı kullanılmıştır. Buna göre, 1 g örnek 50 mL 0,01 N NaOH ile karıştırılarak, karışımın pH'sı 9,5'e ayarlanmış ve 3 saat ekstraksiyon yapılmıştır. Ekstraksiyon sonrası örnekler 3500 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası örnekler **Tablo 3.3.**'deki gibi hazırlanmış ve 37 °C'de 10 dakika inkübasyona bırakılmıştır.

Tablo 3.3. Tripsin aktivitesi tayini için hazırlanan örnekler.

	Şahit standart (mL)	Standart (mL)	Şahit örnek (mL)	Örnek (mL)
L-BAPA reaktifi	5	5	5	5
Örnek ekstraktı	0	0	1	1
Distile su	3	3	2	2
Asetik asit	1	0	1	0

Daha sonra herbir karışıma 1 mL tripsin (Sigma T8003) çalışma çözeltisi eklenmiş ve tekrar 37 °C’de 10 dakika inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında örnek ve standart tüplerine 1 mL asetik asit eklenmiştir. Örnekler 3500 rpm’de 10 dakika santrifüj edildikten sonra 410 nm dalga boyuna ayarlı spektrofotometrede absorbansları okunmuştur. İnhibisyon oranı (%) ve tripsin inhibitör aktivitesi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır:

$$i (\%) = \frac{(A_r - A_{br}) - (A_s - A_{bs})}{(A_r - A_{br})} \times 100$$

A_r : Standartın absorbansı

A_{br} : Şahit standartın absorbansı

A_s : Örnek absorbansı

A_{bs} : Şahit örnek absorbansı

$$TIA = \frac{i}{100} \times \frac{m_1 \times f_1 \times f_2}{m_0}$$

TIA: Tripsin inhibitör aktivitesi, mg/g

i : İnhibisyon oranı, %

m_0 : Örnek miktarı, g

m_1 : Tripsin miktarı, mg

f_1 : Ekstrakt dilüsyon faktörü, mL

f_2 : Dönüşüm faktörü, $2,8 \times 10^{-4}$

3.2.7.5 Kimotripsin İnhibitörü Aktivitesi Tayini

Tam karabuğday unu, kırma unu ve öğütme unlarının kimotripsin inhibitörü aktivitesi tayini Ee vd. (2008) ve Kostekli ve Karakaya (2017)’nin yöntemleri modifiye edilerek belirlenmiştir. Buna göre, 2,5 g örnek 25 mL 0,1 M NaOH ile 3 saat ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon sonrası 3500 rpm’de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 10 µL alınarak, 1,4 mL çalışma tampon çözeltisi ve 0,1 mL kimotripsin (Sigma C4129) çözeltisi ile karıştırılmıştır. Şahit çözelti, enzim çözeltisi yerine 0,1 mL 1 mM HCl içermiştir. Örnekler 25°C’de 6 dakika bekletildikten sonra 1,5 mL *N*-benzoil-L-tirozin etil ester (BTEE, Sigma B6125) substrat çözeltisi eklenmiştir. Spektrofotometrede, 256 nm dalga boyunda 3 dakika boyunca absorbans değişimi gözlenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki formüle

göre hesaplanmış ve KIÜ/g ekstrakt olarak ifade edilmiştir. Analizler üçer tekrarlı yapılmış ve ortalama değerler standart sapmalarıyla birlikte verilmiştir.

$$KIÜ/g \text{ ekstrakt} = \frac{((C\Delta A_{256/dk} - I\Delta A_{256/dk}) \times 3 \times 1000)}{964 \times \text{ekstrakt (g)}}$$

Burada,

$C\Delta A_{256/dk}$: İnhibitör içermeyen $A_{256/dk}$ 'daki değişim,

$I\Delta A_{256/dk}$: İnhibitör içeren $A_{256/dk}$ 'daki değişim,

964: A_{256} 'daki molar sönüm katsayısı.

3.2.8 Proteaz Aktivitesi Tayini

Tam karabuğday unu, kırma unu ve öğütme unlarının proteaz aktivitesi tayini Piechowiak vd. (2018) ve Dhillon vd. (2016)'nın yöntemleri modifiye edilerek belirlenmiştir. Buna göre, 2,5 g örnek, 25 mL 0,1 M sodyum asetat tamponuyla karıştırıldıktan sonra 1 saat ekstraksiyon yapılmıştır. Ekstraksiyon sonunda 8000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 0,5'er mL alınarak üzerine 1 mL %1'lik kazein çözeltisi eklenmiş ve 37°C'de 15 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra 1 mL %7,5'luk trikloroasetik asit (TCA) eklenmiş ve tekrar 8000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. 0,5 mL süpernatant, 1 mL 0,5 M NaOH ve 0,3 mL folin-ciocalteu çözeltisi ile karıştırıldıktan sonra 10 dakika inkübe edilmiş ve daha sonra 670 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede absorbansları okunmuştur. Örneklerin proteaz aktivitesi *L*-tirozin standart amino asiti ile hazırlanan standart doğru denklemi ($y=13,603x+0,0254$; $R^2=0,9951$) kullanılarak hesaplanmıştır (**Ek A.4.**). Sonuçlar kuru madde üzerinden mg *L*-tirozin eşd./g olarak ifade edilmiştir. Analizler üçer tekrarlı olarak yapılmış ve ortalama değerler standart sapmalarıyla birlikte verilmiştir.

3.2.9 α -amilaz Aktivitesi Tayini

Tam karabuğday unu, kırma unu ve öğütme unlarının α -amilaz aktivitesi tayini Rani vd. (2001) ve Gusakov vd. (2011)'in yöntemleri modifiye edilerek belirlenmiştir. Buna göre, 2,5 g örnek, 25 mL sodyum asetat tamponu ile karıştırıldıktan sonra 2 saat ekstraksiyonu yapılmıştır. Sonrasında 8000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 0,5 mL alınarak üzerine 0,5 mL %1'lik nişasta çözeltisi ilave edilmiş ve 50°C'de 15 dakika inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında örnekler 0,5 mL 3,5-dinitrosalisilik asit (DNS) çözeltisi eklenmiş ve kaynar suda 10 dakika bekletilmiştir. Örnekler soğutulduktan sonra 5 mL distile su eklenerek 540 nm dalga boyuna ayarlı spektrofotometrede absorbanslar okunmuştur. Örneklerin α -amilaz aktivitesi maltoz standart maddesi ile hazırlanan standart doğru denklemi ($y=0,505x-0,0183$; $R^2=0,9983$) kullanılarak hesaplanmıştır (**Ek A.5.**). Sonuçlar kuru madde üzerinden mg maltoz eşd./g olarak ifade edilmiştir. Analizler üçer tekrarlı olarak yapılmış ve ortalama değerler standart sapmalarıyla birlikte verilmiştir.

3.2.10 Malt Yapma İşlemi

Karabuğdayın malta işlenmesi temelde Ispiryan vd. (2021) tarafından da izlenen Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission (MEBAK) standart mikro-maltlama yöntemine (MEBAK 1.5.3) göre yapılmıştır (MEBAK, 2013). Malta işlenecek karabuğday örneği, ıslatmadan önce çok dikkatli şekilde yabancı materyalinden temizlenmiştir. Karabuğdayın malta işlenmesi, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (Ankara) Kalite ve Teknoloji Bölümü'nde bulunan bilgisayar kontrollü mikro-maltlama cihazında (Danbrew, Danimarka) yapılmıştır. Malta işleme üç farklı aşamadan meydana gelmektedir, bunlar; ıslatma, çimlendirme ve kurutmadır (kavurma). Malta işleme koşulları, Wijngaard ve Arendt (2006b) ve Terpin vd. (2016) çalışmalarında uygulanan iki farklı koşula göre yapılmış ve bu koşullardaki anti-besinsel bileşiklerdeki azalma veya değişim incelenmiştir. Malta işlemede uygulanan iki farklı koşuldaki ıslatma, çimlendirme ve kurutma işlemlerine ait süre, sıcaklık ve bağıl nem parametreleri **Tablo 3.4.**'de gösterilmiştir. Öncelikle karabuğday örneği (800 g) içme suyu kalitesinde, arıtılmış suda (1600 mL) ıslatmaya bırakılmıştır. Daha sonra otomatik bilgisayar kontrollü malt yapma cihazına **Tablo 3.4.**'de belirtilen aşamalar program halinde girilerek cihaz çalıştırılmıştır. Bilgisayar kontrollü malt

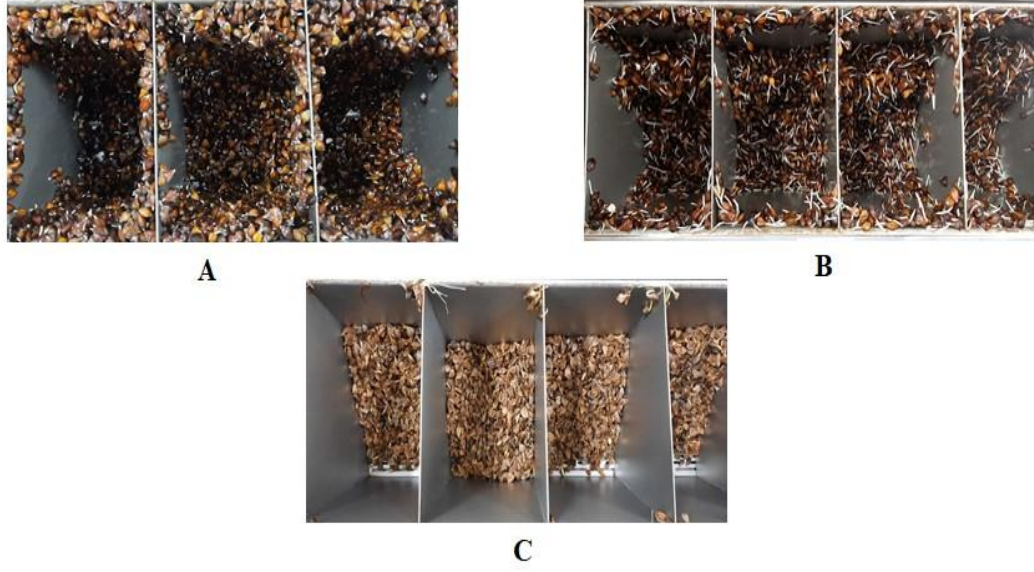
yapma makinesinde malta işleme iki tekerrürlü olarak çalışılmış, her bir tekerrürde malt yapma işlemi 7 günde tamamlanmıştır.

Tablo 3.4. İki farklı koşulda malt yapma işleminde ıslatma, çimlendirme ve kurutma aşamalarında uygulanan parametreler.

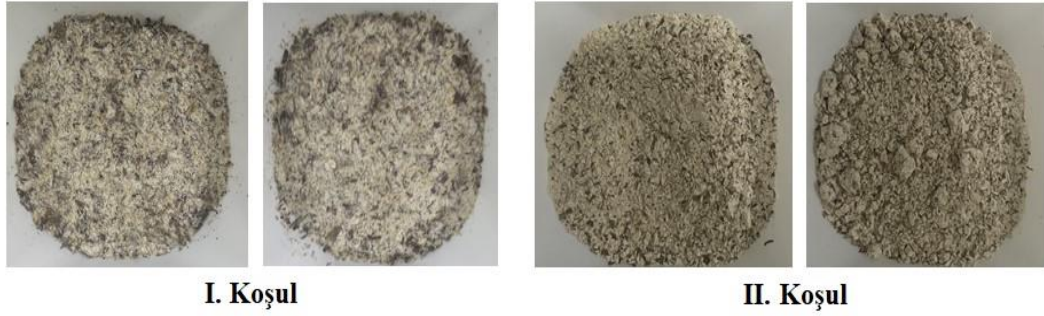
Malt Yapma Koşulları	Islatma	Çimlendirme	Kurutma
I. Koşul*	12 saat, 10 °C’de, son nem %40		
	1. Islak faz 3 saat	96 saat, 15 °C, bağıl nem %98 son nem %40	5 saat, 45 °C; 17 saat 50 °C
	2. Kuru faz 3 saat		
	3. Islak faz 2 saat		
	4. Kuru faz 2 saat		
	5. Islak faz 1 saat		
	6. Kuru faz 1 saat		
II. Koşul**	8 saat, 20 °C’de, son nem %40		
	1. Islak faz 3 saat	88 saat, 20 °C, bağıl nem %98 son nem %40	22 saat, 60 °C
	2. Kuru faz 1 saat		
	3. Islak faz 3 saat		
	4. Kuru faz 1 saat		

*Wijngaard ve Arendt (2006b); **Terpinc vd. (2016).

Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın malt yapma işleminde uygulanan ıslatma (a), çimlendirme (b) ve kurutma (c) aşamaları **Fotoğraf 3.2.**’de gösterilmiştir. İki farklı koşulda, iki tekerrürlü üretilen malt örnekleri elde ovalanarak malt filizleri ayıklanmıştır. Karabuğday maltları daha sonra elek delik çapı 200 µ olan çekiçli değirmende öğütülmüş ve malt unları (**Fotoğraf 3.3.**) analiz edilinceye kadar polietilen torbalarda, +4°C’de saklanmıştır. Öncelikle karabuğday maltı unlarının nem tayini MEBAK 1.5.1.1 yöntemine göre yapılmış (MEBAK, 2013) ve nem sonuçları **Tablo 3.5.**’de verilmiştir. Anti-besinsel bileşiklerin analizleri her bir tekerrür malt ununda iki tekrarlı yapılmış ve bir malt üretim koşulundan toplam dört tekrarlı analiz yapılmıştır. Ortalama değerler, standart sapmaları ile birlikte kuru madde üzerinden verilmiştir.



Fotoğraf 3.2. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinin malt yapma aşamaları: ıslatma (A), çimlendirme (B) ve kurutma (C).



Fotoğraf 3.3. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinin iki farklı koşulda üretilen malt unları (sırasıyla M1 ve M2; soldan sağa I. ve II. tekerrürleri).

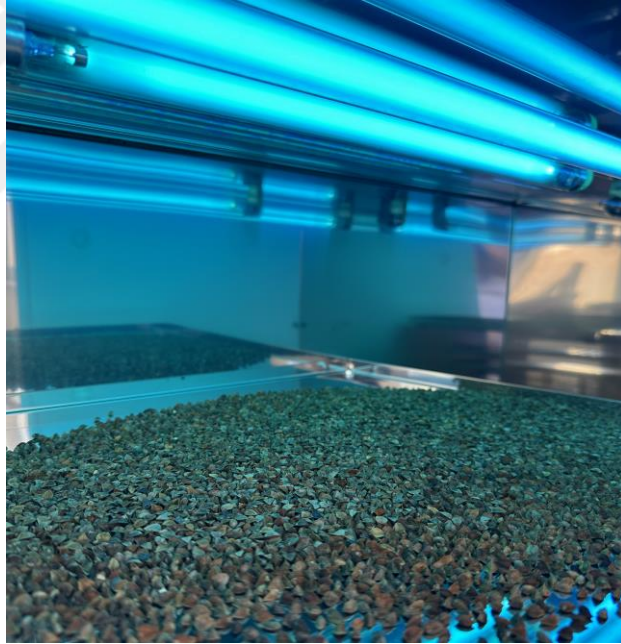
Tablo 3.5. Karabuğday maltı unlarının nem değerleri.

Malt Unu	Nem* (%)
1. Koşul 1. tekerrür	7,7 ± 0,03b
1. Koşul 2. tekerrür	8,8 ± 0,02a
2. Koşul 1. tekerrür	5,4 ± 0,05c
2. Koşul 2. tekerrür	4,0 ± 0,06d

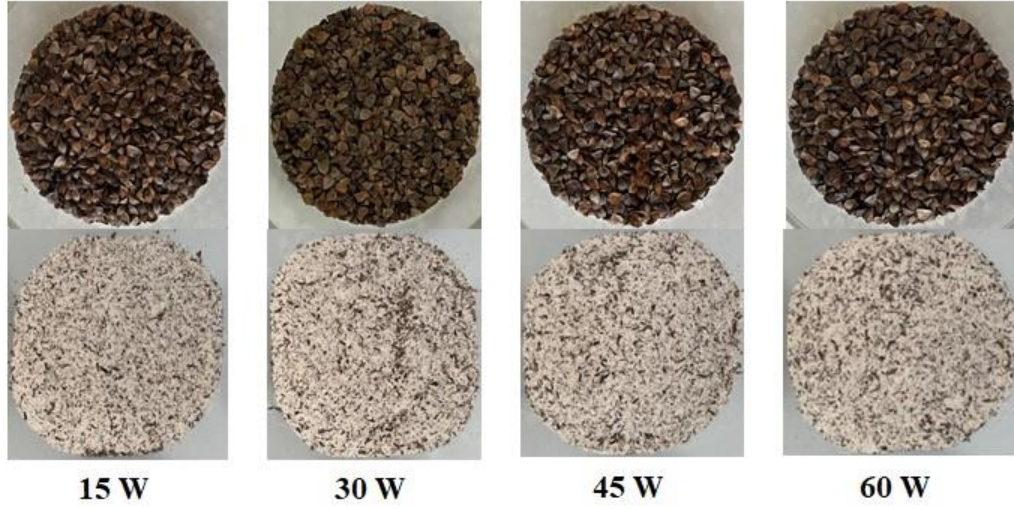
*Ortalama ± standart sapma; n=3.

3.2.11 Kısa Dalga Boylu Ultra-Viyole Işık (UV-C) Uygulaması

Karabuğday tanesine kısa dalga boylu ultraviyole ışık (UV-C) uygulaması Ji vd. (2016) yöntemi modifiye edilerek 15, 30, 45 ve 60 W olmak üzere dört farklı enerji seviyesinde uygulanmıştır. Bunun için 254 nm dalga boyundaki UV-C kaynağı (PRO-TEK, Ostim, Ankara), her bir enerji seviyesinde 3 saat olmak üzere sabit bir sürede gerçekleştirilmiştir. Karabuğday tanelerinin ışık kaynağına mesafesi tüm uygulamalarda 20 cm olarak belirlenmiştir. Karabuğdayların UV-C uygulaması iki tekerrürlü çalışılmıştır. Daha sonra UV-C uygulanmış karabuğday örnekleri tam karabuğday unu olarak öğütülmüş (ZM 200, Retsch, Almanya) ve analize hazır hale getirilmiştir. Karabuğday tanelerine UV-C uygulaması **Fotoğraf 3.4.** ve UV-C uygulanmış karabuğday taneleri ile karabuğday unları **Fotoğraf 3.5.**'de, UV-C uygulanmış karabuğdayların öğütüldükten sonra bulunan nem değerleri **Tablo 3.6.**'da gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.4. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinin ultraviyole ışık (UV-C) uygulaması.



Fotoğraf 3.5. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinin dört farklı enerji seviyesinde UV-C uygulandıktan sonra tam karabuğday unu halinde öğütülen unları (15 W: U1 unu; 45 W: U2 unu).

Tablo 3.6. UV-C ışık uygulanmış karabuğdayların tam unlarının nem değerleri.

UV-C Unu	Nem* (%)
15 W 1. tekerrür	11,5 ± 0,27a
15 W 2. tekerrür	11,3 ± 0,29ab
30 W 1. tekerrür	10,9 ± 0,14cd
30 W 2. tekerrür	10,9 ± 0,06bc
45 W 1. tekerrür	10,3 ± 0,28e
45 W 2. tekerrür	9,7 ± 0,03f
60 W 1. tekerrür	10,6 ± 0,30cde
60 W 2. tekerrür	10,5 ± 0,24de

*Ortalama ± standart sapma; n=3.

3.2.12 Renk Tayini

Karabuğday taneleri, tam karabuğday unları, öğütme ve kırma unlarının renk tayini, renk tayin cihazı (Minolta CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japonya) kullanılarak yapılmıştır. Bu cihazda renk ölçümü CIE (International Commission on Illumination, 1976) $L^*a^*b^*$ sistemine göre yapılmaktadır. Buna göre örneklerin L^* (parlaklık (+)/koyuluk (-)), a^* (kırmızılık (+)/yeşillik (-)), b^* (sarılık (+)/mavilik (-)), C^* (0-60 kroma renk değeri) ve h (0-

360° hue açısı veya renk canlılığı) değerleri belirlenmiştir. Renk analizleri üçer tekrarlı yapılmıştır. Renk ölçümü her bir örnek için üç noktada yapılmış ve ortalamaları alınarak verilmiştir. Beyazlık indeksi (Bİ) değeri Wronkowska ve Haros (2014) yöntemine göre aşağıdaki eşitliğe göre belirlenmiştir:

$$Bİ = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

3.2.13 Glutensiz Ekmek Üretimi

Glutensiz ekmek hamurunun hazırlanmasında Wronkowska vd. (2013) ve Sakač vd. (2011) yöntemleri modifiye edilerek kullanılmıştır. Araştırmada, glutensiz kontrol ekmeği, pirinç unu+mısır nişastası karışımı ile hazırlanmıştır. Buna göre, farklı koşullarda üretilen karabuğday maltlarının unları ve aynı şekilde farklı enerji seviyelerinde (15 ve 45 W) UV-C uygulanan karabuğdayların unları, ayrı ayrı olmak üzere, %10, %25 ve %50 oranlarında pirinç unu+mısır nişastası karışımına ilave edilerek glutensiz ekmekler üretilmiştir. Glutensiz ekmekler, direkt hamur hazırlama yöntemi ve kısa fermantasyon süresinde hazırlanmıştır. Kontrol, karabuğday malt unlu ve UV-C uygulanan karabuğday unlu glutensiz ekmeklerin formülasyonları **Tablo 3.7.**'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Kontrol, karabuğday malt unu ve UV-C uygulanmış karabuğday unlarının glutensiz ekmek formülasyonlarında kullanılması.

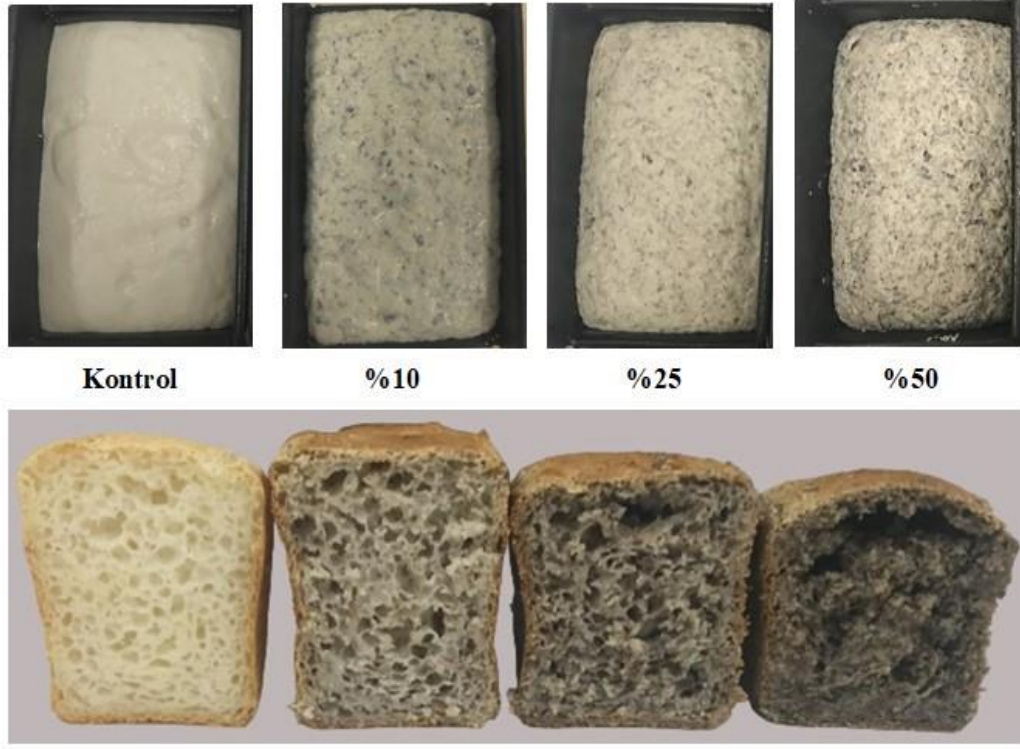
Örnek	Mısır Nişastası ¹ (g)	Pirinç Unu ² (g)	Karabuğday Malt Unu ³ (g)	Premiks ^{a4} (g)	Toplam Hamur Ağırlığı ^b (g)
Kontrol	50	50	-	5,5	212,5
%10	45	45	10	5,5	212,5
%25	37,5	37,5	25	5,5	212,5
%50	25	25	50	5,5	212,5

^aPremiks: 2 g tuz+ 0,5 g ksantan gam + 3 g şeker.

^bSütunlardaki bileşenler (1) + (2) + (3) + (4) + 3 g maya + 4 g zeytinyağı + 100 mL su.

Tüm bileşenler hazırlandıktan sonra hamur karıştırıcısında (Kitchen Aid, Michigan, ABD) glutensiz ekmek hamuru (212,5 g) hazırlanmıştır. Hamur daha sonra 100 g'lık pişirme kaplarına alınmış, fermantasyon (30 °C'de 30 dak)

aşamasından sonra 220 °C’de 35 dakika pişirilmiştir. Glutensiz ekmekler, 2 saat oda sıcaklığına (25 °C) soğutulduktan sonra fiziksel analizler yapılmıştır. Araştırmada, kontrol ve I. koşulda üretilen karabuğday maltı ununun sırasıyla %10, %25 ve %50 oranında glutensiz ekmek hamurları ve glutensiz ekmekler **Fotoğraf 3.6.**’da gösterilmiştir.



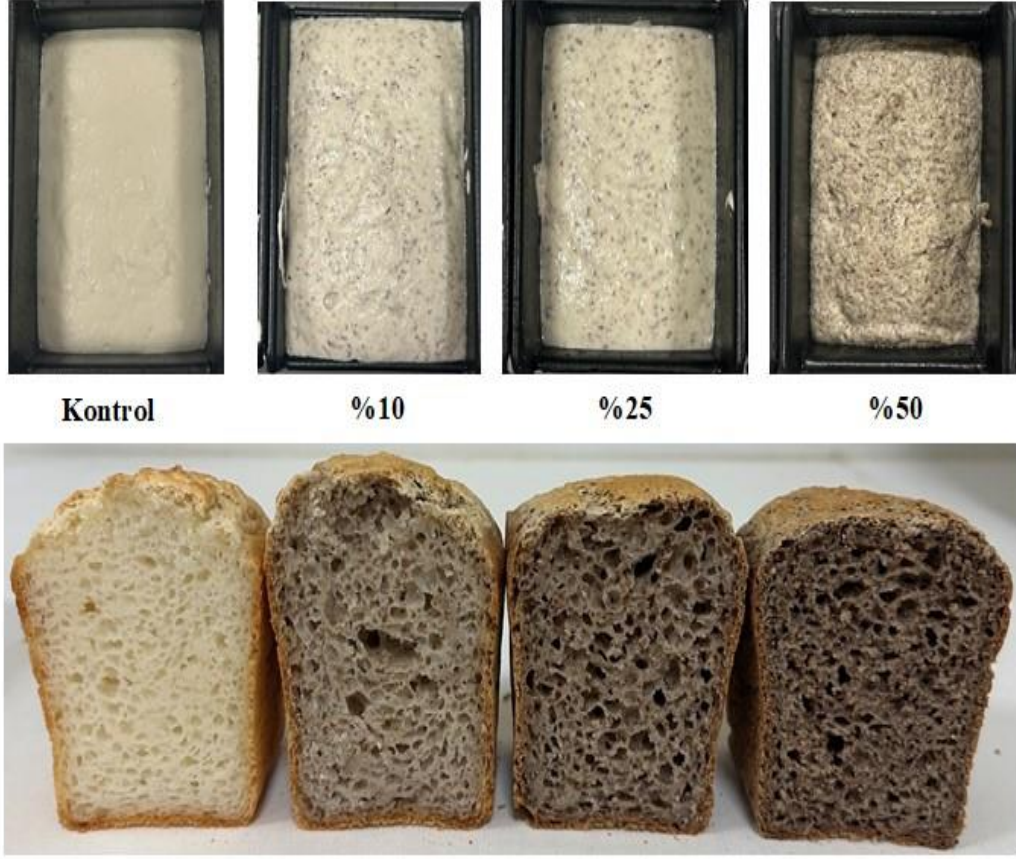
Fotoğraf 3.6. Kontrol ve %10, %25 ve %50 karabuğday maltı unu (I. Koşulda üretim, M1) içeren glutensiz ekmek hamurları ve glutensiz ekmekler.

Araştırmada, kontrol ve II. koşulda üretilen karabuğday maltı ununun sırasıyla %10, %25 ve %50 oranında glutensiz ekmek hamurlarına ilave edildikten sonra glutensiz ekmeklerin hazırlanması **Fotoğraf 3.7.**’de gösterilmiştir.



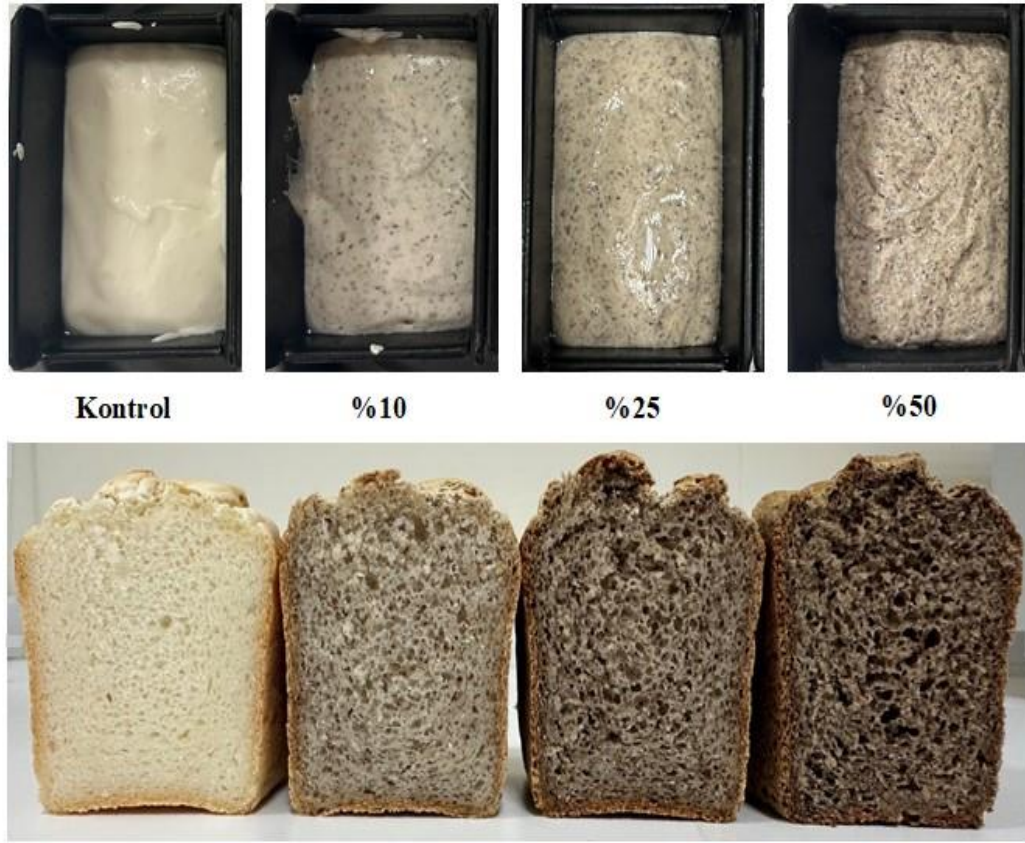
Fotoğraf 3.7. Kontrol ve %10, %25 ve %50 karabuğday malt unu (II. Koşulda üretim, M2) içeren glutensiz ekmek hamurları ve glutensiz ekmekler.

Araştırmada, kontrol ve 15 W UV-C uygulandıktan sonra öğütülen karabuğday ununun sırasıyla %10, %25 ve %50 oranında glutensiz ekmek hamurlarına ilave edildikten sonra üretilen glutensiz ekmekler **Fotoğraf 3.8.**'de gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.8. Kontrol ve %10, %25 ve %50 oranlarında U1 unu (15 W UV-C uygulanmış) katkılı glutensiz ekmek hamuru ve glutensiz ekmekleri.

Araştırmada, kontrol ve 45 W UV-C uygulandıktan sonra öğütülen karabuğday ununun sırasıyla %10, %25 ve %50 oranında glutensiz ekmek hamurlarına ilave edildikten sonra üretilen glutensiz ekmekler **Fotoğraf 3.9.**'da gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.9. Kontrol ve %10, %25 ve %50 oranlarında U2 unu (45 W UV-C uygulanmış) katkılı glutensiz ekmek hamuru ve glutensiz ekmekleri.

3.2.14 Glutensiz Ekmeklerde Yapılan Fiziksel Analizler

Glutensiz ekmek örneklerinde nem, ağırlık, hacim, spesifik hacim, pişme kaybı, ekmek kabuk rengi, ekmek içi rengi ve tekstür özellikleri Torbica vd. (2010) ve Moore vd. (2004) yöntemlerine göre belirlenmiştir. Glutensiz ekmeklerde nem miktarının tespitinde, ekmeklerden 4 g kesilmiş ve 105 °C'de 16 saat kurutulduktan sonra ağırlıktaki azalma yüzde olarak belirlenmiştir. Glutensiz ekmekler fırından çıktıktan sonra oda sıcaklığında 2 saat soğutulmuş ve daha sonra tartılmıştır. Glutensiz ekmeklerin hacmi, kuşyemi tohumu ile yer değiştirme prensibine göre belirlenmiştir. Spesifik hacim (cm^3/g), ekmek ağırlığı ve hacmi tespit edildikten sonra hacmin ağırlığa oranı ile hesaplanmıştır. Pişme kaybı (%), ekmek hamuru ve ekmek ağırlığındaki farklılıkların hamur ağırlığına oranı ile belirlenmiştir. Ekmek kabuğu ve ekmek içi rengi (L^* , a^* , b^*), renk tayin cihazı kullanılarak bu bölümün 3.2.12 kısmında anlatılan yöntemle göre belirlenmiştir. Ekmek içi rengi, glutensiz ekmekler dilimlendikten sonra saptanmıştır. Bütün

ekmeğin kabuk kısmı, ekmek kabuğu renginin belirlenmesinde kullanılmıştır ve tüm renk ölçümleri 9 farklı noktadan yapılmıştır. Ekmek içi doku (tekstür) özellikleri tekstür analiz cihazı (TA-XT2i, Stable Micro Systems, Surrey, İngiltere) ile 36 mm'lik alüminyum silindirik probalar kullanılarak tespit edilmiştir. Doku özellikleri tüm glutensiz ekmekler pişirildikten ve 2 saat oda sıcaklığında soğutulduktan sonra belirlenmiştir. Ekmekler 25 mm kalınlığında dilimlendikten sonra, pre-test (2 mm/s), test (1 mm/s) ve post-test (5 mm/s) hızlarında ve %30 basınçta iki kez baskı uygulanmıştır. Sertlik (g), esneklik (mm), bağlayıcılık, yapışkanlık (g), çiğnenebilirlik (g) ve elastikiyet/direnç parametreleri kaydedilmiştir (Alvarez-Jubete vd, 2010).

3.2.15 Glutensiz Ekmeklerde Yapılan Kimyasal Analizler

Glutensiz ekmekler, kimyasal analizler için dilimlenmiş ve oda sıcaklığında 24 saat kurutulduktan sonra kurutulmuş dilimler kahve öğütücünde öğütülmüş ve 220 µ'luk elekten elenerek analize hazır hale getirilmiştir. Öğütülmüş glutensiz ekmek örneklerinde nem tayini ve protein tayini (Kjeldahl yöntemi) bu bölümün sırasıyla 3.2.1 ve 3.2.3 kısımlarında açıklanan yöntemlere göre yapılmıştır.

3.2.16 Glutensiz Ekmeğin Sindirilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.16.1 Protein Sindirilirliğinin *in vitro* Yöntem İle Tayini

Glutensiz ekmeğin *in vitro* protein sindirilirliği Abdel-Aal (2008) yöntemine göre belirlenmiştir. Buna göre, 0,25 g protein içerecek şekilde ekmek örneğinden tartılmış ve toplam hacim saf su ile 50 mL' ye tamamlanmıştır. Karışımın pH'sı HCl ile pH 2,0'ye ayarlanmış ve daha sonra 1 ml pepsin (Sigma P7000) çözeltisi (1 mg protein için 3460 U enzim olacak şekilde hazırlanmıştır) ilave edilmiş ve erlenin ağzı kapatılmıştır. Daha sonra 37°C'de 30 dakika çalkalamalı su banyosunda inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda örnekler su banyosundan çıkarılarak, karışımın pH'sı 7,5'a ayarlanmış ve daha sonra 5 ml pankreatin (4 x USP, Sigma P1750) çözeltisi (1 g protein için 0,04 g enzim olacak şekilde, 0.01 M pH 7.5 sodyum fosfat çözeltisi ile hazırlanmıştır) ilave edilmiştir. Karışım 37°C'de 6 saat çalkalamalı su banyosunda inkübasyona bırakılmıştır. Karışımdan 10 mL polipropilen santrifüj tüpüne alınmış ve üzerine 10 mL

%20'lik trikloro asetik asit (TCA) çözeltisi ilave edilerek karıştırılmıştır. Karışım 5000xg'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatanttaki protein miktarı Lowry vd. (1951) yöntemi ile belirlenmiş, protein sindirilirliği (%), çözünen protein miktarının başlangıçtaki protein miktarına oranlanması ile hesaplanmıştır. Lowry vd. (1951) yöntemi ile protein miktarının hesaplanmasında bovine serum albümin (BSA) proteini ile hazırlanan standart doğru denklemi ($y=2,8352x+0,0485$; $R^2=0,9953$) kullanılmıştır (**Ek A.6.**). Analizler üç tekrarlı yapılmış ve ortalamalar standart sapmaları ile verilmiştir.

3.2.16.2 Nişasta Sindirilirliğinin *in vitro* Yöntem İle Tayini

Glutensiz ekmeğin *in vitro* nişasta sindirilirliği Rathod ve Annapure (2016) yöntemine göre yapılmıştır. Buna göre, 0,2 M fosfat tamponu (pH 6,9) içerisinde örnekler 50 mg/mL konsantrasyonunda hazırlanmış ve 0,5 mL pankreatik α -amilaz (1260 U/mg) ilave edilerek, amilolitik aktivite 2 saat süresince oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Pankreatik α -amilaz, 0,2 M fosfat tamponu (pH 6,9) içerisinde 0,4 mg/mL konsantrasyonunda hazırlanmıştır. Amilolitik reaksiyon tamamlandıktan sonra, örnekler 2 mL 3,5-dinitrosalisilik asit (DNS) eklenmiştir. Daha sonra karışım 5 dakika kaynatılmıştır. Oda sıcaklığına soğutulduktan sonra karışım Whatman No:1 filtre kağıdından süzölmüş ve süzöntünün absorbanı 510 nm dalga boyuna ayarlı spektrofotometrede belirlenmiştir. Maltoz ile hazırlanan standart doğru ($y=1,056x-0,0357$; $R^2=0,9961$) kullanılarak (**Ek A.7.**), meydana gelen maltoz miktarı kuru madde üzerinden hesaplanmış ve nişasta sindirilebilirliği mg maltoz/g örnek olarak ifade edilmiştir. Analizler üç tekrarlı yapılmış ve ortalamalar standart sapmaları ile verilmiştir.

3.2.17 Glutensiz Ekmeğin Biyoaktif Madde Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.17.1 Serbest Fenolik Madde Miktarı Tayini

Glutensiz ekmeğin serbest fenolik madde (SFM) miktarı, dimetil sülfoksit (DMSO) ve ayrıca %80'lik metanol ekstraksiyon çözeltileri kullanılarak Gutfinger (1981) ve Singleton vd. (1999) tarafından önerilen Folin-Ciocalteu yöntemi modifiye edilerek belirlenmiştir. Nişasta gibi polimerik bileşiklere bağlı halde bulunan fenolik maddelerin serbest hale getirilmesi DMSO ile sağlanmıştır.

Örnekler, 1:25 oranında DMSO veya %80'lik metanol ile ekstrakte edilmiştir. Bunun için, örnekler 15 dakikada bir vortekslenmek üzere oda sıcaklığında 1 saat ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Ekstraksiyon sonunda 9000 rpm'de 15 dakika santrifüj (NF 1200, NÜVE, Ankara) yapılmıştır. Süpernatant üzerine distile su ve Folin-Ciocalteu çözeltisi ilave edilip 3 dakika reaksiyona bırakılmıştır. Daha sonra 0,5 mL %20'lik doymuş Na_2CO_3 ve 0,75 mL distile su eklenmiş ve örnekler oda sıcaklığında 1 saat tekrar reaksiyona bırakılmıştır. Reaksiyon sonunda örneklerin absorbansı 725 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede (Shimadzu, Japonya) ölçülmüştür. Serbest fenolik madde miktarının hesaplanmasında, gallik asit ile hazırlanan standart doğrular (DMSO için $y=3,7733x-0,0025$, $R^2=0,9997$; %80'lik MetOH için $y=4,433x-0,0649$, $R^2=0,9995$) kullanılmıştır (sırasıyla **Ek A.8.** ve **Ek A.9.**). Sonuçlar kuru madde üzerinden mg gallik asit eşd./g örnek olarak verilmiştir. Analizler üç tekrarlı yapılmış ve ortalamalar standart sapmaları ile verilmiştir.

3.2.17.2 Toplam Flavonoid Madde Miktarı Tayini

Glutensiz ekmegin flavonoidlerinin ekstraksiyonu ve miktar analizi Deng vd. (2015) ve Brajdes ve Vizireanu (2012) yöntemlerine göre yapılmıştır. Örneklerden 0,5 g tartılmış ve üzerine 30 mL %70'lik (v/v) metanol eklendikten sonra vortekte kuvvetlice karıştırılmıştır. Karışım, 65°C'deki su banyosunda 2 saat inkübe edildikten sonra Whatman No: 4 filtre kağıdından süzölmüştür. Filtratlar balon jojeye aktarılmış ve %70'lik metanol ile hacim 50 mL'ye tamamlanmıştır. Kontrol ve glutensiz ekmeklerdeki toplam flavonoid içeriği, %10'luk alüminyum klorür (AlCl_3) kolorimetrik yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre, ekstraksiyon çözeltisi (1 mL), 2-3 mL 1 M (%5'lik) potasyum/sodyum asetat, 1-2 mL %5'lik (AlCl_3) ve 5 mL %70'lik metanol ile karıştırılmıştır. Örnekler 25°C'de 30-40 dakika inkübasyona bırakıldıktan sonra absorbansları 415 nm dalga boyuna ayarlı spektrofotometrede okunmuştur. Toplam flavonoid madde içeriği, rutin bileşiği ile hazırlanan standart doğru ($y=1,2586x+0,0237$; $R^2=0,999$) kullanılarak hesaplanmış (**Ek A.10.**) ve sonuçlar kuru madde üzerinden mg rutin eşd./g örnek olarak ifade edilmiştir. Analizler üç tekrarlı yapılmış ve ortalamalar standart sapmaları ile verilmiştir.

3.2.17.3 Antioksidan Aktivite Tayini

Kontrol ve glutensiz ekmeklerin antioksidan aktivite tayini, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikalini süpürme aktivitesi (%) ve 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzu (ABTS) radikalini (ABTS^{•+}) süpürme kapasitesi yöntemleri ile ifade edilmiştir (Yu vd., 2002; Ragae vd., 2006; Masatcioglu vd., 2013). Antioksidan aktivitenin, DPPH radikalini süpürme aktivitesi için 0,1 g örnek polipropilen tüplere tartılmış, üzerine 1 mL ultra saf su eklenerek 1 saat boyunca ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Ekstraksiyon sonunda 3 mL mutlak etil alkol ilave edilmiş ve vorteks karıştırmadan sonra 9000xg'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatantlar, taze hazırlanmış 100 µM DPPH çözeltisi içeren alüminyum folyoya sarılı tüplere eklenmiştir. Daha sonra tüpler 10 dakika oda sıcaklığında ve karanlıkta reaksiyona bırakılmıştır. Reaksiyon sonunda meydana gelen rengin absorbansı 517 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede ölçülmüştür. Şahit örneğin absorbansı da belirlendikten sonra aşağıda gösterilen denkleme göre sonuçlar hesaplanmıştır. Analizler üçer tekrarlı yapılmış, ortalama DPPH radikalini süpürme aktivitesi (%) kuru madde üzerinden standart sapmaları ile verilmiştir.

$$DPPH \text{ Radikalini Süpürme Aktivitesi (\%)} = 100 \times E \times \frac{\left(\frac{G - H}{G}\right)}{M}$$

M: Örnek ağırlığı, g

E: Örneğin kuru madde üzerinden ağırlığı, g

G: Şahit örneğin absorbansı

H: Örnek absorbansı

Antioksidan aktivitenin ABTS^{•+} radikalini süpürme kapasitesi olarak belirlenmesinde, öncelikle örneklerin selüloz ile katı-katı dilüsyonları (1:5 oranında) hazırlanmıştır. Bu dilüsyonlardan altı konik tüplere 10 mg tartılmıştır. Yönteme göre, 2,45 mM potasyum persülfat (K₂S₂O₈) içeren 7,46 mM 2,2'-azino-

bis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzu (ABTS) çözeltisi karanlıkta 16 saat bekletilerek ABTS•+ radikalinin meydana gelmesi sağlanmıştır. Radikal çözeltinin 734 nm dalga boyundaki absorbansı $0,800 \pm 0.02$ olacak şekilde %50 (v/v)'lik etil alkol ile seyreltilmiştir. Örneklerin üzerine 10 mL absorbansı ayarlanmış ABTS•+ radikal çözeltisi eklenmiştir. Daha sonra karıştırma ünitesinde yatay konumdaki örneklerin 24 dakikalık reaksiyon süresi başlatılmıştır. Süre sonunda örnekler 9000xg'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Seyreltilmiş ABTS•+ radikal çözeltisinden 1,25 mL kuvartz küvete alınarak, %50 (v/v)'lik etil alkol çözeltisine karşı başlangıç absorbans değeri belirlenmiştir. Mikro küvet içindeki radikal çözeltisi üzerine ekstraktan 0,1 mL eklenir eklenmez kronometre çalıştırılmış ve 6 dakika boyunca, her bir dakikada absorbans ölçümü yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir. Örneklerde bulunan antioksidan bileşikler, radikal çözeltinin rengini açarak, 6 dakikalık süreçte absorbans değerleri zamana bağlı olarak azalmıştır. Araştırmada, 6. dakika sonunda saptanmış olan absorbans değeri esas alınarak, başlangıç değerine göre yüzde azalma oranı (% inhibisyon) aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır:

$$\text{İnhibisyon (\%)} = \frac{\text{Başlangıç absorbansı} - \text{Son absorbans}}{\text{Başlangıç absorbansı}} \times 100$$

Analizler, üç tekrarlı olarak yapılmış ve sonuçlar, mutlak metil alkolde çözünen ve sentetik bir antioksidan olan ($\pm$)-6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilik asit (Troloks) ile hazırlanan ve “inhibisyona (%) karşılık Troloks konsantrasyonu (μg Troloks/100 μL)” standart doğrusu ($y=1,5033x+1,167$; $R^2=0,9991$) kullanılarak hesaplanmıştır (**Ek A.11.**). Sonuçlar kuru madde üzerinden, troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi (TEAK) değeri (mmol Troloks eşd./kg örnek) olarak verilmiştir.

3.2.18 Sodyum Dodesilsülfat Poliakrilamid Jel Elektrophorez (SDS-PAGE)

3.2.18.1 SDS-PAGE İçin Örnek Hazırlanması

Tam karabuğday unu, öğütme ve kırma unları ve glutensiz ekmek örneklerinin hazırlanmasında Fu ve Sapirstein (1996)'ın yöntemi modifiye edilerek kullanılmıştır. Mikrosantrifüj (1,5 mL) tüplerine, tüm örneklerin Kjeldahl yöntemi ile belirlenen protein değerlerine göre, ağırlık olarak aynı protein miktarlarını içerecek şekilde 50-130 mg arasında örnek tartılmıştır. Örneklerin üzerlerine 1000 µL ekstraksiyon çözeltisi (ekstraksiyon stok çözeltisi, deiyonize su ve %5 (v/v) oranında β-merkaptoetanol indirgeyici ajan içerecek şekilde hazırlanmıştır) ilave edilerek 2 saat süresince 10 dakikada bir vortekslenmiş ve tüm proteinlerin çözünmesi sağlanmıştır. Ekstraksiyon stok çözeltisi %20 (v/v) gliserol, 0.063 M Tris (pH 6,8), %2 (w/v) SDS ve %0.01 Pyronin Y (w/v) içermiştir. Protein ekstraksiyonundan sonra örnekler 5 dakika 100°C'ye ayarlanmış ısıtıcı blokta (Bio TDB-120 model, BIOSAN, Letonya) tutularak proteinlerin denaturasyonu sağlanmıştır. Isıtma işleminden sonra örnekler 11000xg'de 3 dakika santrifüj edilmiş, süpernatant SDS-PAGE'te incelenmiştir.

3.2.18.2 SDS-PAGE Yöntemi

Elektrophorez uygulaması Ng ve Bushuk (1987) ile Fu ve Sapirstein (1996)'ın yöntemleri esas alınarak yapılmıştır. Bunun için iki adet cam plaka arasına önce %12,5 oranında akrilamid içeren ayırıcı jel çözeltisi dökülmüştür. Ayırıcı jel çözeltisi ayrıca, %0,06 (w/v) N, N'-metilenbisakrilamid, 376 mL/L ayırıcı jel tampon çözeltisi (1.0 M Tris, pH 8,8) ve %0,1 (w/v) SDS içermiştir. Polimerleşmeyi sağlamak üzere 0,25 g/L amonyum persülfat (APS) ve 0,5 mL/L N, N, N', N'-tetrametiletildiamin (TEMED) ilave edilmiştir. Polimerleşme tamamlandıktan sonra üzerine %5 akrilamid (w/v), %0.043 (w/v) N, N'-metilenbisakrilamid, 12,5 mL/L ön ayırım jel tampon çözeltisi (1.0 M Tris, pH 6.8) ve %0.1 (w/v) SDS içeren ön ayırım jel çözeltisi dökülmüştür. Buradaki polimerleşme ise 0.375 g/L APS ve 0.75 mL/L TEMED ilave edilerek sağlanmıştır. Hamilton şırınga ile protein örneklerinden (süpernatant) 10 µL, markör proteininden ise 15 µL jellere yüklenmiştir. Jel düzeneği, içinde elektrophorez tampon çözeltisi (pH 8.3) bulunan tanka yerleştirilmiştir. Elektrophorez tampon çözeltisi 0,192 M glisin, 0.025 M Tris, %1 (w/v) SDS

içermiştir. Elektroforez ünitesi (Protean II xi Cell, BIO-RAD, Hercules, CA, ABD) sirkülasyonlu su banyosuna (PolyScience, ABD) bağlanarak işlem 15°C’de gerçekleştirilmiştir. Elektroforez işlemi 30 mA/jel sabit akımda 6-7 saat sürmüştür. Elektroforez işlemi tamamlandıktan sonra jeller Coomassie Brilliant Blue G-250 içeren boya çözeltisinde bir gece boyunca boyanmıştır. Boyama işleminden sonra jeller jel görüntüleme cihazında (BIO-RAD, Hercules, CA, ABD) görüntülenerek molekül ağırlıkları analizi (Image Lab Software, BIO-RAD, Hercules, CA, ABD) yapılmıştır. Protein bantlarının molekül ağırlıklarının analiz edilmesinde geniş aralıklı (wide-range) protein markör karışımı (Sigma S8445, St.Louis, ABD) kullanılmıştır (**Tablo 3.8.**).

Tablo 3.8. SDS-PAGE yönteminde kullanılan geniş aralıklı protein markör karışımı içeriği.

Markör proteini	Moleküler ağırlık (kDa)
Miyozin (Domuz kalbi)	200
β -galaktozidaz (<i>E.coli</i>)	116
Fosforilaz B (Tavşan kası)	97
Albumin (Sığır serumu)	66
Glutamik dehidrogenaz (Sığır karaciğeri)	55
Ovalbumin (Tavuk yumurtası)	45
Gliseraldehit-3-fosfat dehidrogenaz (Tavşan kası)	36
Karbonik anhidraz (Sığır eritrositleri)	29
Tripsinojen (Sığır pankreası)	24
Tripsin inhibitörü (Soya fasulyesi)	20
α -laktalbumin (Sığır sütü)	14,2
Aprotinin (Sığır akciğeri)	6,5

3.2.19 İstatistik

Tüm analizler üç tekrarlı olarak yapılmış ve ortalamalar standart sapma değerleri ile ilgili tablolarda verilmiştir. Analiz sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesinde Statgraphics Centurion 19 istatistik paket programı kullanılmıştır. Tüm veriler tek yönlü ANOVA ile analiz edilmiştir. Ortalamalar arası fark %95 güven aralığında ($P<0,05$ önemlilik seviyesinde) Fisher’s Least Significance Difference (LSD) testi kullanılarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Karabuğday Öğütme Fraksiyonlarının Bazı Kimyasal Özellikleri

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unu, valsli değirmenden elde edilen öğütme unu ve kırma unlarının (**Fotoğraf 3.1.**) nem, kül, protein, ham yağ, toplam besinel lif ve toplam nişasta içerikleri sırasıyla **Tablo 4.1.**, **Tablo 4.2.** ve **Tablo 4.3.**'te verilmiştir. Buna göre, tam karabuğday unlarının nem ve kuru madde üzerinden kül miktarları sırasıyla %9,2-14,9 ve %2,0-2,3 arasında değişmiştir. Tam karabuğday unlarının protein miktarları kuru madde üzerinden %11,0-13,3 arasında bulunmuştur. Tam karabuğday unları arasında en yüksek protein miktarı (%13,3) Afyon, Çorum ve Şanlıurfa lokasyonlarında yetiştirilen karabuğday örneklerinde saptanmıştır. Diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Tablo 4.1.**). En düşük protein miktarı (%11,0) ise Kastamonu lokasyonunda yetiştirilen tam karabuğday ununda belirlenmiştir ($P<0,05$). Tam karabuğday unlarının kuru madde üzerinden ham yağ miktarı %2,3-2,9 arasında tespit edilmiştir. En yüksek ham yağ miktarı Çorum lokasyonunda yetiştirilen karabuğday örneğinde, en düşük ise Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* ve *Aktaş cv.* kontrol karabuğdayı çeşitlerinde gözlenmiştir. Tam karabuğday unlarının kuru madde üzerinden toplam besinsel lif miktarı %30,3-34,0 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük toplam besinsel lif miktarı sırasıyla Çorum ve Şanlıurfa lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda bulunmuştur. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unlarının kuru madde üzerinden toplam nişasta miktarları sırasıyla %52,0-59,1 arasında değişmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek (%59,1) ve en düşük (%52,0) toplam nişasta miktarı sırasıyla Bilecik ve Niğde lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda saptanmıştır, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Tablo 4.1.**).

Öğütme unlarının nem ve kuru madde üzerinden kül miktarları sırasıyla %10,4-12,6 ve %2,0-2,5 arasında değişmiştir (**Tablo 4.2.**). Öğütme unlarının kuru madde üzerinden protein miktarları sırasıyla %14,7-19,3 arasında bulunmuştur.

Tablo 4.1. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların tam karabuğday unlarının kimyasal kompozisyonu.

Yetiştirme Lokasyonu	Nem (%)	Kül ^{*a} (%)	Protein ^{*a} (%)	Ham Yağ ^{*a} (%)	Toplam Besinsel Lif ^{*a} (%)	Toplam Nişasta ^{*a} (%)
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	11,9 ± 0,10d	2,0 ± 0,01de	12,4 ± 0,00b	2,3 ± 0,02de	30,8 ± 0,22d	56,1 ± 0,30cd
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	11,3 ± 0,06e	2,1 ± 0,05de	12,4 ± 0,17b	2,3 ± 0,03e	30,9 ± 0,05d	56,0 ± 0,14d
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	14,7 ± 0,07b	2,1 ± 0,04bc	13,3 ± 0,10a	2,5 ± 0,09cd	30,6 ± 0,15de	56,4 ± 0,25c
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	14,7 ± 0,03b	2,2 ± 0,03b	12,5 ± 0,48b	2,7 ± 0,10b	31,5 ± 0,37c	52,6 ± 0,11f
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	13,6 ± 0,01c	2,1 ± 0,06de	12,4 ± 0,16b	2,8 ± 0,07a	32,1 ± 0,07b	59,1 ± 0,24a
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	11,4 ± 0,03e	2,3 ± 0,04a	13,3 ± 0,21a	2,9 ± 0,06a	34,0 ± 0,17a	54,1 ± 0,15e
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	14,7 ± 0,09b	2,0 ± 0,02e	11,0 ± 0,33c	2,4 ± 0,04cd	33,6 ± 0,33a	58,8 ± 0,00b
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	9,2 ± 0,12f	2,1 ± 0,05cd	12,3 ± 0,30b	2,8 ± 0,15a	33,7 ± 0,42a	52,0 ± 0,20g
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	14,9 ± 0,11a	2,1 ± 0,01de	13,3 ± 0,59a	2,5 ± 0,06c	30,3 ± 0,07e	56,3 ± 0,06cd

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^a kuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Öğütme unları arasında en yüksek protein miktarı (%19,3) Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* çeşidi kontrol karabuğday örneğinde belirlenmiştir, bunu Niğde lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinin protein miktarı (%19,1) izlemiştir, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). En düşük protein miktarına (%14,7) sahip öğütme unu ise Şanlıurfa lokasyonunda yetiştirilen karabuğday örneğinden sağlanmıştır, diğer örnekler ile arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Öğütme unlarının kuru madde üzerinden ham yağ miktarı %3,3-4,3 arasında bulunmuştur. En yüksek ve en düşük ham yağ miktarı sırasıyla Niğde ve Aksaray lokasyonlarında yetiştirilen karabuğday örneklerinde bulunmuştur ($P<0,05$). Öğütme unlarının kuru madde üzerinden toplam besinsel lif miktarı %12,3-15,1 arasında değişmiştir. En yüksek (%15,1) ve en düşük (%12,3) toplam besinsel lif miktarı sırasıyla Çorum ve Aksaray lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların öğütülmesi ile elde edilen öğütme unlarında saptanmıştır, diğer öğütme unları ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Öğütme unlarının kuru madde üzerinden toplam nişasta miktarları kuru madde üzerinden %63,7-72,7 arasında değişmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek (%72,7) ve en düşük (%63,7) toplam nişasta miktarı sırasıyla Şanlıurfa ve Konya lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdaylarda belirlenmiştir, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$; **Tablo 4.2.**).

Kırma unlarının nem ve kuru madde üzerinden kül miktarları sırasıyla %12,3-14,4 ve %0,3-0,4 arasında değişmiştir (**Tablo 4.3.**). Kırma unlarının kuru madde üzerinden protein miktarı %4,1-6,2 arasında değişmiştir. Kırma unları arasında, en yüksek (%6,2) ve en düşük (%4,1) protein miktarı sırasıyla Konya ve Kastamonu lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğday örneklerinde saptanmıştır, diğer kırma unları ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Görüldüğü gibi farklı değirmenler ile öğütülen karabuğdayların, öğütme fraksiyonlarının protein değerleri arasında önemli farklılıklar saptanmıştır. Ham protein miktarı, valsli değirmende öğütülen karabuğdaydan elde edilen öğütme ununda daha çok yoğunlaşmıştır. Kırma unlarının kuru madde üzerinden toplam besinsel lif miktarı %4,0-4,4 arasında değişmiştir (**Tablo 4.3.**).

Tablo 4.2. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların valsli değirmen öğütme unlarının kimyasal kompozisyonu.

Yetiştirme Lokasyonu	Nem (%)	Kül ^{*a} (%)	Protein ^{*a} (%)	Ham Yağ ^{*a} (%)	Toplam Besinsel Lif ^{*a} (%)	Toplam Nişasta ^{*a} (%)
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	11,1 ± 0,06e	2,5 ± 0,01ab	19,3 ± 0,10a	4,0 ± 0,03b	14,4 ± 0,29b	64,2 ± 0,06f
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	10,4 ± 0,01g	2,5 ± 0,04b	17,9 ± 0,00b	3,9 ± 0,02bc	14,4 ± 0,23b	63,7 ± 0,20g
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	11,8 ± 0,05b	2,2 ± 0,05d	16,3 ± 0,20d	3,6 ± 0,09d	13,2 ± 0,40d	67,5 ± 0,31d
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	12,5 ± 0,02a	2,1 ± 0,03ef	16,3 ± 0,06d	3,3 ± 0,11e	12,3 ± 0,13e	68,2 ± 0,26c
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	11,5 ± 0,04cd	2,2 ± 0,03de	15,3 ± 0,35e	3,7 ± 0,04d	14,5 ± 0,35b	70,0 ± 0,31b
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	11,0 ± 0,04f	2,5 ± 0,04a	17,3 ± 0,30c	3,9 ± 0,09bc	15,1 ± 0,03a	65,6 ± 0,15e
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	11,5 ± 0,05d	2,3 ± 0,04c	17,4 ± 0,29c	4,0 ± 0,06b	13,8 ± 0,24c	68,4 ± 0,30c
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	11,6 ± 0,08c	2,1 ± 0,01fg	19,1 ± 0,00a	4,3 ± 0,04a	13,2 ± 0,16d	68,3 ± 0,17c
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	12,6 ± 0,09a	2,0 ± 0,01g	14,7 ± 0,37f	3,9 ± 0,13c	12,6 ± 0,09e	72,7 ± 0,30a

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^akuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

En yüksek (%4,4) ve en düşük (%4,0) toplam besinsel lif miktarı sırasıyla Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* çeşidi kontrol karabuğday örneğinde ve Afyon ve Aksaray lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinde bulunmuştur. Kırma unlarının kuru madde üzerinden toplam nişasta miktarı %89,7-95,6 arasında değişmiştir ($P<0,05$). Kırma unları arasında en yüksek (%95,6) ve en düşük (%89,7) toplam nişasta miktarı sırasıyla Kastamonu ve Afyon lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda tespit edilmiştir, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Tablo 4.3.**).

Öğütme unlarının ham yağ miktarı tam karabuğday unlarından daha yüksek bulunmuştur. En yüksek toplam besinsel lif miktarı tam karabuğday unlarında bulunmuştur, bunu öğütme unları ve sonra kırma unları izlemiştir. En yüksek toplam nişasta miktarı kırma unlarında bulunmuş olup bunu öğütme unları ve son olarak tam karabuğday unları takip etmiştir. Karabuğday tohumunun valsli değirmende öğütülmesi ile açığa çıkan kırma unlarının protein miktarı en düşük iken nişasta miktarı en yüksek olarak tespit edilmiştir. Karabuğdayın tam karabuğday ununa öğütülmesi ve ayrıca valsli değirmende öğütme ve kırma unu fraksiyonlarına öğütülmesi ile farklı kimyasal kompozisyonlara sahip öğütme ürünlerinin sağlandığı görülmüştür.

Mota vd. (2016), Çin ve Hindistan'da 2013 yılında yetiştirilen karabuğday tohumları üzerine yaptıkları bir araştırmada, karabuğday örneklerini yüksek hızlı öğütücüde (bıçaklı değirmen, Grindomix GM) öğütmüş ve ortalama protein miktarını 13,1 g/100 g olarak bulmuşlardır.

Bonafaccia vd. (2003), Dolenjska'dan (Slovenya) temin ettikleri *Siva cv.* çeşidi karabuğdaydan elde ettikleri tam karabuğday unu, karabuğday kepeği ve karabuğday unundaki toplam besinsel lif miktarını sırasıyla %27,38; %26,37 ve %6,77 olarak bulmuşlardır.

Zielinski vd. (2009), tam karabuğday, kavrulmuş tam karabuğday ve kavuzu ayrılmış karabuğday taneleri üzerine yaptıkları bir araştırmada, karabuğday örneklerini liyofilize ettikten sonra, öğütmüşler ve -20 °C'de depolamışlardır. Tam karabuğday tanesi ve kavrulmuş tam karabuğday tanelerinin protein miktarını sırasıyla 12,77 g/100 g k.m. ve 12,43 g/100 g k.m. olarak bulmuşlardır. Ayrıca, kavuzu ayrılmış karabuğday tanesi ve kavuzu ayrılmış kavrulmuş karabuğday tanelerinin protein miktarını sırasıyla 15,61 g/100 g k.m. ve 13,41 g/100 g k.m. olarak tespit etmişlerdir.

Tablo 4.3. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların valsli değirmen kırma unlarının kimyasal kompozisyonu.

Yetiştirme Lokasyonu	Nem (%)	Kül ^a (%)	Protein ^a (%)	Toplam Besinsel Lif ^a (%)	Toplam Nişasta ^a (%)
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	12,5 ± 0,13g	0,4 ± 0,02b	5,5 ± 0,10b	4,4 ± 0,05a	90,2 ± 0,15g
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	12,7 ± 0,06f	0,4 ± 0,01c	6,2 ± 0,00a	4,2 ± 0,13ab	92,1 ± 0,21cd
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	13,3 ± 0,09d	0,4 ± 0,03c	4,8 ± 0,06c	4,0 ± 0,03c	89,7 ± 0,47h
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	14,4 ± 0,01a	0,3 ± 0,00e	4,8 ± 0,06c	4,0 ± 0,00c	92,5 ± 0,10bc
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	13,1 ± 0,04e	0,3 ± 0,01d	4,4 ± 0,16d	4,1 ± 0,03bc	91,6 ± 0,10e
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	12,3 ± 0,08h	0,3 ± 0,01d	5,6 ± 0,06b	4,2 ± 0,07bc	92,0 ± 0,20de
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	13,6 ± 0,06c	0,4 ± 0,01b	4,1 ± 0,10e	4,2 ± 0,05b	95,6 ± 0,28a
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	13,2 ± 0,02e	0,3 ± 0,01de	5,5 ± 0,12b	4,2 ± 0,19b	92,6 ± 0,06b
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	14,3 ± 0,04b	0,4 ± 0,00a	5,5 ± 0,26b	4,2 ± 0,19bc	90,8 ± 0,20f

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^a kuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Molska vd. (2022), karabuğday tohumlarını dezenfekte ettikten sonra çimlendirmişler ve *Saccharomyces cerevisiae* var. *Boulardii* ile zenginleştirmişlerdir. Karabuğday tohumları, çimlendirilmiş kontrol karabuğday tohumu ve probiyotik maya ile zenginleştirilen çimlendirilmiş karabuğday tohumlarında toplam nişasta miktarını kuru madde üzerinden sırasıyla 57,21 g/100 g; 54,33 g/100 g ve 52,51 g/100g olarak bulmuşlardır.

Skrabanja vd. (2004), Slovenya’da yetiştirilmiş karabuğday tohumlarının (*Fagopyrum esculentum* Moench ‘Siva’) iki tip valsli değirmende tekrar tekrar öğütülmesi ve elenmesiyle 23 adet öğütme fraksiyonu elde etmişlerdir. Bunlar; 7 ince un, 3 kırma unu, 4 küçük irmik, 2 büyük irmik, 6 kepek ve 1 kavuz fraksiyonudur. Öğütme fraksiyonlarının kimyasal kompozisyonları arasında önemli farklılıklar bulmuşlardır. Protein miktarını ince unlarda, kırma unlarında ve kepek fraksiyonlarında kuru madde üzerinden sırasıyla %4,4-11,9; %6,4-7,5 ve %19,2-31,3 arasında bulmuşlardır. Nişasta miktarını ince unlarda, kırma unlarında ve kepekte sırasıyla %70,4-91,7; %83,0-86,4 ve %20,3-42,6 arasında tespit etmişlerdir. Ham yağ miktarını ince unlarda ve kırma unlarında kuru madde üzerinden sırasıyla %0,5-3,3 ve %1,4-1,8 arasında; kül miktarını ince unlarda ve kırma unlarında sırasıyla %0,6-2,7 ve %1,0-1,7 arasında tespit etmişlerdir.

Kasar vd. (2021), karabuğday tohumlarını Hindistan’ın Himalaya bölgesinde bulunan 4 farklı yerel pazardan temin etmişlerdir. Karabuğdayları 3 kırma ve 3 öğütme valsli bulunan valsli değirmende (MLU 202, Bühler, İsviçre) öğütmüşlerdir. Öğütülmüş fraksiyonları elek çapına göre beş fraksiyona ayırmışlardır. Dört farklı karabuğday örneğinin ince unlarında kül, yağ, protein ve nişasta miktarlarını sırasıyla %0,23-0,97; %1,84-2,09; %3,19-5,06 ve %73,19-76,32 arasında bulmuşlardır. Kabaca öğütülmüş unlarda kül, yağ, protein ve nişasta miktarlarını sırasıyla %0,93-1,36; %2,27-2,97; %7,51-10,09 ve %63,00-67,17 arasında tespit etmişlerdir. En yüksek (%20,03) ve en düşük (%3,19) protein miktarını sırasıyla kepek ve ince un fraksiyonlarında saptamışlardır. En yüksek (%76,32) ve en düşük (%11,02) nişasta miktarını ise sırasıyla ince un ve kavuz fraksiyonlarında bulmuşlardır.

4.2 Karabuğday Tane ve Öğütme Fraksiyonlarının Renk Özellikleri

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday tanelerinin renk özelliklerinden L^* parlaklık/koyuluk, a^* kırmızılık/yeşillik, b^* sarılık/mavilik, kroma/reng doygunluğu (C^*), hue açısı/reng tonu (h°), beyazlık indeksi (Bİ) değerleri **Tablo 4.4.**'te gösterilmiştir. Karabuğday tanelerinin L^* parlaklık/koyuluk değerleri, 39,13-43,92 arasında değişmiştir. Karabuğday taneleri arasında en yüksek (43,92) ve en düşük (39,13) L^* değerleri sırasıyla Aksaray ve Çorum lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda gözlenmiştir. Karabuğday tanelerinin a^* kırmızılık/yeşillik değerleri, 3,22-5,42 arasında değişmiştir. Karabuğday taneleri arasında en yüksek (5,42) ve en düşük (3,22) a^* değerleri sırasıyla Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* çeşidi kontrol karabuğday örneğinde ve Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinde bulunmuştur. Karabuğday tanelerinin b^* sarılık/mavilik değerleri, 7,54-11,59 arasında değişmiştir. Karabuğday taneleri arasında en yüksek (11,59) ve en düşük (7,54) b^* değerleri sırasıyla Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* kontrol karabuğday örneğinde ve Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinde tespit edilmiştir ($P<0,05$; **Tablo 4.4.**).

Karabuğday tanelerinin C^* kroma/reng doygunluğu değerleri, 8,20-12,85 arasında değişmiştir. Karabuğday taneleri arasında en yüksek (12,85) ve en düşük (8,20) C^* değerleri sırasıyla Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* çeşidinde ve Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinde tespit edilmiştir (**Tablo 4.4.**). Karabuğday tanelerinin hue açısı/reng tonu (h°) değerleri $57,58^\circ$ - $68,12^\circ$ arasında değişmiştir. Karabuğday taneleri arasında en yüksek ($68,12^\circ$) ve en düşük ($57,58^\circ$) h° değerleri sırasıyla Kastamonu ve Çorum lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda tespit edilmiştir. Karabuğday tanelerinin Bİ (beyazlık indeksi) değerleri 38,28-42,77 arasında değişmiştir. Karabuğday taneleri arasında hesaplanan en yüksek (42,77) ve en düşük (38,28) Bİ değerleri sırasıyla Aksaray ve Çorum lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda tespit edilmiştir ($P<0,05$).

Unal vd. (2017), iki farklı karabuğday çeşidinin fiziksel ve kimyasal karakteristikleri üzerine yaptıkları bir çalışmada, ticari karabuğday ve *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayların L^* değerlerini sırasıyla 42,41 ve 36,08; a^* değerlerini sırasıyla 11,45 ve 7,35; b^* değerlerini sırasıyla 21,10 ve 14,66 olarak bulmuşlardır.

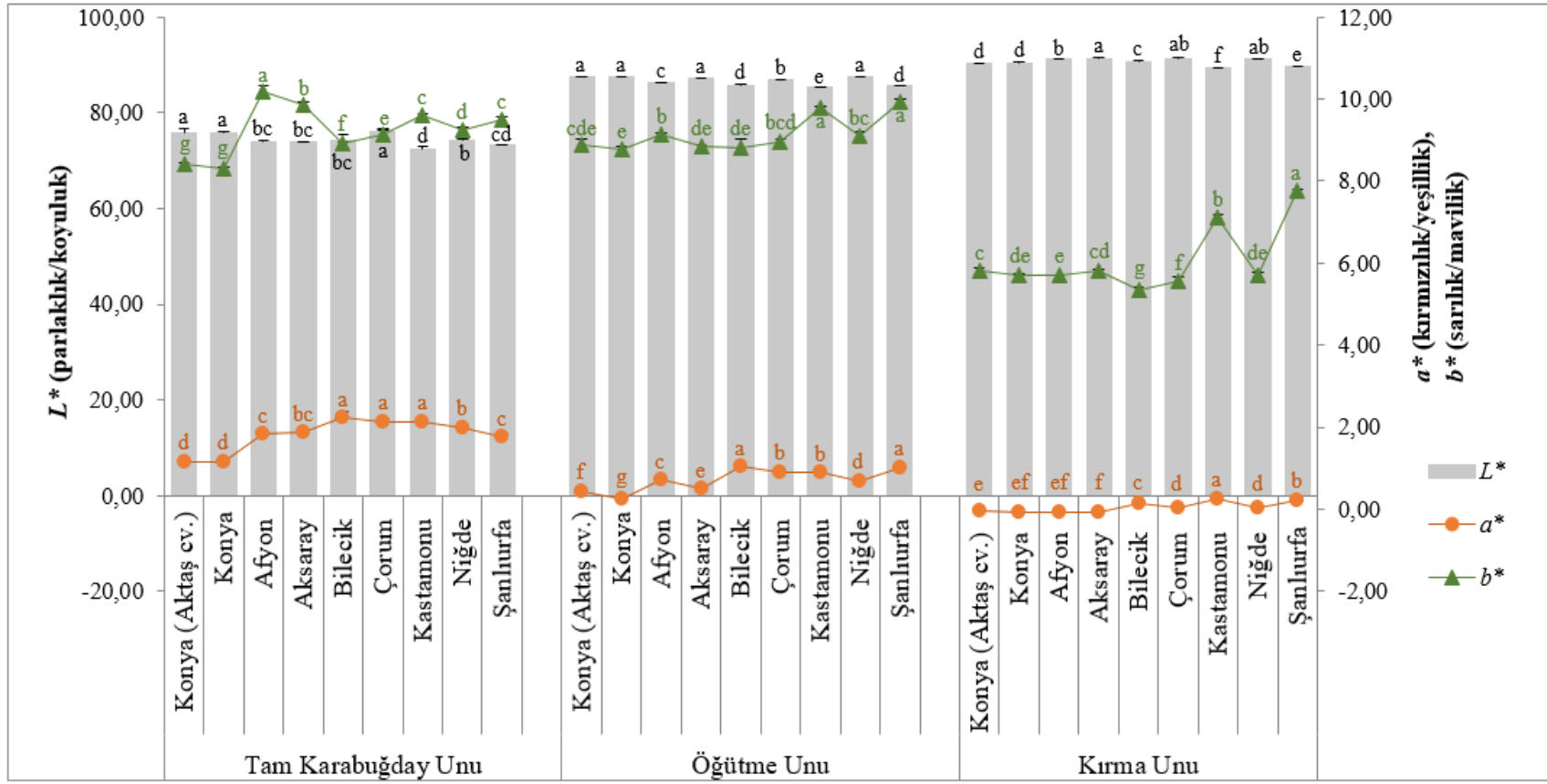
Tablo 4.4. Karabuğday tanelerinin renk özellikleri.

Yetiştirme Lokasyonu	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>C</i> *	<i>h</i> °	<i>Bi</i>
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	43,15 ± 0,614ab	5,42 ± 0,486a	11,59 ± 0,157a	12,85 ± 0,304a	64,63 ± 0,682bc	41,73 ± 0,631ab
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	39,76 ± 0,566de	3,22 ± 0,405e	7,54 ± 0,172g	8,20 ± 0,313f	64,91 ± 0,434b	39,20 ± 0,594de
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	42,49 ± 1,045b	4,37 ± 0,422c	9,79 ± 0,422cd	10,72 ± 0,490c	64,93 ± 0,225b	41,50 ± 1,002b
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	43,92 ± 0,640a	4,75 ± 0,165abc	10,37 ± 0,122bc	11,35 ± 0,150b	65,60 ± 0,554b	42,77 ± 0,614a
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	42,30 ± 0,681b	5,26 ± 0,341ab	10,63 ± 0,591b	11,86 ± 0,668b	63,71 ± 0,722cd	41,09 ± 0,573bc
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	39,13 ± 1,132e	5,22 ± 0,362ab	8,78 ± 0,405ef	10,22 ± 0,232cd	57,58 ± 0,154f	38,28 ± 1,080e
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	41,93 ± 0,770bc	3,64 ± 0,297de	8,50 ± 0,446f	9,25 ± 0,386e	68,12 ± 0,080a	41,20 ± 0,714bc
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	40,77 ± 0,844cd	4,59 ± 0,131bc	8,72 ± 0,229ef	9,86 ± 0,165de	61,54 ± 0,280e	39,96 ± 0,858cd
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	40,38 ± 0,240de	4,21 ± 0,695cd	9,27 ± 0,095de	10,23 ± 0,255cd	63,16 ± 1,182d	39,51 ± 0,273de

*Ortalama ± standart sapma; n=3; Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların tam karabuğday unu, valsli değirmen ürünleri öğütme unu ve kırma unlarının renk özellikleri L^* parlaklık/koyuluk, a^* kırmızılık/yeşillik ve b^* sarılık/mavilik değerleri **Şekil 4.1.**'de gösterilmiştir. Tam karabuğday unlarının L^* parlaklık/koyuluk değerleri, 72,37-76,15 arasında değişmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek (76,15) ve en düşük (72,37) L^* değerleri sırasıyla Çorum ve Kastamonu lokasyonlarında yetiştirilen karabuğday örneklerinde tespit edilmiştir. Tam karabuğday unlarının a^* kırmızılık/yeşillik değerleri, 1,14-2,23 arasında değişmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek (2,23) a^* değeri Bilecik lokasyonunda yetiştirilen karabuğday örneğinde gözlenmiştir. Tam karabuğday unları arasında en düşük (1,14) a^* değeri kontrol karabuğday (*Aktaş cv.*) ununda ve Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğday örneğinde birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Tam karabuğday unlarının b^* sarılık/mavilik değerleri, 8,32-10,19 arasında değişmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek (10,19) ve en düşük (8,32) b^* değerleri sırasıyla Afyon ve Çorum lokasyonlarında yetiştirilen karabuğday örneklerinden tespit edilmiştir ($P<0,05$; **Şekil 4.1. ve Ek B.1.**).

Karabuğdayların valsli değirmen öğütme unlarının L^* parlaklık/koyuluk değerleri, 85,22-87,51 arasında değişmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek (87,51) ve en düşük (85,22) L^* değerleri sırasıyla kontrol karabuğdayı (*Aktaş cv.*) öğütme ununda ve Kastamonu lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinin öğütme ununda tespit edilmiştir ($P<0,05$; **Şekil 4.1. ve Ek B.2.**). Öğütme unlarının a^* kırmızılık/yeşillik değerleri 0,26-1,04 arasında değişmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek (1,04) ve en düşük (0,26) a^* değerleri sırasıyla Bilecik ve Konya lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların unlarında bulunmuştur. Öğütme unlarının b^* sarılık/mavilik değerleri, 8,76-9,94 arasında değişmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek (9,94) ve en düşük (8,76) b^* değerleri sırasıyla Şanlıurfa ve Konya lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinin öğütme unlarında gözlenmiştir ($P<0,05$; **Şekil 4.1. ve Ek B.2.**).



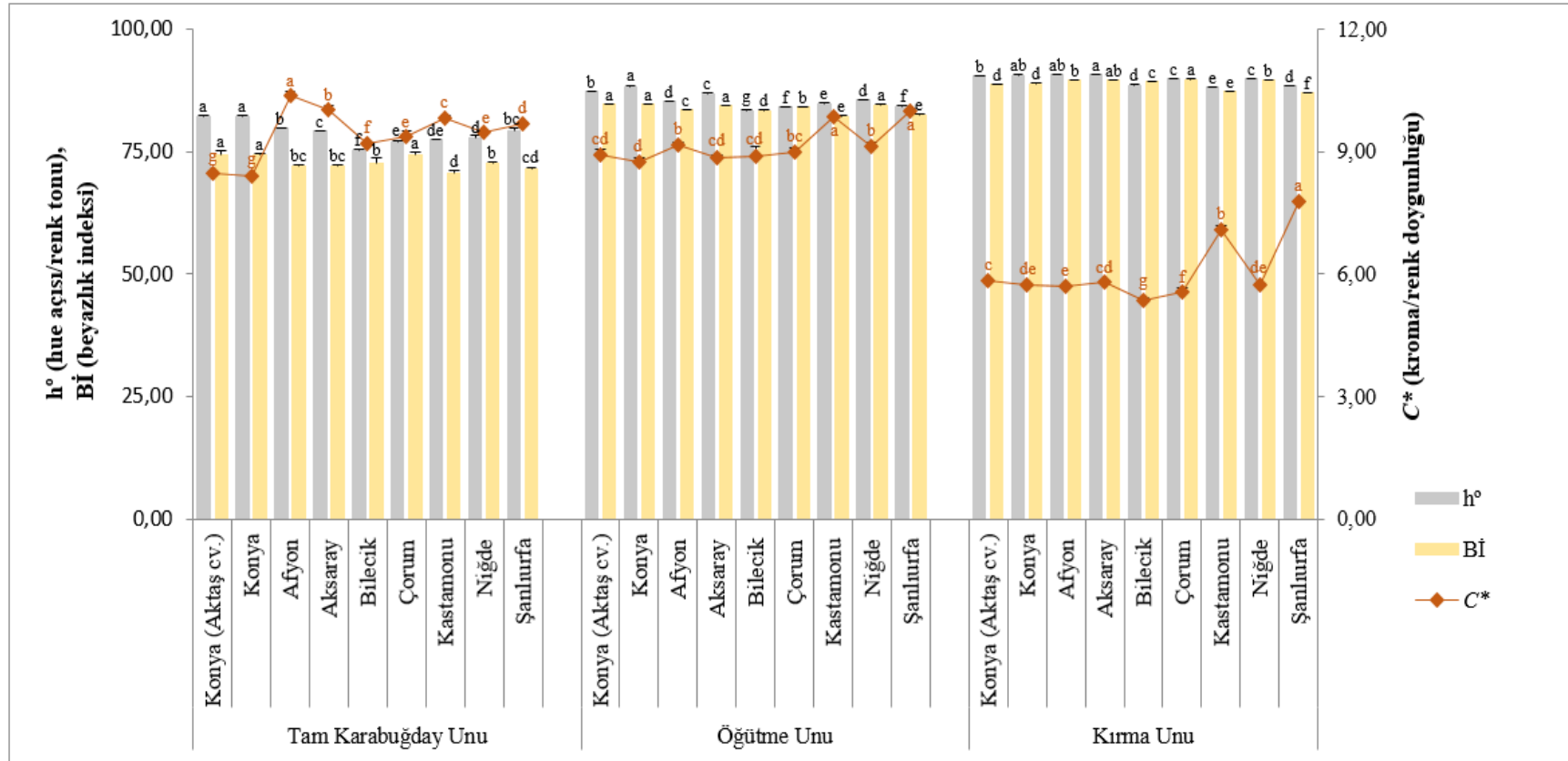
Şekil 4.1. Tam karabuğday unları, valsli değirmen ürünleri olan öğütme ve kıрма unlarının L^* , a^* , b^* renk özellikleri.

Karabuğdayların valsli değirmen kırma unlarının L^* parlaklık/koyuluk değerleri 89,43-91,36 arasında değişmiştir. Kırma unları arasında en yüksek (91,36) ve en düşük (89,43) L^* değerleri sırasıyla Aksaray ve Kastamonu lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların unlarında tespit edilmiştir (**Şekil 4.1.** ve **Ek B.3.**). Kırma unlarının a^* kırmızılık/yeşillik değerleri -0,08-0,24 arasında değişmiştir. Kırma unları arasında en yüksek (0,24) ve en düşük (-0,08) a^* değerleri sırasıyla Kastamonu ve Aksaray lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda bulunmuştur. Kırma unlarının b^* sarılık/mavilik değerleri, 5,35-7,78 arasında değişmiştir. Kırma unları arasında en yüksek (7,78) ve en düşük (5,35) b^* değerleri sırasıyla Şanlıurfa ve Bilecik lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların unlarında gözlenmiştir (**Şekil 4.1.** ve **Ek B.3.**).

Hung vd. (2007), Çin'den ithal edilen Mankan çeşidi karabuğday örneğini kademeli öğütme sistemi kullanarak 16 fraksiyona öğütmüşlerdir. Tanenin iç kısmından dış kısmına doğru fraksiyonları FS, F1, F2 ve F3 olarak gruplandırmışlardır. FS, F1, F2 ve F3 fraksiyonlarının L^* değerlerini sırasıyla 91,31-92,56; 90,79-92,17; 79,37-87,75 ve 75,36-80,34 arasında; aynı fraksiyonların a^* değerlerini sırasıyla (-0,94)-(-0,77); (-0,78)-(-0,87); (-1,31)-(-0,40) ve (-0,80)-(-0,63) arasında; aynı fraksiyonların b^* değerlerini sırasıyla 6,26-7,02; 6,66-6,88; 9,05-10,46 ve 11,87-13,35 arasında bulmuşlardır.

Kasar vd. (2021), karabuğday tohumlarını Hindistan'ın Himalaya bölgesinde bulunan 4 farklı yerel pazardan temin etmişlerdir. Karabuğdayların ince unlarının L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 81,87-82,82; (-1,14)-(-1,12) ve 5,24-5,51 aralıklarında tespit etmişlerdir.

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların tam karabuğday unu, valsli değirmen ürünleri öğütme unu ve kırma unlarının renk özelliklerinden kroma/renk doygunluğu (C^*), hue açısı/renk tonu (h°) ve beyazlık indeksi (Bİ) değerleri **Şekil 4.2.**'de gösterilmiştir. Tam karabuğday unlarının C^* değerleri, 8,40-10,36 arasında değişmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek (10,36) ve en düşük (8,40) C^* değerleri sırasıyla Afyon ve Konya lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların unlarında tespit edilmiştir. Tam karabuğday unlarının h° değerleri, 75,29-82,25 arasında değişmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek (82,25°) ve en düşük (75,29°) h° değerleri sırasıyla kontrol karabuğdayı (*Aktaş cv.*) ununda ve Bilecik lokasyonunda yetiştirilen Güneş cv. çeşidi ununda bulunmuştur ($P<0,05$; **Şekil 4.2.** ve **Ek B.1.**).



Şekil 4.2. Tam karabuğday unları, valsli değirmen ürünleri olan öğütme ve kırma unlarının C*, h°, Bİ renk özellikleri.

Tam karabuğday unları arasında Bİ değerleri 70,67-74,47 arasında değişmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek (74,47) ve en düşük (70,67) Bİ değerleri sırasıyla Konya ve Kastamonu lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın unlarında tespit edilmiştir ($P<0,05$; **Şekil 4.2.** ve **Ek B.1.**).

Karabuğdayların valsli değirmen ürünü olan öğütme unlarının C^* değerleri, 8,76-9,99 arasında değişmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek (9,99) ve en düşük (8,76) C^* değerleri sırasıyla Şanlıurfa ve Konya lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın unlarında gözlenmiştir. Öğütme unlarının h° değerleri 83,27°-88,28° arasında değişmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek (88,28°) ve en düşük (83,27°) h° değerleri sırasıyla Konya ve Bilecik lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın unlarında tespit edilmiştir. Öğütme unlarının Bİ (beyazlık indeksi) değerleri, 82,24-84,66 arasında değişmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek (84,66) ve en düşük (82,24) Bİ değerleri sırasıyla Konya ve Kastamonu lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın unlarında bulunmuştur ($P<0,05$; **Şekil 4.2.** ve **Ek B.2.**).

Karabuğdayların valsli değirmen ürünü olan kırma unlarının C^* değerleri, 5,35-7,78 arasında değişmiştir. Kırma unları arasında en yüksek (7,78) ve en düşük (5,35) C^* değerleri sırasıyla Şanlıurfa ve Bilecik lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların unlarında bulunmuştur. Kırma unlarının h° değerleri, 88,06°-90,82° arasında değişmiştir. Kırma unları arasında en yüksek (90,82°) ve en düşük (88,06°) h° değerleri sırasıyla Aksaray ve Kastaomonu lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların unlarında tespit edilmiştir. Kırma unlarının Bİ (beyazlık indeksi) değerleri, 87,01-89,71 arasında değişmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek (89,71) ve en düşük (87,01) Bİ değerleri sırasıyla Çorum ve Şanlıurfa lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların unlarında gözlenmiştir ($P<0,05$; **Şekil 4.2.** ve **Ek B.3.**).

4.3 Karabuğdayın Öğütme Ürünlerinin Anti-Besinsel Bileşik Miktarları

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unu, öğütme unu ve kırma unlarının anti-besinsel bileşik miktarları sırasıyla **Tablo 4.5.**, **Tablo 4.6.** ve **Tablo 4.7.**'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Tam karabuğday unlarının anti-besinsel bileşik miktarları.

Yetiştirme Lokasyonu	Fitik Asit ^{*a} (g/100 g)	Kondanse Tanen ^{*a} (mg kateşin eşd./g)	Toplam Saponin ^{*a} (mg diosgenin eşd./g)	Tripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (mg/g)	Kimotripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (KIU/g)
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	1,073 ± 0,007b	21,3 ± 0,04e	8,97± 0,085c	0,60 ± 0,000c	1,49 ± 0,006e
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	1,210 ± 0,005a	21,6 ± 0,03d	10,00 ± 0,115a	0,57 ± 0,000e	1,24 ± 0,001h
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	0,914 ± 0,000d	23,8 ± 0,07b	8,61 ± 0,135d	0,60 ± 0,002c	1,65 ± 0,003a
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	0,855 ± 0,005e	24,2 ± 0,05a	8,90 ± 0,043c	0,61 ± 0,001a	1,61 ± 0,001c
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	0,935 ± 0,002c	15,2 ± 0,01h	7,97 ± 0,081e	0,58 ± 0,001d	1,54 ± 0,003d
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	0,934 ± 0,005c	18,9 ± 0,09g	7,34 ± 0,057f	0,56 ± 0,001f	1,42 ± 0,003f
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	0,930 ± 0,006c	22,3 ± 0,03c	9,56 ± 0,118b	0,61 ± 0,001a	1,62 ± 0,003b
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	0,845 ± 0,006f	23,7 ± 0,07b	9,61 ± 0,015b	0,56 ± 0,000f	1,18 ± 0,002i
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	0,917 ± 0,007d	19,9 ± 0,04f	9,89 ± 0,120a	0,60 ± 0,000b	1,28 ± 0,002g

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^a kuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Tam karabuğday unu, öğütme unu ve kırma unlarının fitik asit miktarları sırasıyla 0,845-1,210; 1,188-1,727 ve 0,053-0,190 g/100 g arasında değişmiştir. Buna göre, en yüksek fitik asit değerleri öğütme unlarında gözlenmiştir, bunu tam karabuğday unları ve daha sonra en düşük değerlere sahip olan kırma unları izlemiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek (1,210 g/100 g) ve en düşük (0,845 g/100 g) fitik asit değerleri sırasıyla Konya ve Niğde lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdaylarda tespit edilmiş, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Öğütme unlarının fitik asit değerleri incelendiğinde, en yüksek (1,727 g/100 g) ve en düşük (1,188 g/100 g) fitik asit değerleri sırasıyla Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* çeşidi kontrol karabuğday örneğinde ve Şanlıurfa lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayda saptanmıştır ($P<0,05$). Kırma unlarının fitik asit değerlerine bakıldığında ise en yüksek (0,190 g/100 g) ve en düşük (0,053 g/100 g) fitik asit değerleri sırasıyla Konya ve Niğde lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdaylarda tespit edilmiştir. Diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Tablo 4.5.**, **Tablo 4.6.** ve **Tablo 4.7.**).

Mishra vd. (2019), yaptıkları bir çalışmada karabuğday tohumlarını Udaipur (Rajasthan, Hindistan) yerel pazarından temin etmişlerdir. Karabuğday tanesi, kavuzu ayrılmış karabuğday tanesi ve karabuğday kavuzunun kimyasal kompozisyonu ve anti-besinsel bileşiklerini inceledikleri çalışmalarında, tam karabuğday unu, kavuzu ayrılmış karabuğday ve karabuğday kavuzunda fitik asit miktarını sırasıyla %18,36; %6,23 ve %18,30 olarak bulmuşlardır.

Jambrec vd. (2016), Hemija Commerce'den (Novi Sad, Sırbistan) temin ettikleri karabuğday tohumunu taş değirmende öğüttükten sonra içerisinde çok küçük boyutta kavuz kalacak şekilde elemişler ve tam karabuğday ununun fitik asit miktarını 0,31 g/100 g k.m. olarak tespit etmişlerdir.

Tablo 4.6. Karabuğdayların valsli değirmen ürünü öğütme unlarının anti-besinsel bileşik miktarları.

Yetiştirme Lokasyonu	Fitik Asit ^{*a} (g/100 g)	Kondanse Tanen ^{*a} (mg kateşin eşd./g)	Toplam Saponin ^{*a} (mg diosgenin eşd./g)	Tripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (mg/g)	Kimotripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (KIU/g)
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	1,727 ± 0,001a	15,7 ± 0,03e	8,45 ± 0,055c	0,60 ± 0,001f	0,83 ± 0,001g
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	1,644 ± 0,006b	15,6 ± 0,04f	9,57 ± 0,096a	0,61 ± 0,001cd	0,81 ± 0,002h
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	1,389 ± 0,001d	16,3 ± 0,04d	7,14 ± 0,057e	0,61 ± 0,002d	1,25 ± 0,003a
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	1,252 ± 0,001g	14,9 ± 0,09g	8,52 ± 0,099c	0,61 ± 0,001b	1,15 ± 0,002b
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	1,335 ± 0,007e	18,7 ± 0,03a	9,33 ± 0,063b	0,62 ± 0,000a	0,95 ± 0,004d
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	1,295 ± 0,002f	17,1 ± 0,04c	7,19 ± 0,042e	0,59 ± 0,001g	0,83 ± 0,008g
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	1,549 ± 0,011c	18,4 ± 0,03b	9,28 ± 0,100b	0,59 ± 0,000h	0,89 ± 0,002e
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	1,243 ± 0,003h	13,6 ± 0,04h	9,54 ± 0,056a	0,61 ± 0,000e	0,84 ± 0,002f
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	1,188 ± 0,003i	11,7 ± 0,00i	8,00 ± 0,085d	0,61 ± 0,000c	1,00 ± 0,004c

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^a kuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unu, öğütme unu ve kırma unlarında kondanse tanen değerleri sırasıyla 15,2-24,2; 11,7-18,7 ve 0,03-0,85 mg kateşin eşd./g arasında değişmiştir. Kondanse tanen değerleri incelendiğinde en yüksek kondanse tanen değerleri tam karabuğday unlarında gözlenmiştir, bunu öğütme unları ve daha sonra en düşük değerlere sahip olan kırma unları izlemiştir (**Tablo 4.5.**, **Tablo 4.6.** ve **Tablo 4.7.**). Buna göre, tam karabuğday unları arasında en yüksek (24,2 mg kateşin eşd./g) ve en düşük (15,2 mg kateşin eşd./g) kondanse tanen miktarı sırasıyla Aksaray ve Bilecik lokasyonlarında yetiştirilen karabuğday örneklerinde gözlenmiş, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Valsli değirmende öğütülen karabuğdayların öğütme unu fraksiyonları incelendiğinde, en yüksek (18,7 mg kateşin eşd./g) ve en düşük (11,7 mg kateşin eşd./g) kondanse tanen değerleri sırasıyla Bilecik ve Şanlıurfa lokasyonlarında yetiştirilen karabuğday örneklerinde belirlenmiş, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Karabuğdayların valsli değirmen fraksiyonlarından kırma unlarına bakıldığında ise en yüksek (0,85 mg kateşin eşd./g) ve en düşük (0,03 mg kateşin eşd./g) kondanse tanen miktarı sırasıyla Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* kontrol karabuğday örneğinde ve Bilecik lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayda saptanmıştır ($P<0,05$). Bilecik (0,03 mg kateşin eşd./g) ve Şanlıurfa (0,04 mg kateşin eşd./g) lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylardan elde edilen kırma unlarının kondanse tanen miktarları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz ($P>0,05$) bulunmuştur. Aynı örneklerin diğer kırma unlarının kondanse tanen miktarları ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Tablo 4.5.**, **Tablo 4.6.** ve **Tablo 4.7.**).

Thanushree vd. (2022), temin ettikleri karabuğdayları (Mysore, Hindistan) valsli değirmende (MLU 202, Bühler, İsviçre) öğütmüşlerdir. Ayrıca, kavuzsuz karabuğdayları ise mini-laboratuvar değirmeninde öğütmüşlerdir. Unların partükül boyutunu 150 μ m olarak belirlemişlerdir. Kavuzu ayrılmış karabuğdayın unundan üretilen eriştenin (*noodle*) fitik asit ve tanen miktarını (sırasıyla %2,32 ve 0,61 mg kateşin eşd./g), valsli değirmen ürünü nişasta bakımından zengin ince undan üretilen erişteden (sırasıyla %0,67 ve 0,10 kateşin eşd./g) daha yüksek bulmuşlardır.

Tablo 4.7. Karabuğdayların valsli değirmen ürünü kırma unlarının anti-besinsel bileşik miktarları.

Yetiştirme Lokasyonu	Fitik Asit ^{*a} (g/100 g)	Kondanse Tanen ^{*a} (mg kateşin eşd./g)	Toplam Saponin ^{*a} (mg diosgenin eşd./g)	Tripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (mg/g)	Kimotripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (KIU/g)
Konya (Aktaş cv.)	0,161 ± 0,001b	0,85 ± 0,035a	2,00 ± 0,043b	0,48 ± 0,002c	1,76 ± 0,008c
Konya (Güneş cv.)	0,190 ± 0,005a	0,49 ± 0,035b	2,09 ± 0,058b	0,47 ± 0,003d	1,67 ± 0,005e
Afyon (Güneş cv.)	0,131 ± 0,000d	0,29 ± 0,000d	1,83 ± 0,114c	0,49 ± 0,003a	1,85 ± 0,005b
Aksaray (Güneş cv.)	0,140 ± 0,002c	0,13 ± 0,036e	1,78 ± 0,130cd	0,49 ± 0,000b	1,76 ± 0,008c
Bilecik (Güneş cv.)	0,076 ± 0,011f	0,03 ± 0,000f	0,91 ± 0,074f	0,41 ± 0,002f	1,49 ± 0,003g
Çorum (Güneş cv.)	0,133 ± 0,004cd	0,13 ± 0,035e	0,56 ± 0,058g	0,47 ± 0,001d	1,86 ± 0,009a
Kastamonu (Güneş cv.)	0,100 ± 0,005e	0,52 ± 0,036b	1,42 ± 0,033e	0,39 ± 0,002g	1,72 ± 0,004d
Niğde (Güneş cv.)	0,053 ± 0,006g	0,35 ± 0,000c	2,37 ± 0,086a	0,44 ± 0,001e	1,59 ± 0,005f
Şanlıurfa (Güneş cv.)	0,079 ± 0,003f	0,04 ± 0,000f	1,69 ± 0,060d	0,39 ± 0,000g	1,42 ± 0,003h

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^a kuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unu, öğütme unu ve kırma unlarında toplam saponin değerleri sırasıyla 7,34-10,00; 7,14-9,57 ve 0,56-2,37 mg diosgenin eşd./g arasında değişmiştir. Toplam saponin değerleri incelendiğinde en yüksek toplam saponin değerleri tam karabuğday unlarında gözlenmiştir, bunu öğütme unları ve daha sonra en düşük değerlere sahip olan kırma unları izlemiştir (**Tablo 4.5.**, **Tablo 4.6.** ve **Tablo 4.7.**). Buna göre, tam karabuğday unlarına bakıldığında en yüksek (10,00 mg diosgenin eşd./g) ve en düşük (7,34 mg diosgenin eşd./g) toplam saponin miktarları sırasıyla Konya ve Çorum lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayların tam unlarında saptanmış, aralarındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Bununla birlikte Konya ve Şanlıurfa (9,89 mg diosgenin eşd./g) lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayların tam unlarındaki toplam saponin miktarları benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Öğütme unları içerisinde en yüksek (9,57 mg diosgenin eşd./g) ve en düşük (7,14 mg diosgenin eşd./g) toplam saponin değerleri yine sırasıyla Konya ve Afyon lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayların öğütme unlarında saptanmıştır ($P<0,05$). Bununla birlikte Konya ve Niğde (9,54 mg diosgenin eşd./g) lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayların öğütme unlarındaki toplam saponin miktarları ile Afyon ve Çorum (7,19 mg diosgenin eşd./g) lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların öğütme unlarındaki toplam saponin miktarları benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Kırma unlarının toplam saponin değerleri incelendiğinde, en yüksek (2,37 mg diosgenin eşd./g) ve en düşük (0,56 mg diosgenin eşd./g) toplam saponin değerleri sırasıyla Niğde ve Çorum lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların kırma unlarında tespit edilmiştir. Diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Tablo 4.5.**, **Tablo 4.6.** ve **Tablo 4.7.**).

Aloo vd. (2021), Kore'den temin ettikleri karabuğdayın tam unlarında toplam saponin miktarını kuru madde üzerinden 80,8 mg soya saponin B eşd./100 g olarak tespit etmişlerdir. Çeşitli çalışmalarda, acı kinoa, tatlı kinoa ve amarant tohumlarının kuru madde üzerinden saponin miktarlarını sırasıyla 470,0-1633,3; 20,0-990,6 ve 0,1-0,5 mg/100 g olarak bulmuşlardır (Oleszek vd., 1999; Mroczek, 2015; Herrera vd., 2019).

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unu, öğütme unu ve kırma unlarının tripsin inhibitörü aktivitesi (TİA) değerleri

sırasıyla 0,56-0,61; 0,59-0,62 ve 0,39-0,49 mg/g arasında değişmiştir. TİA değerleri incelendiğinde en yüksek TİA değerleri birbirine benzer olmak kaydıyla tam karabuğday unları ve öğütme unlarında gözlenirken, en düşük TİA değerleri kırma unlarında saptanmıştır (**Tablo 4.5., Tablo 4.6. ve Tablo 4.7.**). Buna göre, tam karabuğday unları incelendiğinde, en yüksek (0,61 mg/g) TİA değerleri Aksaray ve Kastamonu lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda gözlenirken ($P>0,05$), en düşük (0,56 mg/g) TİA değerleri Çorum ve Niğde lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda gözlenmiştir ($P>0,05$). Her iki değer ile diğer örneklerin TİA değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Valsli değirmenden çıkan fraksiyonlardan olan öğütme unlarının TİA sonuçları incelendiğinde, en yüksek (0,62 mg/g) TİA değeri Bilecik lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın öğütme ununda gözlenmiştir ($P<0,05$). Diğer taraftan en düşük (0,59 mg/g) TİA değerleri Çorum ve Kastamonu lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların öğütme unlarında tespit edilmiş, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Valsli değirmen fraksiyonlarından kırma unlarının TİA değerleri incelendiğinde, en yüksek TİA değerleri (0,49 mg/g) Afyon ve Aksaray lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların kırma unlarında saptanmış, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Kırma unları içinde en düşük TİA değeri (0,39 mg/g) Kastamonu ve Şanlıurfa lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların kırma unlarında belirlenmiş, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Tablo 4.5., Tablo 4.6. ve Tablo 4.7.**).

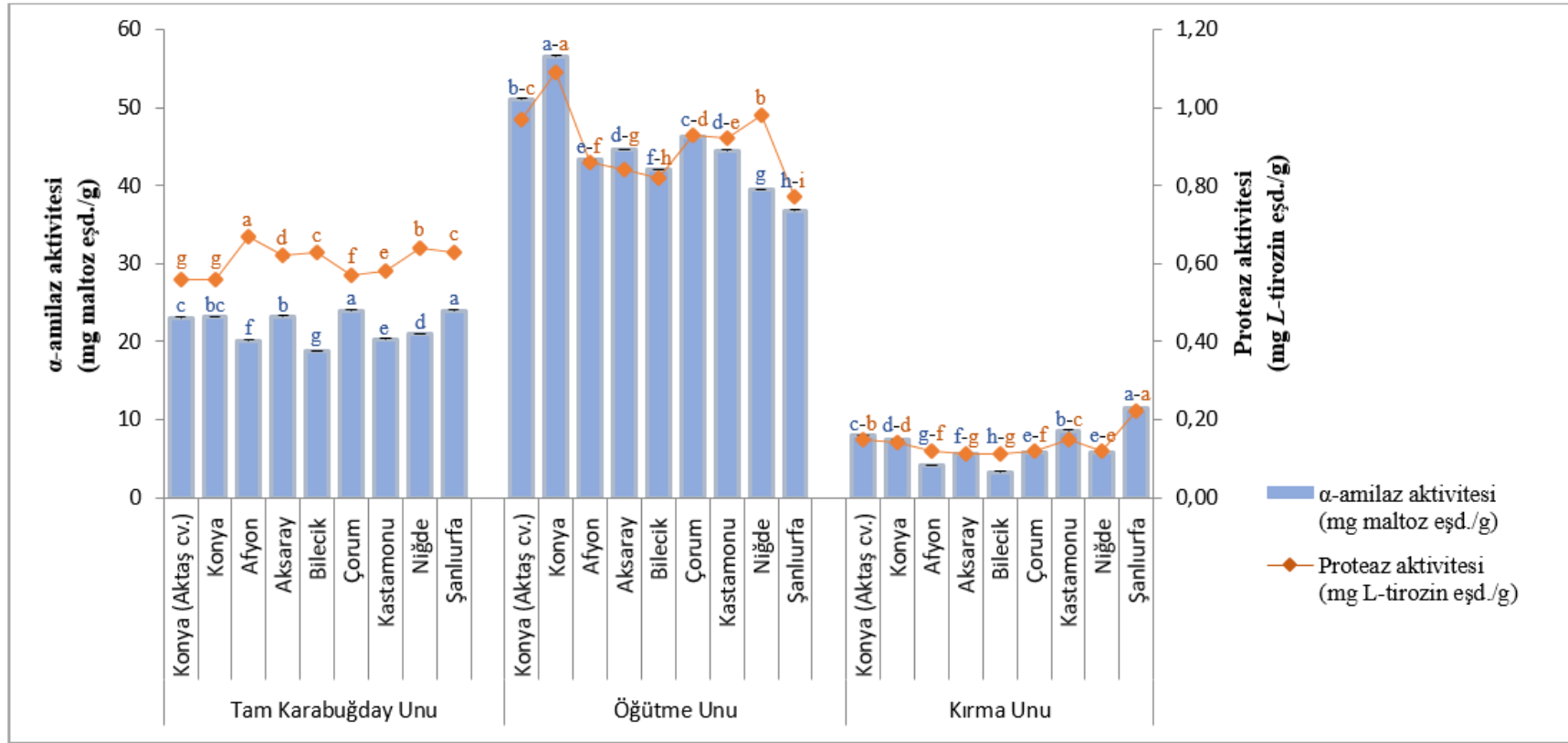
Deng vd. (2015), kontrol karabuğdayında, yüksek hidrostatik basınç uygulanan karabuğdayda, mikrodalga ile ısıtma ve kaynatma işlemi yapılan karabuğdayda tripsin inhibitörü miktarını 5,94; 5,19; 5,18 ve 2,23 g/100 g olarak tespit etmişlerdir.

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unu, öğütme unu ve kırma unlarının kimotripsin inhibitörü aktivitesi (KİA) sırasıyla 1,18-1,65; 0,81-1,25 ve 1,42-1,86 KİU/g arasında değişmiştir. KİA değerleri incelendiğinde en yüksek KİA değerleri kırma unlarında tespit edilmiştir, bunu tam karabuğday unlarındaki KİA değerleri izlemiş ve en düşük KİA değerleri öğütme unlarında bulunmuştur (**Tablo 4.5., Tablo 4.6. ve Tablo 4.7.**). Buna göre, tam karabuğday unları incelendiğinde, en yüksek KİA değeri

(1,65 KİU/g) Afyon lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın kırma ununda gözlenmiş, bunu Aksaray lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın kırma unundaki KİA değeri (1,62 KİU/g) takip etmiştir ($P>0,05$). En düşük KİA değeri (1,18 KİU/g) ise Niğde lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın tam ununda saptanmış olup Konya (1,24 KİU/g), Şanlıurfa (1,28 KİU/g) ve Çorum (1,42 KİU/g) lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların tam unlarında belirlenen KİA değerleri ile benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Öğütme unları incelendiğinde, en yüksek KİA değeri (1,25 KİU/g) Afyon lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın öğütme ununda saptanmış olup, bunu Aksaray lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın öğütme ununun KİA değeri (1,15 KİU/g) izlemiştir ($P>0,05$). En düşük KİA değeri (0,81 KİU/g) Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinin öğütme ununda tespit edilmiştir; Niğde (0,84 KİU/g) ve Çorum (0,83 KİU/g) lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylar ile Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* kontrol karabuğdayının öğütme ununun (0,83 KİU/g) KİA değerlerinin istatistiksel olarak birbirine benzer olduğu gözlenmiştir ($P>0,05$). Karabuğdayların valsli değirmen öğütme fraksiyonlarından kırma unlarının KİA sonuçları incelendiğinde, en yüksek KİA değeri (1,86 KİU/g) Çorum lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın kırma ununda tespit edilmiş olup, bunu Afyon (1,85 KİU/g) ve Aksaray (1,76 KİU/g) lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğdayının kırma unlarının KİA değerleri takip etmiştir ($P<0,05$). Konya lokasyonunda yetiştirilen kontrol karabuğdayının kırma unundaki KİU değeri (1,76 KİU/g) ile Aksaray lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın kırma unundaki KİA değeri birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Şanlıurfa lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın kırma ununun KİA değeri (1,42 KİU/g) en düşük değer olarak belirlenmiştir ($P<0,05$; **Tablo 4.5.**, **Tablo 4.6.** ve **Tablo 4.7.**).

Kostekli ve Karakaya (2017), buğday unu, çavdar unu karışımı ve tahıl unu karışımı unlarında TİA sırasıyla 5,13; 15,85 ve 26,92 TİA/mg protein olarak bulmuş, tam buğday ununda tespit edilememiştir. Buğday unu, çavdar unu karışımı, tahıl unu karışımı ve tam buğday unundaki KİA sırasıyla 4,19; 9,56; 2,49 ve 2,16 KİA/mg protein olarak tespit etmişlerdir.

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unları, öğütme unları ve kırma unlarının α -amilaz aktivitesi ve proteaz aktivitesi değerleri **Şekil 4.3.** ve **Ek B.4.**'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tam karabuğday unları, valsli değirmen ürünleri öğütme unları ve kırma unlarının α -amilaz aktivitesi ve proteaz aktivitesi değerleri.

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unu, öğütme unu ve kırma unlarında belirlenen α -amilaz aktivitesi (AA) değerleri sırasıyla 18,7-24,0; 36,8-56,5 ve 3,2-11,4 mg maltoz eşd./g arasında değişmiştir (**Şekil 4.3. ve Ek B.4.**). AA değerleri incelendiğinde en yüksek AA değerleri öğütme unlarında tespit edilmiştir, bunu tam karabuğday unlarındaki AA değerleri izlemiş ve en düşük AA değerleri kırma unlarında belirlenmiştir. Buna göre, tam karabuğday unları incelendiğinde, en yüksek AA değeri (24,0 mg maltoz eşd./g) Çorum ve Şanlıurfa lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların tam unlarında saptanmıştır, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$). Bununla birlikte en düşük AA değeri (18,7 mg maltoz eşd./g) Bilecik lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın tam ununda tespit edilmiştir ($P<0,05$). Karabuğdayların valsli değirmen fraksiyonlarından öğütme unları incelendiğinde, en yüksek (56,5 mg maltoz eşd./g) ve en düşük (36,8 mg maltoz eşd./g) AA değerleri sırasıyla Konya ve Şanlıurfa lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayların öğütme unlarında tespit edilmiştir, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Karabuğdayların valsli değirmen fraksiyonlarından kırma unlarının AA sonuçları incelendiğinde, en yüksek (11,4 mg maltoz eşd./g) ve en düşük (3,2 mg maltoz eşd./g) AA değerleri sırasıyla Şanlıurfa ve Bilecik lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların kırma unlarında belirlenmiştir, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Şekil 4.3. ve Ek B.4.**).

Gujjaiah ve Kumari (2013), kontrol ve ıslatılmış pirinç örneğinin α -amilaz aktivitesini, sırasıyla 10,0 ve 22,90 maltoz unit/g olarak tespit etmişlerdir.

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğday örneklerinin tam karabuğday unu, öğütme unu ve kırma unlarında belirlenen proteaz aktivitesi (PA) değerleri sırasıyla 0,56-0,67; 0,77-1,09 ve 0,11-0,22 mg *L*- tirozin eşd./g arasında değişmiştir (**Şekil 4.3. ve Ek B.4.**). PA değerleri incelendiğinde, en yüksek PA değerleri öğütme unlarında tespit edilmiştir, bunu tam karabuğday unlarındaki PA değerleri izlemiş, en düşük PA değerleri kırma unlarında bulunmuştur. Buna göre, tam karabuğday unları incelendiğinde, en yüksek PA değeri (0,67 mg *L*-tirozin eşd./g) Afyon lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın tam ununda saptanmış, diğer örnekler ile arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. ($P<0,05$). En düşük PA değeri (0,56 mg *L*-tirozin eşd./g) Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* ve *Aktaş cv.* çeşidi karabuğdayın tam unlarında tespit

edilmiş, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$). Karabuğdayların valsli değirmenden çıkan fraksiyonlarından öğütme unu örnekleri incelendiğinde, en yüksek (1,09 mg *L*- tirozin eşd./g) ve en düşük (0,77 mg *L*- tirozin eşd./g) PA değerleri sırasıyla Konya ve Şanlıurfa lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın öğütme unlarında tespit edilmiş olup diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Diğer valsli değirmen ürünü olan kırma unu örnekleri incelendiğinde, en yüksek PA değeri (0,22 mg *L*- tirozin eşd./g) Şanlıurfa lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayın kırma ununda tespit edilmiştir ($P<0,05$). En düşük PA değeri (0,11 mg *L*- tirozin eşd./g) ise Aksaray ve Bilecik lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların kırma unlarında saptanmış olup diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Şekil 4.3.** ve **Ek B.4.**).

Gujjaiah ve Kumari (2013), kontrol pirinç ve buğday örneklerinde ve ıslatılmış pirinç ve buğday örneklerinde proteaz aktivitesini kuru madde üzerinden sırasıyla 0,22 ve 0,50 proteaz unit/g ve 0,44 ve 1,00 proteaz unit/g olarak tespit etmişlerdir. Görüldüğü gibi ıslatılmış pirinç ve buğday örneklerinde proteaz aktivitesi belirli bir düzeyde artış göstermiştir.

Genellikle, tam karabuğday unlarının en yüksek fitik asit ve toplam saponin değerleri Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinde görülmüştür. En yüksek kondanse tanen miktarının Aksaray lokasyonunda ve en yüksek tripsin inhibitörü aktivitesinin yine Aksaray ve Kastamonu lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda görüldüğü; en yüksek kimotripsin inhibitörü aktivitesinin ise Afyon ve Kastamonu lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayların tam unlarında tespit edildiği görülmüştür (**Tablo 4.5.**). Öğütme unları incelendiğinde, en yüksek fitik asit miktarı Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* kontrol karabuğdayı çeşidi ile sağlandığı; en yüksek kondanse tanen ve tripsin inhibitörü aktivitesinin Bilecik lokasyonunda yetiştirilen karabuğdaydan sağlandığı; en yüksek toplam saponin ve kimotripsin inhibitör aktivitesinin sırasıyla Konya ve Afyon lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinin öğütme unlarında tespit edildiği görülmüştür (**Tablo 4.6.**). Kırma unlarında ise en yüksek fitik asit ve kondanse tanen miktarı Konya lokasyonunda yetiştirilen sırasıyla *Güneş cv.* ve *Aktaş cv.* karabuğdaylarında belirlendiği; en yüksek toplam saponin miktarının Niğde lokasyonunda yetiştirilen karabuğdaydan sağlandığı; en yüksek

tripsin inhibitörü aktivitesinin Afyon ve Aksaray lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda görüldüğü; en yüksek kimotripsin inhibitör aktivitesinin yine Çorum ve Afyon lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylardan sağlandığı tespit edilmiştir (**Tablo 4.7.**).

Genellikle, tam karabuğday unlarında en yüksek proteaz aktivitesi Afyon lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayda görüldüğü; en yüksek α -amilaz aktivitesinin Çorum ve Şanlıurfa lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdaylarda tespit edildiği görülmüştür. Öğütme unları incelendiğinde, en yüksek proteaz ve α -amilaz aktivitesi Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinde belirlenmiştir. Kırma unlarında ise en yüksek proteaz ve α -amilaz aktivitesi Şanlıurfa lokasyonunda yetiştirilen karabuğday örneğinde tespit edilmiştir (**Şekil 4.3.**).

4.4 Karabuğdayın Malta İşlenmesi ve Anti-Besinsel Bileşik Miktarlarındaki Değişimin İncelenmesi

Bu araştırmada, farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdaylar farklı öğütücüler kullanılarak tam karabuğday ununa, öğütme ununa ve kırma ununa öğütülmüş içerdikleri anti-besinsel bileşik düzeyleri detaylı olarak incelenmiş ve tüm lokasyonlar ve fraksiyonlar göz önüne alınarak Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinin anti-besinsel bileşik miktarı bakımından en yüksek lokasyon ve çeşit olduğu belirlenmiştir. Bu lokasyonda yetiştirilen karabuğday örneği iki farklı koşulda malta işlenmiş (**Fotoğraf 3.3.**) ve anti-besinsel bileşiklerinin uzaklaştırılması veya azaltılması hedeflenmiştir. Malta işleme ile ilgili koşullara baktığımızda önemli farklılıklar şöyle özetlenebilir:

- i. I. koşulda ıslatma 10 °C’de 12 saat yapılmıştır fakat II. koşulda ıslatmanın süresi 8 saate düşürülürken, ıslatma sıcaklığı 20 °C’ye yükseltilmiştir,
- ii. I. koşulda çimlendirme 15 °C’de 96 saat yapılmıştır fakat II. koşulda çimlendirmenin süresi 88 saate düşürülürken, çimlendirme sıcaklığı 20 °C’ye yükseltilmiştir,
- iii. I. koşulda kurutma iki aşamada yapılmıştır yani 45 °C’de 5 saat ve 50 °C’de 17 saat şeklinde uygulanırken, II. koşulda kurutma sadece 60 °C’de 22 saat uygulanarak yapılmıştır.

Tüm koşullarda maltlar iki tekerrürlü olarak hazırlanmış ve anti-besinsel bileşiklerin analizinde her bir tekerrürden ikişer paralel analiz yapılarak toplam dört tekrarlı analizler yürütölmüş ve sonuçlar her bir tekerrürün nem miktarı kullanarak kuru madde üzerinden verilmiştir. Araştırmada, Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın iki farklı koşulda malta işlenmesi sonucunda anti-besinsel bileşiklerindeki değişimler aynı örneğin tam karabuğday unu ile karşılaştırılarak **Tablo 4.8.**'de gösterilmiştir. Karabuğdayın malta işlenmesi ile α -amilaz ve proteaz aktivitesinde meydana gelen değişimler ise **şekil 4.4.** ve **Ek B.5.**'te gösterilmiştir.

Tam karabuğday ununun fitik asit miktarı 1,21 g/100 g'dan I ve II. koşullarda malta işlemeden sonra sırasıyla 0,98 ve 0,93 g/100 g'a azalmıştır. Tam karabuğday ununun kondanse tanen miktarı 21,6 mg kateşin eşd./g'dan I. ve II. koşullarda malta işlemeden sonra sırasıyla 14,1 ve 15,9 mg kateşin eşd./g'a azalmıştır. Tam karabuğday ununun toplam saponin miktarı 10,00 mg diosgenin eşd./g'dan, I. ve II. koşullarda malta işlemeden sonra sırasıyla 5,2 ve 6,1 mg diosgenin eşd./g'a azalmıştır. Karabuğdayın malta işlenmesi, tripsin ve kimotripsin inhibitor aktivitesinde de azalmaya sebep olmuştur. Buna göre, tam karabuğday unundaki tripsin inhibitor aktivitesi 0,57 mg/g'dan, I. ve II. koşullarda malta işleme ile sırasıyla 0,41 ve 0,23 mg/g'a azalmıştır. Tam karabuğday ununun kimotripsin inhibitörü aktivitesi (1,24 KİU/g) ise I. ve II. koşullarda malta işlemeden sonra sırasıyla 0,90 ve 0,80 KİU/g'a azaldığı görölmüştür. Herbir anti-besinsel bileşik için tüm örneklerde bulunan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Tablo 4.8.**).

Molska vd. (2022), karabuğday tohumu, normal çimlendirilmiş karabuğday tohumu ve probiyotik maya ile zenginleştirilen (*Saccharomyces cerevisiae var. Boulardii*) çimlendirilmiş karabuğday tohumunda kondanse tanen miktarını kuru madde üzerinden sırasıyla 2,44; 2,93 ve 5,52 mg/g olarak tespit etmişlerdir. Zhang vd. (2015) ise, en düşük kondanse tanen miktarını çimlendirme uygulanmayan karabuğdaylarda (2,77 mg kateşin eşd./g) bulurken, en yüksek kondanse tanen miktarını 72 saat çimlendirilmiş karabuğdaylarda (7,94 mg kateşin eşd./g) tespit etmişlerdir. Göröldüğü gibi bazı çalışmalarda, çimlendirme ile kondanse tanen miktarında, bu çalışmadan farklı olarak, artış tespit edildiği bildirilmiştir.

Tablo 4.8. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın iki farklı koşulda malta işlenmesi sonucunda anti-besinsel bileşiklerde meydana gelen değişimlerin aynı örneğin tam karabuğday unu ile karşılaştırılması.

Karabuğday Örneği	Fitik Asit ^{*a} (g/100 g)	Kondanse Tanen ^{*a} (mg kateşin eşd./g)	Toplam Saponin ^{*a} (mg diosgenin eşd./g)	Tripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (mg/g)	Kimotripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (KİU/g örnek)
Tam Karabuğday Unu	1,21 ± 0,005a	21,6 ± 0,03a	10,0 ± 0,11a	0,57 ± 0,000a	1,24 ± 0,001a
Karabuğday Malt Unu (M1)- I. Koşulda Üretim	0,98 ± 0,010b	14,1 ± 1,43c	5,2 ± 0,25c	0,41 ± 0,030b	0,90 ± 0,020b
Karabuğday Malt Unu (M2)- II. Koşulda Üretim	0,93 ± 0,014c	15,9 ± 0,93b	6,1 ± 0,84b	0,23 ± 0,064c	0,80 ± 0,081c

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^a kuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harfler ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Bhinder vd. (2021), kinoa malt ununun fenolik bileşimi, antioksidan özellikleri ve anti-besinsel bileşikleri üzerine çimlendirmenin etkisini çalışmışlardır. Beyaz ve siyah kinoa Amirsar (Hindistan) yerel pazarından temin etmişlerdir. Malt işlemi için örnekleri deiyonize suda 25 °C'de 4 saat boyunca ıslatmışlar ve örneklerin nem içeriğini %45-55'e yükseltmişlerdir. Örnekleri 24 °C'de, 24, 48, 72 ve 96 saat boyunca çimlendirmişler, malt elde etmek için örnekleri 50 °C'de 24 saat kurutmuşlardır. Daha sonra malt örneklerini öğüttükten sonra 250 µm çaplı elekten geçirmişlerdir. Beyaz kinoa kontrol örneğinin saponin miktarı (1,63 g/100 g), 24, 48, 72 ve 96 saat çimlendirme sonrasında sırasıyla 1,13; 1,18; 1,36 ve 0,93 g/100 g'a azalmıştır. Siyah kinoa kontrol örneğinin saponin miktarı (2,42 g/100 g), 24, 48, 72 ve 96 saat çimlendirme sonrasında sırasıyla 1,69; 1,76; 1,58 ve 1,01 g/100 g'a azalmıştır. Beyaz kinoa kontrol örneğinin tanen miktarını (3,41 mg/100 g), 24, 48, 72 ve 96 saat çimlendirme sonrasında sırasıyla 3,21; 3,47; 3,13 ve 2,35 mg/100 g olarak bulmuşlardır. Siyah kinoa kontrol örneğinin tanen miktarını (4,81 mg/100 g), 24, 48, 72 ve 96 saat çimlendirme sonrasında sırasıyla 4,53; 4,62; 4,87 ve 3,44 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Beyaz kinoa kontrol örneğinin fitik asit miktarı (375,27 mg/100 g), 24, 48, 72 ve 96 saat çimlendirme sonrasında sırasıyla 308,2; 253,8; 158,8 ve 153,53 mg/100 g'a azalmıştır. Siyah kinoa kontrol örneğinin fitik asit miktarı (445,73 mg/100 g), 24, 48, 72 ve 96 saat çimlendirme sonrasında sırasıyla 331,93; 250,4; 272,4 ve 161,93 mg/100 g'a azalmıştır.

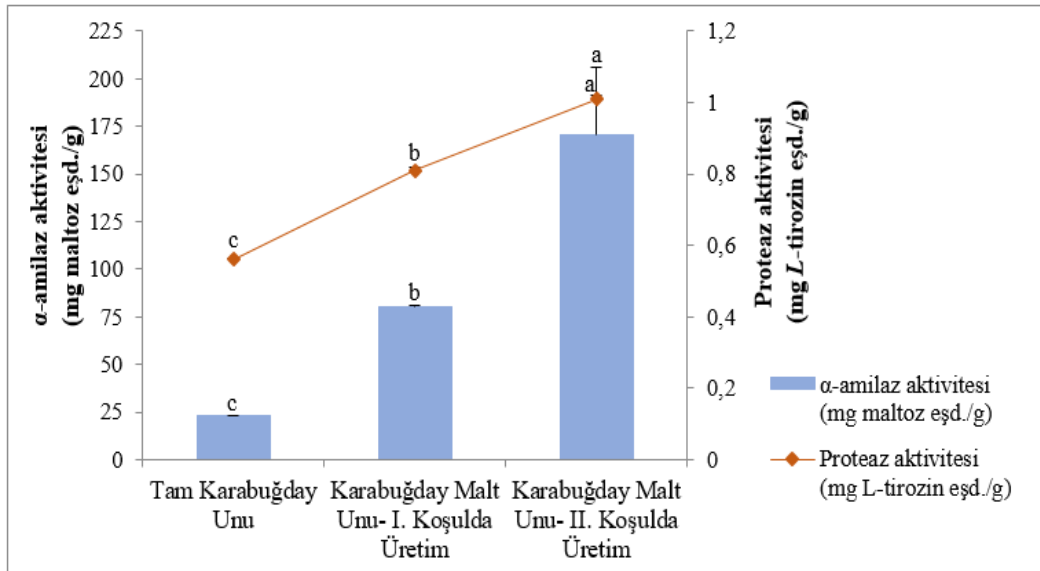
Olawoye ve Gbadamosi (2017), *Amaranthus viridis* tohumunun anti-besinsel bileşik miktarı üzerine çimlendirmenin etkisini çalışmışlardır. Örnekleri Ondo (Nijerya) yerel pazarından temin etmişlerdir. Örnekler 2 saat ıslatma işlemi uygulanmış sonrasında, 30 °C'de 72 saat boyunca çimlendirme işlemi uygulanmıştır. Çimlendirme işleminden sonra 60 °C'de 6 saat kurutmuşlar ve öğütmüşlerdir. Kontrol örneğinin tanen miktarı (3,459 mg/100 g), çimlendirme işleminden sonra 2,260 mg/100 g'a azalmıştır. Ayrıca, kontrol örneğinin saponin miktarı (4,962 mg/100 g), çimlendirme işleminden sonra 3,872 mg/100 g'a azaldığı bildirilmiştir.

Onyango vd. (2013), inci darı, kırmızı sorgum ve beyaz sorguma malt işlemi uygulanmasının anti-besinsel bileşik miktarı ve protein sindirilirliği üzerine etkisini çalışmışlardır. Malt işlemini, 25 °C'de 24 saat ıslatma ve 25 °C'de 72 saat çimlendirme şeklinde yapmışlardır. Örnekleri güneşte %13 nem içerecek şekilde

kurutmuşlar ve ardından öğütmüşlerdir. Fitik asit miktarı 3 günlük maltlama işleminden sonra %19-33 oranında azalmıştır. Maltlama işleminin 24 saat uygulanması protein sindirilirliğini artırmıştır. Protein sindirilirliğini inci darı ve kırmızı sorgumda sırasıyla %21,5'ten %34,5'e; %48'den %68,1'e yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Kostekli ve Karakaya (2017), buğday unu, çavdar unu karışımı ve tahıl unu karışımlarıyla elde edilen hamurların ve üretilen ekmeklerin tripsin inhibitörü aktivitesini kullanılan un sırasına göre 2,80 ve 28,76; 4,75 ve 46,02; 7,87 ve 28,53 TİA/mg protein olarak tespit etmişlerdir. Buğday unu, çavdar unu karışımı, tahıl unu karışımı ve tam buğday unu kullanılarak elde edilen hamurların ve üretilen ekmeklerin kimotripsin inhibitörü aktivitesini kullanılan un sırasına göre 2,77 ve 21,56; 2,02 ve 17,31; 1,30 ve 4,93; 2,18 ve 15,32 KİA/mg protein olarak bulmuşlardır.

Güneş cv. çeşidi karabuğdayın iki farklı koşulda malta işlenmesi ile α -amilaz ve proteaz aktivitesindeki değişimlerin aynı örneğin tam karabuğday unu ile karşılaştırılması **Şekil 4.4.** ve **Ek B.5.**'de gösterilmiştir. Tam karabuğday ununda belirlenen α -amilaz aktivitesi 23,1 mg maltoz eşd./g iken, I. ve II. koşullarda malta işlemeden sonra α -amilaz aktivitesi sırasıyla 80,2 mg maltoz eşd./g ve 170,2 mg maltoz eşd./g'a yükselmiştir ($P<0,05$; **Şekil 4.4.** ve **Ek B.5.**).



Şekil 4.4. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın iki farklı koşulda malta işlenmesi sonucunda α -amilaz ve proteaz aktivitesi değerlerinin aynı örneğin tam karabuğday unu ile karşılaştırılması.

Wijngaard ve Arendt (2006b), karabuğday maltında nem miktarını %5,7 ve α -amilaz aktivitesini 46,06 U/g olarak belirlemişlerdir. Phiarais vd. (2005), karabuğday ve karabuğday maltında α -amilaz aktivitesini sırasıyla 0,1 ve 19,9 U/g olarak bulmuşlardır. Gujjaiah ve Kumari (2013), kontrol pirinç örneğinde ve 2, 4, 6 ve 8 gün çimlendirilmiş pirinçlerde α -amilaz aktivitesini sırasıyla 10,0; 66,70; 44,20; 236,50 ve 17,30 mg maltoz unit/g olarak bulmuşlardır. Görüldüğü gibi literatürdeki bazı çalışmalarda da malta işlemeden sonra α -amilaz aktivitesinin arttığı bildirilmiştir, özellikle biracılık endüstrisinde kullanılan arpa maltında α -amilaz aktivitesinin arttığı belirtilmiştir (Wijngaard ve Arendt, 2006b). Bildiğimiz gibi α -amilaz enzimi nişasta granülündeki α -1,4 bağlarını rastgele hidroliz eden ve maltoz üniteleri oluşturan amilolitik bir enzimdir. Bu çalışmada, α -amilaz aktivitesi, hidroliz sırasında meydana gelen maltoz disakkaritinin miktarının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu araştırmada α -amilaz enzimi anti-besinsel bileşik olarak düşünülmüş ve karabuğdaydaki bu enzimin maltlama işlemi ile değişimi incelenmek istenmiştir. Sonuç olarak malta işlemenin α -amilaz aktivitesi üzerine olumsuz etkisinin olduğu, yani aktivitenin arttığı, tespit edilmiştir. Çünkü α -amilaz, nişastanın şekerlere dönüşümünü hızlandırmakta, bu da kan şekerinde aşırı yükselmeye sebep olmaktadır, dolayısıyla karabuğday maltunun gıdanın glisemik indeksi üzerine olumsuz etkisinin olacağı düşünülmektedir. Diğer yandan çalışmamızda karabuğday maltunu ekmeğe belli oranlarda katıldığında, α -amilaz aktivitesi ekmekteki mayanın kullanabileceği şeker miktarını artırması ve ekmeğin hacimsel olarak kabarmasına katkıda bulunacağından α -amilaz aktivitesindeki bu artış teknolojik açıdan olumlu olarak görülebilir.

Tam karabuğday ununda proteaz aktivitesi 0,56 mg *L*- tirozin eşd./g olarak belirlenmiştir. I. ve II. koşullardaki malta işleme yöntemleri uygunlandığında proteaz aktivitesinin sırasıyla 0,81 ve 1,01 mg *L*- tirozin eşd./g'a yükseldiği tespit edilmiştir, değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; Şekil 4.4. ve Ek B.5.).

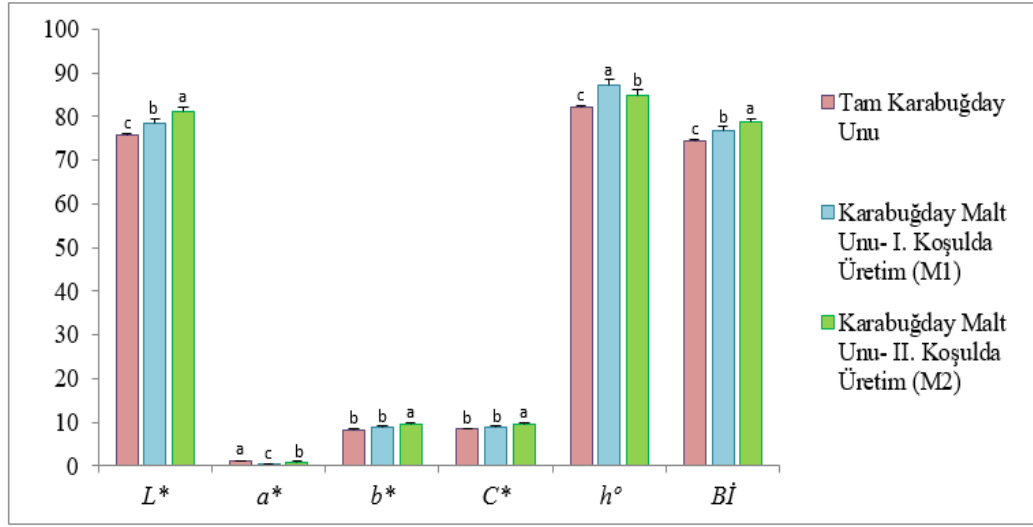
Phiarais vd. (2005), karabuğday tanesinde proteaz aktivitesini 3,7 mg lösin/g olarak bulmuşlar ve malt işleminden sonra 5,5 mg lösin/g'a yükseldiğini bildirmişlerdir. Gujjaiah ve Kumari (2013), kontrol buğday örneğinde ve 2, 4, 6 ve 8 gün çimlendirilmiş örneklerin proteaz aktivitesini sırasıyla 0,50; 1,80; 1,67; 1,39 ve 1,16 proteaz unit/g olarak tespit etmişlerdir. Proteazlar proteinleri peptit bağlarından hidroliz ederek serbest amino asitlerin meydana gelmesini sağlarlar.

Malta işleme ile proteaz aktivitesinin artması literatürdeki bazı çalışmalarda da belirtilmiştir, bunda en önemli etkenin çimlendirme aşamasının olduğu rapor edilmiştir. (Koshevaya vd., 2017; Ispiryan vd., 2021). Bu çalışmada, proteaz aktivitesi, karabuğday malt ununun gıdalarda kullanılması ile gıdadaki proteinlerin hidroliz edilerek serbest amino asitlere dönüşümünü hızlandırarak esansiyel amino asitlerden daha fazla yararlanılmasına katkıda bulunması bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca, karabuğday malt unu, ekmek gibi ürünlerde kullanıldığında, yüksek proteaz aktivitesi sayesinde, mayanın besin maddelerinden olan serbest amino asitlerden fermentasyon sırasında daha fazla yararlanmasını sağlayacaktır. Son olarak bu çalışmada, proteaz aktivitesini kontrol etmemizin sebebi proteaz inhibitörlerinin ortamdaki azalmasını kontrol etmemiz açısından önem taşımaktadır. Malta işleme ile görüldüğü üzere tripsin ve kimotripsin inhibitör aktivitesinde azalma saptanmıştır. Buna karşılık proteaz aktivitesinde de önemli bir artış meydana gelmiştir.

4.5 Karabuğday Maltı Unlarının Renk Özellikleri

Tam karabuğday unu ve farklı koşullarda üretilen malt unlarının (M1 ve M2) renk özelliklerinden L^* parlaklık/koyuluk, a^* kırmızılık/yeşillik, b^* sarılık/mavilik, C^* kroma/renk doygunluğu, hue açısı/renk tonu (h°), beyazlık indeksi (Bi) değerleri **Şekil 4.5.**'te ve **Ek B.6.**'da gösterilmiştir. Tam karabuğday unu, M1 ve M2 malt unlarının L^* parlaklık/koyuluk değerleri sırasıyla 75,89, 78,55 ve 81,03; a^* kırmızılık/yeşillik değerleri sırasıyla 1,14, 0,40 ve 0,86; b^* sarılık/mavilik değerleri sırasıyla 8,32, 8,70 ve 9,61 olarak bulunmuştur. Tam karabuğday unu, M1 ve M2 malt unlarının C^* kroma/renk doygunluğu değerleri sırasıyla 8,40, 8,72 ve 9,65; hue açısı/renk tonu (h°) değerleri sırasıyla 82,19°, 87,29° ve 84,90°; Bi değerleri sırasıyla 74,46, 76,83 ve 78,71 olarak tespit edilmiştir. Buna göre, M2 ununun L^* parlaklık değeri en yüksek olmakla birlikte, tüm L^* parlaklık değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Tam karabuğday ununun a^* kırmızılık değeri en yüksek olmakla birlikte, a^* kırmızılık değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). M2 ununun b^* sarılık değeri en yüksek olmakla birlikte ($P<0,05$), tam karabuğday unu ve M1 malt ununun değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($P>0,05$). Benzer bir durum aynı örneklerin C^* kroma/renk doygunluğu değerleri arasında da gözlenmiştir. M1 malt ununun hue

açısı/renk tonu (h°) en yüksek olmakla birlikte tüm değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). M2 malt ununun Bİ değeri en yüksek olmakla birlikte tüm değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$). Sonuç olarak, M2 malt ununun L^* parlaklık, b^* sarılık, C^* kroma/renk doygunluğu ve Bİ değerleri daha yüksek tespit edilmiştir (Şekil 4.5. ve Ek B.6.).



Şekil 4.5. Tam karabuğday unu ve farklı koşullarda üretilen malt unlarının (M1 ve M2) renk özellikleri.

4.6 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Kalite Özellikleri

4.6.1 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Nem ve Fiziksel Özellikleri

Kontrol (C1 ve C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin (Fotoğraf 3.6. ve Fotoğraf 3.7.) nem, ağırlık, hacim, spesifik hacim ve pişme kaybı değerleri **Tablo 4.9.**'da gösterilmiştir. **Tablo 4.9. – 4.11.** ve **Şekil 4.6. – 4.8.** arasındaki sonuçlarda, I. koşulda üretilen malt unlu glutensiz ekmekler M1, II. koşulda üretilen malt unlu glutensiz ekmekler M2 olarak ve bunların farklı oranlarda kullanılmasıyla üretilen glutensiz ekmekler sırasıyla M110, M125, M150 ve M210, M225, M250 olarak kodlanmıştır.

Tablo 4.9. Kontrol (C1, C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin nem ve fiziksel özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	Nem* (%)	Ağırlık* (g)	Hacim* (cm ³)	Spesifik Hacim* (cm ³ /g)	Pişme Kaybı* (%)
Karabuğday Malt Unu-1. Koşulda Üretim (M1)	C1	50,6 ± 1,20bc	170,76 ± 1,556bcd	114,70 ± 2,615b	0,67 ± 0,013ab	17,90 ± 0,748bcd
	M110	51,2 ± 0,40abc	173,05 ± 1,835ab	95,50 ± 8,872cd	0,55 ± 0,063c	17,99 ± 0,870bcd
	M125	50,7 ± 0,14bc	172,20 ± 2,755abc	91,18 ± 5,442d	0,53 ± 0,044c	17,61 ± 1,318cd
	M150	48,3 ± 0,95d	174,43 ± 1,520a	66,22 ± 6,795e	0,38 ± 0,046d	16,94 ± 0,724d
Karabuğday Malt Unu-2. Koşulda Üretim (M2)	C2	52,0 ± 0,45a	168,09 ± 1,492d	112,37 ± 9,631b	0,67 ± 0,060ab	19,96 ± 0,711a
	M210	52,0 ± 0,29a	171,03 ± 1,542bcd	122,69 ± 11,073a	0,72 ± 0,080a	18,83 ± 0,732abc
	M225	51,4 ± 0,20ab	172,10 ± 2,101abc	101,13 ± 3,757c	0,59 ± 0,029bc	18,05 ± 1,000bcd
	M250	50,2 ± 0,27c	169,67 ± 1,145cd	113,23 ± 1,627b	0,67 ± 0,012ab	19,20 ± 0,545ab

*Ortalama ± standart sapma; n=3. Aynı sütun içerisinde farklı harfler ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Glutensiz ekmeklerin nem değerleri, ekmekler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra dilimlenmiş ve konvansiyonel yöntem (etüv) ile belirlenmiştir. Glutensiz kontrol ekmekleri (C1 ve C2) farklı zamanlarda ve her iki grup için ayrı ayrıretilmiştir. Buna göre, her iki koşuldaretilen karabuğday malt unu ilaveli glutensiz ekmeklerin nem değerleri %48,3-52,0 arasında değişmiştir. En yüksek nem değeri (%52,0) C2 ve M210 kodlu glutensiz ekmeklerde gözlenirken ($P>0,05$), en düşük nem değeri (%48,3) M150 kodlu glutensiz ekmekte bulunmuştur ($P<0,05$). Her iki malt ununun glutensiz ekmeklerde katım oranı artıkça nem değerleri genellikle azalmıştır. Glutensiz ekmeklerin ağırlık değerleri 168,09-174,43 g arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük ağırlık değerleri sırasıyla M150 ve C2 glutensiz ekmeklerde belirlenmiştir ($P<0,05$). Glutensiz ekmeklerin hacim değerleri 66,22-122,69 cm³ arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük hacim değerleri sırasıyla M210 ve M150 kodlu glutensiz ekmeklerde tespit edilmiştir ($P<0,05$). Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) hacim değerleri (sırasıyla 114,70 ve 112,37 cm³) arasında istatistiksel olaraknemli bir fark gözlenmemiştir ($P>0,05$). I. koşuldaretilen malt unu (M1) katkılı glutensiz ekmeklerin hacim değerleri katım oranı artıkça kontrole göre azalmıştır ($P<0,05$; **Tablo 4.9.**). Glutensiz ekmeklerin spesifik hacim değerleri 0,38-0,72 cm³/g arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük spesifik hacim değerleri sırasıyla M210 ve M150 kodlu glutensiz ekmeklerde saptanmıştır ($P<0,05$). M1 malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin spesifik hacim değerleri katım oranı artıkça kontrole göre azalmıştır ($P<0,05$). Her iki kontrol ekmeğinin spesifik hacim değerleri birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Pişme kaybı değerleri %16,94-19,96 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük pişme kaybı değerleri sırasıyla C2 kontrol ve M150 kodlu glutensiz ekmeklerde gözlenmiştir ($P<0,05$). M1 malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin pişme kaybı değerleri katım oranı artıkça azalmıştır (**Tablo 4.9.**).

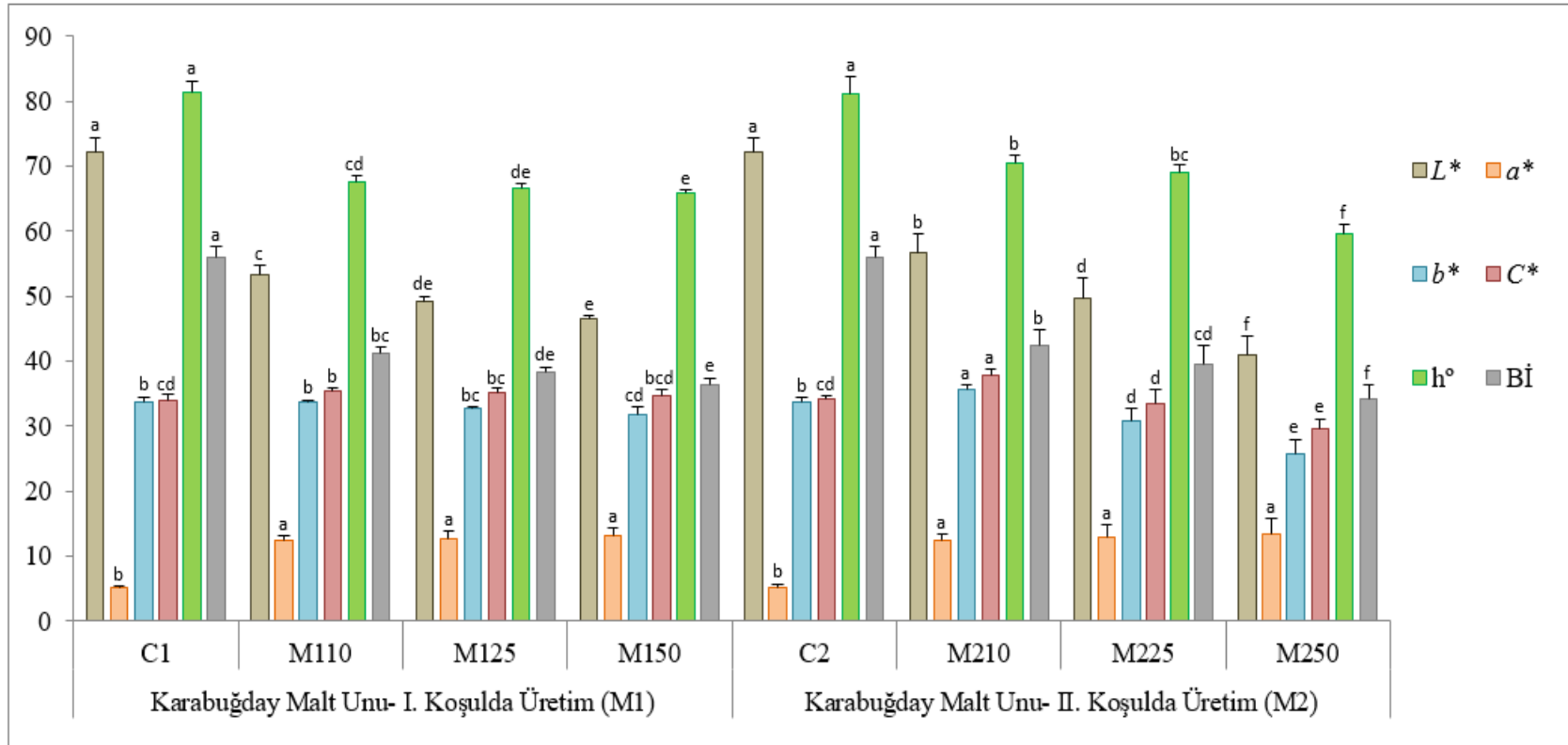
Wronkowska vd. (2013), karabuğday unu ile zenginleştirmenin glutensiz ekmeğin kalitesizerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalarında kontrol (mısır nişastası ve patates nişastası), %10, %20, %30 ve %40 karabuğday katkılı glutensiz ekmekler hazırlanmıştır. Glutensiz ekmeklerin nem miktarları sırasıyla %52,56; %52,13; %53,18; %52,19 ve %52,89 olarak bulunmuştur. Ayrıca, spesifik hacim değerleri sırasıyla 2,34; 2,97; 3,26; 3,28 ve 3,15 mL/g olarak tespit edilmiştir.

Alvarez-Jubete vd. (2010), kontrol (pirinç unu ve patates nişastası) ve amarant (pirinç unu ve amarant unu), kinoa (pirinç unu ve kinoa unu) ve karabuğday (pirinç unu ve karabuğday unu) katkılı glutensiz ekmekler üretmişlerdir. En yüksek (1,63 mL/g) ve en düşük (1,29 mL/g) spesifik hacim değerleri sırasıyla karabuğday ve kontrol ekmeğinde; en düşük (%9,0) ve en yüksek (%9,4) pişme kaybı değerleri sırasıyla karabuğday ve kontrol ekmeğinde bulunmuştur.

4.6.2 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Renk Özellikleri

Kontrol (C1 ve C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu (M1 veya M2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özelliklerinden L^* parlaklık/koyuluk, a^* kırmızılık/yeşillik, b^* sarılık/mavilik, C^* kroma/rengi doygunluğu, hue açısı/rengi tonu (h°) ve beyazlık indeksi (Bİ) değerleri **Şekil 4.6.** ve ayrıca **Ek B.7. ve B.8.’de** gösterilmiştir. Buna göre, glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özellikleri incelendiğinde, L^* parlaklık/koyuluk değerleri 40,95-72,28 arasında değişmiştir. Ekmek kabuğunda en yüksek ve en düşük L^* değerleri sırasıyla C1 kontrol ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerde tespit edilmiştir. Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) kabuk L^* değerleri (sırasıyla 72,28 ve 72,15) arasında önemli bir fark görülmemiştir ($P>0,05$). M1 veya M2 malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin kabuk L^* parlaklık değerleri katım oranı arttıkça kontrollerine göre azalış göstermiş, bu azalma M125 (49,11), M150 (46,61), M225 (49,60) ve M250 (40,95) kodlu glutensiz ekmeklerde daha fazla meydana gelmiştir. Glutensiz kontrol ekmeklerin kabuk L^* parlaklık değerleri malt unu katkılı glutensiz ekmeklerden daha yüksektir ($P<0,05$) yani daha parlaktır (**Şekil 4.6.** ve **Ek B.7.**).

Glutensiz ekmek kabuklarının a^* kırmızılık/yeşillik değerleri 5,01-13,47 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük a^* kabuk rengi değerleri M250 kodlu ve C1 kontrol glutensiz ekmeklerinde saptanmıştır. Glutensiz kontrol ekmek kabuklarının (C1 ve C2) a^* değerleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0,05$). Tüm karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmek kabuklarının a^* değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiş ($P>0,05$) fakat kontrol glutensiz ekmeklerin a^* kırmızılık değerlerinden yüksek ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$; **Şekil 4.6.** ve **Ek B.7.**).

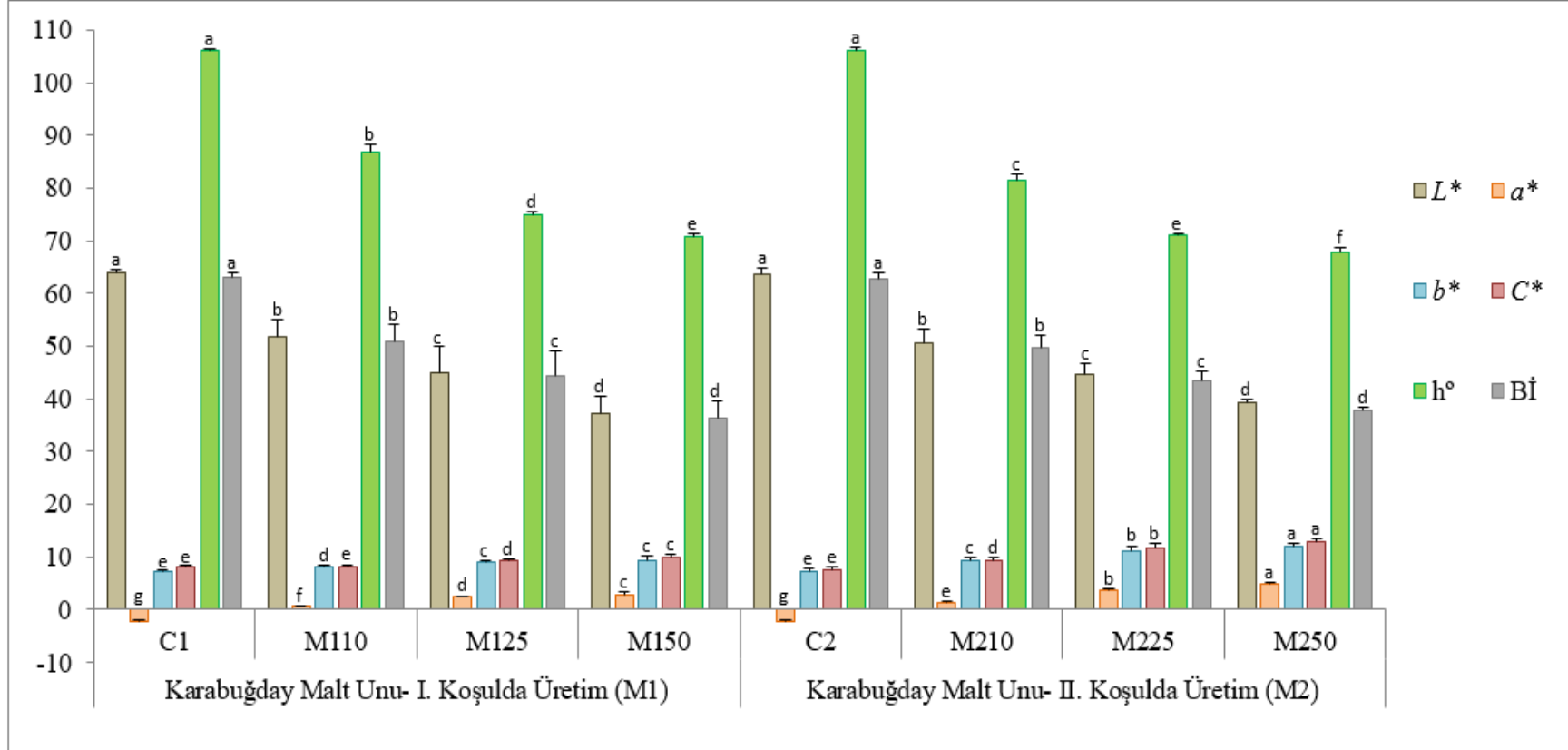


Şekil 4.6. Kontrol (C1, C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu (M1 veya M2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özellikleri.

Glutensiz ekmek kabuklarının b^* sarılık/mavilik değerleri 25,59-35,61 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük b^* kabuk değerleri sırasıyla M210 ve M250 glutensiz ekmeklerde gözlenmiştir ($P<0,05$). Kontrol glutensiz ekmek kabuklarının (C1 ve C2) b^* değerleri (sırasıyla 33,79 ve 33,77) arasında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir ($P>0,05$). Diğer yandan M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmek kabuklarının b^* değeri, kontrole göre katım oranı arttıkça azalmıştır, benzer bir durum sadece M150 kodlu glutensiz ekmek için de söylenebilir ($P<0,05$; **Şekil 4.6. ve Ek B.7.**).

Glutensiz ekmek kabuklarının C^* kroma/renk doygunluğu değerleri 29,65-37,82 arasında değişmiştir. Ekmek kabuklarının C^* değerleri incelendiğinde, en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla M210 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerde tespit edilmiştir. Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) ekmek kabuğu C^* değerleri (sırasıyla 33,96 ve 34,07) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). M2 malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin C^* değerleri katım oranı arttıkça azalmıştır ($P<0,05$). Glutensiz ekmek kabuklarının hue açısı/renk tonu (h°) değerleri 59,61°-81,37° arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük h° değerleri sırasıyla C1 kontrol ekmeğinde ve M250 glutensiz ekmeklerinde gözlenmiştir. Kontrol ekmeklerinin ekmek kabuğu h° değerleri (sırasıyla 81,37° ve 81,15°) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday malt unu katkılı ekmeklerin ekmek kabuğu h° değerleri kontrollerine göre katım oranı arttıkça azalmıştır ($P<0,05$). Glutensiz ekmek kabuklarının beyazlık indeksi (B_I) değerleri 34,16-55,99 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük B_I değerleri sırasıyla C1 kontrol ekmeğinde ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerinde gözlenmiştir. Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) B_I değerleri (sırasıyla 55,99 ve 55,92) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday malt unu katkılı ekmeklerin ekmek kabuğu B_I değerleri kontrollerine göre katım oranı arttıkça azalmıştır ($P<0,05$; **Şekil 4.6. ve Ek B.8.**).

Kontrol (C1 ve C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu (M1 veya M2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin ekmek içi renk özelliklerinden L^* parlaklık/koyuluk, a^* kırmızılık/yeşillik, b^* sarılık/mavilik, C^* kroma/renk doygunluğu, hue açısı/renk tonu (h°) ve beyazlık indeksi (B_I) değerleri **Şekil 4.7. ve ayrıca Ek B.7. ve B.8.'de** gösterilmiştir. Buna göre, ekmek içi L^* parlaklık/koyuluk değerleri 37,28-63,86 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük L^* parlaklık değerleri sırasıyla C1 kontrol ekmeğinde ve M150 kodlu glutensiz ekmekte tespit edilmiştir ($P<0,05$).



Şekil 4.7. Kontrol (C1, C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu (M1 veya M2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin ekmek içi renk özellikleri.

Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) ekmek içi L^* parlaklık değerleri (sırasıyla 63,86 ve 63,61) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$) ve karabuğday malt unu katkılı ekmeklerin ekmek içi L^* parlaklık değerlerinden yüksektir ($P<0,05$). Karabuğday malt unu katkılı ekmeklerin ekmek içi L^* parlaklık değerleri kontrollerine göre katım oranı arttıkça azalmıştır ($P<0,05$), diğer bir deyişle karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerde ekmek içi esmerlik/koyuluk katım oranı arttıkça daha fazla meydana gelmiştir. Glutensiz ekmeklerin ekmek içi a^* kırmızılık/yeşillik değerleri -2,17-4,77 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük ekmek içi a^* kırmızılık değerleri M250 kodlu glutensiz ekmekte ve C1 kontrol ekmeğinde gözlenmiştir ($P<0,05$). Kontrol glutensiz ekmeklerin (C1 ve C2) ekmek içi a^* kırmızılık değerleri (sırasıyla -2,17 ve -2,11) arasında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir ($P>0,05$). Karabuğday malt unu katkılı tüm ekmeklerde ekmek içi a^* kırmızılık değerlerinde katım oranı arttıkça kontrollerine göre önemli artış gözlenmiştir ($P<0,05$), bu artış M210, M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerinde (sırasıyla 1,48, 3,61, 4,77) daha fazla olmuştur. Diğer bir deyişle karabuğday malt unu katım oranı arttıkça glutensiz ekmeklerde ekmek içi esmerleşme/koyuluk daha fazla meydana gelmiştir. Karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi b^* sarılık/mavilik değerleri 7,16-11,91 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük ekmek içi b^* sarılık değerleri sırasıyla M250 kodlu glutensiz ekmekte ve C2 kontrol ekmeğinde tespit edilmiştir ($P<0,05$). Kontrol glutensiz ekmeklerin (C1 ve C2) ekmek içi b^* sarılık değerleri (sırasıyla 7,38 ve 7,16) arasında önemli bir farklılık gözlenmezken ($P>0,05$), bulunan değerler karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi b^* sarılık değerlerinden düşüktür ($P<0,05$). Karabuğday malt unu katkılı tüm ekmeklerde ekmek içi b^* sarılık değerlerinde katım oranı arttıkça kontrollerine göre önemli artış gözlenmiştir ($P<0,05$), bu artış M210, M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerde (sırasıyla 9,25, 11,23, 11,91) daha fazla olmuştur. Diğer bir deyişle karabuğday malt unu katım oranı arttıkça glutensiz ekmeklerde koyu sarı renk daha fazla meydana gelmiştir (**Şekil 4.7.** ve **Ek B.7.**).

Glutensiz ekmeklerin ekmek içi C^* kroma/renk doygunluğu değerleri 7,69-12,83 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük C^* değerleri sırasıyla M250 kodlu glutensiz ekmekte ve C2 kontrol ekmeğinde tespit edilmiştir. Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) ekmek içi C^* değerleri (sırasıyla 8,15 ve 7,69) birbirine

benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday malt unu katkılı ekmeklerin ekmek içi C^* değerleri kontrollerine göre katım oranı arttıkça artmıştır ($P<0,05$). Glutensiz ekmeklerin ekmek içi h^o renk tonu değerleri 67,85-106,29 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük h^o değerleri sırasıyla C2 kontrol ekmeğinde ve M250 kodlu glutensiz ekmekte bulunmuştur. Kontrol ekmeklerinin ekmek içi h^o değerleri (sırasıyla 106,03 ve 106,29) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday malt unu katkılı ekmeklerin ekmek içi h^o değerleri kontrole göre katım oranı arttıkça azalmıştır ($P<0,05$). Glutensiz ekmeklerin ekmek içi beyazlık indeksi (Bİ) değerleri 36,49-63,05 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük Bİ değerleri sırasıyla C1 kontrol ekmeğinde ve M150 kodlu glutensiz ekmekte bulunmuştur. Kontrol ekmeklerinin ekmek içi Bİ değerleri (sırasıyla 63,05 ve 62,84) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday malt unu katkılı ekmeklerin ekmek içi Bİ değerleri kontrollerine göre katım oranı arttıkça azalmıştır ($P<0,05$) ve her iki malt ununun katım oranlarına göre Bİ değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir. Örneğin, M150 (36,49) ve M250 (37,91) glutensiz ekmeklerin ekmek içi Bİ değerleri birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$; **Şekil 4.7. ve Ek B.8.**).

4.6.3 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Tekstür Özellikleri

Kontrol ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu (M1 veya M2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin tekstür özellikleri **Tablo 4.10.**'da gösterilmiştir. Buna göre sertlik değerleri incelendiğinde, glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) sertlik değerleri birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday malt unu ilaveli glutensiz ekmeklerin sertlik değerleri, M150 kodlu örnek ($P>0,05$) hariç, kontrol örneklerinden genellikle yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). M110, M125 ve M150 kodlu glutensiz ekmeklerde malt unu katım oranı arttıkça sertliğin azaldığı gözlenmiştir. M210, M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerde ise malt unu katım oranı arttıkça kontrollere göre artış tespit edilmiştir (**Tablo 4.10.**). Sertlik veya yumuşaklık, insanların tazelik algısı ile paralellik göstermesi sebebiyle fırıncılık ürünlerinin değerlendirilmesinde en dikkat çeken tekstürel özelliklerdendir.

Tablo 4.10. Kontrol (C1, C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu (M1 veya M2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin tekstür özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	Sertlik* (g)	Esneklik* (mm)	Bağlayıcılık*	Yapışkanlık* (g)	Çiğnenebilirlik* (g)	Elastikiyet/Direnç*
K. Malt Unu I. Koşulda Üretim (M1)	C1	907,6 ± 151,15cd	0,969 ± 0,004a	0,838 ± 0,025a	758,3 ± 106,65bc	734,6 ± 101,40abc	0,608 ± 0,024a
	M110	1348,3 ± 369,76ab	0,888 ± 0,011b	0,649 ± 0,015c	873,4 ± 229,89abc	776,1 ± 205,84ab	0,377 ± 0,012cd
	M125	1192,7 ± 161,35bc	0,816 ± 0,007d	0,591 ± 0,024de	705,5 ± 101,44cd	575,7 ± 82,72c	0,304 ± 0,016e
	M150	876,5 ± 201,54d	0,726 ± 0,044e	0,585 ± 0,043e	512,5 ± 122,13d	369,9 ± 74,10d	0,277 ± 0,025e
K. Malt Unu II. Koşulda Üretim (M2)	C2	932,7 ± 43,62cd	0,976 ± 0,009a	0,819 ± 0,015a	763,8 ± 49,69bc	745,9 ± 53,45abc	0,564 ± 0,030b
	M210	954,6 ± 86,05cd	0,882 ± 0,037b	0,706 ± 0,038b	676,3 ± 98,20cd	597,6 ± 102,59bc	0,413 ± 0,045c
	M225	1511,1 ± 119,26a	0,856 ± 0,006bc	0,656 ± 0,017c	992,0 ± 75,31a	849,4 ± 69,58a	0,359 ± 0,021d
	M250	1453,1 ± 106,90ab	0,839 ± 0,027cd	0,632 ± 0,003cd	918,3 ± 63,25ab	771,3 ± 77,24ab	0,313 ± 0,001e

*Ortalama ± standart sapma; n=3. Aynı sütun içerisinde farklı harfler ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Malt unu katım oranının artışı ile sertlikte azalmanın sebebi olarak proteolitik ve amilolitik enzimlerin sırasıyla protein ve nişasta moleküllerinde hidrolize sebep olması ve ekmek içi retrogradasyonun geciktirilmesi ile açıklanmıştır. Ayrıca, sertlikte gözlenen artışın ekmek içi nem kaybı veya nişastanın retrogradasyonu ile bağlantılı olduğu bildirilmiştir.

Glutensiz kontrol ekmeklerinin esneklik değerleri birbirine benzer ($P>0,05$) ve karabuğday malt unu katılı ekmeklerin esneklik değerlerinden yüksek bulunmuştur ($P<0,05$). Her iki koşulda üretilen karabuğday malt unlarının glutensiz ekmeklere katım oranı arttıkça, kontrollerine göre esneklik değerlerinde azalma tespit edilmiştir ($P<0,05$). Karabuğday maltı unlu glutensiz ekmekler kontrollere göre daha süngerimsi ve ufalanmayan bir yapıya sahip olmasına rağmen esneklik değerleri daha düşük bulunmuştur. Bağlayıcılık değerleri incelendiğinde, C1 ve C2 kontrol glutensiz ekmeklerinde (sırasıyla 0,838 ve 0,819) bulunan değerlerin birbirine benzediği ($P>0,05$) ve karabuğday malt unu katılı ekmeklerin bağlayıcılık değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). Her iki koşulda üretilen karabuğday maltı unlarının katım oranı arttıkça, kontrollere göre bağlayıcılık değerlerinde belirgin bir azalma saptanmıştır ($P<0,05$). Bu durumun glutensiz ekmeklerin nem içeriğindeki azalma ve malt unlarındaki proteolitik ve amilolitik aktivitenin artışı, diğer bir deyişle sırasıyla protein ve nişasta moleküllerinin hidrolizi ile açıklanabileceği düşünülmektedir. Glutensiz kontrol ekmeklerinin yapışkanlık değerleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0,05$). M110, M125 ve M150 kodlu glutensiz ekmeklerin yapışkanlık değerleri katım oranının artması ile azalmıştır, özellikle M150 kodlu ekmeğin yapışkanlık değeri ile kontrol ekmeklerinin yapışkanlık değerleri arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Aynı M150 kodlu glutensiz ekmeğin yapışkanlık değeri, M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerin yapışkanlık değerinden önemli düzeyde düşük bulunmuştur ($P<0,05$; **Tablo 4.10.**).

Kontrol glutensiz ekmeklerin (C1 ve C2) çiğnenebilirlik değerleri (sırasıyla 734,6 ve 745,9) arasında önemli bir fark gözlenmemiştir ($P>0,05$). Çalışmada, M110, M125 ve M150 kodlu glutensiz ekmeklerin çiğnenebilirlik değerleri, katım oranı arttıkça azalmış, özellikle M150 kodlu ekmeğin çiğnenebilirlik değeri kontrollere (C1) göre önemli düzeyde azalma göstermiştir ($P<0,05$). Bununla birlikte M210, M225 ve M250 glutensiz ekmeklerin

çığnenebilirlik değerleri katım oranı arttıkça artmış fakat bu artış kontrol ekmeklerine göre önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). Elastikiyet/direnç değerleri incelendiğinde, C1 kontrol ekmeğinin elastikiyet/direnç değeri C2 kontrol ekmeğinden yüksek bulunmuştur ($P<0,05$), bu durumun kontrol ekmeklerinin farklı zamanlarda üretilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte glutensiz kontrol ekmeklerinin elastikiyet/direnç değerleri, karabuğday malt unu katkılı ekmeklerin elastikiyet/direnç değerlerinden daha yüksektir ve aralarındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Her iki koşulda üretilen karabuğday malt unlarının, glutensiz ekmeklere katım oranı arttıkça, kontrollere göre elastikiyet/direnç değerlerinde belirgin bir azalma saptanmıştır ($P<0,05$; **Tablo 4.10.**). Bu azalmanın malt kaynaklı proteolitik ve amilolitik enzim aktivitesindeki artıştan kaynaklandığı ve bu aktivitelerin ekmek hamurunda protein ve nişasta ağını zayıflattığı düşünülmektedir.

4.6.4 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Bazı Besinsel Özellikleri

Kontrol ve karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmekler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra dilimler halinde kurutulmuş ve daha sonra kahve değirmeninde öğütülerek nem tayinleri yapılmıştır. Glutensiz ekmeklerde yapılan tüm analiz sonuçları kuru madde miktarı üzerinden hesaplanmış ve **Tablo 4.11.**'de gösterilmiştir. Buna göre, kontrol ve karabuğday malt unu (M1 veya M2) katkılı glutensiz ekmeklerin nem değerleri %7,6-9,2 arasında değişmiştir. Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) nem değerleri sırasıyla %9,2 ve %8,1 olarak bulunmuştur ($P<0,05$), bu farklılığın farklı zamanlarda üretilmiş olmalarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin nem değerleri %7,6-8,6 arasında değişmiştir ve her iki grubun nem değerleri arasındaki fark katım oranları dikkate alındığında önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Bununla birlikte, M2 malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin nem değerleri, M1 malt unu katkılı glutensiz ekmeklerden daha düşüktür. Öğütülmüş tüm glutensiz ekmeklerin nem değerlerinin %10'un altında olması +4 °C'de depolama bakımından güvenli bulunmuştur (**Tablo 4.11.**).

Kontrol ve karabuğday malt unu (M1 veya M2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin toplam flavonoid madde (TFVN) miktarı (mg rutin eşd./g) **Tablo 4.11.**'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11. Kontrol (C1, C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu (M1 veya M2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin nem ve bazı besinsel özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	Nem* (%)	Toplam Flavonoid* ^a (mg rutin eşd./g)	Protein* ^a (%)	Protein Sindirilirliği* ^a (%)	Nişasta Sindirilirliği* ^a (mg maltoz/g)
	C1	9,2 ± 0,04a	2,12 ± 0,053f	5,5 ± 0,06g	33,8 ± 0,42g	322,1 ± 2,30a
K. Malt Unu I. Koşulda Üretim (M1)	M110	8,6 ± 0,00b	3,60 ± 0,010e	6,6 ± 0,10f	36,2 ± 0,12d	177,1 ± 3,98b
	M125	8,4 ± 0,04c	4,17 ± 0,066d	7,7 ± 0,06d	36,9 ± 0,13c	145,8 ± 2,70d
	M150	8,3 ± 0,07c	8,69 ± 0,017b	9,6 ± 0,15b	38,4 ± 0,16b	92,5 ± 4,84f
	C2	8,1 ± 0,09d	2,07 ± 0,072f	5,5 ± 0,10g	33,6 ± 0,12g	317,5 ± 2,07a
K. Malt Unu II. Koşulda Üretim (M2)	M210	7,7 ± 0,11e	3,58 ± 0,045e	6,8 ± 0,05e	34,3 ± 0,18f	168,9 ± 1,13c
	M225	7,6 ± 0,13e	4,31 ± 0,079c	8,4 ± 0,06c	35,4 ± 0,34e	147,8 ± 3,22d
	M250	7,6 ± 0,17e	9,20 ± 0,027a	10,5 ± 0,06a	38,9 ± 0,46a	123,7 ± 2,47e

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^a kuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harfler ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Buna göre, kontrol ve karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin TFVN miktarı 2,07-9,20 mg rutin eşd./g arasında değişmiştir. Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) TFVN miktarları (sırasıyla 2,12 ve 2,07 mg rutin eşd./g) birbirine benzer olmakla birlikte ($P>0,05$), karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin TFVN miktarlarından daha düşüktür ve aralarındaki fark önemlidir ($P<0,05$). Her iki koşulda üretilen karabuğday malt unlarının glutensiz ekmeklerdeki katım oranı artırıldıkça, TFVN miktarları kontrol örneklerine göre önemli düzeyde artmıştır ($P<0,05$). Çalışmada, M110 ve M210 kodlu glutensiz ekmeklerin TFVN miktarları (3,60 ve 3,58 mg rutin eşd./g) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Bununla birlikte, M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerin TFVN miktarları (sırasıyla 4,31 ve 9,20 mg rutin eşd./g), M125 ve M150 kodlu glutensiz ekmeklerin TFVN miktarlarından (sırasıyla 4,17 ve 8,69 mg rutin eşd./g) daha yüksektir ve aralarındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Bu çalışmada görüldüğü gibi karabuğday malt ununun glutensiz ekmeklere katım oranı artırıldıkça toplam flavonoid miktarı önemli düzeyde artmıştır (**Tablo 4.11.**).

Aloo vd. (2021), tam karabuğday ununda toplam flavonoid miktarını kuru madde üzerinden 220,7 mg kateşin eşd./100 g olarak bulmuşlardır. Zhang vd. (2015), karabuğdayın çimlendirilmesi ile ilgili yaptıkları çalışmada, en düşük toplam flavonoid miktarını çimlendirme uygulanmayan karabuğdayda 4,17 mg rutin eşd./g olarak bulurken, en yüksek toplam flavonoid miktarını ise 72 saat çimlendirilen karabuğdayda 11,69 mg rutin eşd./g olarak bulmuşlardır.

Costantini vd. (2014), flavonoidler ve omega-3 yağ asitleri bakımından zengin Tatar karabuğdayı ve çia tohumu unlarını kullanarak çeşitli glutensiz ekmekler üretmişlerdir. Buna göre, toplam flavonoid madde miktarını yaygın karabuğday ekmeğinde, yaygın karabuğday ve çia tohumu unlarından üretilen ekmekte, Tatar karabuğdayı ekmeğinde, Tatar karabuğdayı ve çia tohumu unlarından üretilen ekmekte sırasıyla 0,60 mg rutin eşd./g, 0,60 mg rutin eşd./g, 16,8 mg rutin eşd./g ve 16,1 mg rutin eşd./g olarak bulmuşlardır.

Thanushree vd. (2022), kavuzsuz-kepeksiz karabuğday unundan üretilen eriştelerin (*noodle*) toplam flavonoid madde miktarını (22,49 µg kuersetin eşd./g), kavuzsuz karabuğday unundan üretilen erişteden (42,23 µg kuersetin eşd./g) daha düşük bulmuşlardır.

Kontrol ve karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin protein değerleri kuru madde üzerinden %5,5-10,5 arasında değişmiştir (**Tablo 4.11.**). Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) protein miktarı kuru madde üzerinden %5,5 olarak bulunmuştur ($P>0,05$). Her iki koşulda üretilen karabuğday maltı unlarının (M1 veya M2) glutensiz ekmeklere katım oranı arttıkça kontrol örneklerine göre protein miktarlarında önemli düzeyde artış gözlenmiştir ($P<0,05$). Bu artış M210 (%6,8), M225 (%8,4) ve M250 (%10,5) kodlu glutensiz ekmeklerde M110 (%6,6), M125 (%7,7) ve M150 (%9,6) kodlu glutensiz ekmeklerden daha fazla olmuştur ($P<0,05$). Görüldüğü üzere karabuğday malt unu glutensiz ekmeklerin protein miktarını yükselterek besinsel özelliklerinin artırılmasına önemli katkıda bulunmuştur.

Kontrol ve karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin protein sindirilirliği sonuçları %33,6-38,9 arasında değişmiştir (**Tablo 4.11.**). Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) protein sindirilirliği sırasıyla %33,8 ve %33,6 olarak birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Her iki koşulda üretilen karabuğday maltlarının glutensiz ekmeklere katım oranı artırıldıkça protein sindirilirliği değerleri kontrol örneklerine göre yükseldiği tespit edilmiştir ($P<0,05$). Karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin protein sindirilirliği değerleri %34,3-38,9 arasında değişmiştir ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Karabuğday malt ununun, protein sindirilirliğini, katım oranı artışına bağlı olarak arttığı görülmüştür, bu durum karabuğday maltı proteinlerinde bulunan esansiyel amino asitlerden daha fazla yararlanmayı sağlayacaktır. Protein sindirilirliği, proteinin besinsel değerini değerlendirmek için ana göstergelerden bir tanesidir. Çimlendirme sırasında, çeşitli proteazlar (pepsin ve tripsin) aktive edilir, depo proteinleri hidroliz edilerek kısa peptidlere ve serbest amino asitlere parçalanır ve böylece protein yapısı ve metabolizmasının değiştirildiği bildirilmiştir. Ayrıca, çimlendirme sırasında proteaz inhibitörlerinin miktarı azaltılarak protein sindirilirliğinin artırılacağı ifade edilmiştir (Wang vd., 2022).

Molska vd. (2022), karabuğday tohumu, çimlendirilmiş kontrol karabuğdayı ve probiyotik maya (*Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*) ile zenginleştirilen çimlendirilmiş karabuğday tohumunda protein sindirilirliğini sırasıyla %75,59, %73,67 ve %70,00 olarak kaydetmişlerdir.

Deng vd. (2015), kontrol karabuğdayı, yüksek hidrostatik basınç uygulanmış karabuğday, mikrodalga ile ısıtma uygulanmış karabuğday ve kaynatma işlemi yapılan karabuğdayda protein sindirilirliğini sırasıyla %73,56; %74,16; %76,22 ve %78,32 olarak bulmuşlardır.

Olawoye ve Gbadamosi (2017), *Amaranthus viridis* tohumunun çimlendirilmesinin in vitro protein sindirilirliği üzerine etkisini incelemişlerdir. Kontrol karabuğdayının in vitro protein sindirilirliği (%35,84) çimlendirme işleminden sonra %65,21'e yükseldiği bildirilmiştir.

Kontrol ve karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin nişasta sindirilirliği sonuçları 92,5-322,1 mg maltoz/g arasında değişmiştir (**Tablo 4.11.**). Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) nişasta sindirilirliği değerleri (sırasıyla 322,1 ve 317,5 mg maltoz/g) diğer örnekler göre en yüksek olmakla birlikte, diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Her iki koşulda üretilen karabuğday maltlarının glutensiz ekmeklere katım oranı artırıldıkça, nişasta sindirilirliği değerlerinin kontrol örneklerine göre önemli düzeyde azaldığı tespit edilmiştir ($P<0,05$). Nişasta sindirilirliği, M110 kodlu ekmekte (177,1 mg maltoz/g), M210 kodlu ekmeğe (168,9 mg maltoz/g) göre daha yüksek düzeyde gerçekleşirken; M150 kodlu ekmekte (92,5 mg maltoz/g), M250 kodlu ekmeğe (123,7 mg maltoz/g) göre daha az düzeyde gerçekleşmiş ($P<0,05$); M125 (145,8 mg maltoz/g) ve M225 (147,8 mg maltoz/g) kodlu glutensiz ekmeklerin nişasta sindirilirliği değerleri birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Nişasta sindirilirliğinin glutensiz ekmeklerde kontrole göre azalmasının sebebi, karabuğday malt unu katım oranı artırıldıkça ekmekte toplam besinsel lif miktarının artış göstererek, besinsel liflerin, nişastayı hidroliz eden enzimleri bloke ederek nişastaya erişebilirliklerini azaltmasıdır.

Molska vd. (2022), karabuğday tohumu, çimlendirilmiş kontrol karabuğdayı ve probiyotik maya (*Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*) ile zenginleştirilen çimlendirilmiş karabuğday tohumunda nişasta sindirilirliğini sırasıyla %86,49, %84,31 ve %82,82 olarak bulmuşlardır.

Thanushree vd. (2022), kavuzsuz-kepeksiz karabuğday unundan ve kavuzu ayrılmış karabuğday unundan üretilen eriştelerin (*noodle*) in vitro nişasta sindirilirliğini sırasıyla %43,01 ve %35,68 olarak tespit etmişlerdir. Valsli değirmenden elde edilen kavuzsuz-kepeksiz karabuğday unundan üretilen eriştelerin duyusal ve kalite parametrelerinin çoğu, kavuzsuz karabuğdayın çekiçli

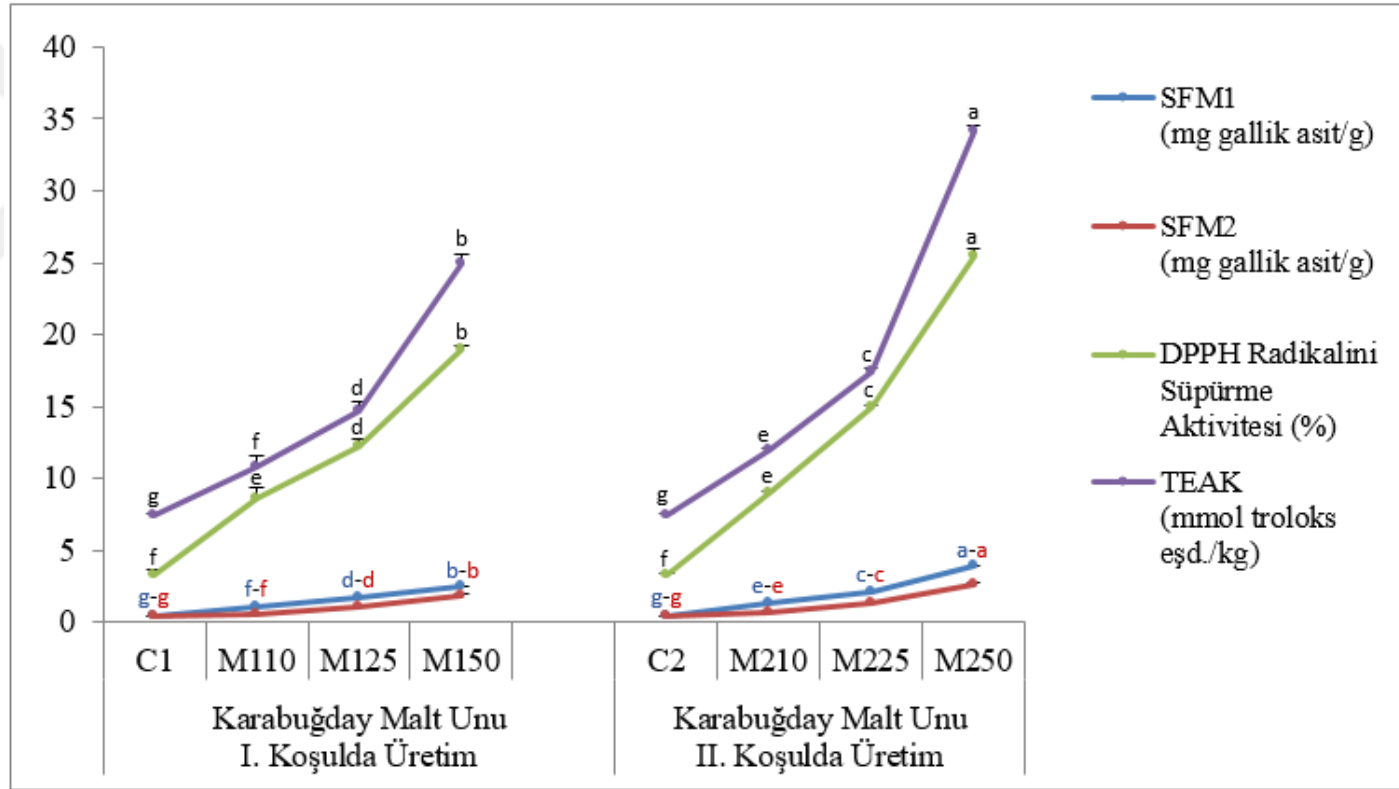
değirmende öğütülmesiyle elde edilen undan üretilen eriştelere kıyasla daha iyi olmasına rağmen, çekiçli değirmenden alınan karabuğday unundan üretilen eriştelerin besinsel özelliklerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.

4.6.5 Karabuğday Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Biyoaktif Madde Özellikleri

Kontrol ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin kuru madde üzerinden serbest fenolik madde (SFM) ve antioksidan aktivite özellikleri **Şekil 4.8.** ve **Ek B.9.’da** gösterilmiştir. Serbest fenolik madde miktarı, dimetilsülfoksit (DMSO) ve %80’lik metanol çözeltileri kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar mg gallik asit/g örnek olarak ifade edilmiştir. Buna göre, DMSO ekstraksiyonu ile tüm ekmek örneklerinde daha fazla SFM belirlenmiştir, diğer bir deyişle glutensiz ekmeklerden SFM ekstraksiyonunda DMSO çözeltisi daha etkili olmuştur. Nitekim kontrol ve malt unu katkılı glutensiz ekmeklerde DMSO ekstraksiyonu ile belirlenen SFM miktarı 0,43-3,90 mg gallik asit eşd./g arasında değişirken; %80’lik metanol ekstraksiyonu ile belirlenen SFM miktarı 0,41-2,66 mg gallik asit eşd./g arasında değişmiştir (**Şekil 4.8.** ve **Ek B.9.**).

Glutensiz kontrol ekmeklerinde (C1 ve C2), her iki ekstraksiyon çözeltisi ile belirlenen SFM miktarları, diğer malt unu katkılı ekmeklerdeki SFM miktarına göre daha düşük bulunmuştur ($P>0,05$). Glutensiz ekmeklerden, DMSO ve %80’lik metanol çözeltileri ile SFM ekstraksiyonu sonucunda, karabuğday malt unu katım oranı artırıldıkça SFM miktarları kontrol örneklerine göre önemli düzeyde artış göstermiştir ($P<0,05$). Serbest fenolik madde miktarı bakımından bu artış, M210, M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerde daha fazla olmuştur ($P<0,05$). DMSO ekstraksiyonu ile en yüksek SFM miktarı M250 kodlu glutensiz ekmekte (3,90 mg gallik asit /g) belirlenirken, %80’lik metanol ekstraksiyonu ile en yüksek SFM miktarı yine aynı örnekte 2,66 mg gallik asit/g olarak tespit edilmiştir ($P<0,05$; **Şekil 4.8.** ve **Ek B.9.**).

Zhang vd. (2015), karabuğdayın çimlendirilmesi ile ilgili yaptıkları çalışmada, en düşük toplam fenolik madde miktarını çimlendirme uygulanmayan karabuğdayda 3,03 mg gallik asit eşd./g olarak bulurlarken, en yüksek toplam fenolik madde miktarını 72 saat çimlendirilen örnekte 8,42 mg gallik asit eşd./g olarak kaydetmişlerdir.



Şekil 4.8. Kontrol (C1, C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin serbest fenolik madde (SFM) ve antioksidan aktivite özellikleri. ¹DMSO ekstraksiyonu ile belirlenen SFM değerleri. ²%80'lik MetOH ekstraksiyonu ile belirlenen SFM değerleri.

Molska vd. (2022), karabuğday tohumu, çimlendirilmiş kontrol karabuğdayı ve probiyotik maya (*Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*) ile zenginleştirilen çimlendirilmiş karabuğday tohumunda toplam fenolik madde miktarını kuru madde üzerinden sırasıyla 10,00; 14,00 ve 23,00 mg gallik asit eşd./g olarak bulmuşlardır. Aloo vd. (2021), tam karabuğday ununda toplam fenolik madde miktarını kuru madde üzerinden 352,1 mg ferulik asit eşd./100 g olarak bulmuşlardır.

Kontrol ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin antioksidan aktivitesi DPPH radikalini süpürme aktivitesi (%) ve troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi (TEAK, mmol troloks eşd./kg) olarak ifade edilmiş ve sonuçlar **Şekil 4.8.** ve **Ek B.9.**'da gösterilmiştir. Buna göre, karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin DPPH radikalini süpürme aktivitesi (%) katım oranı artırıldıkça kontrol örneklerine göre önemli düzeyde artmıştır ($P<0,05$). Antioksidan aktivitedeki bu artış M125 ve M150, M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerde daha fazla olmuştur. Nitekim M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerin DPPH radikalini süpürme aktivitesi (sırasıyla %15,0 ve %25,4), M125 ve M150 kodlu glutensiz ekmeklerin DPPH radikalini süpürme aktivitesinden (sırasıyla %12,2 ve %18,9) daha yüksektir ve aralarındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Çalışmada, M110 ve M210 kodlu glutensiz ekmeklerin DPPH radikalini süpürme aktivitesi (sırasıyla %8,6 ve %9) kontrol örneklerine göre daha yüksek fakat birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Kontrol glutensiz ekmeklerin (C1 ve C2) DPPH radikalini süpürme aktivitesi tüm örnekler içerisinde en düşüktür ve birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin DPPH radikalini süpürme aktivitesi %50'nin altında kalmasına rağmen, katım oranının artırılması karabuğday kaynaklı polifenolik bileşiklerin miktarının artması ile birlikte antioksidan aktivitenin de artırılabilceği görülmüştür.

Chlopicka vd. (2012), glutensiz ekmeklerin toplam fenolik ve flavonoid madde miktarı, antioksidan aktivite ve duyuşsal kalite özellikleri üzerine yaptıkları bir çalışmada; pseudo-tahıl (karabuğday, amarant ve kinoa) unlarını sırasıyla %15 ve %30 oranlarında glutensiz ekmek formülasyonuna katmışlardır. Bu çalışmada, kontrol ekmeği, %15 ve %30 katkılı karabuğday ekmeklerinin DPPH radikalini süpürme aktivitesini kuru madde üzerinden sırasıyla 2,07; 5,42; 7,53 mmol Troloks/kg olarak bulmuşlardır.

Karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin TEAK (mmol troloks eşd./kg) değeri katım oranı artırıldıkça kontrol örneklerine göre önemli düzeyde artmıştır (**Şekil 4.8.** ve **Ek B.9.**). Antioksidan kapasitesindeki bu artış M210, M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerde daha fazla olmuştur. Nitekim M210, M225 ve M250 kodlu glutensiz ekmeklerin TEAK değerleri (sırasıyla 12,01; 17,47 ve 34,17 mmol troloks eşd./kg), M110, M125 ve M150 kodlu glutensiz ekmeklerin TEAK değerlerinden (sırasıyla 10,79; 14,65 ve 24,89 mmol troloks eşd./kg) daha yüksektir ve aralarındaki fark önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Kontrol glutensiz ekmeklerin (C1 ve C2) TEAK değeri (7,45 mmol troloks eşd./kg) tüm örnekler içerisinde en düşüktür ve birbirine benzerdir ($P>0,05$). Sonuç olarak, karabuğday malt unu katkılı glutensiz ekmeklerin antioksidan kapasitesi katım oranı artışıyla önemli düzeyde yükselmiştir. Bunda karabuğdaydaki polifenolik bileşiklerin, özellikle flavonoidlerin önemli katkısının olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, anti-besinsel bileşikleri önemli düzeyde azaltılmış karabuğday maltı ununun glutensiz ekmeklerde kullanılması ile antioksidan özellikleri iyileştirilmiş glutensiz tahıl ürünlerinin üretilebileceği bu çalışmada gösterilmiştir. Böylece, çölyak hastaları ve glutene hassasiyeti bulunan bireyler, biyoaktif bileşiklerce zengin ve daha sağlıklı glutensiz ekmekler tüketebileceklerdir.

Saccotelli vd. (2018), glutensiz ekmeğe farklı sebze tozu unlarının (brokoli, karnabahar, enginar, kabak ve mantar) eklenmesinin, glutensiz ekmeklerin antioksidan özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Kontrol ekmeğinde antioksidan aktiviteyi ABTS ve DPPH radikallerini süpürme aktivitesi olarak kuru madde üzerinden sırasıyla 0,26 mg Troloks/g ve %3,94 olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, glutensiz ekmeğe enginar ve kabak tozu unlarının eklenmesinin antioksidan aktiviteyi iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

4.7 Karabuğdayın Anti-Besinsel Bileşiklerinin UV-C Işık Uygulaması İle Uzaklaştırılması

Bu araştırmada, farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların öğütme fraksiyonları anti-besinsel bileşik miktarları bakımından detaylı olarak incelenmiş ve Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi anti-besinsel bileşik miktarları bakımından en yüksek lokasyon ve çeşit olarak seçilmiştir. Bu lokasyonda yetiştirilen karabuğday örneğine 15, 30, 45 ve 60 W enerji seviyelerinde UV-C ışık uygulaması yapılmış ve anti-besinsel bileşiklerdeki azalma incelenmiştir.

Tüm enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unları (**Fotoğraf 3.5.**) iki tekerrürlü olarak hazırlanmış ve anti-besinsel bileşiklerin analizinde her bir tekerrürden ikişer paralel analiz yapılarak toplam dört tekrarlı analizler yürütülmüş ve sonuçlar her bir tekerrürün nem miktarı kullanılarak kuru madde üzerinden verilmiştir. Araştırmada, Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın dört farklı enerji seviyesinde UV-C ışık uygulaması sonucunda anti-besinsel bileşik miktarlarındaki değişim **Tablo 4.12.**'de, α -amilaz ve proteaz aktivitesindeki değişimler ise **Şekil 4.9.**'da gösterilmiştir. Aynı örneğin işlem uygulanmamış tam karabuğday unu kontrol örneği olarak kullanılmıştır.

Karabuğday örneğinin 15, 30, 45 ve 60 W enerji seviyelerindeki UV-C ışık uygulamasından sonra fitik asit miktarı 1,21 g/100 g'dan sırasıyla 0,92; 0,89; 0,88 ve 0,89 g/100 g'a azalmıştır. Kondanse tanen miktarı 21,63 mg kateşin eşd./g'dan sırasıyla 11,52; 11,30; 10,94 ve 11,33 mg kateşin eşd./g'a azalmıştır. Toplam saponin miktarı 10,00 mg diosgenin eşd./g'dan sırasıyla 9,40; 9,37; 9,22 ve 9,36 mg diosgenin eşd./g'a azalmıştır. Karabuğdaya UV-C uygulanması, tripsin ve kimotripsin inhibitor aktivitesinde de azalmaya sebep olmuştur. Kontrol ununda bulunan tripsin inhibitor aktivitesi 0,57 mg/g'dan 15, 30, 45 ve 60 W enerji seviyelerinde UV-C işleminden sonra sırasıyla 0,56; 0,55; 0,53 ve 0,54 mg/g'a azalmıştır. Kontrol ununun kimotripsin inhibitörü aktivitesi (1,24 KİU/g) ise 15, 30, 45 ve 60 W enerji seviyelerindeki UV-C ışık uygulamasından sonra sırasıyla 1,02; 0,96; 1,00 ve 1,03 KİU/g'a azaldığı tespit edilmiştir (**Tablo 4.12.**).

Tablo 4.12. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdaya farklı UV-C enerji seviyelerinin uygulanması ile anti-besinsel bileşik miktarlarındaki değişimin aynı örneğin işlem uygulanmamış tam karabuğday unu (kontrol) ile karşılaştırılması.

Karabuğday Unu	Fitik Asit ^{*a} (g/100 g)	Kondanse Tanen ^{*a} (mg kateşin eşd./g)	Toplam Saponin ^{*a} (mg diosgenin eşd./g)	Tripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (mg/g)	Kimotripsin İnhibitörü Aktivitesi ^{*a} (KİU/g örnek)
Kontrol	1,21 ± 0,005a	21,63 ± 0,033a	10,00 ± 0,115a	0,57 ± 0,000a	1,24 ± 0,001a
15 W	0,92 ± 0,003b	11,52 ± 0,225b	9,40 ± 0,076b	0,56 ± 0,003b	1,02 ± 0,049b
30 W	0,89 ± 0,007c	11,30 ± 0,229b	9,37 ± 0,073bc	0,55 ± 0,004c	0,96 ± 0,027c
45 W	0,88 ± 0,012d	10,94 ± 0,176c	9,22 ± 0,118c	0,53 ± 0,005e	1,00 ± 0,027bc
60 W	0,89 ± 0,006cd	11,33 ± 0,138b	9,36 ± 0,114bc	0,54 ± 0,001d	1,03 ± 0,039b

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^a kuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Ma vd. (2020), çimlendirilmiş soya fasulyesinin ve UV-B ışık altında çimlendirilmiş soya fasulyesinin anti-besinsel bileşik miktarındaki değişimleri araştırmışlardır. Soya fasulyesi tohumlarını Nanjing Ziraat Üniversitesi Soya Fasulyesi Araştırma Enstitüsü'nden (Nanjing, Çin) temin etmişlerdir. Örnekleri sodyum hipoklorit (%1) ile sterilize ettikten sonra ıslatarak 25 °C'de 8 saat çimlendirmişler ve UV-B uygulamasını 10 µw/cm², 6 saat/gün (2 ve 4 gün) uygulamışlardır. Tripsin inhibitörü aktivitesinin (TİA), çimlendirme sırasında kontrole göre önemli ölçüde azaldığını, 2 gün sonra %22,4; 4 gün sonra %39 azaldığını gözlemlemişlerdir.

Kaur vd. (2012), tahıl kepeklerinin anti-besinsel bileşik miktarını azaltmak için mikrodalga uygulamasını çalışmışlardır. Buğday kepeği, pirinç kepeği ve arpa kepeklerini Hindistan'dan temin etmişlerdir. Tahıl kepeklerini ayarı No.1 olan Cemotec değirmende (Foss, Hognas, İsveç) eşit parçacık boyutlarında öğütmüşlerdir. Kepek örneklerini stabilize etmek için, mikrodalga fırında (LG MS2347BS, Cavity type) 1,5, 2,0 ve 2,5 dakika boyunca 2450 MHz frekansta mikrodalga uygulamışlardır. Kontrol örneğinde fitik asit miktarı 38,14 mg/g olarak bulunurken, 1,5, 2,0 ve 2,5 dakika mikrodalga uygulaması sonrası sırasıyla 19,07; 18,1 ve 17,6 mg/g'a azaldığı belirlenmiştir. Tripsin inhibitörü aktivitesi kontrol örneğinde 52,05 TIU/g olarak bulunurken, 1,5, 2,0 ve 2,5 dakika uygulama sonunda sırasıyla 11,89; 11,82 ve 11,32 TIU/g'a azaldığı görülmüştür. Tripsin inhibitörlerinin ısıya dayanıksız olması sebebiyle, mikrodalga işleminin etkili olabileceğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada, saponin miktarı kontrol örneğinde 2,78 mg/g olarak bulunurken, 1,5, 2,0 ve 2,5 dakika mikrodalga uygulaması sonrasında sırasıyla 1,25; 0,50 ve 0,00 mg/g'a azaldığı gözlemlenmiştir.

Maetens vd. (2018), 5 gün çimlendirilmiş soya fasulyesinin anti-besinsel bileşik miktarını azaltmak için ultra-viyole (UV) ve kızılötesi (IR) işlemlerini uygulamışlardır. Soya fasulyelerini 37 °C'de 1 saat ıslattıktan sonra inkübatörde 27 °C'de %100 bağıl nemde 5 gün boyunca çimlendirmişlerdir. Çimlendirilmiş soya fasulyelerini 40 °C'de 24 saat kurutmuşlar ve ardından öğütmüşlerdir. UV uygulamasını 254 nm'de 30 W enerji seviyesinde, 7, 17 ve 27 cm mesafelerden ve 24, 48 ve 72 saat sürelerde yapmışlardır. IR uygulamasını 2-25 µm dalga boyunda, 30 mW/cm² enerji seviyesinde, 15, 20, 25 cm mesafelerden ve 1,0, 1,5, 2,0 saat sürelerde gerçekleştirmişlerdir. Tripsin inhibitörü aktivitesindeki (TİA)

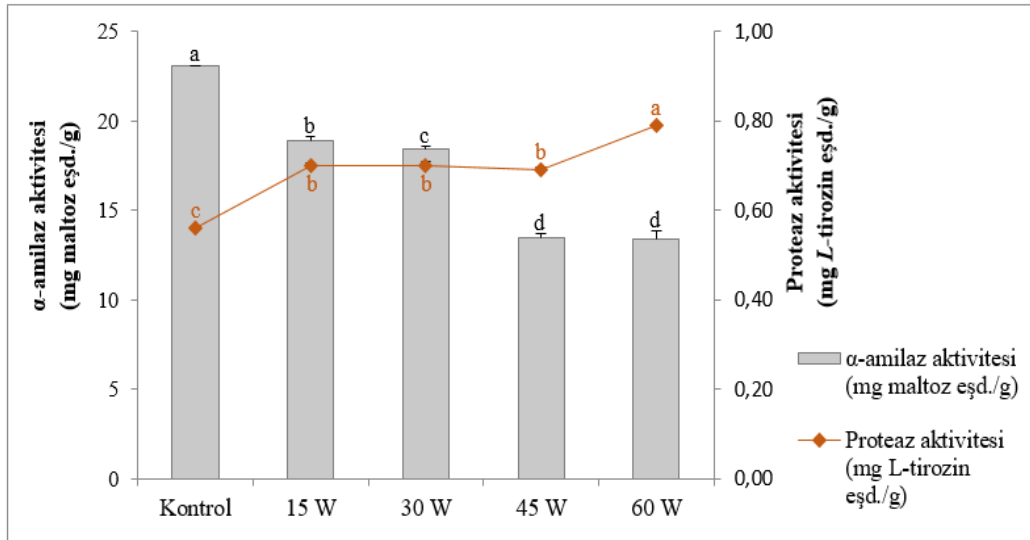
azalma kontrol örneğinde %31 olarak bulunurken; 24, 48 ve 72 saat UV uygulamasından sonra sırasıyla %50; %51 ve %51 azalma sağlamışlardır. TİA'sindeki azalmayı, 7, 17 ve 27 cm mesafeden UV uygulamasından sonra sırasıyla %49; %50 ve %49 olarak tespit etmişlerdir. Tripsin enziminin peptit bağlarını kırdığı ve serin tip proteazları aktive ettiği bildirilmiştir. Tripsin enziminin inhibisyonu ile protein biyoaktivitesinin ve sindirilirliğinin azaldığı belirtilmiştir. Tripsin inhibitörünün stabilitesi disülfid bağlarına bağlıdır, enzim tarafından emilen UV ışığı elektronların bu bağlara aktarılmasına sebep olmaktadır. Bu durumun da tripsin inhibitöründeki bağların kopmasına ve TİA'nin azalmasına yol açtığı aktarılmıştır. UV'nin 17 cm mesafeden 24 saat uygulanmasının, TİA'nin azaltılmasında en optimum koşullar olduğu kaydedilmiştir. Ayrıca, kontrol örneğinde TİA'de %31 azalma sağlanırken, 1,0, 1,5 ve 2,0 saat IR uygulamasından sonra sırasıyla %72; %86 ve %86 azalma sağlandığı belirtilmiştir. TİA'nin; 15, 20 ve 25 cm mesafelerden uygulanan IR ile sırasıyla %98; %89 ve %86 oranlarında azaldığı açıklanmıştır.

Kala ve Mohan (2011), beyaz ve siyah kavuzlu velvet tipi fasulyeler (*M. pruriens* var. *utilis*) üzerine UV uygulamasının anti-besinsel bileşik miktarına etkisini çalışmışlardır. Örnekleri, 10, 20, 30, 45, 60 ve 90 dakika süresince 15 W enerji seviyesinde UV-B ışığına maruz bırakmışlardır. Kontrol beyaz velvet tip fasulyede tanen miktarını 0,14 g/100 g olarak bulurlarken; 10, 20, 30, 45, 60 ve 90 dakika UV-B uygulamasından sonra sırasıyla 0,05; 0,07; 0,09; 0,12; 0,19 ve 0,22 g/100 g'a azaldığını tespit etmişlerdir. Kontrol siyah velvet tip fasulyede tanen miktarı 0,18 g/100 g olarak bulunurken; 10, 20, 30, 45, 60 ve 90 dakika UV-B uygulamasından sonra sırasıyla 0,04; 0,08; 0,13; 0,17; 0,21 ve 0,23 g/100 g olarak belirlemişlerdir. Kontrol beyaz velvet tip fasulyede fitik asit miktarı 483,00 mg/100 g olarak bulunurken; 10, 20, 30, 45, 60 ve 90 dakika UV-B uygulamasından sonra sırasıyla 450,18; 424,00; 370,76; 342,16; 320,47 ve 252,07 mg/100 g'a azaldığı tespit edilmiştir. Kontrol siyah velvet fasulyede fitik asit miktarı 634,12 mg/100 g olarak bulunurken; 10, 20, 30, 45, 60 ve 90 dakika UV-B uygulamasından sonra sırasıyla 612,10; 592,00; 542,17; 510,36; 436,10 ve 370,62 mg/100 g'a azaldığı kaydedilmiştir.

Biswas vd. (2024), 5 farklı karabuğday örneğinin fitik asit miktarını 0,54-1,42 g/100 g arasında bulmuşlardır. Karabuğdaylara; 20, 40, 60, 80 ve 100 saniye mikrodalga işlemi uygulandıktan sonra fitik asit miktarını sırasıyla 0,53-1,07;

0,52-0,95; 0,48-0,82; 0,45-0,72 ve 0,42-0,67 g/100 g aralığına azaldığını tespit etmişlerdir. Karabuğday örneklerinde tanen miktarı 1,30-1,37 g/100 g arasında bulunmuştur. Karabuğdaylara 20, 40, 60, 80 ve 100 saniye mikrodalga uygulandıktan sonra tanen miktarı sırasıyla 1,25-1,32; 1,16-1,30; 1,14-1,25; 1,08-1,22 ve 1,00-1,10 g/100 g aralığına azaldığı belirlenmiştir.

Kontrol tam karabuğday ununda belirlenen α -amilaz aktivitesi 23,07 mg maltoz eşd./g iken; 15, 30, 45 ve 60 W enerji seviyelerinde UV-C uygulamasından sonra sırasıyla 18,92; 18,42; 13,51 ve 13,37 maltoz eşd./g'a azalmıştır. Kontrol tam karabuğday ununda proteaz aktivitesi 0,56 mg *L*- tirozin eşd./g olarak belirlenmiştir. Farklı enerji seviyelerinde (15, 30, 45 ve 60 W) UV-C ışık uygulamasından sonra proteaz aktivitesinin sırasıyla 0,70; 0,70; 0,69 ve 0,79 mg *L*- tirozin eşd./g'a yükseldiği tespit edilmiştir (Şekil 4.9. ve Ek B.10.).

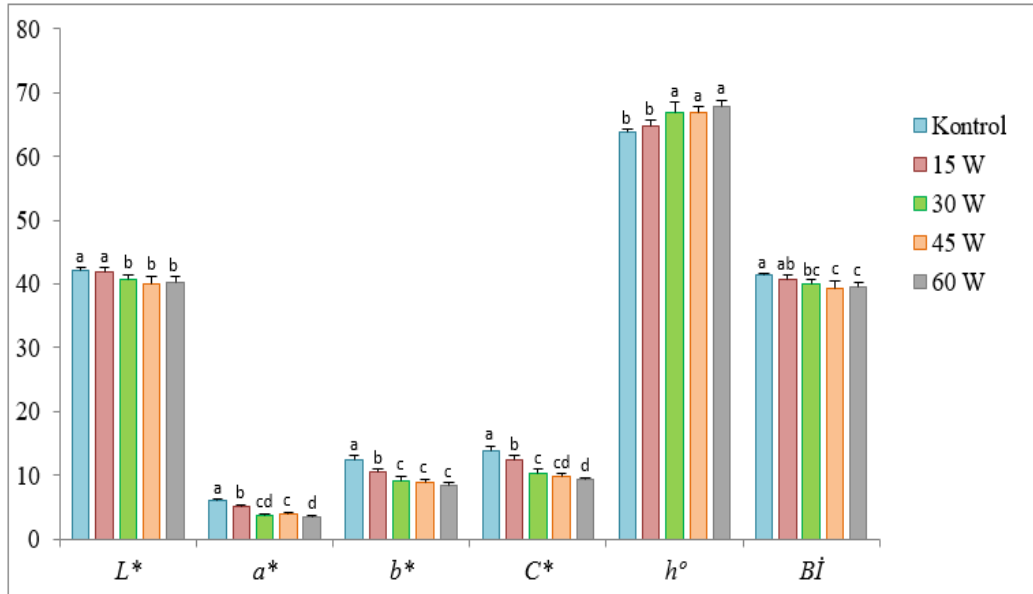


Şekil 4.9. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdaya farklı UV-C enerji seviyelerinin uygulanması ile α -amilaz aktivitesi ve proteaz aktivitesindeki değişimin kontrol tam karabuğday unu ile karşılaştırılması.

4.8 UV-C Işık Uygulanmış Karabuğday Taneleri ve Unlarının Renk Özellikleri

Farklı enerji seviyelerinde (15, 30, 45 ve 60 W) UV-C ışık uygulanan karabuğday taneleri ve unlarının renk özellikleri kontrol örneği ile birlikte sırasıyla Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de verilmiştir. Buna göre, karabuğday tanelerinin renk özellikleri incelendiğinde, L^* parlaklık/koyuluk değerleri 40,11-42,07 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük L^* değerleri, sırasıyla kontrol

(42,07) ve 45 W enerji seviyesinde UV-C uygulanan karabuğdayda (40,11) bulunmuştur ($P<0,05$). Diğer enerji seviyelerinde (30 W, 45W ve 60 W) işlem gören karabuğdayların L^* değerleri kontrole kıyasla düşüktür ve birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday tanelerinin a^* kırmızılık/yeşillik değerleri, 3,49-6,15 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük a^* değerleri, kontrol (6,15) ve 60 W enerji seviyesinde UV-C uygulanan karabuğdayda (3,49) gözlenmiştir. Karabuğday örneğine uygulanan UV-C enerji seviyesi arttıkça a^* değerleri azalmıştır ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Karabuğday tanelerinin b^* sarılık/mavilik değerleri, 8,52-12,51 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük b^* değerleri sırasıyla kontrol örneğinde (12,51) ve 60 W enerji seviyesinde UV-C uygulanan karabuğdayda (8,52) belirlenmiştir. Karabuğdaya uygulanan UV-C enerji seviyesi arttıkça b^* değerleri azalmıştır. Bununla birlikte, 30, 45 ve 60 W enerji seviyelerinde UV-C uygulanan karabuğdayların b^* değerleri birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Fakat 15 W enerji seviyesinde UV-C uygulanan karabuğdaya kıyasla düşük bulunmuştur ($P<0,05$; Şekil 4.10. ve Ek B.11.).



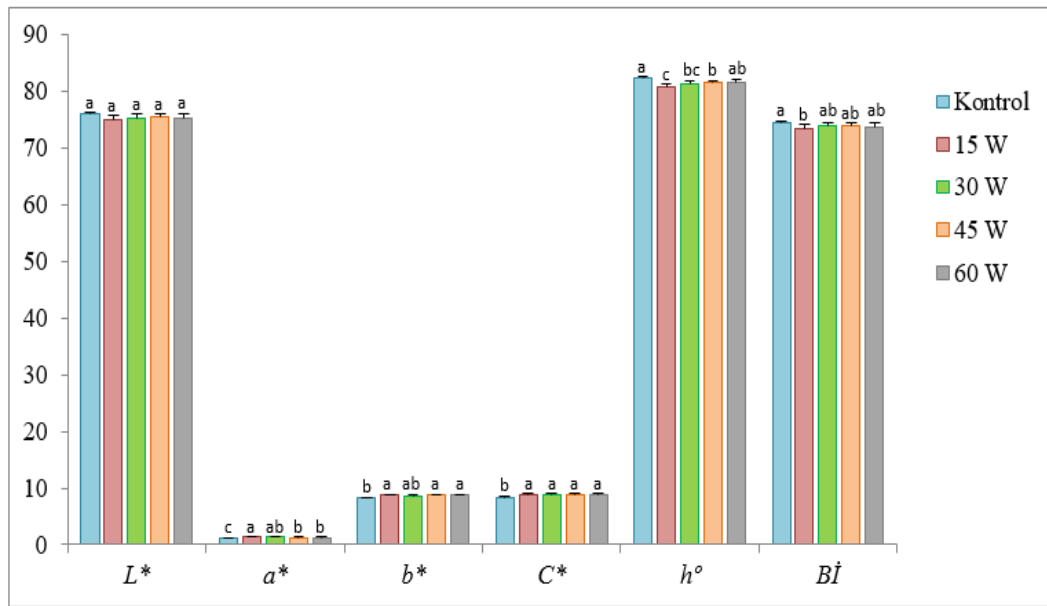
Şekil 4.10. Farklı enerji seviyelerinde UV-C işlemi uygulanmış karabuğday tanelerinin (*Güneş cv.*, Konya lokasyonu) renk özellikleri.

Kaur vd. (2012), tahıl kepeklerine 1,5, 2,0 ve 2,5 dakika sürelerinde 2450 MHz frekans seviyesinde mikrodalga işlemi uygulamışlardır. Kontrol örneğinde bulunan L^* değeri (57,01); 1,5, 2,0 ve 2,5 dakika mikrodalga uygulandıktan sonra sırasıyla 56,33; 55,40 ve 54,74'e azaldığı bildirilmiştir. Kontrol örneğinde bulunan a^* değeri (3,70); 1,5, 2,0 ve 2,5 dakika mikrodalga işleminden sonra sırasıyla 4,03; 4,17 ve 4,29'a yükseldiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, kontrol örneğinde bulunan b^* değeri (15,25); 1,5, 2,0 ve 2,5 dakika mikrodalga işleminden sonra sırasıyla 14,98; 14,84 ve 14,76'ya azaldığı yapılan çalışmada tespit edilmiştir.

Karabuğday tanelerinin C^* (kroma) değerleri 9,26-13,73 arasında değişmiştir (**Şekil 4.10.** ve **Ek B.11.**). En yüksek ve en düşük C^* değerleri kontrol örneğinde (13,73) ve 60 W enerji seviyesinde UV-C uygulanan karabuğdayda (9,26) gözlenmiştir. Karabuğday örneğine uygulanan UV-C enerji seviyesi arttıkça C^* değerleri azalmıştır ($P<0,05$; **Şekil 4.10.**). Karabuğdayların h değerleri, 63,76-67,73 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 67,73 ve 63,76) h° değerleri sırasıyla 60 W enerji seviyesinde UV-C uygulanan karabuğdayda ve kontrol örneğinde bulunmuştur. Karabuğday örneğine uygulanan UV-C enerji seviyesi arttıkça h° değeri de yükselmiştir. Karabuğday örneklerinin h° değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday örneklerinin beyazlık indeksi ($Bİ$) değerleri, 39,32-41,38 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 41,38 ve 39,32) $Bİ$ değerleri, sırasıyla kontrol ve 45 W enerji seviyesinde UV-C uygulanan karabuğdaylarda bulunmuştur. Karabuğday örneğine uygulanan UV-C enerji seviyesi arttıkça $Bİ$ değerleri azalmıştır fakat bulunan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($P>0,05$; **Şekil 4.10.** ve **Ek B.11.**).

Farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulandıktan sonra öğütülen karabuğdayların unlarının renk özellikleri ve kontrol karabuğdayı ile karşılaştırılması **Şekil 4.11.**'de gösterilmiştir. L^* parlaklık/koyuluk değerleri, 74,91-75,89 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük L^* değerleri, sırasıyla kontrol ununda (75,89) ve 15 W enerji seviyesinde UV-C uygulanan karabuğday ununda (74,91) bulunmuştur. Kontrol karabuğdayı ununun ve UV-C uygulanan karabuğday unlarının L^* değerleri birbirine benzer bulunmuş ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($P>0,05$). Kontrol karabuğdayı unu ve UV-C uygulanan karabuğdayların unlarının a^* kırmızılık/yeşillik değerleri 1,14-1,41

arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük a^* değerleri, sırasıyla 15 W UV-C uygulanan karabuğdayın ununda (1,41) ve kontrol ununda (1,14) gözlenmiştir. Kontrol unu ve UV-C uygulanan karabuğday unlarının b^* sarılık/mavilik değerleri 8,32-8,79 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük b^* değerleri, sırasıyla 60 W UV-C uygulanan karabuğdayın ununda (8,79) ve kontrol ununda (8,32) bulunmuştur. Karabuğday örneğine uygulanan UV-C enerji seviyesi arttıkça b^* değeri yükselmiştir. 45 ve 60 W UV-C uygulanan karabuğday unlarının b^* değerleri (sırasıyla 8,75 ve 8,79) kontrol ununa kıyasla yüksektir fakat birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$; Şekil 4.11. ve Ek B.11.).



Şekil 4.11. Farklı enerji seviyelerinde UV-C işlemi uygulanmış karabuğdayların (*Güneş cv.*, Konya lokasyonu) tam tane unlarının renk özellikleri.

Vicente vd. (2023), karabuğday tohumlarına mikrodalga işlemi uygulamasının, karabuğday unlarının renk özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Kora çeşidi kavuzsuz karabuğday tanelerinin (Miedzylesie, Polonya) nem içeriklerini öncelikle %13, %20, %25 ve %30'a ayarlamışlar, daha sonra mikrodalga işlemini 900 W ve 2450 MHz'de 10 saniye uygulama/60 saniye bekletme (48 döngü) olacak şekilde 8 dakika boyunca uygulamışlardır. Sonrasında karabuğday örneklerini taş değirmende partükül büyüklüğü <500 μ m olacak şekilde öğütmüşlerdir. Kontrol ununda L^* parlaklık değeri 77,3 bulunurken, nem içeriği %13, %20, %25 ve %30'a ayarlanmış ve mikrodalga

işlemi uygulanmış örneklerin unlarında sırasıyla 77,9; 75,8; 73,8 ve 71,8 olarak tespit edilmiştir. Kontrol ununda a^* kırmızılık değeri 2,21 bulunurken, nem içeriklerine göre mikrodalga işlemi uygulanmış unlarda sırasıyla 2,95; 2,70; 3,02 ve 3,53 olarak tespit edilmiştir. Kontrol ununda b^* sarılık değeri 8,84 olarak bulunurken, nem içeriklerine göre mikrodalga işlemi uygulanmış unlarda sırasıyla 9,03; 7,73; 7,94 ve 8,73 olarak azalan değerler bulmuşlardır.

Karabuğday kontrol unu ve farklı enerji seviyesi UV-C uygulanan karabuğday unlarının C^* değerleri, 8,40-8,89 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 8,89 ve 8,40) C^* değerleri, sırasıyla 60 W UV-C uygulanan karabuğday ununda ve kontrol ununda gözlenmiştir. Uygulanan UV-C enerji seviyesi arttıkça C^* değeri yükselmiştir fakat değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($P>0,05$). Kontrol unu ve UV-C uygulanan karabuğday unlarının h değerleri 80,81-82,19 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 82,19 ve 80,81) h değerleri sırasıyla kontrol ununda ve 15 W UV-C uygulanan karabuğdayın ununda bulunmuştur. Kontrol unu ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanan karabuğdayların unlarının beyazlık indeksi (Bİ) değerleri 73,40-74,46 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük Bİ değerleri sırasıyla kontrol ununda (74,46) ve 15 W UV-C işlemi uygulanan karabuğdayın ununda (73,40) belirlenmiştir ($P<0,05$). Kontrol ve 30, 45 ve 60 W UV-C uygulanmış karabuğday unlarının Bİ değerleri birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$; Şekil 4.11. ve Ek B.11.).

Vicente vd. (2023), kontrol ununda C^* değerini 9,1 olarak bulmuşlar, nem içeriği %13, %20, %25 ve %30'a ayarlanmış ve mikrodalga işlemi uygulanmış karabuğdayın ununda sırasıyla 9,5; 8,2; 8,5 ve 9,4 olarak tespit etmişlerdir. Kontrol ununda h değerini 76,0 olarak bulmuşlar, nem içeriklerine göre ve mikrodalga işlemi uygulanmış örneklerin unlarında sırasıyla 71,9; 70,7; 69,2 ve 68,0 olarak tespit etmişlerdir.

Kumar vd. (2020), buğday ununun beyazlık indeksi değerini (85,78), UV işlemini 4,5 W ve 250 saniye boyunca uyguladıktan sonra 85,14'e azaldığını kaydetmişlerdir. UV işlemi uygulanmış buğdayların unlarının rengi, işlem görmemiş buğday ununa kıyasla depolama sırasında daha stabil olduğu belirlenmiştir.

4.9 UV-C İşlemi Uygulanmış Karabuğdayların Glutensiz Ekmek Üretiminde Kullanımı

4.9.1 Glutensiz Ekmeklerin Nem ve Fiziksel Özellikleri

UV-C ışık işlemi sonucunda anti-besinsel bileşik miktarının en çok 45 W enerji seviyesinde azaldığı belirlenmiştir. Glutensiz ekmek üretiminde, 15 W (U1) ve 45 W (U2) enerji seviyesinde işlem uygulanan karabuğdayların unları kullanılmış ve kalite özellikleri kontrol ekmeği ile karşılaştırılmıştır. Kontrol (C1 ve C2), U1 veya U2 unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin (sırasıyla **Fotoğraf 3.8.** ve **Fotoğraf 3.9.**) nem ve fiziksel özellikleri **Tablo 4.13.**'te gösterilmiştir. Buna göre, U1 veya U2 unlarının %10, %25 ve %50 oranlarında ilave edilerek üretilen glutensiz ekmekler sırasıyla U110, U125, U150 ve U210, U225, U250 olarak kodlanmıştır. Glutensiz ekmeklerin nem değerleri ekmekler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra dilimlenerek konvansiyonel yöntemle belirlenmiştir. Glutensiz kontrol ekmekleri her iki UV-C işlemi görmüş örnekler için farklı zamanlarda ve ayrı ayrı üretilmiştir. Buna göre, glutensiz ekmeklerin nem değerleri %50,9-52,5 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük nem değerleri sırasıyla C2 ve U225 glutensiz ekmeklerde bulunmuştur. Glutensiz ekmeklerin ağırlık değerleri 168,82-173,98 g arasında değişmiştir. En yüksek ağırlık değerleri U150 ve U250 glutensiz ekmeklerinde belirlenirken, en düşük C2 glutensiz ekmeğinde belirlenmiştir. Glutensiz ekmeklerin hacim değerleri 73,44-96,25 cm³ arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük hacim değerleri sırasıyla U125 ve U250 glutensiz ekmeklerinde tespit edilmiştir. Spesifik hacim değerleri 0,42-0,56 cm³/g arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük spesifik hacim değerleri sırasıyla U125 ve U250 glutensiz ekmeklerde saptanmıştır. Pişme kaybı değerleri %17,08-19,33 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük pişme kaybı değerleri sırasıyla C2 ve U150 glutensiz ekmeklerde gözlenmiştir. Gutensiz ekmeklerin pişme kaybı değerleri, UV-C işlem görmüş unların katım oranı arttıkça kontrol örneklerine göre azalmıştır ($P<0,05$; **Tablo 4.13.**).

Nalbandian vd. (2023), %25, 50 ve 75 tam karabuğday unu eklenen ekmeklerin spesifik hacimlerini sırasıyla 2,59; 1,93 ve 1,35 mL/g olarak, kavuzsuz karabuğday unu eklenen ekmeklerin ise sırasıyla 2,57; 2,27 ve 1,14 mL/g olarak bulmuşlardır. Spesifik hacmin katım oranı ile azalmasının sebebini, gazları tutabilecek gluten ağı yapısının oluşmaması ile açıklamışlardır.

Tablo 4.13. Kontrol (C1, C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin nem ve bazı fiziksel özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	Nem* (%)	Ağırlık* (g)	Hacim* (cm ³)	Spesifik Hacim* (cm ³ /g)	Pişme Kaybı* (%)
15 W (U1)	C1	51,7 ± 0,14abc	168,98 ± 0,965c	86,63 ± 2,434c	0,51 ± 0,017bc	19,08 ± 0,462a
	U110	51,8 ± 0,43ab	170,83 ± 1,525bc	90,93 ± 2,356b	0,53 ± 0,006bc	18,86 ± 0,724ab
	U125	51,5 ± 0,35bc	170,60 ± 1,195bc	96,25 ± 3,075a	0,56 ± 0,021a	18,78 ± 0,569abc
	U150	51,3 ± 0,82bc	173,98 ± 1,455a	75,70 ± 5,347d	0,44 ± 0,030d	17,08 ± 0,693d
45 W (U2)	C2	52,5 ± 0,78a	168,82 ± 1,476c	85,89 ± 2,689c	0,51 ± 0,015c	19,33 ± 0,705a
	U210	51,3 ± 0,04bc	172,45 ± 0,107ab	90,13 ± 0,774b	0,52 ± 0,004bc	17,80 ± 0,051bcd
	U225	50,9 ± 0,35c	172,24 ± 0,972ab	92,45 ± 1,810b	0,54 ± 0,008b	17,74 ± 0,464cd
	U250	51,1 ± 0,42bc	173,98 ± 1,846a	73,44 ± 1,230d	0,42 ± 0,007d	17,21 ± 0,879d

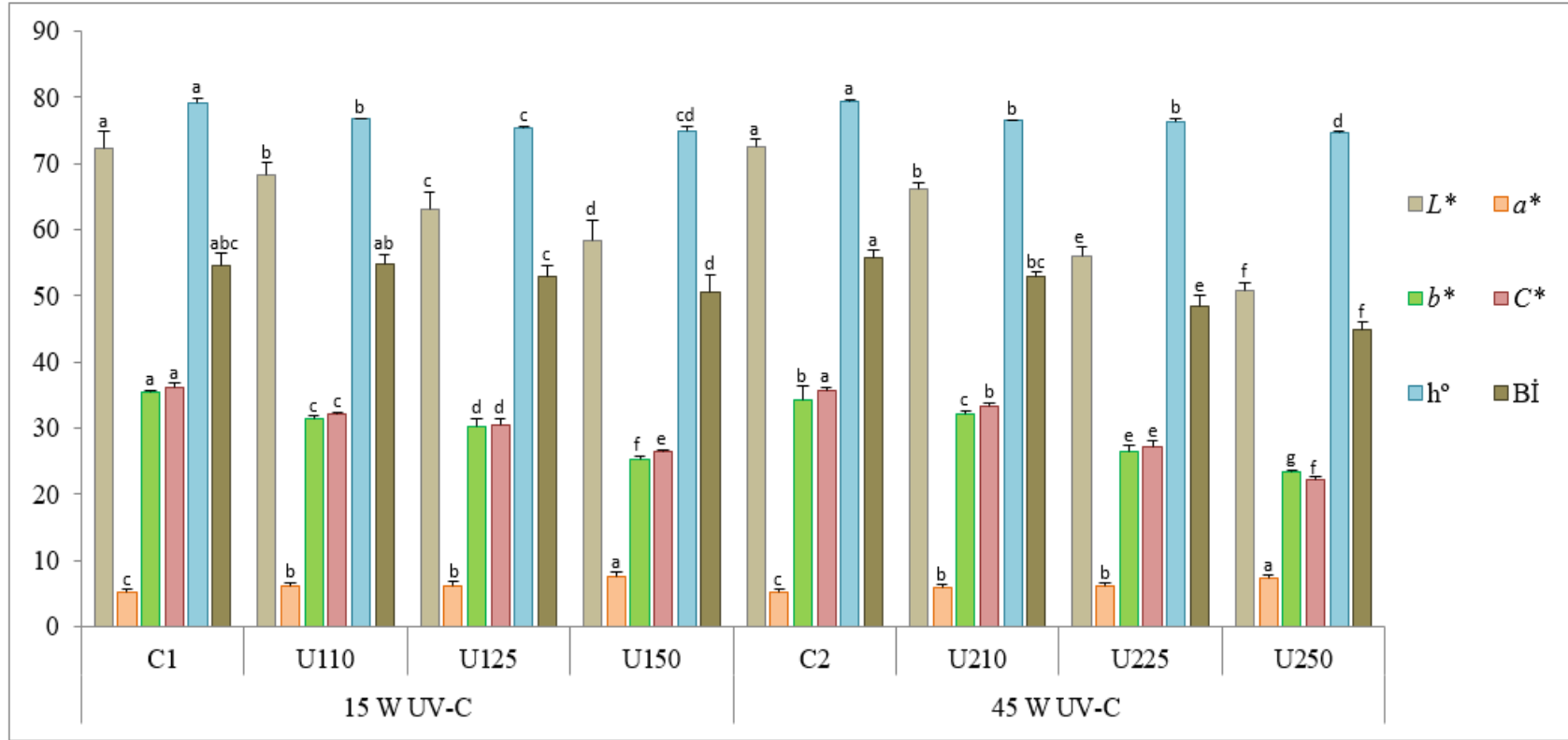
*Ortalama ± standart sapma; n=3. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Ayrıca, kepekteki yüksek miktardaki besinsel lifler, özellikle çözünemeyen besinsel lifler, hamurdaki gaz kabarcıkları üzerine olumsuz etki yapmasından dolayı spesifik hacmin azaldığı rapor edilmiştir. Buğday ekmeğindeki gluten proteininin, fermantasyon sırasında üretilen gazın tutulmasından sorumlu olduğu ve ekmek hacmini artırdığı bildirilmiştir. Karabuğdaylı ekmekte glutenin olmayışı gaz tutma kapasitesinin düşük ve dolayısıyla hacmin azalmasına sebep olduğu belirtilmiştir (Nalbandian vd., 2023).

Kowalski vd. (2022), buğday ekmeği formülasyonuna %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında karabuğday unu ekleyerek ekmek üretmişlerdir. Ekmeklerin pişme kaybını, buğday ekmeğinde %10,45 olarak bulmuşlar, diğer karabuğday unlu ekmeklerde sırasıyla, %12,02; %10,90; %11,63; %11,44 ve %11,38'e yükseldiğini tespit etmişlerdir. Ekmeklerin hacmini, buğday ekmeğinde 412,51 cm³ olarak bulmuşlar, diğer karabuğday unlu ekmeklerde ise katım oranındaki artışa göre sırasıyla, 401,12; 400,05; 397,52; 337,54 ve 325,11 cm³'e azaldığını tespit etmişlerdir. Ekmek nem miktarını, buğday ekmeğinde %46,52 olarak bulmuşlar, diğer karabuğday unlu ekmeklerde sırasıyla, %46,43; %46,23; %46,13; %45,81 ve %45,35'a azaldığını tespit etmişlerdir.

4.9.2 Glutensiz Ekmeklerin Renk Özellikleri

Kontrol (C1 ve C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu (U1 veya U2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin kabuk rengi ve ekmek içi renk özellikleri (L^* , a^* , b^* , C^* , h , BI) sırasıyla **Şekil 4.12.** ve **Şekil 4.13.**'te ve ayrıca **Ek B.12.** ve **Ek B.13.**'te gösterilmiştir. Buna göre, glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özellikleri incelendiğinde, L^* parlaklık/koyuluk değerleri 50,69-72,56 arasında değişmiştir. Ekmek kabuğunda en yüksek ve en düşük (sırasıyla 72,56 ve 50,69) L^* değerleri sırasıyla C1 kontrol ve U250 glutensiz ekmeklerinde tespit edilmiştir. Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) kabuk L^* değerleri sırasıyla 72,27 ve 72,56 olarak birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Glutensiz ekmek kabuklarının L^* değerleri genellikle karabuğday unlarının katım oranı arttıkça kontrole göre azalmıştır ($P<0,05$). Glutensiz kontrol ekmeklerinin kabuk L^* değerleri, karabuğday unu katkılı glutensiz ekmeklerden daha yüksektir, yani daha parlak olduğu gözlenmiştir (**Şekil 4.12.** ve **Ek B.12.**).

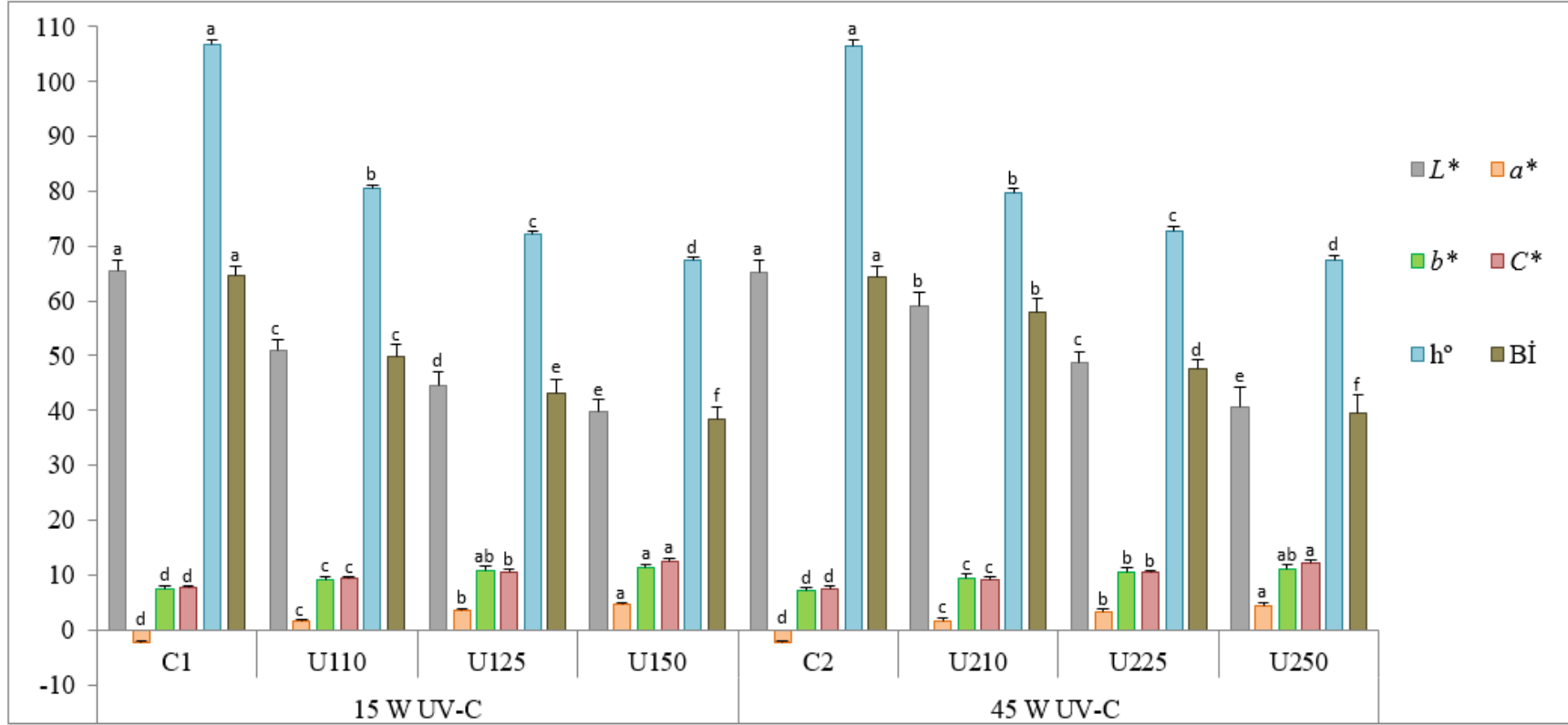


Şekil 4.12. Kontrol (C1, C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özellikleri.

Glutensiz ekmek kabuklarının a^* kırmızılık/yeşillik değerleri 5,24-7,66 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 7,66 ve 5,24) a^* kabuk rengi değerleri sırasıyla U150 ve C1 kodlu glutensiz ekmeklerde saptanmıştır ($P<0,05$). Karabuğday unu katım oranı arttıkça kabuk renklerinin a^* değerleri genellikle yükselmiştir. Glutensiz ekmek kabuklarının b^* sarılık/mavilik değerleri 23,42-35,50 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 35,50 ve 23,42) b^* değerleri sırasıyla C1 ve U250 kodlu glutensiz ekmeklerde gözlenmiştir ($P<0,05$). Karabuğday unlarının katım oranı arttıkça b^* değerleri kontrole göre azalmıştır ($P<0,05$). Sonuç olarak, U1 unu katılmış glutensiz ekmeklerin kabuk rengi, U2 unu katılmış glutensiz ekmeklerin kabuk rengine göre daha parlak ve daha sarı fakat kırmızılık değerleri birbirine benzer bulunmuştur (**Şekil 4.12.** ve **Ek B.12.**).

Kontrol ve UV-C işlemi görmüş karabuğday unu (U1 veya U2) katkılı glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özelliklerinden kroma/rengi doygunluğu (C^*), hue açısı/rengi tonu (h°), beyazlık indeksi ($B\bar{I}$) değerleri **Şekil 4.12.** ve **Ek B.13.**'de gösterilmiştir. Buna göre, kabuk C^* değerleri 22,26-36,16 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 36,16 ve 22,26) C^* değerleri sırasıyla C1 ve U250 glutensiz ekmek kabuklarında tespit edilmiştir ($P<0,05$). Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) kabuk C^* değerleri (sırasıyla 36,16 ve 35,60) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Glutensiz ekmek kabuklarının h° açısı değerleri 74,55°-79,38° arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 79,38° ve 74,55°) h° değerleri sırasıyla C2 ve U250 glutensiz ekmek kabuklarında tespit edilmiştir ($P<0,05$). Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) h° değerleri (sırasıyla 79,14° ve 79,38°) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Glutensiz ekmek kabuklarının $B\bar{I}$ değerleri 44,93-55,78 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 55,78 ve 44,93) $B\bar{I}$ değerleri sırasıyla C2 ve U250 glutensiz ekmek kabuklarında gözlenmiştir. U1 ve U2 katkılı glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özelliklerinden C^* , h° ve $B\bar{I}$ değerleri, katım oranı arttıkça kontrol örneklerine göre azalmıştır ($P<0,05$; **Şekil 4.12.** ve **Ek B.13.**).

Kontrol glutensiz ekmekler (C1 ve C2), U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi renk özellikleri (L^* , a^* , b^*) **Şekil 4.13.** ve **Ek B.12.**'de gösterilmiştir. Buna göre, ekmek içi L^* parlaklık/koyuluk değerleri 39,75-65,47 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük L^* parlaklık değerleri (sırasıyla 65,47 ve 39,75) sırasıyla C1 ve U150 glutensiz ekmek içlerinde tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. Kontrol (C1, C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin ekmek içi renk özellikleri.

Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) ekmek içi L^* parlaklık değerleri, U1 ve U2 unu katkılı ekmeklerin ekmek içi L^* parlaklık değerlerinden yüksektir ($P<0,05$). U1 veya U2 katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi L^* parlaklık değerleri katım oranı arttıkça azalmıştır ($P<0,05$). Glutensiz ekmeklerin ekmek içi a^* kırmızılık/yeşillik değerleri -2,27-4,70 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 4,70 ve -2,27) ekmek içi a^* kırmızılık değerleri U150 ve C1 glutensiz ekmek içlerinde gözlenmiştir ($P<0,05$). U1 veya U2 unu katkılı tüm glutensiz ekmeklerde ekmek içi a^* kırmızılık değerleri katım oranı arttıkça kontrollerine göre önemli düzeyde artmıştır ($P<0,05$), fakat her iki enerji seviyesinde üretilen glutensiz ekmeklerin aynı katım oranlarındaki değerler birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi b^* sarılık/mavilik değerleri 7,21-11,38 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 11,38 ve 7,21) ekmek içi b^* sarılık değerleri sırasıyla U150 ve C2 kontrol glutensiz ekmek içlerinde tespit edilmiştir ($P<0,05$). Kontrol glutensiz ekmeklerin (C1 ve C2) ekmek içi b^* sarılık değerleri (sırasıyla 7,40 ve 7,21) U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin b^* sarılık değerlerinden düşüktür ($P<0,05$). U1 veya U2 katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi b^* sarılık değerleri katım oranı arttıkça kontrollerine göre artmıştır fakat her iki enerji seviyesinde üretilen glutensiz ekmeklerin aynı katım oranlarındaki değerler birbirine benzer bulunmuştur (**Şekil 4.13.** ve **Ek B.12.**).

Kowalski vd. (2022), buğday unu ekmeği formülasyonuna %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında karabuğday unu ilave etmişlerdir. Buğday unu ekmeği içinin L^* parlaklık, a^* kırmızılık ve b^* sarılık değerlerini sırasıyla 73,18, 0,85 ve 18,88 olarak bulmuşlardır. Bununla birlikte, karabuğday unu katım oranlarına göre ekmek içlerinin L^* parlaklık değerlerini sırasıyla 67,72, 64,01, 61,02, 60,39 ve 57,06; a^* kırmızılık değerlerini sırasıyla 1,41, 2,11, 2,70, 3,13 ve 3,57; b^* sarılık değerlerini sırasıyla 16,22, 15,45, 15,17, 14,64 ve 13,90 olarak tespit etmişlerdir.

Kontrol ve UV-C işlemi görmüş karabuğday unu (U1 veya U2) katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi renk özelliklerinden kroma/renk doygunluğu (C^*), hue açısı/renk tonu (h°), beyazlık indeksi (B_I) değerleri **Şekil 4.13.** ve **Ek B.13.**'de gösterilmiştir. Buna göre, ekmek içi C^* değerleri 7,57-12,43 arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla 12,43 ve 7,57) C^* değerleri sırasıyla U150 ve C1 glutensiz ekmek içlerinde tespit edilmiştir. Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2)

ekmek içi C* değerleri (sırasıyla 7,63 ve 7,57) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi C* değerleri kontrollerine göre katım oranı arttıkça yükselmiştir ($P<0,05$). Glutensiz ekmeklerin ekmek içi h° açısı değerleri $67,31^\circ$ - $106,79^\circ$ arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla $106,79$ ve $67,31$) h° açısı değerleri sırasıyla C1 ve U150 glutensiz ekmek içlerinde tespit edilmiştir ($P<0,05$). Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) ekmek içi h° açısı değerleri ($106,79$ ve $106,62$) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi h° değerleri, katım oranı arttıkça kontrollerine göre azalmıştır ($P<0,05$). U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin ekmek içi Bİ değerleri $38,50$ - $64,60$ arasında değişmiştir. En yüksek ve en düşük (sırasıyla $64,60$ ve $38,50$) ekmek içi Bİ değerleri sırasıyla C1 ve U150 kodlu glutensiz ekmeklerde bulunmuştur ($P<0,05$). Kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) ekmek içi Bİ değerleri ($64,60$ ve $64,34$) birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). U1 veya U2 unu ilaveli glutensiz ekmeklerin ekmek içi Bİ değerleri, katım oranı arttıkça kontrollerine göre azalmıştır ($P<0,05$; **Şekil 4.13.** ve **Ek B.13.**).

4.9.3 Glutensiz Ekmeklerin Tekstür Özellikleri

Kontrol ve farklı enerji seviyelerinde (15 ve 45 W) UV-C işlemi uygulanan karabuğdayların öğütülmüş unlarının (sırasıyla U1 ve U2) farklı oranlarda ($\%10$, $\%25$, $\%50$) glutensiz ekmeklerde kullanılmasından sonra tekstür özelliklerinin incelenmesi **Tablo 4.14.**'te gösterilmiştir. Buna göre, U110 ve U125 kodlu glutensiz ekmeklerde U1 unu katım oranı arttıkça sertliğin kontrole (C1) göre azaldığı; U210, U225 ve U250 kodlu glutensiz ekmeklerde ise U2 unu katım oranı arttıkça sertliğin kontrole (C2) göre yine azaldığı tespit edilmiştir. Glutensiz kontrol ekmeklerinin esneklik değerleri, U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin esneklik değerlerinden (U210 kodlu ekmek hariç) genellikle yüksek bulunmuştur. U1 veya U2 unlarının glutensiz ekmeklerde katım oranı arttıkça kontrollerine göre genellikle esneklik değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Bağlayıcılık değerleri incelendiğinde, U1 unu katkılı glutensiz ekmeklerin kontrol ekmeği (C1) ile birbirine benzer bulunurken ($P>0,05$), her iki unun katım oranı arttıkça bağlayıcılık değerleri kontrollerine göre genellikle azalmıştır (**Tablo 4.14.**).

Tablo 4.14. Kontrol (C1, C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin tekstür özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	Sertlik* (g)	Esneklik* (mm)	Bağlayıcılık*	Yapışkanlık* (g)	Çiğnenebilirlik* (g)	Elastikiyet/ Direnç*
15 W (U1)	C1	1251,9 ± 166,89de	0,733 ± 0,072cd	0,769 ± 0,040a	958,4 ± 89,51cd	706,0 ± 126,47bc	0,516 ± 0,040a
	U110	1005,4 ± 114,76e	0,701 ± 0,051cd	0,784 ± 0,007a	788,9 ± 94,15d	553,7 ± 87,62c	0,512 ± 0,004a
	U125	1137,4 ± 63,27e	0,683 ± 0,026cd	0,747 ± 0,015abc	849,1 ± 30,41d	579,9 ± 12,64c	0,457 ± 0,017b
	U150	1507,9 ± 225,78cd	0,645 ± 0,050d	0,751 ± 0,013abc	1133,5 ± 180,77bc	727,5 ± 90,72bc	0,446 ± 0,013bc
45 W (U2)	C2	2075,2 ± 162,79a	0,835 ± 0,093ab	0,719 ± 0,028cde	1492,2 ± 139,16a	1249,6 ± 216,20a	0,456 ± 0,028b
	U210	1906,2 ± 254,15ab	0,880 ± 0,011a	0,703 ± 0,010de	1341,7 ± 195,79ab	1178,9 ± 160,74a	0,433 ± 0,009bc
	U225	1613,2 ± 112,54bc	0,667 ± 0,065cd	0,755 ± 0,026ab	1218,5 ± 96,50b	817,4 ± 141,47b	0,472 ± 0,027ab
	U250	1739,7 ± 204,57bc	0,748 ± 0,049bc	0,692 ± 0,055e	1198,2 ± 110,56b	899,2 ± 133,17b	0,397 ± 0,052c

*Ortalama ± standart sapma; n=3. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Nalbandian vd. (2023), Focaccia ekmeğini, buğday unu yerine %25, %50 ve %75 oranlarında tam karabuğday unu veya kavuzu ayrılmış karabuğday unu ile ikame ederek hazırlamışlardır. Ekmeklerin sertlik değerlerini, tam karabuğday unu eklenen ekmeklerde ikame oranı sırasına göre 26,62; 233,83 ve 542,75 *N*, kavuzu ayrılmış karabuğday unu eklenen ekmeklerde ise sırasıyla 44,43; 75,88 ve 358,99 *N* olarak tespit etmişlerdir. Buna göre, Focaccia ekmeklerinde, sertlik değerleri, katım oranı artışıyla birlikte artmıştır.

Kowalski vd. (2022), buğday ekmeği formülasyonuna %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında karabuğday unu ekleyerek ürettikleri ekmeklerin sertlik değerini incelemişlerdir. Buna göre, buğday ekmeğindeki sertlik değerini 18,44 *N* karabuğday unu katım oranına göre sertlik değerlerini sırasıyla 13,96; 16,09; 17,04; 25,41 ve 43,55 *N* olarak tespit etmişlerdir. Esneklik değerini buğday ekmeğinde 0,85, karabuğday unu katım oranına göre esneklik değerlerini sırasıyla 0,89; 0,91; 0,89; 0,91 ve 0,91 olarak tespit etmişlerdir. Bağlayıcılık değerini buğday ekmeğinde 0,66, karabuğday unu katım oranına göre bağlayıcılık değerlerini sırasıyla 0,77; 0,73; 0,73; 0,78 ve 0,69 olarak bulmuşlardır.

Tablo 4.14. incelendiğinde, U110, U125 ve U150 kodlu glutensiz ekmeklerinin yapışkanlık değerleri katım oranının artması ile artmış fakat kontrol ekmeğine göre önemli düzeyde değişmemiştir ($P>0,05$). U210, U225 ve U250 kodlu glutensiz ekmeklerin ise katım oranı arttıkça yapışkanlık değerleri kontrol örneğine göre azalmıştır fakat U2 unlu ekmeklerin aralarındaki fark önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). Araştırmada, U110, U125 ve U150 kodlu glutensiz ekmeklerin çiğnenebilirlik değerleri, katım oranı arttıkça artmış fakat kontrol örneği ile aralarındaki fark önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). Bununla birlikte U210, U225 ve U250 glutensiz ekmeklerin çiğnenebilirlik değerleri, U1 unu katkılı ekmeklerden yüksek olmakla birlikte, katım oranı arttıkça çiğnenebilirlik değerleri kontrole göre azalmıştır. U1 unu katkılı glutensiz ekmeklerin elastikiyet/direnç değerleri kontrol ekmeğine göre azalırken; U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin elastikiyet/direnç değerleri kontrol örneğine göre genellikle azalmıştır. En yüksek elastikiyet/direnç değerleri C1 kontrol ekmeğinde gözlenirken, bunu sırasıyla U110 ve U225 kodlu glutensiz ekmekler izlemiştir, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$; **Tablo 4.14.**).

Kowalski vd. (2022), kontrol ve buğday ekmeği formülasyonuna %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında karabuğday unu ekleyerek ürettikleri

ekmeklerin yapışkanlık değerini sırasıyla 12,46 ve karabuğday unu katım oranına göre 10,84; 11,60; 15,04; 20,08 ve 31,06 olarak tespit etmişlerdir. Çiğnenebilirlik değerini kontrol buğday ekmeğinde 10,46 olarak bulurlarken, karabuğday unu katım oranı artışına göre sırasıyla 10,35; 10,55; 13,64; 20,77 ve 24,90 olarak bulmuşlardır. Elastikiyet/direnç değerini kontrol buğday ekmeğinde 0,34, karabuğday unu katılan ekmeklerde sırasıyla 0,43; 0,41; 0,43; 0,45 ve 0,39 olarak tespit etmişlerdir. Çalışmada, %10, %20 ve %30 karabuğday unu katkılı ekmeklerde sertlik, yapışkanlık ve çiğnenebilirlik özellikleri diğer ekmeklere göre daha fazla azaltılmıştır. Buğday unu ekmeği formülasyonuna %30 oranında karabuğday unu eklenmesinin uygun olacağı sonucuna varmışlardır.

4.9.4 Glutensiz Ekmeklerin Bazı Besinsel Özellikleri

Kontrol ve UV-C uygulanmış karabuğday unu (U1 veya U2) katkılı glutensiz ekmekler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra dilimler halinde kurutulmuş ve daha sonra kahve değirmeninde öğütüldükten sonra nem tayinleri yapılmıştır. Glutensiz ekmeklerde yapılan tüm analiz sonuçları kuru madde miktarı üzerinden hesaplanmıştır. Buna göre, kontrol ekmekleri ve U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin nem değerleri %13,0-13,6 arasında değişmiştir. Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) nem değerleri sırasıyla %13,5 ve %13,6 ($P>0,05$) olup; UV-C işlemi görmüş karabuğday unu katkılı glutensiz ekmeklerin nem değerleri kontrol örneklerinden daha düşük ($P<0,05$) fakat birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$; **Tablo 4.15.**).

Kontrol ve farklı enerji seviyelerinde (15 ve 45 W) UV-C işlemi görmüş karabuğday unu (sırasıyla U1 veya U2) ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin toplam flavonoid madde (TFVN) miktarı (mg rutin eşd./g) **Tablo 4.15.**'te gösterilmiştir. Buna göre, kontrol ve U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin TFVN miktarı 2,18-8,24 mg rutin eşd./g arasında değişmiştir. Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) TFVN miktarları (sırasıyla 2,25 ve 2,18 mg rutin eşd./g) karabuğday unu katkılı glutensiz ekmeklerin TFVN miktarından daha düşüktür ve birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). U1 unu katkılı glutensiz ekmeklerin TFVN miktarları, U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerden katım oranı bazında daha yüksektir.

Tablo 4.15. Kontrol (C1, C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin nem ve bazı besinsel özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	Nem* (%)	Toplam Flavonoid* ^a (mg rutin eşd./g)	Protein* ^a (%)	Protein Sindirilirliği* ^a (%)	Nişasta Sindirilirliği* ^a (mg maltoz/g)
15 W (U1)	C1	13,5 ± 0,11a	2,25 ± 0,043f	5,4 ± 0,06d	33,9 ± 0,23abc	334,4 ± 2,39a
	U110	13,1 ± 0,44b	3,91 ± 0,107d	6,8 ± 0,06c	34,1 ± 0,11ab	216,6 ± 1,04b
	U125	13,1 ± 0,16b	6,34 ± 0,010b	8,5 ± 0,31b	34,3 ± 0,39a	203,2 ± 6,39c
	U150	13,0 ± 0,27b	8,24 ± 0,042a	11,7 ± 0,29a	34,4 ± 0,62a	149,8 ± 2,81d
45 W (U2)	C2	13,6 ± 0,03a	2,18 ± 0,080f	5,4 ± 0,21d	34,2 ± 0,16ab	338,3 ± 2,12a
	U210	13,1 ± 0,08b	3,69 ± 0,086e	6,9 ± 0,15c	32,6 ± 0,07d	214,0 ± 1,62b
	U225	13,0 ± 0,02b	5,16 ± 0,065c	8,6 ± 0,18b	33,3 ± 0,60c	208,1 ± 3,12c
	U250	13,0 ± 0,06b	6,31 ± 0,065b	11,8 ± 0,26a	33,6 ± 0,55bc	150,4 ± 2,57d

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^akuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

Her iki karabuğday unu katkılı glütensiz ekmeklerde katım oranı arttıkça TFVN miktarı kontrol örneklerine göre artmıştır. En yüksek TFVN miktarı U150 kodlu glütensiz ekmekte (8,24 mg rutin eşd./g) bulunurken; karabuğday unu katkılı glütensiz ekmeklerde en düşük TFVN miktarı U210 kodlu glütensiz ekmekte (3,69 mg rutin eşd./g) belirlenmiştir. Araştırmada, 45 W enerji seviyesinde UV-C işlemi gören karabuğdaydaki flavonoid bileşiklerde parçalanma meydana gelerek yapısını kaybettiği düşünülmektedir (**Tablo 4.15.**).

Rutin flavonoid bileşiği, karabuğdayda bulunan birçok farmakolojik etkiye sahip bir antioksidandır. UV ışık uygulamasının fenilpropanoid yolundaki enzimlerin aktivitesini uyardığı ve bitkilerdeki rutin miktarını etkilediği bildirilmiştir (Kreft vd., 2002).

Ultraviyole ışık uygulamasının bazı bitkilerdeki rutin miktarı üzerine etkisi çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır. Kreft vd. (2002) yaptığı bir çalışmada, farklı seviyelerdeki UV-B ışık uygulamasının bitkilerdeki rutin miktarı üzerine etkisini incelemiştir. En yüksek rutin miktarı bitkilerin sırasıyla çiçeklerde, yapraklarda ve saplarda tespit edilmiştir. En yüksek rutin miktarının, çevre koşullarındaki UV-B radyasyonu altında yetiştirilen bitkilerde bulunduğu ve bunu önce artırılmış daha sonra azaltılmış UV-B radyasyonu altında yetiştirilen bitkilerde görüldüğü bildirilmiştir (Kreft vd., 2002).

Suzuki vd. (2005), karabuğday (*Fagopyrum tataricum*) yaprağına UV-B ışık uygulamasını 302 nm'de 30 dakika boyunca gerçekleştirmişlerdir. Rutin miktarı ve rutin glukozidaz aktivitesinin sırasıyla %122 ve %363 oranında arttığını tespit etmişlerdir.

Vombergar vd. (2020), yaygın karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) ve tatar karabuğdayı (*F. tataricum* Gaertn.) öğütme fraksiyonlarına su ekledikten sonra elde edilen hamurlardaki flavonoid miktarı araştırmışlardır. Tatar karabuğdayında, common karabuğdaya kıyasla 100 kat daha fazla flavonoid bulunduğu tespit edilmiştir. Tatar karabuğdayı öğütme fraksiyonları içinde en yüksek flavonoid içeriğini 100-1000 µm partükül aralığına sahip fraksiyonda kuru maddede %3,5-4,5 olarak bulmuşlardır. Öğütme fraksiyonlarındaki partükül büyüklüğünün, karabuğday polifenollerinin ekstraksiyonu sırasında flavonoidlerin salınımını etkilediği sonucuna varmışlardır. Ayrıca, partükül boyutu küçük olan unlardaki enzimlerin daha aktif olabileceğini belirtmişlerdir.

Biswas vd. (2024), mikrodalga pişirmenin karabuğdayın fitobileşenleri ve alerjenik proteinleri üzerine etkilerini çalışmışlardır. Karabuğdayları Himalaya bölgesinin 5 farklı yerinden temin etmişlerdir. Karabuğday örneklerine mikrodalga işlemini 300 W enerji seviyesinde 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 saniye boyunca uygulamışlardır. Mikrodalga işlemi uygulanmış ve uygulanmamış karabuğday tanelerini öğütürerek analizler için depolamışlardır. Flavonoid madde miktarını 5 farklı karabuğday örneğinde 270,76-330,61 mg kuersetin eşd./100 g arasında bulmuşlardır. Karabuğdaylara mikrodalga işleminin 20, 40, 60, 80 ve 100 saniye uygulanmasından sonra flavonoid madde miktarını sırasıyla 266,39-327,58; 254,85-323,79; 250,08-317,42; 243,26-307,65 ve 239,85-300,62 mg kuersetin eşd./100 g arasında tespit etmişlerdir.

Glutensiz kontrol ekmekleri ve U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin protein miktarı kuru madde üzerinden %5,4-11,8 arasında değişmiştir (**Tablo 4.15.**). En düşük protein değeri, kontrol ekmeklerinde (C1 ve C2) kuru madde üzerinden %5,4 olarak bulunmuştur ($P>0,05$). En yüksek protein miktarı U250 kodlu glutensiz ekmekte (%11,8) bulunmuş olup bunu U150 kodlu glutensiz ekmeğin protein değeri (%11,7) takip etmiştir ($P>0,05$), diğer örnekler ile aralarındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$). U1 veya U2 unlu glutensiz ekmeklerdeki protein miktarı, katım oranı arttıkça kontrollerine göre önemli düzeyde artmıştır ($P<0,05$) fakat her iki unun benzer katım oranlarında protein miktarları yine birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$; **Tablo 4.15.**). Sonuç olarak farklı enerji seviyelerinde UV-C işlemi uygulanmış karabuğday unlarının kullanılması glutensiz ekmeklerin protein miktarını önemli düzeyde etkilemediği gözlenmiştir.

Kumar vd. (2020), buğday ununa UV-C işlemi uygulamasının protein ve diğer kalite özellikleri üzerine etkilerini çalışmışlardır. Buğday unlarına, 1,5, 3 ve 4,5 W enerji seviyesinde ve 50, 100, 150, 200 ve 250 saniye süresince UV-C (254 nm) ışığı uygulamışlardır. Buğday unlarının protein içeriğini düşük enerji seviyesinde (1,5 W ve 3 W) önemsiz düzeyde azaldığını, fakat 4,5 W enerji seviyesinde önemli düzeyde etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Protein değerini işlem görmemiş buğday ununda %12,2, en yüksek enerji seviyesi uygulanmış buğday ununda ise %11,2 olarak bulmuşlardır. UV-C işlemi ile protein içeriğindeki kısmi azalmayı, azotsuz radikallerin meydana gelmesine ve bunların UV-C işlemi sırasında amonyak veya azot oksitler gibi azotlu gazlar formunda

buğday unundan serbest bırakılmasına bağlamışlardır. Amonyanın serbest kalmasına, triptofan veya histidin gibi amino asitlerin sebep olduğunu belirtmişlerdir (Kumar vd., 2020).

Kontrol ve U1 veya U2 katkılı glutensiz ekmeklerin protein sindirilirliği (%) değerleri %32,6-34,4 arasında değişmiştir (**Tablo 4.15.**). En yüksek ve en düşük protein sindirilirliği sırasıyla U150 (%34,4) ve U210 (%32,6) kodlu glutensiz ekmeklerde bulunmuştur ($P<0,05$). Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) protein sindirilirliği sırasıyla %33,9 ve %34,2 olarak birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). U1 unu katkılı glutensiz ekmeklerde katım oranı artırıldıkça protein sindirilirliği değerleri çok az miktarda yükselmiş fakat bulunan değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerde protein sindirilirliği kontrole göre azalmıştır ($P<0,05$).

Wang vd. (2022), mikrodalga işlemi uygulamasının çimlendirilmiş Tatar karabuğdayı proteininin in vitro protein sindirilirliği üzerine etkisini incelemişlerdir. Tatar karabuğdayı tohumalarını Xichang Tarımsal Bilim Araştırma Enstitüsü'nden (Xichang, Çin) temin etmişlerdir. Karabuğday tohumlarının bir kısmına mikrodalga işlemini 300 W enerji seviyesinde, 30, 50, 70, 90 ve 100 saniye süresince; diğer kısmına 200, 300, 400, 500 ve 600 W enerji seviyesinde 50 saniye süresince uygulamışlardır. Çimlendirme işlemini %80 bağıl nem, 25 °C'de ve karanlıkta gerçekleştirmişlerdir. Çimlendirme işlemini 3, 5 ve 7 gün boyunca uygulamışlardır. Mikrodalga işleminin çimlendirilmiş Tatar karabuğdayı proteininin sindirimini önemli ölçüde artırdığını bulmuşlardır. Mikrodalga uygulaması işlemini 300 W, 50 saniye boyunca uygulanan ve 5 gün boyunca çimlendirilen örnekteki protein sindirilirliğini en yüksek (%89,02) olarak, işlem uygulanmamış örneğe kıyasla %5,56 arttığını tespit etmişlerdir. Proteinin pepsin/tripsin enzimi ile kolayca hidroliz edildiğini belirtmişlerdir.

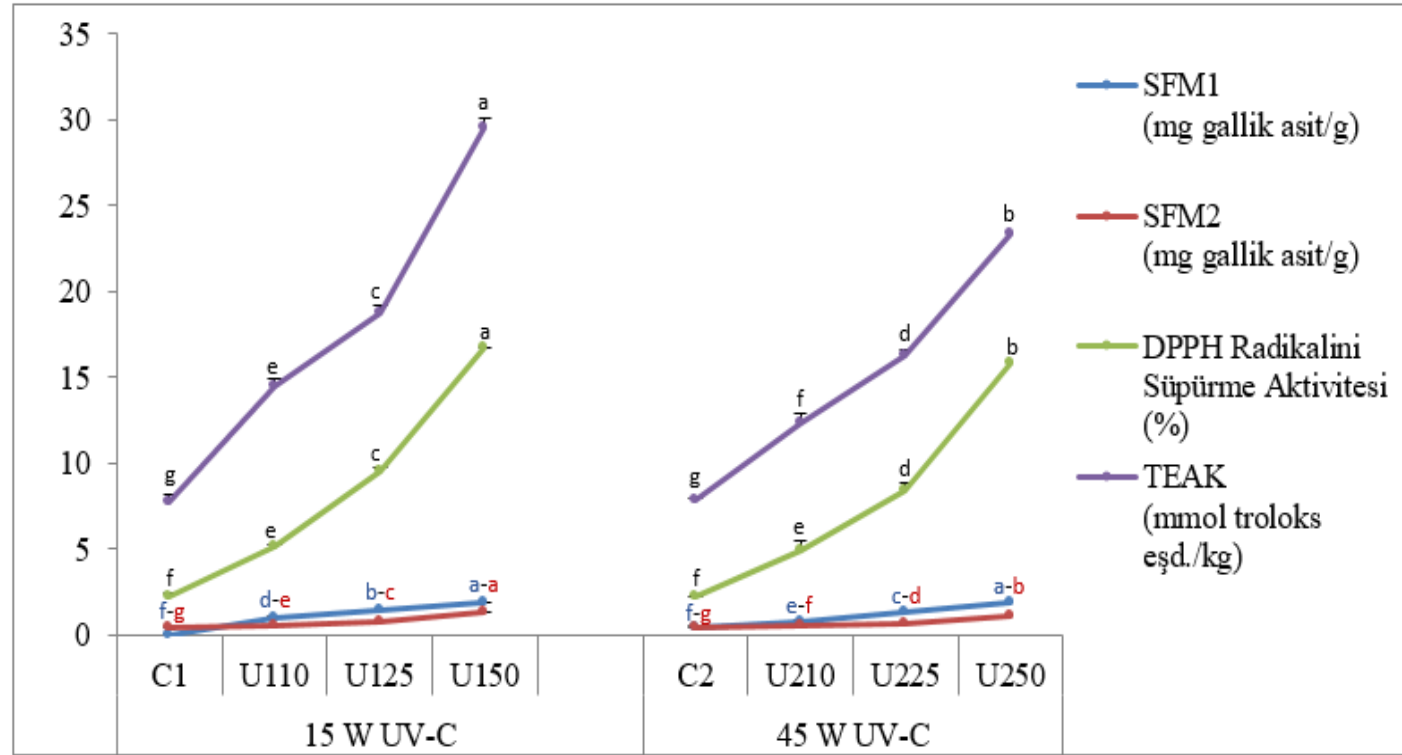
Demir ve Elgün (2014), tam buğday ununun kepek fraksiyonunun stabilizasyonunu otoklavlama, mikrodalga, kızılötesi ve UV-C işlemleri ile yaptıktan sonra tam buğday ekmeği üretiminde kullanarak besinsel özellikler üzerine etkisini çalışmışlardır. İki farklı buğday çeşidine UV-C (254 nm) işlemini 30 W enerji seviyesinde 3 dakika uygulamışlardır. Mikrodalga işlemini, 750 W ve 70 °C'de 1 dakika süresince; kızılötesi işlemini, 250 W ve 70 °C'de 1 dakika uygulamışlardır. Protein sindirilirliğini kontrol ekmeğinde, UV-C, mikrodalga ve

kızılötesi işlemleri uygulanan tam buğday ekmeğinde sırasıyla, %69,3; %72,9; %74,7 ve %75,6 olarak bulmuşlardır.

Kontrol ve U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin nişasta sindirilirliği sonuçları 149,8-338,3 mg maltoz/g arasında değişmiştir (**Tablo 4.15.**). En yüksek ve en düşük nişasta sindirilirliği değerlerini sırasıyla C2 kontrol ekmeğinde (338,3 mg maltoz/g) ve U150 kodlu glutensiz ekmekte (149,8 mg maltoz/g) bulunmuştur ($P<0,05$). Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) nişasta sindirilirliği değerleri (sırasıyla 334,4 ve 338,3 mg maltoz/g) diğer örneklerle göre en yüksek olmakla birlikte birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). U1 veya U2 unlu glutensiz ekmeklerde katım oranı artırıldıkça, nişasta sindirilirliği değerleri kontrollerine göre önemli düzeyde azalmıştır ($P<0,05$). Her iki unun aynı katım oranına sahip glutensiz ekmeklerin nişasta sindirilirliği birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Bu sonuçlara göre, kontrol ekmeklerindeki nişasta sindirilirliğinin en yüksek bulunmasının sebebi, besinsel lifçe zengin karabuğday unu içermemeleridir. Diğer karabuğday unu katkılı ekmeklerde besinsel lif miktarının artmasından dolayı nişasta sindirilirliği önemli düzeyde azalmıştır. Ayrıca, farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unlarının (U1 ve U2) glutensiz ekmeklerde kullanılması, nişasta sindirilirliğinde, katım oranı bazında aynı etkiyi yaratmıştır (**Tablo 4.15.**).

4.9.5 Glutensiz Ekmeklerin Biyoaktif Madde Özellikleri

Glutensiz kontrol ekmekleri ve farklı enerji seviyelerinde (15 ve 45 W) UV-C ışık uygulanan karabuğdaylardan elde edilen unların (sırasıyla U1 ve U2) farklı oranlarda (%10, %25, %50) kullanılması ile üretilen glutensiz ekmeklerin kuru madde üzerinden serbest fenolik madde (SFM) ve antioksidan aktivite özellikleri **Şekil 4.14.**'de gösterilmiştir. Serbest fenolik madde miktarı, dimetilsülfoksit (DMSO) ve %80'lik metanol çözeltileri kullanılarak ekstrakte edilmiş örneklerde ayrı ayrı belirlenmiş ve sonuçlar mg gallik asit/g örnek olarak ifade edilmiştir. Kontrol ekmekleri ve U1 veya U2 katkılı glutensiz ekmeklerde DMSO ekstraksiyonu ile belirlenen SFM miktarı 0,50-1,92 mg gallik asit/g arasında değişirken; %80'lik metanol ekstraksiyonu ile belirlenen SFM miktarı 0,44-1,34 mg gallik asit/g arasında değişmiştir (**Şekil 4.14.; Ek B.14.**).



Şekil 4.14. Kontrol (C1, C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanmış karabuğday unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin serbest fenolik madde (SFM) ve antioksidan aktivite özellikleri.

Glutensiz kontrol ekmeklerinde (C1 ve C2), her iki ekstraksiyon çözeltisi ile belirlenen SFM miktarları, U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerde belirlenen SFM miktarlarına göre daha düşük bulunmuştur ($P>0,05$). Karabuğday unu katkılı glutensiz ekmeklerde, her iki ekstraksiyon çözeltisi ile belirlenen SFM miktarları U1 veya U2 unu katım oranı arttıkça kontrollerine göre artış göstermiştir ($P<0,05$). Serbest fenolik madde miktarı bakımından bu artış, U110, U125 ve U150 kodlu glutensiz ekmeklerde daha fazla olmuştur. Araştırmada, DMSO ekstraksiyonu ile belirlenen SFM miktarları, %80'lik MetOH ile belirlenen SFM miktarlarına göre daha yüksektir. Dimetilsülfoksit kullanılarak belirlenen en yüksek SFM miktarı U150 kodlu glutensiz ekmekte (1,92 mg gallik asit/g) belirlenmiştir, bunu U250 kodlu glutensiz ekmek (1,87 mg gallik asit/g) takip etmiştir, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$; **Şekil 4.14.; Ek B.14.**).

UV-C ışık uygulamasının tahıllarda kullanımı üzerine çok az çalışma gerçekleştirilmiştir. Ferreira vd. (2020), kahverengi, siyah ve kırmızı pirinç tanelerinde UV-C ışık muamelesini yaptıktan sonra depolamanın etkisini incelemişler ve sonucunda mantar kontaminasyonunda ve mikotoksinlerde bir azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, çalışmalarında çoğunlukla siyah ve kırmızı genotiplerde olmak üzere, fenolik bileşiklerde artış olduğunu bildirmişlerdir.

Biswas vd. (2024), 5 farklı karabuğday örneğinde toplam fenolik madde miktarını, 349,34-546,51 mg gallik asit eşd./100 g arasında bulmuşlardır. Karabuğday örneklerine mikrodalga işlemini 20, 40, 60, 80 ve 100 saniye uyguladıktan sonra toplam fenolik madde miktarı sırasıyla 345,94-535,42; 340,32-527,8; 332,37-511,34; 325,67-500 ve 320,72-492,81 mg gallik asit eşd./100 g arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Demir ve Elgün, (2014), kepek fraksiyonuna UV-C, mikrodalga ve kızılötesi işlemi uygulandıktan sonra tam buğday ekmeği üretiminde kullandıkları çalışmalarında, kontrol ve tam buğday ekmeklerinde işlem görmüş kepek fraksiyonuna göre toplam fenolik madde miktarını sırasıyla, 1,2; 1,4; 1,2 ve 1,4 mg gallik asit eşd./g olarak bulmuşlardır.

Kontrol ve U1 veya U2 unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin antioksidan aktivitesi DPPH radikalini süpürme aktivitesi (%) ve troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi (TEAK, mmol troloks eşd./kg) olarak ifade edilmiş ve

sonuçlar **Şekil 4.14.**'de ve **Ek B.14.**'de gösterilmiştir. Buna göre, U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin DPPH radikalini süpürme aktivitesi (%) katım oranı artırıldıkça kontrollerine göre önemli düzeyde artmıştır ($P<0,05$). Nitekim U110, U125 ve U150 kodlu glutensiz ekmeklerin DPPH radikalini süpürme aktivitesi (sırasıyla %5,23, %9,51 ve %16,72), U210, U225 ve U250 kodlu glutensiz ekmeklerin DPPH radikalini süpürme aktivitesinden (sırasıyla %4,88, %8,38 ve %15,85) katım oranlarına göre daha yüksektir. Kontrol glutensiz ekmeklerin (C1 ve C2) DPPH radikalini süpürme aktivitesi tüm örnekler içerisinde en düşüktür ve birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$;). Ayrıca, U110 ve U210 kodlu glutensiz ekmeklerin DPPH radikalini süpürme aktivitesi (sırasıyla %5,23 ve %4,88) kontrol örneklerinden yüksek ($P<0,05$) fakat bulunan değerler istatistiksel olarak birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$; **Şekil 4.14.** ve **Ek B.14.**).

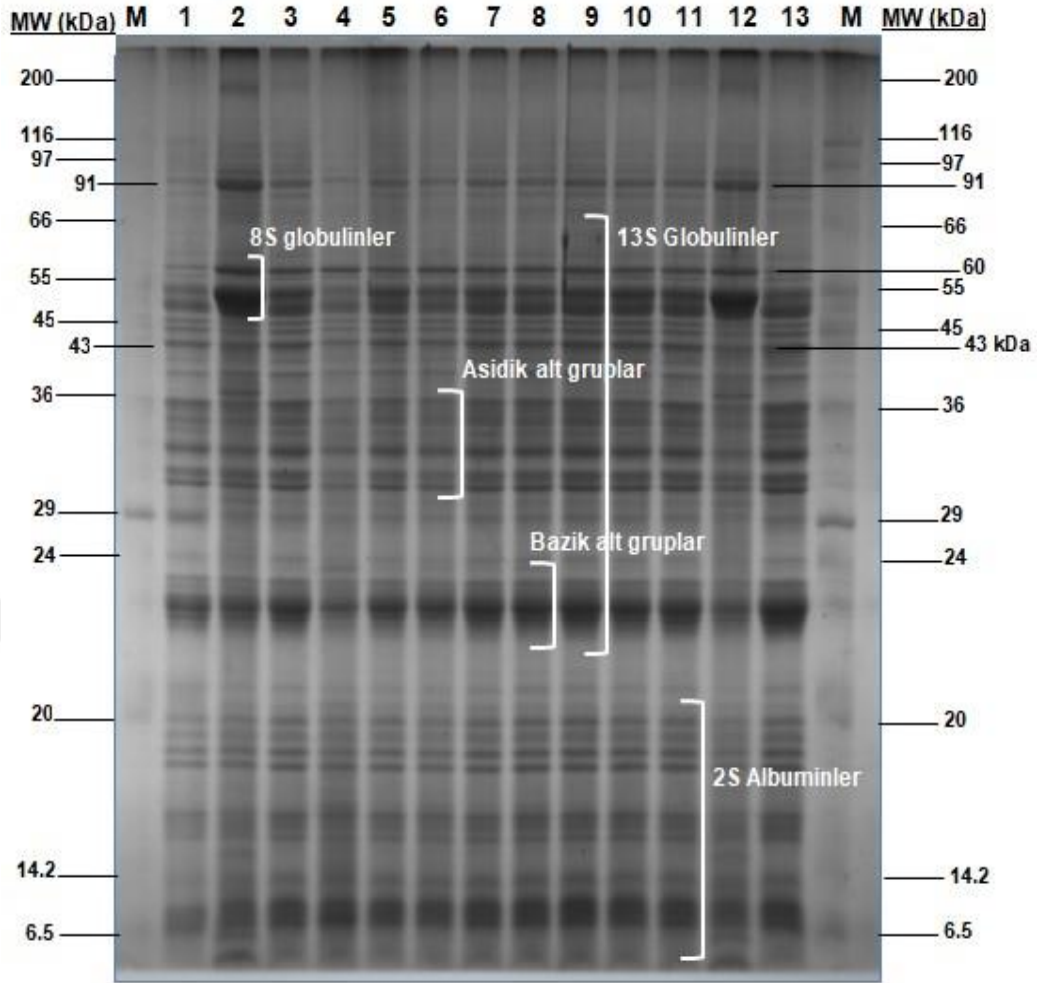
Wang vd. (2022), tatar karabuğdayı proteinlerinin antioksidan aktivitesinin, çimlendirme süresinin artırılmasıyla birlikte arttığını daha sonra yavaş yavaş azaldığını tespit etmişlerdir. En yüksek antioksidan aktiviteyi, tatar karabuğdayı proteinine 300 W enerji ve 50 saniye süreyle uygulanan mikrodalga işlemiyle ve 5 gün çimlendirilmiş karabuğdayda belirlemişlerdir. Çalışmada DPPH ve ABTS radikallerini süpürme kapasitesi sırasıyla 12,65 μmol troloks eşd./g ve 47,15 μmol troloks eşd./g'ye yükselmiş, kontrole kıyasla sırasıyla %32,35 ve %41,95 artış sağlamışlardır. Çalışmalarında, düşük güçte ve kısa süreli mikrodalga ön işlemenin tatar karabuğdayı proteininin besinsel değerini ve biyolojik aktivitesini geliştirmek için etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Glutensiz kontrol ekmekleri ve U1 veya U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin TEAK antioksidan değerleri 7,75-29,48 mmol troloks eşd./kg arasında değişmiştir, U1 veya U2 unu katım oranı artırıldıkça TEAK antioksidan değerleri kontrollerine göre önemli düzeyde artmıştır ($P<0,05$; **Şekil 4.14.** ve **Ek B.14.**). Çalışmada U110, U125 ve U150 kodlu glutensiz ekmeklerin TEAK değerleri (sırasıyla 14,51, 18,75 ve 29,48 mmol troloks eşd./kg), U210, U225 ve U250 kodlu glutensiz ekmeklerin TEAK değerlerinden (sırasıyla 12,36, 16,27 ve 23,38 mmol troloks eşd./kg) katım oranına göre daha yüksek bulunmuştur. Glutensiz kontrol ekmeklerinin (C1 ve C2) TEAK değerleri (sırasıyla 7,75 ve 7,85 mmol troloks eşd./kg) diğer karabuğday unu katkılı örneklerle göre en düşük ($P<0,05$) ve istatistiksel olarak birbirine benzer bulunmuştur ($P>0,05$; **Şekil 4.14.** ve **Ek B.14.**).

Biswas vd. (2024), 5 farklı karabuğday örneğinde antioksidan miktarını 32,50-35,10 mg/g arasında bulmuşlardır. Karabuğday örneklerine mikrodalga işleminin 20, 40, 60, 80 ve 100 saniye uygulanmasından sonra antioksidan miktarları sırasıyla 32,00-34,45; 31,77-34,31; 31,37-33,93; 31,06-33,45 ve 30,95-33,00 mg/g arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

4.9.6 Karabuğdayların Tam, Kırma ve Öğütme Unlarının Jel Elektroforezde (SDS-PAGE) Protein Profillerinin İncelenmesi

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday örneklerinin tam unlarının protein kompozisyonları, β -merkaptotanol indirgeyici ajan kullanılarak, sodyum dodesil sülfat poliakrilamid jel elektroforezde (SDS-PAGE) incelenmiş ve **Şekil 4.15.**'de gösterilmiştir. β -merkaptotanol, protein molekülündeki disülfid bağlarını kırarak protein molekülünün alt-gruplara (subunite) ayrılmasını ve SDS-PAGE'te molekül ağırlıkları dağılımının daha net gözlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, ilk kez yerli tam karabuğday unlarının protein molekül ağırlıkları dağılımları, valsli değirmende açığa çıkan öğütme ve kırma unlarının protein dağılımları ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu amaçla, kontrol olarak kullanılan ve Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* çeşidi karabuğdayın öğütme, kırma ve tam unları (sırasıyla Kulvar: 1, 2, 3) ile yine Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinin kırma ve öğütme unları (sırasıyla Kulvar: 12, 13) jel elektroforegramda kullanılmıştır. **Şekil 4.15.** incelendiğinde, 13S hegzamerik globulinleri (20-68 kDa) meydana getiren 8S globulinler (57-58 kDa), asidik alt-grup globulinler (26-36 kDa) ve bazik alt-grup globulinler (20-22 kDa) jel elektroforegramda gösterilmiştir. Tam karabuğday unları (Kulvar: 3-11) ve öğütme unlarının (Kulvar: 1 ve 13) 8S globulin proteinlerinin bant yoğunlukları, kırma unlarındaki (Kulvar: 2 ve 12) aynı proteinlerin bant yoğunlukları kadar yoğun bulunmamıştır, bu sonuç söz konusu proteinlerin konsantrasyonlarının düşük olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde, 91 kDa molekül ağırlığındaki protein bandının bant yoğunluğu yine kırma unlarında daha fazladır. Bununla birlikte, 43 kDa molekül ağırlığına sahip tiamin-bağılı protein bandının, tam ve öğütme unlarında daha belirgin ve protein bant yoğunluğu yüksek bulunurken, kırma unlarında bu protein bandına rastlanmamıştır.

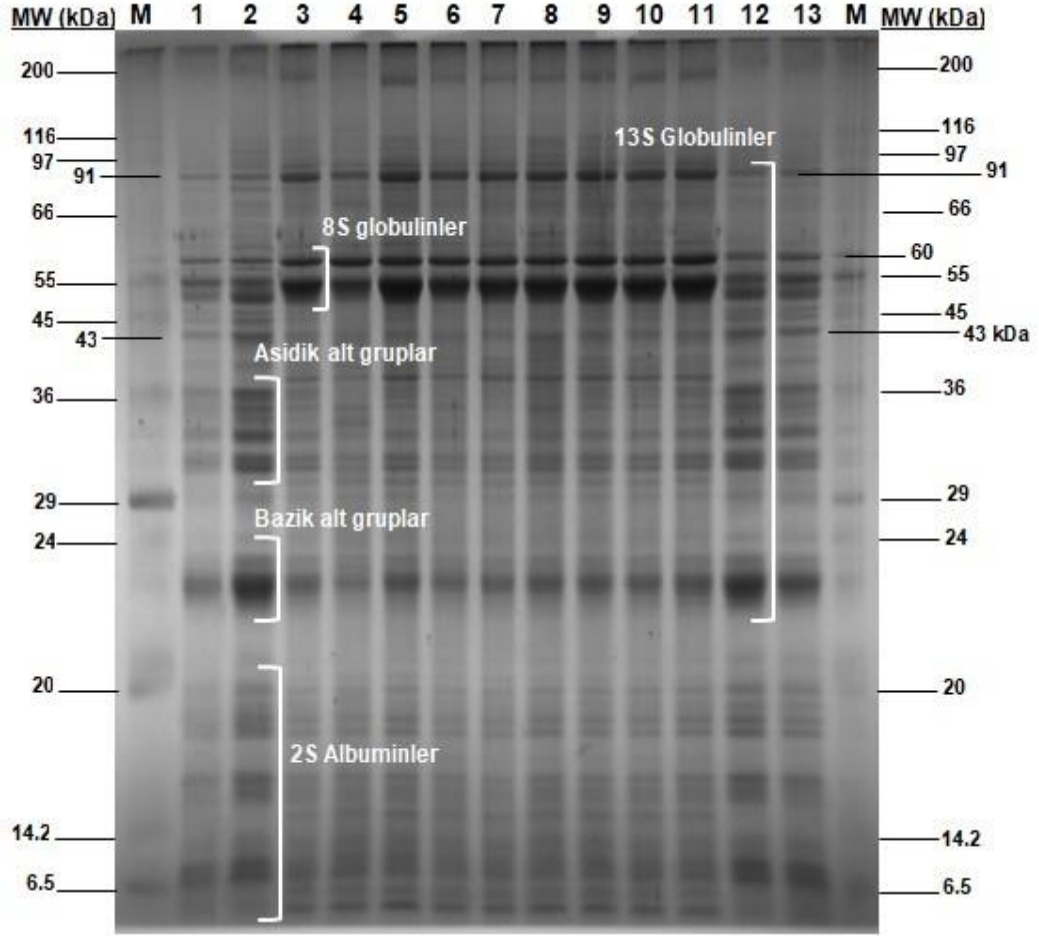


Şekil 4.15. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday örneklerinin tam unlarının protein kompozisyonlarının, β -merkaptotanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi. **M:** Wide-range protein markörleri, **1:** *Aktaş cv.* (Konya) öğütme unu, **2:** *Aktaş cv.* (Konya) kırma unu, **3:** *Aktaş cv.* (Konya) tam unu, **4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11:** sırasıyla Kastamonu, Afyon, Şanlıurfa, Bilecik, Niğde, Çorum, Aksaray, Konya lokasyonlarında yetişen *Güneş cv.* karabuğday örneklerinin tam unları, **12:** *Güneş cv.* (Konya) kırma unu, **13:** *Güneş cv.* (Konya) öğütme unu.

Şekil 4.15. incelendiğinde, 2S albuminlerin (<20 kDa) protein bant yoğunluğu, tam karabuğday unlarında ve öğütme unlarında daha fazla bulunurken, aynı proteinlerin bant yoğunluğu kırma unlarında daha düşük bulunmuştur. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayların tam unlarının protein elektroforegramları genellikle birbirine benzer ve homojen bulunmuştur.

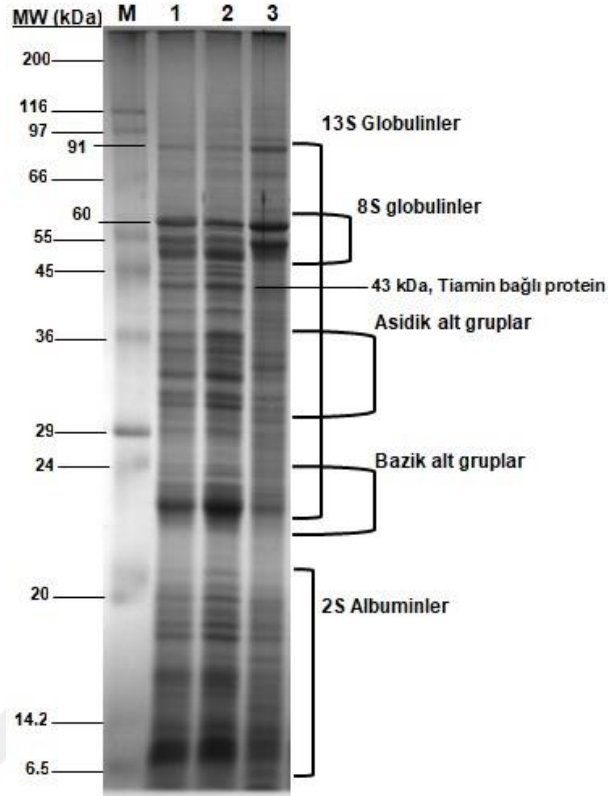
Karabuğday proteinlerinin büyük bir kısmını albumin (2S albuminler) ve globulinler (8S ve 13S globülinler) meydana getirir. Globulinler, 12-13 alt-gruptan meydana gelir ve 16-66 kDa arasında molekül ağırlıklarına sahip oldukları bildirilmiştir (Radović vd., 1996; Tang ve Wang, 2010). **Şekil 4.15.**'deki karabuğday unlarının protein bant desenleri incelendiğinde, 55-62 kDa arasında oldukça büyük ve hegzamerik yapıdaki globulin proteini (13S proteini), indirgeyici ajanın etkisiyle hegzamerik yapısı parçalanmış ve farklı alt-gruplara ayrılmıştır. Karabuğdayın başlıca depo proteini olan 13S globulin proteini disülfid bağları ile bağlı asidik ve bazik alt-gruplardan meydana geldiği bildirilmiştir (Arslan vd., 2021), asidik ve bazik alt-grupların β -merkaptetanolün etkisiyle jel elektroforegramda daha net olarak ayrıldığı gözlenmiştir.

Farklı lokasyonlarda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday örneklerinin kırma unlarının protein kompozisyonları, β -merkaptetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE'te incelenmiş ve **Şekil 4.16.**'da gösterilmiştir. Jel elektroforegram incelendiğinde *Aktaş cv.* çeşidi karabuğdayın tam, öğütme ve kırma unları (sırasıyla Kulvar 1, 2, 3) ile *Güneş cv.* çeşidinin öğütme ve tam unları (sırasıyla Kulvar 12 ve 13) karşılaştırma amacıyla jel elektroforeze yüklenmiştir. Buna göre, valsli değirmende öğütülen karabuğdayların kırma unlarının protein profili ilk kez bu çalışmada gösterilmiştir. **Şekil 4.16.** incelendiğinde, kırma unlarının (Kulvar 3-11) 91 kDa, 60 kDa ve 8S globulinleri oldukça belirgin ve yoğun protein bant profilleri vermiştir. Bu protein bantlarının yoğunlukları öğütme unlarından (Kulvar 2 ve 12) daha fazladır. Bazik alt-grup globulinler kısmen de olsa kırma unlarında bulunduğu görülmüştür. Kırma unlarında asidik alt-grup globulinler ve 2S albümin proteinlerinin (<20 kDa) önemli düzeyde bulunmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kırma unlarının 43 kDa molekül ağırlığına sahip tiamin bağlı proteini içermediği tespit edilmiştir, aynı protein, tam karabuğday unları (Kulvar 1 ve 13) ve öğütme unlarında (Kulvar 2 ve 12) belirgin olarak bulunduğu görülmüştür. **Şekil 4.16.** incelendiğinde, öğütme unları tüm protein gruplarını tam karabuğday unlarına göre daha yüksek konsantrasyonda içerdiği tespit edilmiştir. Kırma unları, tam karabuğday ve öğütme unlarına göre daha özgün, seyrelmiş protein bant profiline sahip olduğu kaydedilmiştir.



Şekil 4.16. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday örneklerinin kırma unlarının protein kompozisyonlarının, β -merkaptetoetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi. **M:** Wide-range protein markörleri, **1:** *Aktaş cv.* (Konya) tam unu, **2:** *Aktaş cv.* (Konya) öğütme unu, **3:** *Aktaş cv.* (Konya) kırma unu, **4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11:** sırasıyla Kastamonu, Afyon, Şanlıurfa, Bilecik, Niğde, Çorum, Aksaray, Konya lokasyonlarında yetişen *Güneş cv.* karabuğday örneklerinin kırma unları, **12:** *Güneş cv.* (Konya) öğütme unu, **13:** *Güneş cv.* (Konya) tam unu.

Kastamonu lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinin tam unu (Kulvar 1), öğütme unu (Kulvar 2) ve kırma ununun (Kulvar 3) protein kompozisyonları, β -merkaptetoetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmiş ve **Şekil 4.17.**’de gösterilmiştir. Buna göre, Kastamonu lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın tam, öğütme ve kırma unlarının jel elektroforezi ilk kez bu çalışmada detaylı olarak incelenmiştir, ayrıca **Şekil 4.15.** ve **Şekil 4.16.**’de gösterilen karabuğday unlarının bant desenlerinin bir teyit çalışması niteliğinde yapılmıştır.



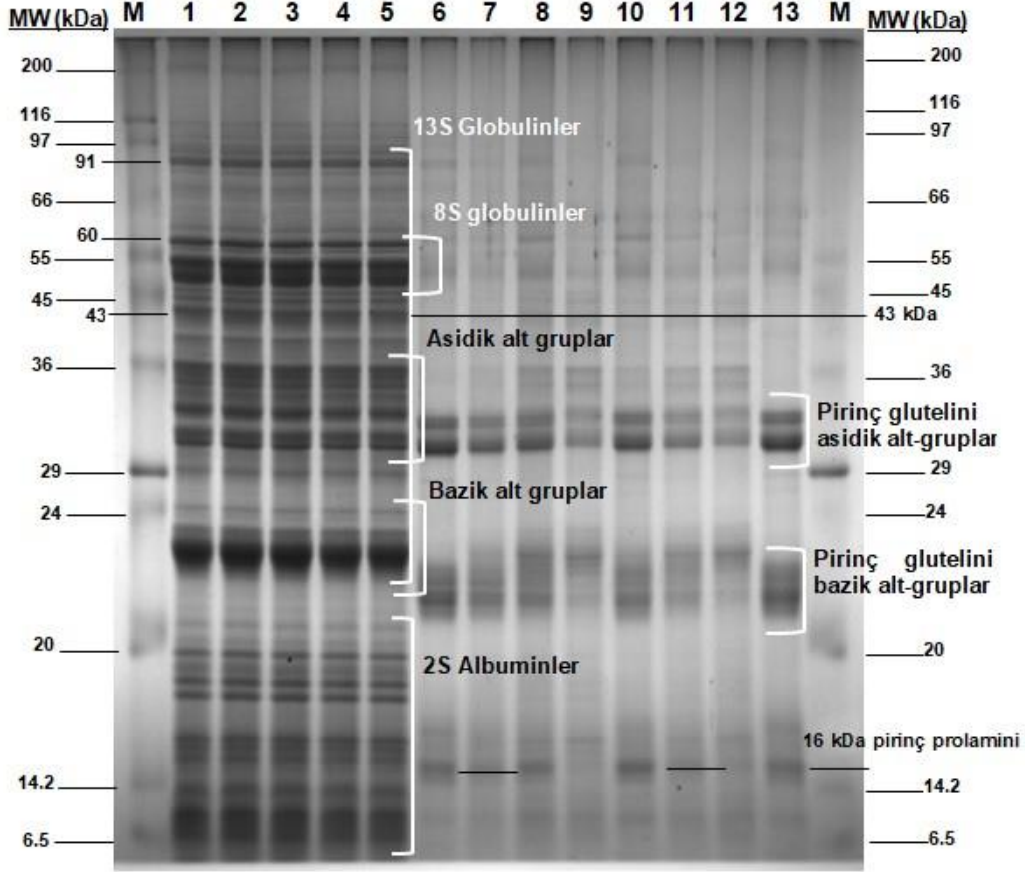
Şekil 4.17. Kastamonu lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinin tam unu (1), öğütme unu (2) ve kıрма ununun (3) protein kompozisyonlarının, β -merkaptoetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi. **M:** Wide-range protein markörleri.

Şekil 4.17. incelendiğinde, 13S hegzamerik globulin proteininin β -merkaptoetanol indirgeyici ajan kullanılarak disülfid bağları kırılmış ve globulinlerin 22-91 kDa molekül ağırlığı arasında çeşitli alt-gruplara ayrıldığı görülmüştür. Jel elektroforegramda tam ve öğütme unları hemen hemen aynı protein profiline sahipken, kıрма ununun spesifik protein bantlarını daha yoğun konsantrasyonda içerdiği görülmüştür. Buna göre, jel elektroforegramda 55-60 kDa arasında 8S globulinler, 43 kDa molekül ağırlığına sahip tiemin bağı protein, 30-36 kDa molekül ağırlığına sahip asidik ve 22-24 kDa arası bazik alt-grup globulinleri yer almıştır. Ayrıca, 20 kDa molekül ağırlığı altında 2S albuminleri içerdiği tespit edilmiştir. Biswas vd. (2024), 20 kDa molekül ağırlığının altındaki proteinlerin, özellikle 19 ve 16 kDa molekül ağırlığına sahip proteinlerin, alerjik proteinler olduğunu bildirmiştir. **Şekil 4.17.**’de, öğütme ve kıрма unlarının bazı özgün protein bantlarını/gruplarını daha belirgin ve yoğun olarak içerdiği tespit edilmiştir. Örneğin, kıрма unu 91 kDa molekül ağırlığındaki proteini, tam ve öğütme unlarındakine göre daha yüksek konsantrasyonda içerirken, 43 kDa

molekül ağırlığındaki tiamin bağlı protein kırma ununda görülmemiş, aynı proteinin tam ve öğütme unlarında bulunduğu kaydedilmiştir. Ayrıca, **Şekil 4.17.** incelendiğinde, kırma unu, asidik ve bazik alt-grup globulinleri ve 2S albümin proteinlerini (<20 kDa) tam ve öğütme unlarına göre daha düşük konsantrasyonda içerdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, valsli değirmende farklı fraksiyonlar olarak toplanan öğütme ve kırma unlarının protein profillerinde önemli bazı farklılıkların bulunduğu bu araştırmada kaydedilmiştir.

4.9.7 Karabuğday Maltı Unlarının ve Malt Unu Katkılı Glutensiz Ekmeklerin Jel Elektroforezde (SDS-PAGE) Protein Profillerinin İncelenmesi

Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinden iki farklı koşulda üretilen karabuğday maltı unlarının protein kompozisyonları, β -merkaptotanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmiş ve **Şekil 4.18.**’de gösterilmiştir. Buna göre, iki farklı koşulda üretilen karabuğday maltı unlarının I. ve II. tekerrürleri de aynı elektroforegramda gösterilerek, tekerrürler arası farklılığın olup olmadığı teyit edilmiş ve üretilen karabuğday maltı unları, tam karabuğday unu (Kulvar 1) ile karşılaştırılmıştır. **Şekil 4.18.** incelendiğinde, I. ve II. koşulda üretilen karabuğday maltı unlarının I. tekerrürleri sırasıyla 2 ve 3 numaralı kulvarlarda; I. ve II. koşulda üretilen karabuğday maltı unlarının II. tekerrürleri sırasıyla 4 ve 5 numaralı kulvarlarda gösterilmiştir. Buna göre, I. ve II. koşulda üretilen karabuğday maltı unlarının jel elektroforegramları birbirine benzer bulunmuş, önemli düzeyde farklılıklar tespit edilmemiştir. Fakat karabuğday maltı üretimi sırasında meydana gelen proteolitik aktiviteler ile bazı yüksek moleküler ağırlıklı proteinlerin hidrolizi sonucu daha küçük protein moleküllerine dönüştüğü ve bazı protein bantlarında/gruplarında yoğunlaşmalar veya konsantrasyonlarında artışlar gözlenmiştir. Örneğin, 36 kDa ve 20 kDa civarındaki protein bantlarında bu yoğunlaşmaları **Şekil 4.18.**’de açıkça görülmektedir. Aynı şekilde, karabuğday maltı unlarında, 43 kDa molekül ağırlığına sahip tiamin bağlı protein bandının yoğunluğunda azalma gözlenmiş olup, muhtemelen çimlendirme sırasında proteazlar ile hidrolize uğradığı düşünülmektedir.



Şekil 4.18. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinden iki farklı koşulda üretilen karabuğday maltı unlarının ve bu malt unlarının belli oranlarda glutensiz ekmek formülasyonlarına katılarak üretilen glutensiz ekmeklerin protein kompozisyonlarının, β -merkaptetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi. **M:** Wide-range protein markörleri, **1:** *Güneş cv.* (Konya) tam unu, **2:** I. koşul, I. tekerrür karabuğday malt unu, **3:** II. koşul, I. tekerrür karabuğday malt unu, **4:** I. koşul, II. tekerrür karabuğday malt unu, **5:** II. koşul, II. tekerrür karabuğday malt unu, **6:** Glutensiz kontrol ekmeği, **7, 8, 9:** I. koşulda üretilen karabuğday malt unu katkılı (sırasıyla %10, 25 ve 50) glutensiz ekmekler, **10,11, 12:** II. koşulda üretilen karabuğday malt unu katkılı (sırasıyla %10, 25 ve 50) glutensiz ekmekler, **13:** Glutensiz kontrol ekmeği.

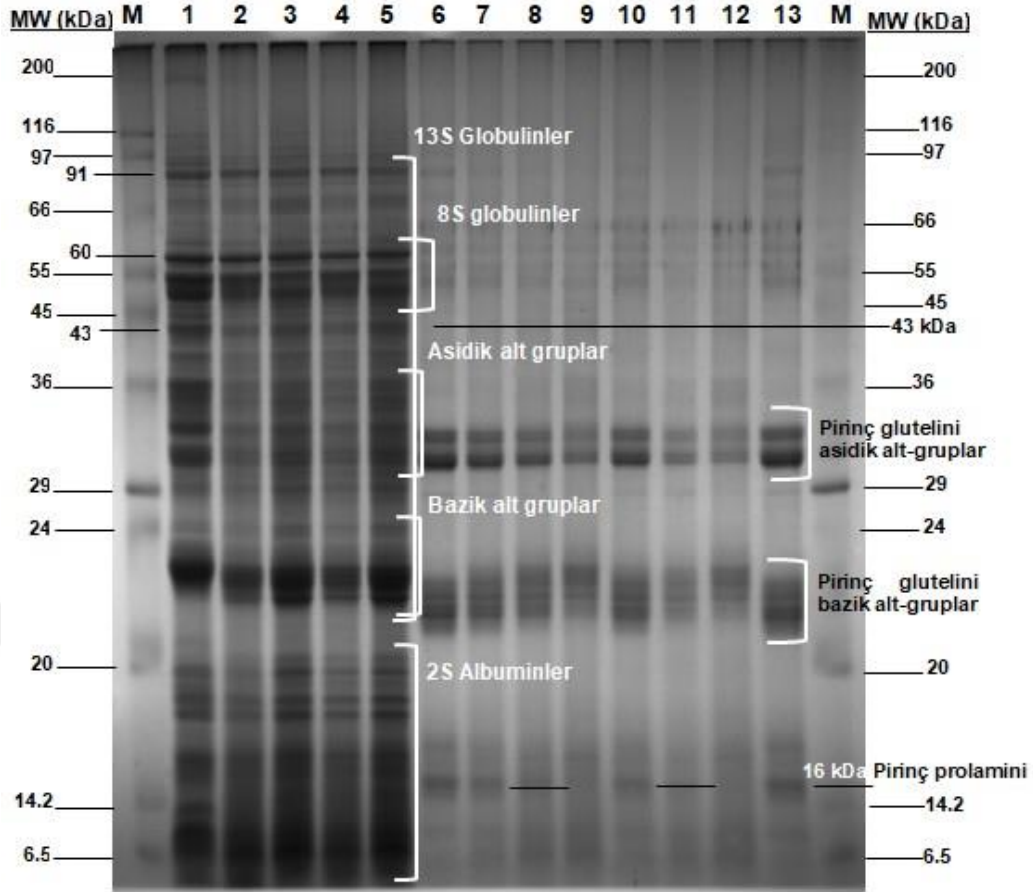
Tam karabuğday ununda bulunan başlıca protein grupları, farklı koşullarda üretilen karabuğday maltı unlarında da yer almaktadır, bunlar 13S hegzamerik proteinin parçalanması ile açığa çıkan 8S globulinler, asidik ve bazik globulinler, ayrıca 2S albuminlerin de malt unlarında bulunduğu **Şekil 4.18.**’de gösterilmiştir.

Karabuğday maltı unlarının belli oranlarda glutensiz ekmek formülasyonlarına katılarak üretilen glutensiz ekmeklerin protein kompozisyonları, β -merkaptetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmiş ve **Şekil 4.18.**’de gösterilmiştir. Buna göre, pirinç unu ve mısır

nişastasından üretilen kontrol glutensiz ekmeğinin jel elektroforegramları **Şekil 4.18.**'de 6 ve 13 numaralı kulvarlarda gösterilmiştir. **Şekil 4.18.** incelendiğinde, kontrol glutensiz ekmeğinde bulunan pirinç unu kaynaklı pirinç glutelin proteininin 32-34 kDa molekül ağırlığına sahip asidik alt-grupları, 20-23 kDa molekül ağırlığına sahip bazik alt-grupları ve 16 kDa molekül ağırlığına sahip pirinç prolamin proteini (Amagliani vd., 2017) jel elektroforegramda belirgin olarak tespit edilmiştir. Jel elektroforegramda, I. koşulda üretilen karabuğday maltının %10, %25 ve %50 oranlarında glutensiz ekmek formülasyonuna ilave edilmesi ile üretilen glutensiz ekmekler sırasıyla 7, 8 ve 9 numaralı kulvarlarda; II. koşulda üretilen karabuğday maltının %10, %25 ve %50 oranlarında glutensiz ekmek formülasyonuna ilave edilmesi ile üretilen glutensiz ekmekler ise sırasıyla 10, 11 ve 12 numaralı kulvarlarda gösterilmiştir (**Şekil 4.18.**). Her iki karabuğday maltı ununun katım oranı artırıldıkça yukarıda belirtilen pirinç proteini bantlarının yoğunlukları belirgin olarak azalmıştır. Ayrıca, her iki malt ununun %50 oranında kullanılmasıyla yaklaşık 23 kDa molekül ağırlığına sahip karabuğday bazik globülin tip proteini çok düşük konsantrasyonda tespit edilmiştir. Glutensiz ekmek örneklerinde karabuğdayın ve pirincin diğer depo proteinleri net olarak tespit edilememiştir (**Şekil 4.18.**).

4.9.8 UV-C İşlem Görmüş Karabuğday Unlarının ve Glutensiz Ekmeklerinin Jel Elektroforezde (SDS-PAGE) Protein Profillerinin İncelenmesi

Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinin 15 ve 45 W enerji seviyelerinde UV-C ile muamele edildikten sonra öğütülen tam karabuğday unlarının protein kompozisyonları, β -merkaptetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE'te incelenmiş ve **Şekil 4.19.**'da gösterilmiştir. Buna göre, 15 ve 45 W UV-C enerji seviyelerinde işlem gören karabuğdayların I. ve II. tekerrürleri de aynı elektroforegramda gösterilerek, tekerrürler arası farklılığın olup olmadığı teyit edilmiş ve UV-C ile muamele görmüş karabuğdaylar tam karabuğday ununun (Kulvar 1) protein profili ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.19. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş* cv. karabuğday çeşidinin 15 ve 45 W enerji seviyelerinde UV-C ile muamele edildikten sonra öğütülen tam karabuğday unlarının ve bu unların belli oranlarda glutensiz ekmek formülasyonlarına katılmasıyla üretilen glutensiz ekmeklerin protein kompozisyonları, β -merkaptetanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmesi. **M:** Wide-range protein markörleri, **1:** *Güneş* cv. (Konya) tam unu, **2:** 15 W, I. tekerrür, **3:** 45 W, I. tekerrür, **4:** 15 W, II. tekerrür, **5:** 45 W, II. tekerrür, **6:** Glutensiz kontrol ekmeği, **7, 8, 9:** 15 W enerji seviyesinde UV-C işlemi gören tam karabuğday unu katkılı (sırasıyla %10, 25 ve 50) glutensiz ekmekler, **10,11, 12:** 45 W enerji seviyesinde UV-C işlemi gören tam karabuğday unu katkılı (sırasıyla %10, 25 ve 50) glutensiz ekmekler, **13:** Glutensiz kontrol ekmeği.

Şekil 4.19. incelendiğinde, 15 ve 45 W UV-C enerji seviyelerinde işlem gören karabuğdayların I. tekerrürleri sırasıyla 2 ve 3 numaralı kulvarlarda; aynı karabuğdayların II. tekerrürleri sırasıyla 4 ve 5 numaralı kulvarlarda gösterilmiştir. Buna göre, 15 ve 45 W UV-C enerji seviyelerinde işlem gören karabuğdayların tekerrürleri birbirine benzer bulunmuş olup, yapılan UV-C işlemi doğrulanmıştır. Jel elektroforegramda 45 W UV-C işlemi görmüş karabuğday ununun tüm protein bantları/grupları, 15 W UV-C işlemi görmüş örneğe göre daha yoğun ve konsantrasyonları daha fazla bulunmuştur. Çalışmada 45 W enerji

seviyesinde, yüksek molekül ağırlıklı proteinlerde, örneğin 91 kDa molekül ağırlıklı proteinde, parçalanma veya bozunma meydana gelerek düşük molekül ağırlıklı proteinlerin konsantrasyonunu artırdığı görülmüştür. Bu durum 66, 60, 43, 24 kDa molekül ağırlıklı protein bantlarında, bazik alt-gruplarda ve 2S albumin proteinlerinde (<20 kDa) gözlemlenmiştir. Tam karabuğday unu ile kıyaslandığında, her iki enerji seviyesindeki en önemli farklılıklar asidik ve bazik alt-gruplarda meydana gelmiştir. Nitekim, UV-C ile işlem görmüş karabuğdaylarda asidik alt-gruplarda önemli düzeyde parçalanma meydana gelerek, proteinlerin bazik alt-gruplarda yoğunlaştığı, özellikle 23 kDa molekül ağırlığı civarında ve 2S albuminlerde yoğunlaştığı (<20 kDa) görülmüştür (**Şekil 4.19.**). Biswas vd. (2024), ısı yayan mikrodalga ışımanın proteinlerin sekonder ve tersiyer yapılarındaki alt-grupları (subunit) yıkıma uğrattığı ve çözünür protein miktarında azalmaya sebep olduğunu bildirmiştir. Aynı yazarlar mikrodalga işlemi sırasında oksidasyon, hidroliz ve serbest ve bağlı amino asitler arasında deaminasyon reaksiyonlarının meydana geldiğini de belirtmiştir. Bu tespitlere dayanarak, bu araştırmada uygulanan UV-C işleminde yayılan ışınların da proteinler üzerinde benzer reaksiyonları meydana getirdiği düşünülmektedir.

Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* karabuğday çeşidinin 15 ve 45 W enerji seviyelerinde UV-C ile muamele edildikten sonra öğütülen tam karabuğday unları glutensiz ekmek formülasyonlarına katılarak glutensiz ekmeklerin protein kompozisyonları, β -merkaptotanol indirgeyici ajan kullanılarak SDS-PAGE’te incelenmiş ve **Şekil 4.19.**’da gösterilmiştir. Buna göre, pirinç unu ve mısır nişastasından üretilen kontrol glutensiz ekmeğinin jel elektroforegramları **Şekil 4.19.**’da 6 ve 13 numaralı kulvarlarda gösterilmiştir. **Şekil 4.19.** incelendiğinde, kontrol glutensiz ekmeğinde bulunan pirinç unu kaynaklı pirinç glutelin proteininin 32-34 kDa molekül ağırlığına sahip asidik alt-grupları, 20-23 kDa molekül ağırlığına sahip bazik alt-grupları ve 16 kDa molekül ağırlığına sahip pirinç prolamin proteini (Amagliani vd., 2017) jel elektroforegramda belirgin olarak tespit edilmiştir. Jel elektroforegramda, 15 W enerji seviyesinde UV-C işlemi görmüş karabuğday ununun %10, %25 ve %50 oranlarında glutensiz ekmek formülasyonuna ilave edilmesi ile üretilen glutensiz ekmekler sırasıyla 7, 8 ve 9 numaralı kulvarlarda; 45 W enerji seviyesinde UV-C işlemi görmüş karabuğday ununun %10, %25 ve %50 oranlarında glutensiz ekmek formülasyonuna ilave edilmesi ile üretilen glutensiz ekmekler ise sırasıyla

10, 11 ve 12 numaralı kulvarlarda gösterilmiştir (**Şekil 4.19.**). Her iki enerji seviyesinde işlem görmüş karabuğday unlarının katım oranı artırıldıkça yukarıda belirtilen pirinç proteini bantlarının yoğunlukları belirgin olarak azalmıştır. Glutelin proteininin asidik ve bazik alt-gruplarının, karabuğday ununun katım oranı artışıyla birlikte konsantrasyonlarının jel elektroforegramda azaldığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde, kontrol glutensiz ekmeğinde ve %10 oranında karabuğday unu katkılı glutensiz ekmekte tespit edilen 16 kDa molekül ağırlığına sahip pirinç prolamin proteininin bant yoğunluğu, katım oranı artışıyla azalmıştır. Glutensiz ekmek örneklerinde, karabuğdayın ve pirincin diğer depo proteinleri net olarak tespit edilememiştir (**Şekil 4.19.**).

Xu vd. (2023), radyo frekansı (RF) ve ultraviyole (UV) ışık uygulamasının karabuğdayın protein kalitesi üzerine etkisini çalışmışlardır. Kavuzu ayrılmış karabuğday tohumlarının nem içeriğini %16,5'e yükselterek 25 °C'de 48 saat boyunca bekletmişlerdir. UV işlemini, iki adet UV lambadan (254 nm, 25 W) oluşan ve ışınlama yoğunluğunu 5,00 mW/cm² ve 2,25 mW/cm² olarak sırasıyla 5 cm ve 20 cm mesafeden uygulamışlardır. SDS-PAGE analizinde karabuğday örneklerinin karakteristik bir elektroforetik model sergilediğini ve moleküler ağırlık dağılımlarının 31,0-66,2 kDa arasında olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada düşük sıcaklıkta uygulanan RF ve düşük enerji seviyesinde uygulanan UV işlemlerinin, karabuğday proteini profillerinde önemli değişikliğe sebep olmadığını, bu durumun protein yapısı, özellikle peptit bağları üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu bildirmişlerdir.

Biswas vd. (2024), karabuğdaylara 100 saniyeye kadar uygulanan mikrodalga işleminin, SDS-PAGE'te tespit edilen 30, 19 ve 16 kDa'lık alerjenik proteinleri tamamen ortadan kaldırmak için yeterli olmadığını belirtmişlerdir.

Capuani vd. (2013), laktik asit bakterilerinin karabuğday ekşi hamurları üzerine etkilerini çalışmışlardır. Karabuğday hamurlarının protein fraksiyonlarını indirgeyici ajan (DTT) ve indirgeyici ajan kullanmadan Lab-On-Chip teknolojisi ile incelemişlerdir. Karabuğday taze hamurlarının elektroferogramları, indirgeyici ajan kullanılmayan koşulda 8, 14, 16, 20, 23 ve 37 kDa bantlar ile 50 ve 60 kDa arasında bantlar göstermiştir. İndirgeyici ajan kullanılan koşullarda ise 5, 7, 16, 21 kDa bantları ve 31 ile 52 kDa arasındaki protein bantları tespit edilmiştir. Fermantasyon ve kimyasal ile asitlendirilmiş hamurlar; hem indirgeyici hem de indirgeyici ajan olmayan koşullar altında aynı bant desenlerini vermişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yerli karabuğday çeşitlerinin (*Güneş cv.* ve *Aktaş cv.*) Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde (Konya) geliştirilmesiyle ülkemizde tarımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Ülkemizde birçok glutensiz ürün, yurt dışından yüksek maliyetlerle ithal edilmektedir. Bundan dolayı karabuğday ekiminin yaygınlaştırılması önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada ülkemizin farklı lokasyonlarda yetiştirilen ve glutensiz bir ürün olan karabuğday gıda güvenliği bakımından detaylı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, ülkemizde farklı lokasyonlarda yetiştirilen sekiz adet *Güneş cv.* çeşidi karabuğday ve Konya lokasyonunda yetiştirilen bir adet *Aktaş cv.* çeşidi kontrol karabuğdayı yüksek hızlı santrifüj öğütücüde tam karabuğday ununa ve ayrıca pilot ölçekli valsli Bühler değirmeninde kırma unu, öğütme unu, ince kepek ve kalın kepek fraksiyonlarına ayrılarak öğütülmüştür. Buğdayın valsli Bühler değirmeninde öğütülmesi ile kırma unu, öğütme unu, ince kepek ve kalın kepek fraksiyonları açığa çıkmaktadır. Fakat bu tez çalışmasında, ilk kez bir pseudo-tahıl olan karabuğday valsli Bühler değirmeninde öğütülmüş, değirmenin eleklerinden, buğdayın öğütülme prensibinden hareket ederek fraksiyonlar toplanmıştır. Burada önemli bir nokta, karabuğdayın anatomik yapısının buğdaydan çok farklı oluşudur. Örneğin buğdayın öğütülmesinde açığa çıkan kırma ununun nişasta içeriği daha düşük ve rengi daha esmerdir. Ayrıca, öğütme unu nişasta bakımından daha zengin, rengi daha beyaz bir undur. Fakat karabuğdayın valsli değirmende öğütülmesi ile aynı elekten çıkan kırma ununun nişasta içeriği daha yüksek ve rengi daha beyaz, öğütme ununun ise nişasta içeriği daha düşük, rengi ise daha esmer olarak tespit edilmiştir. Bunun tamamıyla karabuğday ve buğdayın anatomik yapılarının ve öğütme karakteristiklerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada, gıdalarda doğrudan glutensiz ürünler olarak kullanılabilir olması bakımından tam karabuğday unu, kırma unu ve öğütme unu materyallerinin nem, protein, kül, ham yağ, toplam nişasta, toplam besinsel lif ve anti-besinsel bileşikleri detaylı olarak incelenmiştir. Buna göre;

1. En yüksek protein miktarı öğütme unlarında bulunurken bunu tam karabuğday unları ve daha sonra kırma unları takip etmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek protein miktarı (%19,3) kuru madde üzerinden (kmü)

Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* kontrol çeşidinde belirlenmiştir. Tam karabuğday ve kırma unları içinde en yüksek protein miktarı kmü sırasıyla %13,3 ve %6,2 olarak bulunmuştur.

2. En yüksek ham yağ miktarı öğütme unlarında bulunmuş ve bunu tam karabuğday unları takip etmiştir. Öğütme unları arasında en yüksek ham yağ miktarı (%4,3) Niğde lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayda bulunmuştur. Tam karabuğday unlarında en yüksek ham yağ miktarı %2,9 olarak tespit edilmiştir.
3. En yüksek toplam besinsel lif miktarı tam karabuğday unlarında belirlenmiş, bunu öğütme unları ve son olarak kırma unları takip etmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek toplam besinsel lif miktarı (%34,0) Çorum lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayda tespit edilmiştir. Öğütme unu ve kırma unları içinde en yüksek toplam besinsel lif miktarı sırasıyla %15,1 ve %4,0 olarak bulunmuştur.
4. En yüksek toplam nişasta miktarı kırma unlarında bulunmuş olup, bunu öğütme unları ve son olarak tam karabuğday unları takip etmiştir. Kırma unları arasında en yüksek toplam nişasta miktarı (%95,6) Kastamonu lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayda tespit edilmiştir. Öğütme unu ve tam karabuğday unları içinde en yüksek toplam nişasta miktarı sırasıyla %72,7 ve %59,1 olarak belirlenmiştir.
5. Sonuç olarak, glutensiz bir gıdanın üretiminde, protein ve besinsel lif bakımından zengin, valsli değirmen fraksiyonu olan öğütme unu alternatif hammadde kaynağı olarak kullanılabilir. Glutensiz bir gıdada nişasta miktarını artırmak ve daha fazla kıvam, jelleşme ve son viskozite gibi fizikokimyasal özellikler isteniyorsa valsli değirmen fraksiyonu olan kırma unu tercih edilebilir.
6. En yüksek L^* (43,92) ve a^* (5,42) değerleri Aksaray lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğday tanesinde ve en yüksek b^* (11,59) değeri kontrol (Konya lokasyonu, *Aktaş cv.* çeşidi) karabuğdayında bulunmuştur.
7. En yüksek L^* değeri kırma unlarında gözlenmiş, bunu sırasıyla öğütme unları ve tam karabuğday unları izlemiştir. Kırma unları içinde en yüksek L^* değeri (91,36) Aksaray lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayda tespit edilmiştir.

Öğütme ve tam karabuğday unları içinde en yüksek L^* değerleri sırasıyla 87,51 ve 76,15 olarak belirlenmiştir.

8. En yüksek a^* değeri tam karabuğday unlarında bulunmuş, bunu öğütme ve kırma unları takip etmiştir. Tam karabuğday unları içinde en yüksek a^* değeri (2,23) Bilecik lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayda tespit edilmiştir. Öğütme ve kırma unları içinde en yüksek a^* değeri sırasıyla 1,04 ve 0,24 olarak bulunmuştur.
9. En yüksek b^* değeri tam karabuğday unlarında gözlenmiş, bunu öğütme ve kırma unları takip etmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek b^* değeri (10,19) Afyon lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayda bulunmuştur. Öğütme ve kırma unları içinde en yüksek b^* değeri sırasıyla 9,94 ve 7,78 olarak tespit edilmiştir.
10. En yüksek C^* değeri tam karabuğday unlarında bulunmuş, bunu öğütme ve kırma unları takip etmiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek C^* değeri (10,36) Afyon lokasyonunda yetiştirilen karabuğday tespit edilmiştir. Öğütme ve kırma unları içinde en yüksek C^* değeri sırasıyla 9,99 ve 7,78 olarak bulunmuştur.
11. En yüksek h° (hue açısı) değeri kırma unlarında saptanmış, bunu öğütme ve tam karabuğday unları takip etmiştir. Kırma unları arasında en yüksek h° değeri (90,82) Aksaray lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayda belirlenmiştir. Öğütme ve tam karabuğday unları içinde en yüksek h° değeri sırasıyla 88,28 ve 82,25 olarak bulunmuştur.
12. En yüksek beyazlık indeksi (B_I) değeri kırma unlarında hesaplanmış, bunu öğütme ve tam karabuğday unları takip etmiştir. Kırma unları arasında en yüksek B_I değeri (89,71) Çorum lokasyonunda yetiştirilen karabuğdayda gözlenmiştir. Öğütme ve tam karabuğday unları içinde en yüksek B_I değerleri sırasıyla 84,66 ve 74,47 olarak tespit edilmiştir.
13. Karabuğdayın valsli değirmende öğütülmesi ile açığa çıkan kırma unlarının parlaklık, hue değeri ve B_I değeri öğütme unlarından daha yüksek bulunmuştur. Kırma unları, öğütme unlarına göre daha beyazdır, diğer bir deyişle daha fazla endosperm (perisperm) içermektedir. Bu durum buğdayın valsli değirmende öğütülmesi ile açığa çıkan kırma ve öğütme unlarının renk özelliklerinin tam tersidir. Bununla birlikte kırma unlarının kırmızılık, sarılık ve kroma değerleri öğütme ununa göre daha düşüktür, diğer bir deyişle

öğütme unu ve tam karabuğday unlarının kırmızılık, sarılık ve kroma değeri daha yüksektir. Tüm karabuğday unu örnekleri renk özelliklerine göre farklı unlu mamüllerde kullanılabilir.

14. En yüksek fitik asit miktarları öğütme unlarında gözlenmiştir, bunu tam karabuğday unları ve en düşük kırma unları izlemiştir. Öğütme unlarının fitik asit değerleri incelendiğinde, en yüksek (1,727 g/100 g) ve en düşük (1,188 g/100 g) fitik asit değerleri sırasıyla Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* çeşidi kontrol karabuğdayında ve Şanlıurfa lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayda saptanmıştır. Tam karabuğday ve kırma unlarında en yüksek fitik asit miktarları sırasıyla 1,210 g/100 g ve 0,190 g/100 g olarak saptanmıştır.
15. En yüksek kondanse tanen değerleri tam karabuğday unlarında gözlenmiştir, bunu öğütme unları ve en düşük değerlere sahip kırma unları izlemiştir. Tam karabuğday unları arasında en yüksek (24,2 mg kateşin eşd./g) ve en düşük (15,2 mg kateşin eşd./g) kondanse tanen miktarı sırasıyla Aksaray ve Bilecik lokasyonlarında yetiştirilen karabuğdayda (*Güneş cv.*) gözlenmiştir. Öğütme unu ve kırma unlarında en yüksek kondanse tanen sırasıyla 18,7 mg kateşin eşd./g ve 0,85 mg kateşin eşd./g olarak tespit edilmiştir.
16. En yüksek toplam saponin değerleri genellikle tam karabuğday unlarında gözlenmiştir, bunu öğütme unları ve en düşük değerlere sahip kırma unları izlemiştir. Tam karabuğday unlarında en yüksek (10,0 mg diosgenin eşd./g) ve en düşük (7,34 mg diosgenin eşd./g) toplam saponin miktarları sırasıyla Konya ve Çorum lokasyonlarında yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdaylarda saptanmıştır. Öğütme ve kırma unlarında en yüksek toplam saponin miktarı sırasıyla 9,57 mg diosgenin eşd./g ve 2,37 mg diosgenin eşd./g olarak tespit edilmiştir.
17. Kırma unlarında fitik asit, tanen ve saponin miktarları diğer öğütme ve tam karabuğday unlarına göre en azdır. Bu sebeple valsli değirmende öğütülen karabuğdayın bir fraksiyonu olan kırma unu, söz konusu anti-besinsel bileşikler bakımından daha güvenlidir ve glutensiz ürünlerde ilk tercih edilebilecek bir karabuğday unudur.
18. En yüksek tripsin inhibitör aktivitesi (TİA, mg/g) tam karabuğday unları ve öğütme unlarında olmak kaydıyla birbirine benzer bulunurken, en düşük TİA değerleri kırma unlarında saptanmıştır. Tam karabuğday unları ve öğütme

unları kullanılırken ısıtma işlemi ile TİA'sinin elimine edilmesi protein sindirilirliğini olumlu yönde etkileyecektir. Kıırma unları, TİA bakımından daha avantajlıdır ve glutensiz ürünlerde protein sindiriliği etkinliğini artırması bakımından önemlidir ve daha az risk oluşturması beklenmektedir.

19. En yüksek kimotripsin inhibitör aktivitesi (KİA, KİU/g) değerleri kıırma unlarında tespit edilmiştir, bunu tam karabuğday unları ve en düşük öğütme unları izlemiştir. KİA bakımından öğütme unları glutensiz gıdalarda daha fazla tercih edilebilir, böylece proteinlerin proteazlar tarafından sindirilirliği daha yüksek oranda gerçekleşecektir ve esansiyel amino asitlerden daha fazla yararlanılacaktır.
20. En yüksek α -amilaz aktivitesi (AA, mg maltoz eşd./g) öğütme unlarında tespit edilmiştir, bunu tam karabuğday unları ve en düşük kıırma unları izlemiştir. AA, gıdadaki nişasta sindirilirliği bakımından önem taşımaktadır. Nişasta hızlı sindirilirse serbest hale geçen glukoz molekülleri kan şekeri seviyesinde önemli artış meydana getirecektir ve ayrıca yüksek AA, glutensiz gıdaların glisemik indeks değerinde önemli artış sağlayacaktır. Bu bakımdan glutensiz gıdalarda kıırma unlarının kullanılması tavsiye edilmektedir.
21. En yüksek proteaz aktivitesi (PA, mg L-tirozin eşd./g) öğütme unlarında tespit edilmiştir, bunu tam karabuğday unları ve en düşük kıırma unları izlemiştir. PA, proteinlerin hidroliz edilerek amino asitlerin serbest hale getirilmesi bakımından önemlidir. Öğütme unlarında hem protein miktarı hem de PA'nin yüksek düzeyde seyretmesi glutensiz gıdalarda daha çok tercih edilmesini sağlayabilir, böylece sindirilirlik sonucunda açığa çıkan esansiyel amino asitlerin absorpsiyonu daha fazla olacaktır. Öğütme unlarında KİA'nin de düşük olması proteazların etkinliği artıracaktır.

Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* eşidi karabuğdayın anti-besinsel bileşikleri en yüksek düzeyde içeren örnek olduğu görölmüştür. Bu karabuğday örneği anti-besinsel bileşikleri uzaklaştırmak amacıyla öncelikle olarak malta işlenmiştir. Buna göre, iki farklı malta işleme yöntemi kullanılmıştır:

I. malt yapma koşulları: 10 °C'de 12 saat ıslatma, 15 °C'de 96 saat imlendirme, 45 °C'de 5 saat ve 50 °C'de 17 saat kurutma,

II. malt yapma koşulları: 20 °C'de 8 saat ıslatma, 20 °C'de 88 saat imlendirme, 60 °C'de 22 saat kurutma.

Karabuğday, belirtilen koşullarda malta işlendikten sonra öğütülmüş ve sırasıyla malt-1 (M1) ve malt-2 (M2) karabuğday maltı unları elde edilmiştir. Anti-besinsel bileşikler, α -amilaz ve proteaz aktivitesindeki değişim, aynı örneğin tam karabuğday unu (TKU) ile karşılaştırılmış ve aşağıdaki önemli sonuçlar bulunmuştur:

1. TKU'nun fitik asit miktarı 1,21 g/100 g'dan, üretilen M1 ve M2 malt unlarında sırasıyla 0,98 ve 0,93 g/100 g'a azalmıştır.
2. TKU'nun kondanse tanen miktarı 21,6 mg kateşin eşd./g'dan, üretilen M1 ve M2 malt unlarında sırasıyla 14,1 ve 15,9 mg kateşin eşd./g'a azalmıştır.
3. TKU'nun toplam saponin miktarı 10,0 mg diosgenin eşd./g'dan, üretilen M1 ve M2 malt unlarında sırasıyla 5,2 ve 6,1 mg diosgenin eşd./g'a azalmıştır.
4. TKU'daki tripsin inhibitör aktivitesi 0,57 mg/g'dan, üretilen M1 ve M2 malt unlarında sırasıyla 0,41 ve 0,23 mg/g'a azalmıştır.
5. TKU'daki kimotripsin inhibitör aktivitesi 1,24 KİU/g'dan, üretilen M1 ve M2 malt unlarında sırasıyla 0,90 ve 0,80 KİU/g'a azalmıştır.
6. Sonuç olarak kondanse tanen ve toplam saponin miktarının azaltılmasında I. koşul etkili olurken, fitik asit, TİA ve KİA'nın azaltılmasında II. koşul etkili olmuştur.
7. TKU'daki α -amilaz aktivitesi 23,1 mg maltoz eşd./g'dan, üretilen M1 ve M2 malt unlarında sırasıyla 80,2 ve 170,2 mg maltoz eşd./g'a yükselmiştir.
8. TKU'daki proteaz aktivitesi 0,56 mg L-tirozin eşd./g'dan, üretilen M1 ve M2 malt unlarında sırasıyla 0,81 ve 1,01 mg L-tirozin eşd./g'a yükselmiştir.
9. Karabuğdayın besinsel özelliklerinden daha fazla yararlanmak ve sağlık etkileri göz önüne alındığında; α -amilaz aktivitesi bakımından I. koşulda üretim, proteaz aktivitesi bakımından II. koşulda üretim tavsiye edilebilir. Çünkü M1 malt ununda daha az oranda nişasta hidrolizi gerçekleşecek, böylece ürünün glisemik indeksi yükselmemiş olacaktır; M2 malt ununda ise yüksek proteaz aktivitesi sayesinde karabuğday proteinlerinin hidrolizi daha fazla gerçekleşecek ve esansiyel amino asitlerden daha fazla yararlanılacaktır.
10. Malt unlarında a^* değerleri, TKU'na göre azalmış, diğer tüm renk özellikleri ise artmıştır. M2 malt unu, M1 malt ununa göre daha parlak ve beyaz bulunmuştur.

M1 ve M2 karabuğday malt unları, %10 (sırasıyla M110 ve M210), %25 (sırasıyla M125 ve M225) ve %50 (sırasıyla M150 ve M250) oranlarında glutensiz ekmek formülasyonlarına ilave edildikten sonra glutensiz ekmeklerde bulunan başlıca kimyasal, fiziksel, tekstürel ve besinsel özellikler aşağıda verilmiştir:

1. Karabuğday malt unu katım oranları artırıldıkça, kontrol ekmeklerine (C1 ve C2) göre glutensiz ekmeklerin nem değerleri azalmıştır.
2. Glutensiz ekmeklerin ağırlık değerleri kontrol ekmeklerine göre yüksektir.
3. M1 malt unu katım oranı artırıldıkça, hacim ve spesifik hacim değerleri kontrol glutensiz ekmeğine göre azalmış; M2 malt unu katım oranı artırıldıkça, hacim değerleri kontrole göre genellikle artmış, spesifik hacim değerleri ise genellikle aynı kalmıştır.
4. Glutensiz ekmeklerin pişme kaybı değerleri, kontrol ekmeklerine göre genellikle katım oranı artışıyla azalmıştır.
5. Glutensiz ekmeklerin kabuk rengi, malt unu katım oranı artırıldıkça L^* parlaklık değerleri kontrole göre azalmış, a^* kırmızılık değerleri artmış, b^* sarılık değerleri azalmış fakat bu azalma M2 malt unu katkılı ekmeklerde daha fazla olmuştur.
6. Glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özelliklerinden h° ve B_I değerleri malt unu katım oranı artırıldıkça kontrole göre önemli düzeyde azalmıştır.
7. Glutensiz ekmeklerin ekmek içi rengi malt unu katım oranı artırıldıkça, kontrole göre L^* parlaklık değerleri önemli düzeyde azalmış, a^* kırmızılık ve b^* sarılık değerleri ise önemli düzeyde artmıştır.
8. Glutensiz ekmeklerin ekmek içi renk özelliklerinden C^* değerleri, malt unu katım oranı artırıldıkça kontrole göre artmış, h° ve B_I değerleri azalmıştır.
9. Glutensiz ekmeklerin tekstürel özelliklerinden esneklik, bağlayıcılık ve elastikiyet/direnç özellikleri malt unu katım oranı artırıldıkça kontrole göre azalmıştır.
10. M1 malt unu katkılı glutensiz ekmeklerde sertlik, yapışkanlık ve çiğnenebilirlik özellikleri malt unu katım oranı artırıldıkça kontrole göre genellikle azalmış; M2 malt unu katkılı glutensiz ekmeklerde ise kontrole göre genellikle artmıştır.

11. Glutensiz ekmeklerin nem miktarı, malt unu katım oranı artırıldıkça kontrole göre azalmış fakat katım oranı nem değerlerini önemli düzeyde değiştirmemiştir.
12. Glutensiz ekmeklerde protein miktarı, malt unu katım oranı artırıldıkça önemli düzeyde artmıştır. Karabuğday malt ununun glutensiz ekmeklerin protein miktarını yükseltmesi, çölyak hastalarının veya glutene hassasiyeti olan bireylerin beslenmesine önemli katkıları olacaktır. Böylece, karabuğdayın esansiyel amino asitlerinden (Lys, Met vb.) daha fazla yararlanma imkanlarına kavuşacaklardır.
13. Glutensiz ekmeklerin protein sindirilirliği (%), malt unu katım oranı artırıldıkça kontrole göre artmıştır. Karabuğday malt ununun glutensiz ekmeğin protein sindirilirliğine olumlu katkısı sonucunda, çölyak hastaları ve glutene hassasiyeti bulunan bireyler esansiyel amino asitlerden daha fazla yararlanma şansı bulacaklardır.
14. Glutensiz ekmeklerin nişasta sindirilirliği (mg maltoz/g) malt unu katım oranı artırıldıkça azalmıştır. Bu durum, glutensiz ekmeğin glisemik indeksinin düşmesine sebep olması açısından olumlu bir sonuçtur. Karabuğday malt unu, glutensiz ekmeğin besinsel lif miktarını artırmakta ve nişasta sindirilirliği engellenerek daha fazla glukoz şekerinin açığa çıkması ve kan şekeri düzeyinin artmasının önüne geçilecektir. Bu açıdan bakıldığında, çölyak hastaları ve glutene hassasiyeti bulunan bireyler daha sağlıklı glutensiz ekmek tüketebileceklerdir.
15. Glutensiz ekmeklerin serbest fenolik madde miktarı ve toplam flavonoid madde miktarı malt unu katım oranı artırıldıkça kontrol ekmeklerine göre önemli düzeyde artmıştır. Bulunan bu sonuçlara göre glutensiz ekmeklerin antioksidan özellikleri (DPPH radikalini süpürme aktivitesi (%) ve TEAK değerleri) de malt unu katım oranları artırıldıkça önemli düzeyde artmıştır. Buna göre karabuğday malt unu katımı, glutensiz ekmeklerin besleyicilik özelliklerini önemli düzeyde artırmıştır. Karabuğdayda bulunan en önemli flavonoid maddeler rutin ve kuersetindir ve bunların sağlığı iyileştirici özelliklerinin bulunduğu bildirilmiştir.

Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın anti-besinsel bileşiklerini uzaklaştırmak için dört farklı enerji seviyesinde (15, 30, 45 ve 60 W) UV-C ışık uygulaması yapılmıştır. İşlem görmüş karabuğdaylar

öğütüldükten sonra anti-besinsel bileşikler, α -amilaz ve proteaz aktivitesindeki değişimler incelenmiş ve aynı çeşidin yine tam karabuğday unu (TKU) ile karşılaştırılmıştır. Buna göre bulunan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. TKU'nun fitik asit miktarı 1,21 g/100 g'dan; 15, 30, 45 ve 60 W UV-C ışık uygulamasından sonra sırasıyla 0,92; 0,89; 0,88 ve 0,89 g/100 g'a azalmıştır.
2. TKU'nun kondanse tanen miktarı 21,63 mg kateşin eşd./g'dan, 15, 30, 45 ve 60 W UV-C ışık uygulamasından sonra sırasıyla 11,52; 11,30; 10,94 ve 11,33 mg kateşin eşd./g'a azalmıştır.
3. TKU'nun toplam saponin miktarı 10,00 mg diosgenin eşd./g'dan, 15, 30, 45 ve 60 W UV-C ışık uygulamasından sonra sırasıyla 9,40; 9,37; 9,22 ve 9,36 mg diosgenin eşd./g'a azalmıştır.
4. TKU'daki tripsin inhibitörü aktivitesi (TİA) 0,57 mg/g'dan, 15, 30, 45 ve 60 W UV-C ışık uygulamasından sonra sırasıyla 0,56; 0,55; 0,53 ve 0,54 mg/g'a azalmıştır.
5. TKU'daki kimotripsin inhibitörü aktivitesi (KİA) 1,24 KİU/g'dan, 15, 30, 45 ve 60 W UV-C ışık uygulamasından sonra sırasıyla 1,02; 0,96; 1,00 ve 1,03 KİU/g'a azalmıştır.
6. Bu sonuçlara göre karabuğdayın anti-besinsel bileşiklerinden fitik asit, kondanse tanen, toplam saponin, TİA ve KİA'nin en fazla azaldığı UV-C enerji seviyesi 45 W olarak belirlenmiştir.
7. TKU'daki α -amilaz aktivitesi 23,07 mg maltoz eşd./g'dan, 15, 30, 45 ve 60 W UV-C ışık uygulamasından sonra sırasıyla 18,92; 18,42; 13,51 ve 13,37 mg maltoz eşd./g'a azalmıştır.
8. TKU'daki proteaz aktivitesi 0,56 mg L-tirozin eşd./g'dan, 15, 30, 45 ve 60 W UV-C ışık uygulamasından sonra sırasıyla 0,70; 0,70; 0,69 ve 0,79 mg L-tirozin eşd./g'a yükselmiştir.
9. Bu sonuçlara göre α -amilaz aktivitesinin kontrole göre en fazla azaldığı ve proteaz aktivitesinin ise en fazla arttığı UV-C enerji seviyesi 60 W olarak belirlenmiştir. Fakat α -amilaz aktivitesi üzerine 45 ve 60 W enerji seviyelerinin etkisi benzer bulunmuştur. α -amilaz aktivitesinin azalması, nişasta sindirilirliğini düşürmesi ve glutensiz ekmeklerin glisemik indeks değerini azaltması bakımından önemli bir sonuçtur. Protein sindirilirliğindeki artış ise esansiyel amino asitlerden daha fazla yararlanmayı artıracaktır.

10. Farklı enerji seviyelerinde (15, 30, 45 ve 60 W) UV-C ışık uygulanan karabuğday tanelerinin renk özellikleri incelendiğinde; L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık), b^* (sarılık), C^* , beyazlık indeksi (Bİ) değerleri enerji seviyesi arttıkça kontrol karabuğdayına göre azalmış, bununla birlikte h değerleri kontrole göre artmıştır.
11. Farklı enerji seviyelerinde (15, 30, 45 ve 60 W) UV-C ışık uygulanan karabuğday tanelerinin öğütülmesinden sonra elde edilen tam unlarında renk özellikleri incelendiğinde; enerji seviyesi arttıkça L^* (parlaklık) değeri kontrole göre değişmemiş, a^* (kırmızılık), b^* (sarılık), C^* değerleri kontrole göre artmış, h° ve beyazlık indeksi (Bİ) değerleri kontrole göre önemli düzeyde değişmemiştir.

Araştırmada, 15 ve 45 W enerji seviyelerinde UV-C ışık uygulanan karabuğdayların tam unları (sırasıyla U1 ve U2), %10 (U110 ve U210), %25 (U125 ve U225) ve %50 (U150 ve U250) oranlarında glutensiz ekmek formülasyonlarına ilave edilmiş ve glutensiz ekmeklerde tespit edilen başlıca kimyasal, fiziksel, tekstürel ve besinsel özellikler aşağıda özetlenmiştir:

1. U1 karabuğday unu katım oranı arttıkça kontrol glutensiz ekmeğine göre nem değerleri önemli düzeyde değişmezken, U2 karabuğday unu katkılı glutensiz ekmeklerde katım oranı arttıkça kontrole göre nem değerleri azalmıştır.
2. Glutensiz ekmeklerin ağırlık değerleri, U1 ve U2 karabuğday unlarının katım oranı artırıldıkça yükselmiştir.
3. Glutensiz ekmeklerin hacim ve spesifik hacim değerleri, U1 ve U2 karabuğday unlarının %10 ve %25 oranlarında kullanılmasıyla önce kontrol glutensiz ekmeğine göre artmış, %50 oranlarında kullanılmasıyla kontrole göre önemli düzeyde azaldığı tespit edilmiştir.
4. Glutensiz ekmeklerin pişme kaybı değerleri, U1 ve U2 karabuğday unlarının katım oranı artırıldıkça kontrol ekmeklerine göre önemsiz düzeyde azalmıştır.
5. Glutensiz ekmeklerin kabuk rengi özellikleri incelendiğinde, U1 ve U2 unlarının katım oranı artırıldıkça L^* (parlaklık), b^* (sarılık), C^* , h ve beyazlık indeksi (Bİ) değerleri kontrole göre azalmış; a^* (kırmızılık) değerleri ise kontrole göre önemli düzeyde artmıştır.
6. Glutensiz ekmeklerin ekmek içi rengi özellikleri incelendiğinde, U1 ve U2 unlarının katım oranı artırıldıkça L^* (parlaklık), h° ve beyazlık indeksi (Bİ)

değerleri kontrol ekmeklerine göre azalmış, a^* (kırmızılık), b^* (sarılık) ve C^* değerleri kontrol ekmeklerine göre artmıştır.

7. Glutensiz ekmeklerin sertlik, esneklik, bağlayıcılık, çiğnenebilirlik ve elastikiyet/direnç özellikleri, U1 ve U2 unları katım oranları artırıldıkça genellikle kontrol ekmeklerine göre azalmıştır. U1 katkılı glutensiz ekmeklerin yapışkanlık değerleri kontrol ekmeğine göre artarken; U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerde ise yapışkanlık değerleri kontrol ekmeğine göre azalmıştır.
8. U1 ve U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin nem değerleri kontrol ekmeğine göre azalmış fakat katım oranları artırıldıkça nem değerleri önemli düzeyde değişmemiş, birbirine benzer bulunmuştur.
9. U1 ve U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerin protein miktarı, katım oranları artırıldıkça kontrol ekmeğine göre önemli düzeyde artmıştır. En yüksek protein miktarı U150 ve U250 kodlu glutensiz ekmeklerde, sırasıyla %11,7 ve %11,8 olarak tespit edilmiştir.
10. U1 unu katkılı glutensiz ekmeklerin protein sindirilirliği (%) katım oranı artırıldıkça kontrole göre önemli düzeyde değişmezken; U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerde katım oranı artırıldıkça protein sindirilirliği azalmıştır.
11. U1 ve U2 unu katkılı glutensiz ekmeklerdeki nişasta sindirilirliği (mg maltoz/g) katım oranları artırıldıkça kontrol ekmeklerine göre azalmıştır. Bu durum glutensiz ekmeklerin glisemik indeks değerlerinin düşmesine ve çölyak hastaları veya glutene hassas bireylerin diyabet hastalığına yakalanma riskini azaltacağı düşünülmektedir.
12. Glutensiz ekmeklerin serbest fenolik madde miktarı ve toplam flavonoid madde miktarları U1 ve U2 unu katım oranı artırıldıkça kontrol ekmeklerine göre önemli düzeyde artmıştır. Bulunan bu sonuçlara göre glutensiz ekmeklerin antioksidan özellikleri (DPPH radikalini süpürme aktivitesi (%) ve TEAK değerleri) de U1 ve U2 unu katım oranları artırıldıkça önemli düzeyde artmıştır. Buna göre UV-C ışık uygulanmış karabuğdayın öğütüldükten sonra tam karabuğday unu olarak kullanıldığında, glutensiz ekmeklerin besleyicilik özelliklerini önemli düzeyde artırdığı belirlenmiştir. Örneğin; çölyak hastaları ve glutene hassasiyeti olan bireylerin, rutin ve kuersetin flavonoidlerinden daha fazla yararlanacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında yapılan işlere göre aşağıdaki genel sonuç ve öneriler söylenebilir:

1. Bu araştırmada ülkemizin farklı lokasyonlarında yetiştirilen 8 adet *Güneş cv.* çeşidi karabuğday ve kontrol çeşidi olarak Konya lokasyonunda yetiştirilen *Aktaş cv.* çeşidi karabuğday çalışma materyali olarak seçilmiştir.
2. Karabuğday örnekleri yüksek hızlı santrifüj öğütücüde tam karabuğday ununa ve pilot ölçekli valsli Bühler değirmeninde kırma unu ve öğütme ununa öğütülmüştür. Karabuğdayın farklı öğütme sistemlerinde farklı öğütme fraksiyonlarına öğütülmesi ve fraksiyonların araştırmamızda detaylı incelenmesi bakımından özgün bir nitelik taşımaktadır. Gıda sanayimizin bu öğütme fraksiyonlarından daha verimli yararlanması için bu tez çalışmasında farklı öğütme fraksiyonları ele alınmıştır. Gıda sanayimiz karabuğdayı yüksek hızlı santrifüj öğütücüde, 500 µ veya daha küçük delik çapındaki elekleri kullanarak tam karabuğday unu elde edebilir ve bunu çeşitli unlu mamüllerde doğrudan kullanabilir. Aynı şekilde, valsli değirmen ürünleri olan kırma ve öğütme unları ülkemizde ilk defa bu tez çalışmasında detaylı olarak incelenmiş ve gıda sanayimizin çeşitli fırıncılık ürünlerinde kullanımı için önerilmiştir.
3. Öncelikle, farklı lokasyonlardan toplanan karabuğdayların, tam karabuğday unu, kırma unu ve öğütme unlarının kimyasal kompozisyon (nem, kül, protein, ham yağ, toplam besinsel lif ve toplam nişasta), renk özellikleri, anti-besinsel bileşik (fitik asit, kondanse tanen, toplam saponin, tripsin inhibitörü aktivitesi, kimotripsin inhibitörü aktivitesi) miktarları, α -amilaz aktivitesi ve proteaz aktivitesi incelenerek, yetiştirme koşullarının etkisi ilk kez bu tez çalışmasında araştırılmıştır. Farklı lokasyonlarda yetiştirilen karabuğdayların, başta anti-besinsel bileşik miktarları ve diğer kalite özelliklerinin detaylı olarak bilinmesi gıda sanayimizin karabuğdayı tedarikinde kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.
4. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidinin anti-besinsel bileşik miktarı, diğer lokasyonlarda yetiştirilenlere göre en yüksek bulunmuştur. Araştırmamızda, bu çeşidin anti-besinsel bileşiklerini uzaklaştırmak/ azaltmak amacıyla iki farklı yöntem kullanılmıştır, bunlar: Malta işleme ve UV-C ışık uygulama yöntemleridir. Bu amaçla karabuğday taneleri bu iki yöntemle farklı koşullarda muamele edilmiştir.

5. Kondanse tanen ve toplam saponin miktarlarının azaltılmasında I. malt yapma koşulu daha etkili olmuştur. Ayrıca, aynı koşulda α -amilaz aktivitesi daha düşüktür, bu nişasta sindirilirliğini yavaşlatması bakımından önemli bir sonuçtur.
6. Fitik asit, tripsin inhibitörü aktivitesi ve kimotripsin inhibitörü aktivitesinin azaltılması bakımından II. malt yapma koşulu daha etkili olmuştur. Ayrıca, aynı koşulda proteaz aktivitesi daha fazladır, bu ise protein sindirilirliğini artırması bakımından önemli bir sonuçtur.
7. Malta işlenmiş karabuğdayın glutensiz ekmekte kullanılması sonucunda en yüksek protein miktarı ve protein sindirilirliği II. koşulda üretilen karabuğday maltı ununun %50 oranında kullanıldığı glutensiz ekmekte (M250) belirlenmiştir. En yüksek nişasta sindirilirliği ise I. koşulda üretilen karabuğday maltı ununun %50 oranında kullanıldığı glutensiz ekmekte (M150) tespit edilmiştir.
8. En yüksek serbest fenolik madde miktarı, toplam flavonoid ve antioksidan aktivite II. koşulda üretilen karabuğday maltı ununun %50 oranında kullanıldığı glutensiz ekmekte (M250) belirlenmiştir.
9. Glutensiz ekmek üretimi yapan sanayimize, besinsel özellikler bakımından, II. koşulda izlenilen malt yapma yöntemi ve ayrıca %50 oranında karabuğday maltı unu kullanımı önerilmektedir.
10. Karabuğday örneğinin UV-C ışık ile muamele edilmesi sonucunda anti-besinsel bileşik miktarı en fazla 45 W enerji seviyesinde azalmıştır. Gıda sanayimiz bu enerji seviyesindeki UV-C ışık kaynağı ile karabuğdayın anti-besinsel bileşiklerini en yüksek düzeyde azaltabilecektir.
11. Karabuğday örneğinin UV-C ışık ile muamele edilmesi sonucunda α -amilaz aktivitesi en fazla 60 W enerji seviyesinde azaltılmıştır. Yine aynı enerji seviyesinde muamele gören karabuğday örneğinde en yüksek proteaz aktivitesi belirlenmiştir.
12. Karabuğdayın 15 W enerji seviyesinde UV-C ışık ile muamele edilmesi ve öğütülen karabuğday ununun glutensiz ekmek üretiminde %50 oranında (U150) kullanılması ile en yüksek protein sindirilirliği ve en düşük nişasta sindirilirliği tespit edilmiştir. En yüksek protein miktarı, 45 W enerji seviyesinde işlem gören karabuğdayın ununun glutensiz ekmek üretiminde %50 oranında (U250) kullanılması ile sağlanmıştır.

13. En yüksek serbest fenolik madde miktarı, toplam flavonoid ve antioksidan aktivite, 15 W enerji seviyesinde UV-C ışık ile muamele edilen karabuğdayın ununun %50 oranında kullanıldığı glutensiz ekmekte (U150) belirlenmiştir.
14. Glutensiz ekmek üretimi yapan gıda sanayimize, besinsel özellikler bakımından, karabuğdayın 15 W enerji seviyesinde işlem görmesi ve bu karabuğday ununun %50 oranında kullanılması tavsiye edilmektedir.
15. Sonuç olarak karabuğdayın anti-besinsel bileşiklerini azaltma yöntemlerinden UV-C ışık uygulaması fitik asit ve kondanse tanen miktarının azaltılmasında en etkili yöntem olurken; malta işleme yöntemi toplam saponin, tripsin inhibitörü aktivitesi ve kimotripsin inhibitörü aktivitesinin azaltılmasında en etkili yöntem olmuştur. Proteinlerin sindiriminin artırılması ve daha fazla esansiyel amino asitlerden yararlanılması bakımından proteaz inhibitörlerinin etkisinin azaltılması önem taşımaktadır. Bu sebeple, bu tez çalışmasının önemli bir sonucu olarak gıda sanayimize malta işleme yöntemi önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- AACCI (American Association of Cereal Chemists International). (2010). Approved Methods of Analysis, Methods No: 44-15.02, 08-01.01, 46-12.01, 30-25.01, 32-05.01, 32-21.01, 76.13, 11th edition, The Association: St. Paul, MN, USA.
- Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018). Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: A review. *Annals. Food Science and Technology*, 19(2), 199-215.
- Abdel-Aal, E. S. M. (2008). Effects of baking on protein digestibility of organic spelt products determined by two *in vitro* digestion methods. *LWT – Food Science and Technology*, 41(7), 1282-1288.
- Aderibigbe, O. R., Ezekiel, O. O., Owolade, S. O. Korese, J. K., Sturm, B., & Hensel, O. (2020). Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus* spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(3), 656-669.
- Adeyemo, S., & Onilude, A. A. (2013). Enzymatic reduction of anti-nutritional factors in fermenting soybeans by *Lactobacillus plantarum* isolates from fermenting cereals. *Nigerian Food Journal*, 31(2), 84-90.
- Agregán, R., Guzel, N., Guzel, M., Bangar, S. P., Zengin, G., Kumar, M., & Lorenzo, J. M. (2023). The effects of processing technologies on nutritional and anti-nutritional properties of pseudocereals and minor cereal. *Food and Bioprocess Technology*, 16, 961-986.
- Ahmed, A., Khalid, N., Ahmad, A., Abbasi, N. A., Latif, M. S. Z., & Randhawa, M. A. (2014). Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: A Review. *Journal of Agricultural Science*, 152(3), 349-369.
- Akbari, S., Abdurahman, N. H., & Yunus, R. M. (2019). Optimization of saponins, phenolics, and antioxidants extracted from fenugreek seeds using microwave-assisted extraction and response surface methodology as an optimizing tool. *Comptes Rendus Chimie*, 22, 714-727.
- Allende, A., Tomás-Barberán, F. A., & Gil, M. I. (2006). Minimal processing for healthy traditional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(9), 513-519.
- Alonso-Miravalles, L., & O'Mahony, J. A. (2018). Composition, protein profile and rheological properties of pseudocereal-based protein-rich ingredients. *Foods*, 7(5), 73.
- Aloo, S. O., Ofori, F. K., & Oh, D. H. (2021). Effect of Germination on alfalfa and buckwheat: Phytochemical profiling by UHPLC-ESI-QTOF-MS/MS, bioactive compounds, and *in vitro* studies of their diabetes and obesity-related functions. *Antioxidant*, 10(10), 1613.
- Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereals flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, 230, 437-445.
- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., & O'Mahony, J. A. (2017). The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 1-12.
- Arslan, A. (2019). Karabuğday unları ve ıslak öğütme fraksiyonlarının bazı besinsel, termal ve çirşlenme özellikleri. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Bolu.
- Arslan, A., Haros, C. M., Yalçın, E., & Güneş, A. (2021). Wet milling of buckwheat cultivars and some quality properties of the fractions. *Food Science and Technology International*, 8(4), 320-330.

- Avilés-Gaxiola, S., Chuck-Hernández, C., & Saldivar, S. O. S. (2018). Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. *Journal of Food Science*, 83(1), 17-29.
- Barros, J. H. T., Oliveira, L. C., Cristianini, M., & Steel, C. J. (2023). Non-thermal emerging technologies as alternatives to chemical additives to improve the quality of wheat flour for breadmaking: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(11), 1612-1628.
- Bhinder, S., Kumari, S., Singh, B., Kaur, A., & Singh, N. (2021). Impact of germination on phenolic composition, antioxidant properties, antinutritional factors, mineral content and Maillard reaction products of malted quinoa flour. *Food Chemistry*, 346(2), 128915.
- Biswas, A., Verma, K. C., Giri, K., Tamta, P., & Joshi, N. (2024). Effect of microwave treatment on phytoconstituents of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) grains with special emphasis on allergenic proteins. *Journal of Food Measurement and Characterization*, doi: 10.1007/s11694-024-02409-w.
- Bonafaccia, G., Marocchini, M., & Kreft, I. (2003). Composition and technological properties of the flour and bran from Common and Tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 80(1), 9-15.
- Brajdes, C., & Vizireanu, C. (2012). Sprouted buckwheat an important vegetable source of antioxidants. *Food Technology*, 36(1), 53-60.
- Caerio, C., Pragosa, C., Cruz, M. C., Pereira, C. D., & Pereira, S. G. (2022). The role of pseudocereals in celiac disease: Reducing nutritional deficiencies to improve well-being and health. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 8502169.
- Calle, A., Fernandez, M., Montoya, B., Schmidt, M., & Thompson, J. (2021). UV-C LED Irradiation reduces Salmonella on chicken and food contact surfaces. *Foods*, 10(7), 1459.
- Capuani, A., Behr, J., & Vogel, R. F. (2013). Influence of lactic acid bacteria on redox status on proteolytic activity of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) sourdoughs. *International Journal of Food Microbiology*, 165(2), 148-155.
- Cawoy, V., Ledent, J. F., Kinet, J. M., & Jacquemart, A. L. (2009). Floral biology of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3(1), 1-9.
- Chlopicka, J., Pasko, P., Gorinstein, S., Jedryas, A., & Zagrodzki, P. (2012). Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads. *LWT – Food Science and Technology*, 46(2), 548-555.
- Choton, S., Bandal, J. D., & Sood, M. (2021). Buckwheat, it's health benefits and uses. *Just Agriculture*, 2(4), 1-5.
- Chrungoo, N. K., & Chettry, U. (2021). Buckwheat: A Critical approach towards assessment of its potential as a super crop. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 81(1), 1-23.
- Coelho, L. M., Silva, P. M. dos S., Martins, J. T., Pinheiro, A. C., & Vicente, A. A. (2018). Emerging opportunities in exploring the nutritional (functional value of amaranth. *Food Funct*, 9(11), 5499-5512.
- Costantini, L., Lukšič, L., Molinari, R., Kreft, I., Bonafaccia, G., Manzi, L., & Merendino, N. (2014). Development of gluten-free bread using Tartary buckwheat and chia flour rich in flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. *Food Chemistry*, 165, 232-240.
- Demir, M. K., & Elgün, A. (2014). Comparison of autoclave, microwave, IR and UV-C stabilization of whole wheat flour branny fractions upon the nutritional properties of whole wheat bread. *Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 59-66.
- Deng, Y., Padilla-Zakour, O., Zhao, Y., & Tao, S. (2015). Influences of high hydrostatic pressure, microwave heating, and boiling on chemical compositions, antinutritional factors, fatty

- acids, in vitro protein digestibility, and microstructure of buckwheat. *Food Bioprocess Technology*, 8(11), 2235-2245.
- Dhillon, A., Sharma, K., Rajulapati, V., & Goyal, A. (2016). Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Elsevier.
- Dittgen, C. L., Silveira, M. M., Kröning, D. P., Ziegler, V., Oliveira, M., & Ferreira, C. D. (2021). Chemical, physical and sensory changes in rice subjected to UV-C radiation and its acceptability to rice Weevil *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and humans. *Journal of Stored Products Research*, 90, 101760.
- Duliński, R., Starzyńska-Janiszewska, A., Byczyński, Ł., & Błaszczuk, U. (2017). Myo-inositol phosphates profile of buckwheat and quinoa seeds: Effects of hydrothermal processing and solid-state fermentation with *Rhizopus Oligosporus*. *International Journal of Food Properties*, 20(9), 2088-2095.
- Dykes, L. (2019). Tannin analysis in sorghum grains. In: Sorghum: Methods and Protocols, Edts: Zhao, Z-Y., Dahlberg, J., Humana Press, 109-120.
- Dorđević, T. M., Šiler-Marinković, S. S., & Dimitrijević-Branković, S. I. (2010). Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals. *Food Chemistry*, 119(3), 957-963.
- Ee, K. Y., Zhao, J., Rehman, A., & Agboola, S. (2008). Characterisation of trypsin and α -chymotrypsin inhibitors in Australian wattle seed (*Acacia victoriae* Benth). *Food Chemistry*, 107(1), 337-343.
- Feizollahi, E., Mirmahdi, R. S., Zoghi, A., Zijlstra, R. T., Roopesh, M. S., & Vasanthan, T. (2021). Review of the beneficial and anti-nutritional qualities of phytic acid, and procedures for removing it from food products. *Food Research International*, 143(1), 110284.
- Filho, A. M. M., Pirozi, M. R., Borges, J. T. S., Sant'Ana, H. M. P. Chaves, J. B. P., & Coimbra, J. S. R. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Crit Rev in Food Sci and Nutr*, 57(8), 1618-1630.
- Fotschki, B., Juśkiewicz, J., Jurgoński, A., Amarowicz, R., Opyd, P., Bez, J., Muranyi, I., Petersen, I. L., & Llopis, M. L. (2020). Protein-rich Flours from Quinoa and Buckwheat Favourably Affect the Growth Parameters, Intestinal Microbial Activity and Plasma Lipid Profile of Rats. *Nutrients*, 12(9), 2781.
- Fu, B. X., & Sapirstein, H. D. (1996). Procedure for isolating monomeric proteins and polymeric glutenin of wheat flour. *Cereal Chemistry*, 73(1), 143-152.
- Gemedé, H. F., & Retta, N. (2014). Antinutritional factors in plant foods: Potential health benefits and adverse effects. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3(4), 284-289.
- Giménez-Bastida, J. A., Piskula, M. K., & Zieliński, H. (2015a). Recent advances in processing and development of buckwheat derived bakery and non-bakery products – A review. *Polish Journal of Food Nutrition Science*, 65(1), 9-20.
- Giménez-Bastida, J., Piskula, M., & Zieliński, H. (2015b). Recent advances in development of gluten-free buckwheat products. *Trends in Food Science & Technology*, 44(1), 58-65.
- Gobbetti, M., Angelis, M., Cagno, R., Polo, A., & Rizzello, C. G. (2020). The sourdough fermentation is the powerful process to exploit the potential of legumes, pseudo-cereals and milling by-products in baking industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(13), 2158-2173.
- Gondola, I., & Papp, P. P. (2010). Origin, geographical distribution and phylogenetic relationships of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.). *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 4(1), 17-32.

- Gong, L., Feng, D., Wang, T., Ren, Y., Liu, Y., & Wang, J. (2020). Inhibitors of α -amylase and α -glucosidase: Potential linkage for whole cereal foods on prevention of hyperglycemia. *Food Science & Nutrition*, 8(12), 6320-6337.
- Guerrero-Beltrán, J. A. & Barbosa-Cánovas, G. V. (2004). Review: Advantages and limitations in processing foods by UV light. *Food Science and Technology International*, 10(3), 137-147.
- Gujjaiah, S., & Kumari, C. (2013). Evaluation of changes in α -amylase, β -amylase and protease during germination of cereals. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 3(3), 55-62.
- Gusakov, A. V., Kondratyeva, E. G., & Sinitsyn, A. P. (2011). Comparison of two methods for assaying reducing sugars in the determination of carbohydrase activities. *International Journal of Analytical Chemistry*, 283658, 1-4.
- Gutfinger, T. (1981). Polyphenols in olive oils. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 58(11), 966-968.
- Hemalatha, P., Bomzan, D. P., Rao, B. V. S., & Sreerama, Y. N. (2016). Distribution of phenolic antioxidants in whole and milled fractions of quinoa and their inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase activities. *Food Chemistry*, 199, 330-338.
- Henrion, M., Labat, E., & Lamothe, L. (2021). *Innovative Processing Technologies for Healthy Grains*. Wiley-Blackwell.
- Hernández-Ledesma, B. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a source of nutrients and bioactive compounds: A review. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 2(3), 27-47.
- Herrera, T., Hierro, J. N., Fornari, T., Reglero, G., & Martin, D. (2018). Acid hydrolysis of saponin-rich extracts of quinoa, lentil, fenugreek and soybean to yield sapogenin-rich extracts and other bioactive compounds. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 99(6), 3157-3167.
- Huda, M. N., Lu, S., Jahan, T., Ding, M., Jha, R., Zhang, K., Zhang, W., Georgiev, M. I., Park, S. U., & Zhou, M. (2021). Treasure from garden: Bioactive compounds of buckwheat. *Food Chemistry*, 335, 127653.
- Hung, P. V., Maeda, T., Tsumori, R., & Morita, N. (2007). Characteristics of fractionated flours from whole buckwheat grain using a gradual milling system and their application for noodle making. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 87(15), 2823-2829.
- Ikeda, K. (2002). *Buckwheat: Composition, chemistry, and processing*. Academic Press.
- ISO 14902:2001 (E). Animal feeding stuffs – Determination of trypsin inhibitor activity of soya products.
- Ispiryan, L., Kuktaite, R., Zannini, E., & Arendt E. K. (2021). Fundamental study on changes in the FODMAP profile of cereals, pseudo-cereals, and pulses during the malting process. *Food Chemistry*, 343, 128549.
- Jambrec, D., Sakač, M., Jovanov, P., Mišan, A., Pestorić, M., Tomović, V., & Mandić, A. (2016). Effect of processing and cooking on mineral and phytic acid content of buckwheat-enriched tagliatelle. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 22(3), 319-326.
- Ji, H., Tang, W., Zhou, X., & Wu, Y. (2016). Combined effects of blue and ultraviolet lights on the accumulation of flavonoids in Tatar buckwheat sprouts. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(2), 93-98.
- Jin, J., Ohanenye, I. C., Udenigwe, C. C. (2020). Buckwheat proteins: Functionality, safety, bioactivity, and prospects as alternative plant-based proteins in the food industry. *Critical*

- Jing, R., Li, H. Q., Hu, C. L., Jiang, Y. P., Qin, L. P., & Zheng, C. J. (2016). Phytochemical and pharmacological profiles of three *Fagopyrum* buckwheats. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(4), 589.
- Joshi, D. C., Zhang, K., Wang, C., Chandora, R., Khurshid, M., Li, J., He, M., Georgiev, M. I., & Zhou, M. (2020). Strategic enhancement of genetic gain for nutraceutical development in buckwheat: A genomics-driven perspective. *Biotechnology Advances*, 39, 107479.
- Kala, B. K., & Mohan, V. R. (2011). Effect of UV treatment on the anti-nutritional factors of two accessions of velvet bean, *Mucuna pruriens* (L.) DC var. *utilis* (Wall.ex Wight) Bak. Ex Burck. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(1), 131-141.
- Kasar, C., Thanushree, M. P., Gupta, S., & Inamdar, A. A. (2021). Milled fractions of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) from the Himalayan regions: Grain characteristics, functional properties and nutrient composition. *Journal of Food Science and Technology*, 58(10), 3871-3881.
- Kaur, H., Shams, R., Dash, K. K., & Dar, A. H. (2023). A comprehensive review of pseudo-cereals: Nutritional profile, phytochemicals constituents and potential health promoting benefits. *Applied Food Research*, 3(2), 100351.
- Kaur, S., Sharma, S., Dar, B. N., & Singh, B. (2012). Optimization of process for reduction of antinutritional factors in edible cereal brans. *Food Science and Technology International*, 18(5), 445-454.
- Keharom, S., Mahachai, R., & Chanthai, S. (2016). The optimization study of α -amylase activity based on central composite design-response surface methodology by dinitrosalicylic method. *International Food Research Journal*, 23(1), 10-17.
- Khairuddin, M. A. N., & Lasekan, O. (2021). Gluten-free cereal products and beverages: A review of their health benefits in the last five years. *Foods*, 10(11), 2523.
- Klepacka, J., & Najda, A. (2021). Effect of commercial processing on polyphenols and antioxidant activity of buckwheat seeds. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 661-670.
- Koshevaya, V. M., Kobernitskaya, A. A., & Kinash, D. A. (2017). Improvement of buckwheat malt technology. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 11(1), 15-17.
- Kostekli, M., & Karakaya, S. (2017). Protease inhibitors in various flours and breads: Effects of fermentation, baking and in vitro digestion on trypsin and chymotrypsin inhibitory activities. *Food Chemistry*, 224, 62-68.
- Koutchma, T. (2008). UV Light for processing foods. *Ozone: Science and Engineering*, 30(1), 93-98.
- Kowalski, S., Mikulec, A., Mickowska, B., & Buksa, K. (2022). Nutritional properties and amino acid profile of buckwheat bread. *Journal of Food Science and Technology*, 59(8), 3020-3030.
- Kreft, S., Strukelj, B., Gaberscik, A. & Kreft, I. (2002). Rutin in buckwheat herbs grown at different UV-B radiation levels: comparison of two UV spectrophotometric and an HPLC method. *Journal of Experimental Botany*, 53 (375), 1801–1804.
- Kumar, A., Nayak, R., Purohit, S. R., & Rao, P. S. (2021b). Impact of UV-C irradiation on solubility of Osborne protein fractions in wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 110(1), 105845.
- Kumar, A., Rani, P., Purohit, S. R., & Rao, P. S. (2020). Effect of ultraviolet irradiation on wheat

- (*Triticum aestivum*) flour: Study on protein modification and changes in quality attributes. *Journal of Cereal Science*, 96, 103094.
- Kumar, Y., Basu, S., Goswami, D., Devi, M., Shivhare, U. S., Vishwakarma, R. K. (2021a). Anti-nutritional compounds in pulses: Implications and alleviation methods. *Legume Science*, 4(2), e111.
- Leonard, M. M., Sapone, A., Catassi, C., & Fasano, A. (2017). Celiac disease and nonceliac gluten sensitivity: A review. *Clinical Review & Education*, 318(7), 647-656.
- Liu, F., He, C., Wang, L., & Wang, M. (2018). Effect of milling method on the chemical composition and antioxidant capacity of Tatar buckwheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 2457-2464.
- Liu, K. (2019). Soybean trypsin inhibitor assay: Further improvement of the standard method approved and reapproved by American Oil Chemists' Society and American Association of Cereal Chemists International. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(6), 635-645.
- Ma, M., Zhang, H., Xie, Y., Yang, M., Tang, J., Wang, P., Yang, R., & Gu, Z. (2020). Response of nutritional and functional composition, anti-nutritional factors and antioxidant activity in germinated soybean under UV-B radiation. *LWT – Food Science and Technology*, 118(4), 108709.
- Maetens, E., Hettiarachchy, N., Dewettinck, K., Horax, R., & Moens, K. (2018). Reductions of anti-nutritional factors of germinated soybeans by ultraviolet and infrared treatments for snack chips preparation. *LWT – Food Science and Technology*, 90(3), 513-518.
- Manyelo, T. G., Sebola, N. A., Rensburg, E. J., & Mabelebele, M. (2020). The probable use of *Genus amaranthus* as feed material for monogastric animals. *Animals*, 10(9), 1504.
- Mariotti, M., Lucisano, M., Pagani, M. A., & Iametti, S. (2008). Macromolecular interactions and rheological properties of buckwheat-based dough obtained from differently processed grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(11), 4258-4267.
- Martín-García, B., Pasini, F., Verardo, V., Gómez-Caravaca, A. M., Marconi, E., & Caboni, M. F. (2019). Distribution of free and bound phenolic compounds in buckwheat milling fractions. *Foods*, 8(12), 670.
- Masatcioglu, M. T., Yalcin, E., Kim, M., Ryu, G.H., Celik, S., & Koksels, H. (2013). Physical and chemical properties of tomato, green tea, and ginseng-supplemented corn extrudates produced by conventional extrusion and CO₂ injection process. *European Food Research and Technology*, 237(5), 801-809.
- Mattila, P. H., Pihlavan, J. M., Hellström, J., Nurmi, M., Eurola, M., Mäkinen, S., Jalava, T., & Pihlanto, A. (2018). Contents of phytochemicals and antinutritional factors in commercial protein-rich plant products. *Food Quality and Safety*, 2(4), 213-219.
- MEBAK. (2013). Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission (MEBAK) Vol. Wort, Beer and Beer-based Beverages, Freising-Weihenstephan, Germany.
- Melini, F., & Melini, V. (2021). Impact of fermentation on phenolic compounds and antioxidant capacity of quinoa. *Fermentation*, 7(1), 20.
- Mikulajová, A., Šedivá, D., Hybenová, E., & Mošovská, S. (2016). Buckwheat cultivars – Phenolic compounds profiles and antioxidant properties. *Acta Chimica Slovaca*, 9(2), 124-129.
- Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2018). Nutritional constituents of pseudo-cereals and their potential use in food systems: A Review. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 170-180.

- Mishra, M., & Jain, S. (2019). A comparative study on nutritional profile and antinutrients of buckwheat fractions (*Fagopyrum esculentum*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 561-570.
- Molska, M., Reguła, J., Zielińska-Dawidziak, M., & Tomczak, A. (2022). Starch and protein analysis in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) sprouts enriched with probiotic yeast. *LWT – Food Science and Technology*, 168, 113903.
- Moore, M. M., Schober, T. J., Dockery, P., & Arendt, E. K. (2004). Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. *Cereal Chemistry*, 81(5), 567-575.
- Mota, C., Santos, M., Mauro, R., Samman, N., Matos, A. S., Torres, D., & Castanheira, I. (2016). Protein content and amino acids profile of pseudocereals. *Food Chemistry*, 193, 55-61.
- Motta, C., Castanheira, I., Gonzales, G., Delgado, I., Torres, D., & Matos, M. S. A. (2019). Impact of cooking methods and malting on amino acids content in amaranth, buckwheat and quinoa. *Journal of Food Composition and Analysis*, 76, 58-65.
- Motte, J-C., Tyler, R., Milani, A., Courcelles, J., & Tanya, D. (2021). Pea and lentil flour quality as affected by roller milling configuration. *Legume Science*, 397, 1-15.
- Moyo, M., Amoo, S. O., Ncube, B., Ndhlala, A. R., Finnie, J. F., & Van Staden, J. (2013). Phytochemical and antioxidant properties of unconventional leafy vegetables consumed in Southern Africa. *South African Journal Botany*, 84, 65-71.
- Mroczek, A. (2015). Phytochemistry and bioactivity of triterpene saponins from *Amaranthaceae* family. *Phytochemistry Reviews*, 14(4), 577-605.
- Muralikrishna, G., & Nirmala, M. (2005). Cereal α -amylases – An overview. *Carbohydrate Polymers*, 60(2), 163-173.
- Mäkinen, O. E., & Arendt, E. K. (2015). Nonbrewing applications of malted cereals, pseudocereals, and legumes: A review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 73(3), 223-227.
- Nalbandian, E., Karkle, E., & Ganjyal, G. M. (2023). Physicochemical properties of buckwheat flours and their influence on focaccia bread quality. *Cereal Chemistry*, 101(1), 220-230.
- Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 98-107.
- Naumann, H. D., Tedeschi, L. O., Zeller, W. E., & Huntley, N. F. (2017). The role of condensed tannins in ruminant animal production: Advances, limitations and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(12), 929-949.
- Ng, P. K. W., & Bushuk, W. (1987). Glutenin of Marquis Wheat as reference for estimating molecular weights of glutenin subunits by SDS-PAGE. *Cereal Chemistry*, 64(4), 324-334.
- Nguyen, L. T., Fărcaș, A. C., Socaci, S. A., Tofană, M., Diaconeasa, Z. M., Pop, O. L. & Salantă, L. C. (2020). An overview of saponins – A bioactive group. *Food Science and Technology*, 77(1).
- Nikmaram, N., Leong, S. Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F. J., Greiner, R., Oey, I., & Roohinejad, S. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control*, 79, 62-73.
- Oatway, L., Vasanthan, T., & Helm, J. H. (2001). Phytic acid. *Food Reviews International*, 17(4), 419-431.
- Olawoye, B. T., & Gbadamosi, S. O. (2017). Effect of different treatments on *in vitro* protein digestibility, antinutrients, antioxidant properties and mineral composition of *Amaranthus viridis* seed. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1296402.

- Oleszek, W., Junkuszew, M., & Stochmal, A. (1999). Determination and toxicity of saponins from *Amaranthus cruentus* seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3685-3687.
- Omary, M. B., Fong, C., Rothschild, J., & Finney, P. (2012). Effects of germination on the nutritional profile of gluten-free cereals and pseudocereals: A review. *Cereal Chemistry*, 89(1), 1-14.
- Onyango, C. A., Ochanda, S. O., Mwasaru, M. A., Ochieng, J. K., Mathooko, F. M., & Kinyuru, J. N. (2013). Effects of malting and fermentation on anti-nutritional reduction and protein digestibility of red sorghum, white sorghum and pearl millet. *Journal of Food Research*, 2(1), 41-49.
- Paucar-Menacho, L. M., Schmiele, M., Lavado-Cruz, A. A., Verona-Ruiz, A. L., Mollá, C., Peñas, E., Frias, J., Simpalo-Lopez, W. D., Castillo-Martínez, W. E., & Martínez-Villaluenga, C. (2022). Andean sprouted pseudocereals to produce healthier extrudates: Impact in nutritional and physicochemical properties. *Foods*, 11(20), 3259.
- Phiarais, B. P. N., Wijngaard, H. H., & Arendt, E. K. (2005). The impact of kilning on enzymatic activity of buckwheat malt. *Journal of The Institute of Brewing*, 111(3), 290-298.
- Piechowiak, T., Józefczyk, R., & Balawejder, M. (2018). Impact of ozonation process of wheat flour on the activity of selected enzymes. *Journal of Cereal Science*, 84, 30-37.
- Pirzadah, T. B., Malik, B., Tahir, I., & Rehman, R. U. (2019). Buckwheat journey to functional food sector. *Current Nutrition & Food Science*, 15, 1-8.
- Podolska, G., Gujska, E., Klepacka, J., & Aleksandrowicz, E. (2021). Bioactive compounds in different buckwheat species. *Plants*, 10(5), 961.
- Potapov, K. O., Kadyrova, L. R., Galiullina, G. N., Kadyrova, F. Z., Khusnutdinova, A. T., & Nikiforova, I. Y. (2017). Morphological features and economic value of buckwheat varieties with physiological determination of growth. *Journal of Pharmacy Research*, 11(10), 1252-1256.
- Priego-Poyato, S., Rodrigo-Garcia, M., Escudero-Feliu, J., Garcia-Costela, M., Lima-Cabello, E., Carazo-Gallego, A., Morales-Santana, S., Leon, J., & Jimenez-Lopez, J. C. (2021). Current advances research in nutraceutical compounds of legumes, pseudocereals and cereals. *Grain and Seed Proteins Functionality*, 1-16.
- Qaiser, H., Abdullah, R., Kaleem, A., Iqtedar, M., & Sajer, B. H. (2023). *Essentials of medicinal and aromatic crops*. Springer.
- Qian, J., Rayas-Duarte, P., & Grant, L. (1998). Partial characterization of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch. *Cereal Chemistry*, 75(3), 365-373.
- Radović, S. R., Maksimović, V. R., & Varkonji-Gašić, E. I. (1996). Characterization of buckwheat seed storage proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 972-974.
- Ragaei, S., Abdel-Aal, E. S. M., & Noaman, M. (2006). Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chemistry*, 98(1), 32-38.
- Raguindin, P. F., Itodo, O. A., Stoyanov, J., Dejanovic, G. M., Gamba, M., Asllanaj, E., Minder, B., Bussler, W., Metzger, B., Muka, T., Glisic, M., & Kern, H. (2021). A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat. *Food Chemistry*, 338, 127982.
- Rani, K. U., Prasada Rao, U. J. S., Leelavathi, K., & Harides Rao, P. (2001). Distribution of enzymes in wheat flour mill streams. *Journal of Cereal Science*, 34(3), 233-242.
- Rathod, R., & Annapure, U. S. (2016). Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT – Food Science and Technology*, 66(1), 114-123.

- Reguera, M., & Haros, C. M. (2017). *Pseudocereals: Chemistry and Technology*. Wiley-Blackwell.
- Rollán, G. C., Gerez, C. L., & LeBlanc, J. G. (2019). Lactic fermentation as a strategy to improve the nutritional and functional values of pseudocereals. *Frontiers in Nutrition*, 6, 98.
- Saccotelli, M. A., Spinelli, S., Conte, A., & Del Nobile, M. A. (2018). Gluten-free bread enriched with vegetable flours. *Food and Nutrition Sciences*, 9(4), 356-368.
- Sakač, M., Torbica, A., Sedej, I., & Hadnadev, M. (2011). Influence of breadmaking on antioxidant capacity of gluten free breads based on rice and buckwheat flours. *Food Research International*, 44(9), 2806-2813.
- Satheesh, N., & Fanta, S. W. (2018). Review on structural, nutritional and anti-nutritional composition of teff (*Eragrostis tef*) in comparison with quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), 1546942.
- Schoenlechner, R., Siebenhandl, S., & Berghofer, E. (2008). *Gluten-free cereal products and beverages*. Academic Press.
- Shahbaz, M., Raza, N., Islam, M., Imran, M., Ahmad, I., Meyyazhagan, A., Pushparaj, K., Balasubramanian, B., Park, S., Rengasamy, K. R. R., Gondal, T. A., El-Ghorab, A., Abdelgawad, M. A., Ghoneim, M. M., & Wan, C. (2023). The nutraceutical properties and health benefits of pseudocereals: A Comprehensive treatise. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(29), 10217-10229.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, Academic Press, 299, 152-178.
- Sinha, K., & Khare, V. (2017). Review on: Antinutritional factors in vegetable crops. *The Pharma Innovation Journal*, 6(12), 353-358.
- Skrabanja, V., Kreft, I., Golob, T., Modic, M., Ikeda, S., Ikeda, K., Kreft, S., Bonafaccia, G., Knapp, M., & Kosmelj, K. (2004). Nutrient content in buckwheat milling fractions. *Cereal Chemistry*, 81(2), 172-176.
- Skřivan, P., Chrpová, D., Klitschová, B., Švec, I., & Sluková, M. (2023). Buckwheat flour (*Fagopyrum esculentum* Moench) – A Contemporary view on the problems of its production for human nutrition. *Foods*, 12(16), 3055.
- Smith, C., Megen, W. V., Twaalfhoven, L., & Hitchcock, C. (1980). The determination of trypsin inhibitor levels in foodstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31(4), 341-350.
- Sofi, S. A., Ahmed, N., Farooq, A., Rafiq, S., Zargar, S. M., Kamran, F., Dar, T. A., Mir, S. A., Dar, B. N., & Khaneghah, A. M. (2022). Nutritional and bioactive characteristics of buckwheat, and its potential for developing gluten-free products: An updated overview. *Food Science & Nutrition*, 11(5), 2256-2276.
- Solanki, C., Mridula, D., & Singh, R. (2023). Buckwheat processing and its utilization in value-added products: A comprehensive review. *The Pharma Innovation Journal*, 12(8), 2746-2752.
- Steadman, K. J., Burgoon, M. S., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., & Obendorf, R. L. (2001). Buckwheat seed milling fractions: Description, macronutrient composition and dietary fibre. *Journal of Cereal Science*, 33(3), 271-278.
- Suárez-Estrella, D., Torri, L., Pagani, M. A., & Marti, A. (2018). Quinoa bitterness: Causes and solutions for improving product acceptability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), 4033-4041.

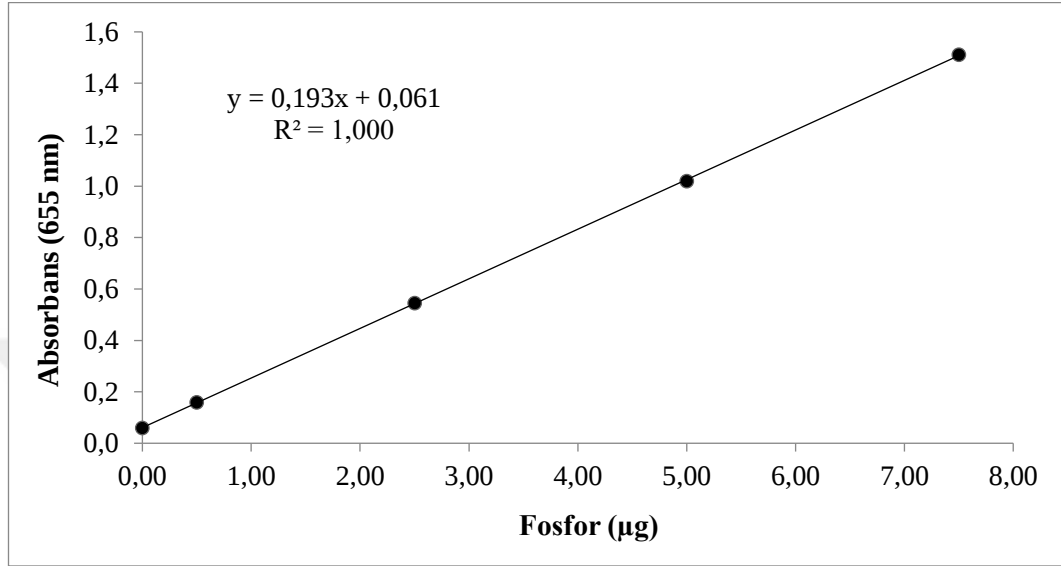
- Suzuki, T., Honda, Y., & Mukasa, Y. (2005). Effects of UV-B radiation, cold and desiccation stress on rutin concentration and rutin glucosidase activity in Tatar buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) leaves. *Plant Science*, 168(5), 1303-1307.
- Takahama, U., Tanaka, M., & Hirota, S. (2011). Flour and breads and their fortification in health and disease prevention. Academic Press.
- Tang, C. H., Peng, J., Zhen, D. W., & Chen, Z. (2009). Physicochemical and antioxidant properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 115(2), 672-678.
- Tang, C-H., & Wang, X-Y. (2010). Physicochemical and structural characterization of globulin and albumin from common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) seeds. *Food Chemistry*, 121(1), 119-126.
- Tanrıku, E. (2023). Farklı Lokasyonlarda Yetiştirilen Karabuğdayların Öğütme Fraksiyonlarının Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Bolu.
- Terpinc, P., Cigić, B., Polak, T., Hribar, J., & Požrl, T. (2016). LC-MS analysis of phenolic compounds and antioxidant activity of buckwheat at different stages of malting. *Food Chemistry*, 210, 9-17.
- Thakur, P., & Kumar, K. (2019). Nutritional importance and processing aspects of pseudo-cereals. *Journal of Agricultural Engineering and Food Technology*, 6(2), 155-160.
- Thakur, P., Kumar, K., & Dhaliwal, H. S. (2021). Nutritional facts, bio-active components and processing aspects of pseudo-cereals: A Comprehensive review. *Food Bioscience*, 42(24), 101170.
- Thanushree, M. P., Sudha, M. L., Martin, A., Vanitha, T., & Kasar, C. (2022). Enhancing the nutritional and quality profiles of buckwheat noodles: Studies on the effects of methods of milling and improvers. *LWT – Food Science and Technology*, 160, 113286.
- Torbica, A., Hadnadev, M., & Dapčević, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24(6-7), 626-632.
- Unal, H., Izli, G., Izli, N., & Asik, B. B. (2017). Comparison of some physical and chemical characteristics of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grains. *CYTA – Journal of Food*, 15(2), 257-265.
- Venegas-Calderón, M., Ruiz-Méndez, M., Martínez-Force, E., Garcés, R., & Salas, J. J. (2017). Characterization of *Xanthoceras sorbifolium* bunge seeds: Lipids, proteins and saponins content. *Industrial Crops and Products*, 109, 192-198.
- Vicente, A., Villanueva, M., Caballero, P. A., Muñoz, J. M., & Ronda, F. (2023). Buckwheat grains treated with microwave radiation: Impact on the techno-functional, thermal, structural, and rheological properties of flour. *Food Hydrocolloids*, 137(1-2), 108328.
- Vombergar, B., Škrabanja, V., & Germ, M. (2020). Flavonoid concentration in milling fractions of Tatar buckwheat and common buckwheat. *Fagopyrum*, 37(1), 11-21.
- Wang, S., Xu, X., Wang, S., Wang, J., & Peng, W. (2022). Effects of microwave treatment on structure, functional properties and antioxidant activities of germinated Tatar buckwheat protein. *Foods*, 11(10), 1373.
- Wijngaard, H. H., & Arendt, E. K. (2006a). Buckwheat. *Cereal Chemistry*, 83(4), 391-401.
- Wijngaard, H. H., & Arendt, E. K. (2006b). Optimisation of a mashing program for 100% malted buckwheat. *Journal of The Institute of Brewing*, 112(1), 57-65.
- Woo, S.H., Kamal, A. H. M., Tatsuro, S., Campbell, C. G., Adachi, T., Yun, Y. H., Chung, K. Y.,

- & Choi, J. S. (2010). Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.): Concepts, prospects and potential. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 4(1), 1-16.
- Woomer, J. S., & Adedeji, A. A. (2021). Current applications of gluten-free grains – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(1), 14-24.
- Wronkowska, M., & Haros, M. (2014). Wet-milling of buckwheat with hull and dehulled – The properties of the obtained starch fraction. *Journal of Cereal Science*, 60(3), 477-483.
- Wronkowska, M., Haros, M., & Śmietana, M. S. (2013). Effect of starch substitution by buckwheat flour on gluten-free bread quality. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1820-1827.
- Wronkowska, M., Honke, J., & Piskula, M. K. (2015). Effect of solid-state fermentation with *Rhizopus Oligosporus* on bioactive compounds and antioxidant capacity of raw and roasted buckwheat groats. *Italian Journal of Food Science*, 27(4), 424-431.
- Wysocka, M. & Lesner, A. (2013). Future of protease activity assays. *Current Pharmaceutical Design*, 19(6), 1062-1067.
- Xu, J., Fan, L., Zhou, D., Yang, G., Guan, X., Li, R., & Wang, S. (2023). Developing effective radio frequency and ultraviolet combination technology based on evaluating quality characteristics of buckwheat. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86(9), 103390.
- Yousif, A. M., Snowball, R., D'Antuono, M. F., Dhammu, H. S., & Sharma, D. L. (2020). Water droplet surface tension method – An innovation in quantifying saponin content in quinoa seed. *Food Chemistry*, 343(2), 128483, 1-20.
- Yu, D., Chen, J., Ma, J., Sun, H., Yuan, Y., Ju, Q., Teng, Y., Yang, M., Li, W., Fujita, K., Tatsumi, E., & Luan, G. (2018). Effects of different milling methods on physicochemical properties of common buckwheat flour. *LWT – Food Science and Technology*, 92(36), 220-226.
- Yu, L., Haley, S., Perret, J., & Harris, M. (2002). Antioxidant properties of hard winter wheat extracts. *Food Chemistry*, 78(4), 457-461.
- Zhang, G., Xu, Z., Gao, Y., Huang, X., Zou, Y., & Yang, T. (2015). Effects of germination on the nutritional properties, phenolic profiles, and antioxidant activities of buckwheat. *Journal of Food Science*, 80(5), 1111-1119.
- Zhang, L., Meng, Q., Zhao, G., & Ye, F. (2023). Comparison of milling methods on the properties of common buckwheat flour and the quality of wantuan, a traditional Chinese buckwheat food. *Food Chemistry*, 19, 100845.
- Zhou, X., Wen, L., Li, Z., Zhou, Y., Chen, Y., & Lu, Y. (2015). Advance on the benefits of bioactive peptides from buckwheat. *Phytochemistry Reviews*, 14(3), 381-388.
- Zhu, F. (2020). Dietary fiber polysaccharides of amaranth, buckwheat and quinoa grains: A review of chemical structure, biological functions and food uses. *Carbohydrate Polymers*, 248, 116819.
- Zielinski, H., Michalska, A., Amigo-Benacent, M., Del Castillo, M. D., & Piskula, M. K. (2009). Changes in protein quality and antioxidant properties of buckwheat seeds and groats induced by roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 4771-4776.

7. EKLER

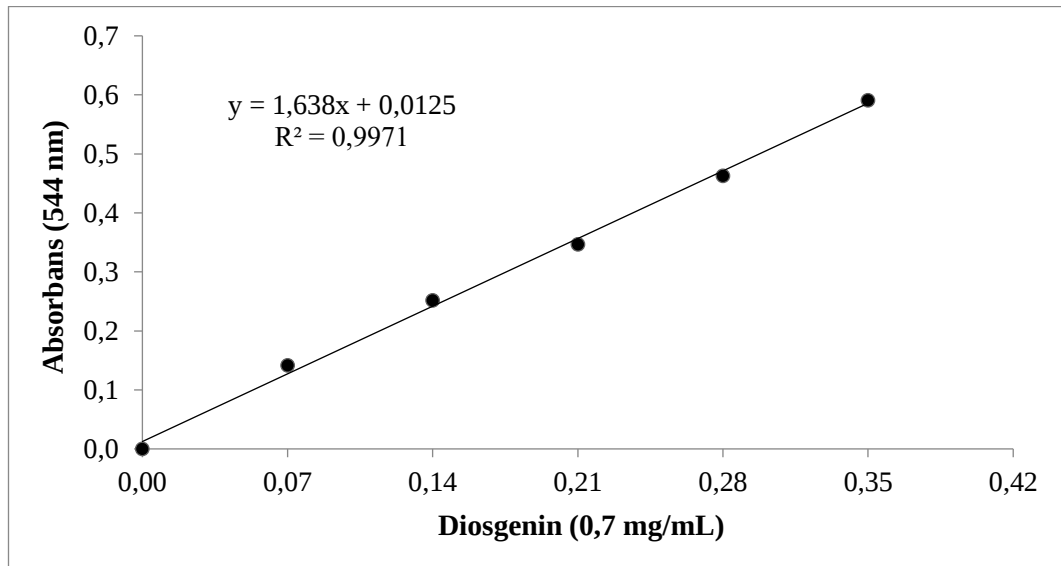
EK A. Kalibrasyon Doğruları

A.1. Fosfor (µg) miktarı standart doğru grafiği.



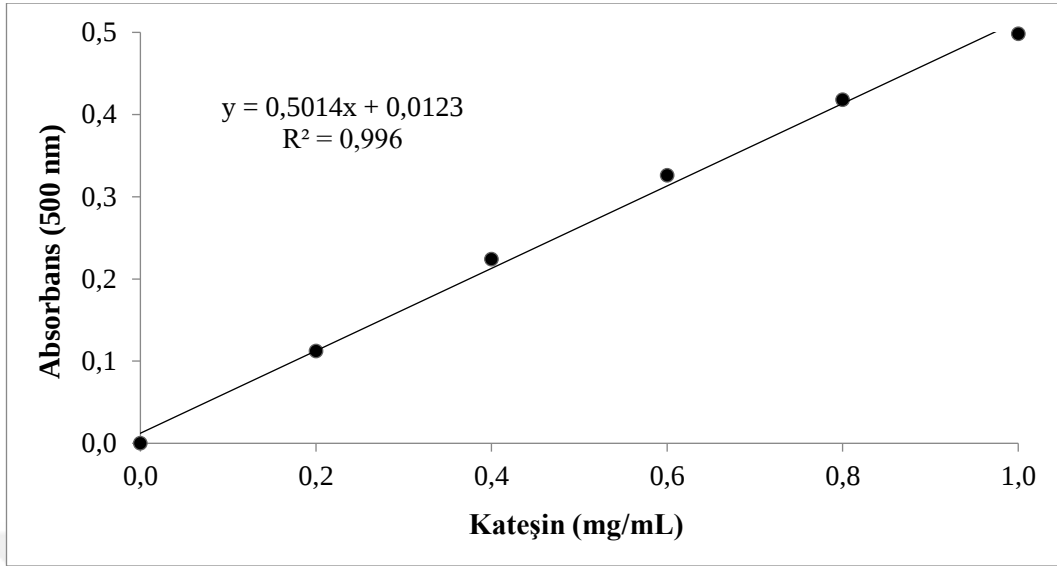
Şekil A.1. Fitik asit miktarının belirlenmesinde kullanılan fosfor miktarı standart doğru grafiği.

A.2. Diosgenin (0,7 mg/mL) miktarı standart doğru grafiği.



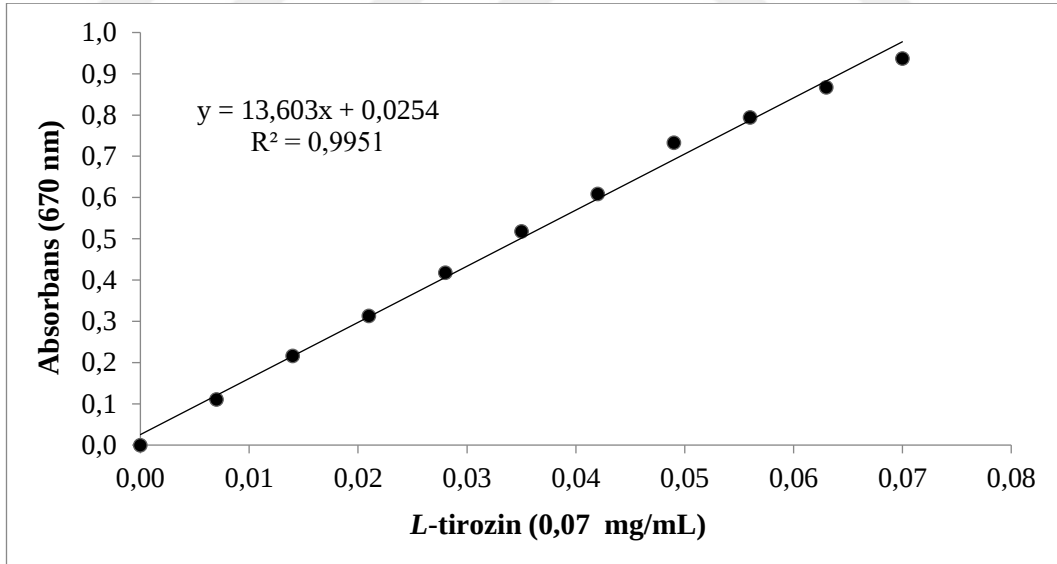
Şekil A.2. Toplam saponin miktarının belirlenmesinde kullanılan diosgenin miktarı standart doğru grafiği.

A.3. Kateşin miktarı (mg/mL) standart doğru grafiği.



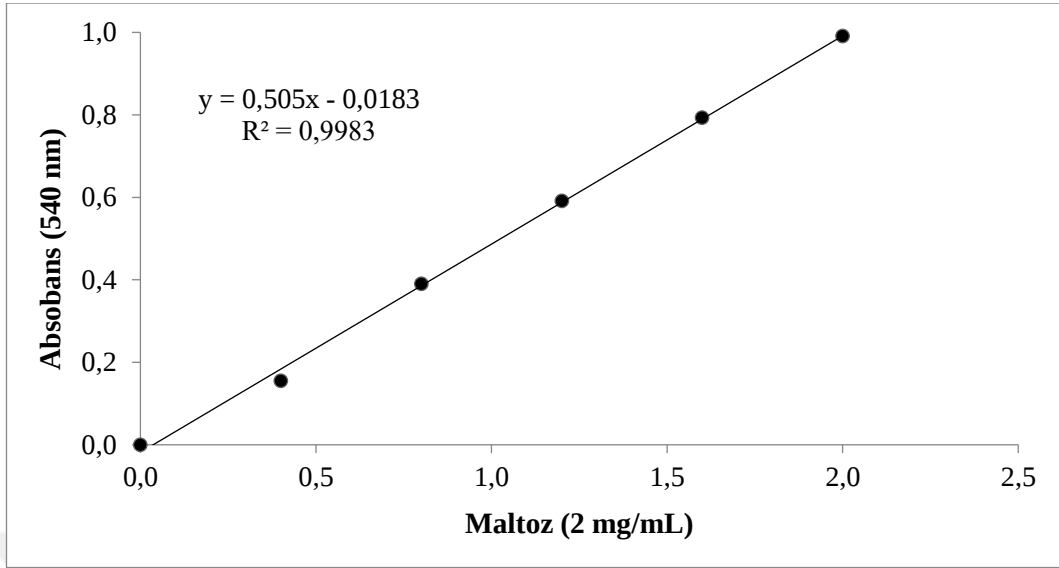
Şekil A.3. Kondense tanen miktarının belirlenmesinde kullanılan kateşin miktarı standart doğru grafiği.

A.4. *L*-tirozin miktarı (0,07 mg/mL) standart doğru grafiği.



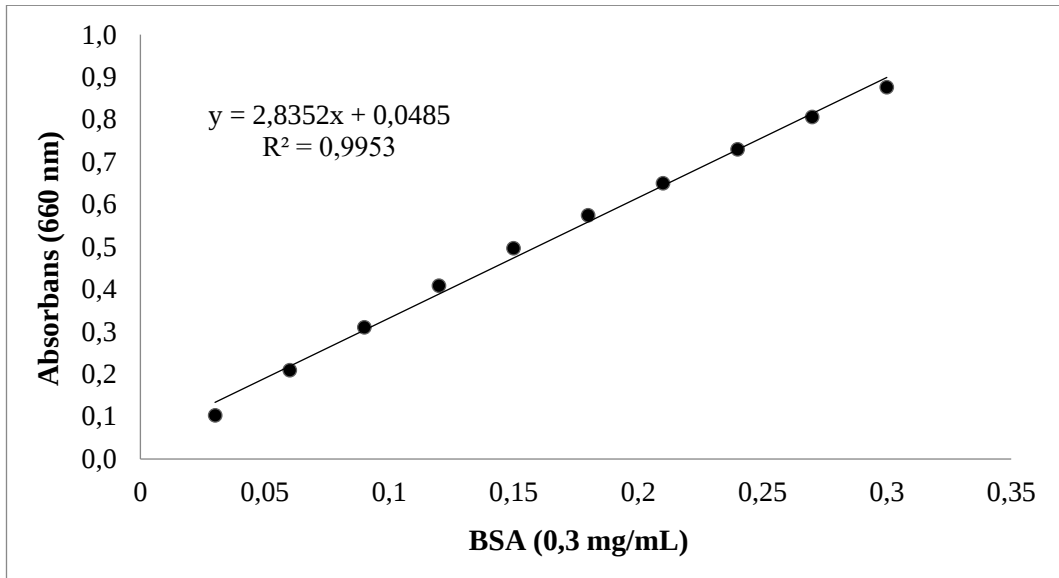
Şekil A.4. Proteaz aktivitesinin belirlenmesinde kullanılan *L*-tirozin miktarı standart doğru grafiği.

A.5. Maltoz miktarı (2 mg/mL) standart doğru grafiği.



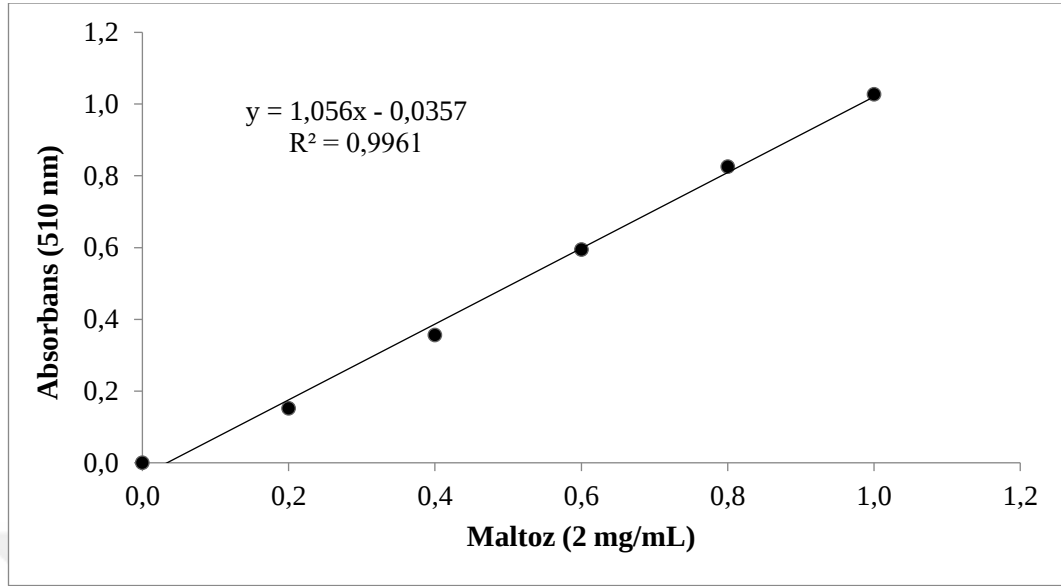
Şekil A.5. α -amilaz aktivitesinin belirlenmesinde kullanılan maltoz miktarı standart doğru grafiği.

A.6. Bovine Serum Albumin (BSA) miktarı (0,3 mg/mL) standart doğru grafiği.



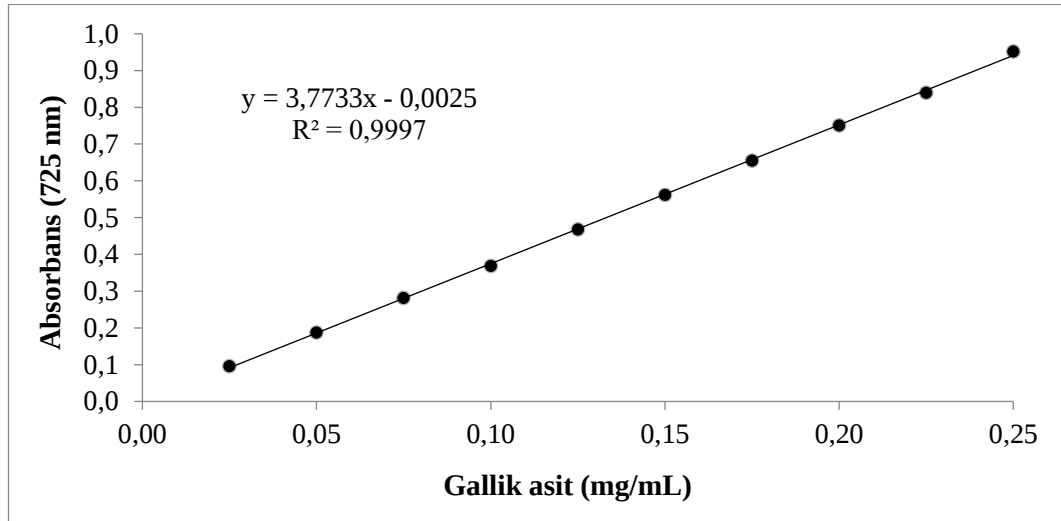
Şekil A.6. Protein sindirilirliği (%) miktarının belirlenmesinde kullanılan BSA miktarı standart doğru grafiği.

A.7. Maltoz miktarı (2 mg/mL) standart doğru grafiği.



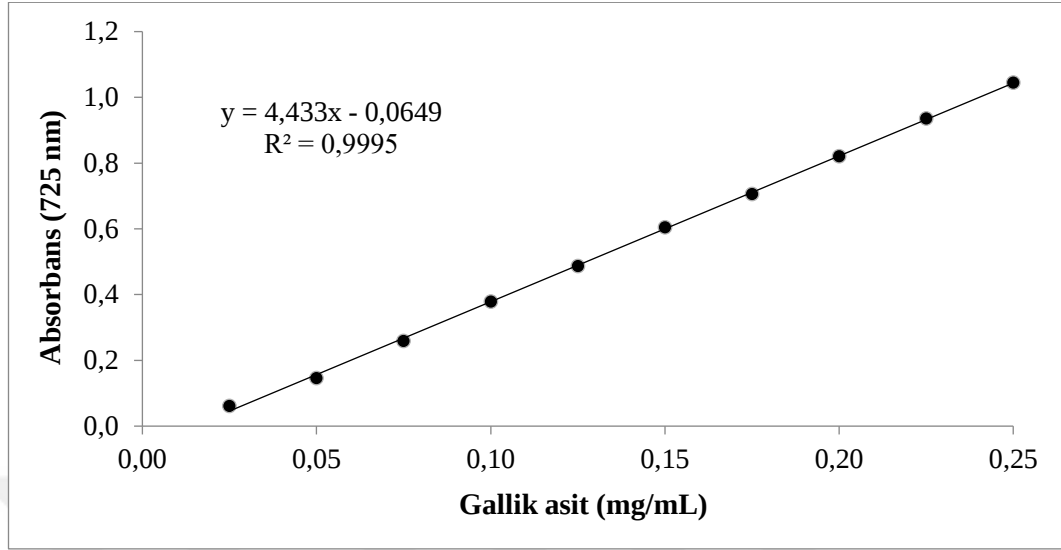
Şekil A.7. Nişasta sindirilirliğinin (mg maltoz/g) belirlenmesinde kullanılan maltoz miktarı standart doğru grafiği.

A.8. Dimetil sülfoksit (DMSO) çözeltisi kullanılarak hazırlanan gallik asit standart doğru grafiği.



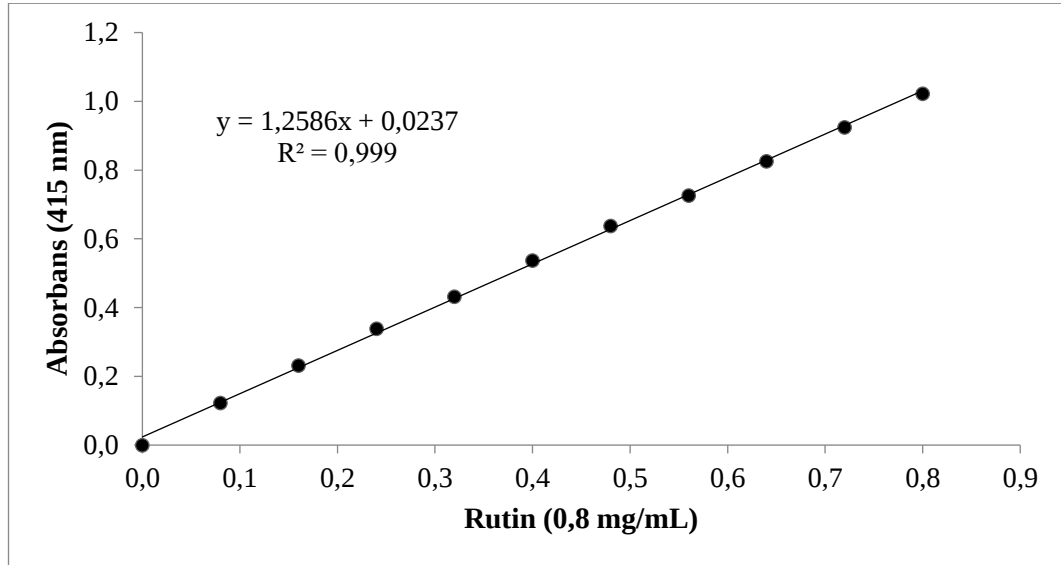
Şekil A.8. DMSO çözeltisi ile serbest fenolik madde miktarının belirlenmesinde kullanılan ve dimetil sülfoksit çözeltisi kullanılarak hazırlanan gallik asit standart doğru grafiği.

A.9. %80 (v/v)'lik metanol çözeltisinde gallik asit kullanılarak hazırlanan standart doğru grafiği.



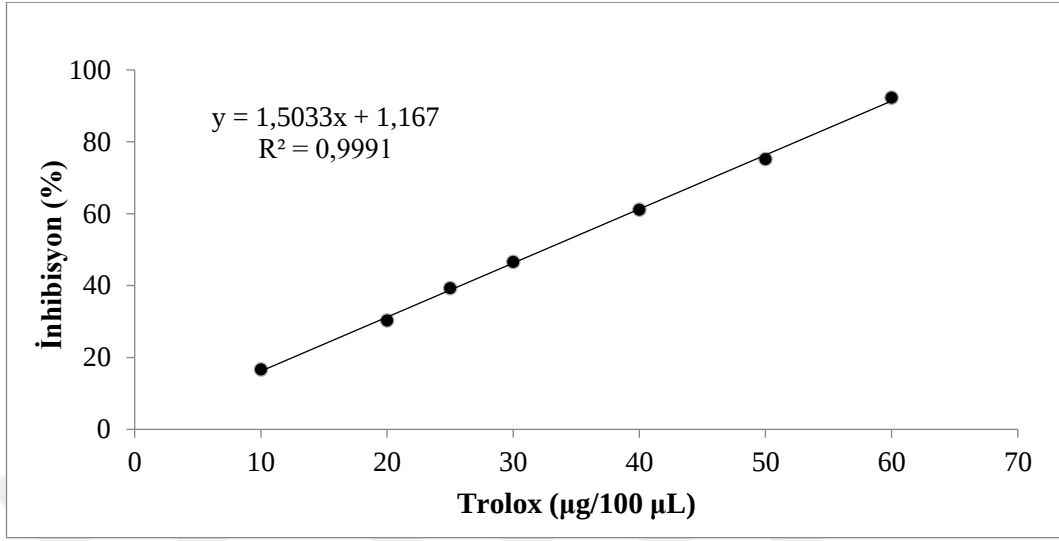
Şekil A.9. %80 (v/v)'lik metanol çözeltisi ile serbest fenolik madde miktarının belirlenmesinde kullanılan ve %80 (v/v)'lik metanol çözeltisinde gallik asit kullanılarak hazırlanan standart doğru grafiği.

A.10. Rutin miktarı (0,8 mg/mL) standart doğru grafiği.



Şekil A.10. Toplam flavonoid madde miktarının belirlenmesinde kullanılan rutin miktarı standart doğru grafiği.

EK A.11. Troloks sentetik antioksidan bileşiği kullanılarak ABTS radikalinin süpürülmesi ile hazırlanan standart doğru grafiği.



şekil A.11. Antioksidan aktivitenin Troloks Eşdeğeri Antioksidan Kapasitesi (TEAK) olarak ifade edilmesinde, Troloks sentetik antioksidan bileşiği kullanılarak ABTS radikalinin süpürülmesi ile hazırlanan standart doğru grafiği.

EK B.**EK B.1.** Tam karabuğday unlarının renk özellikleri.

Yetiştirme Lokasyonu	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>C</i> *	<i>h</i> °	<i>BI</i>
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	75,85 ± 0,733a	1,14 ± 0,035d	8,40 ± 0,038g	8,48 ± 0,029g	82,25 ± 0,281a	74,40 ± 0,697a
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	75,89 ± 0,267a	1,14 ± 0,050d	8,32 ± 0,030g	8,40 ± 0,025g	82,19 ± 0,348a	74,47 ± 0,259a
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	73,95 ± 0,352bc	1,84 ± 0,035c	10,19 ± 0,127a	10,36 ± 0,133a	79,73 ± 0,095b	71,96 ± 0,285bc
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	73,90 ± 0,115bc	1,87 ± 0,023bc	9,85 ± 0,083b	10,03 ± 0,085b	79,23 ± 0,125c	72,04 ± 0,135bc
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	74,12 ± 1,243bc	2,23 ± 0,159a	8,92 ± 0,023f	9,20 ± 0,020f	75,29 ± 0,250f	72,53 ± 1,178b
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	76,15 ± 0,582a	2,12 ± 0,081a	9,13 ± 0,113e	9,37 ± 0,124e	76,93 ± 0,350e	74,38 ± 0,531a
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	72,37 ± 0,506d	2,14 ± 0,044a	9,59 ± 0,044c	9,83 ± 0,047c	77,42 ± 0,173de	70,67 ± 0,459d
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	74,31 ± 0,208b	1,99 ± 0,050b	9,26 ± 0,064d	9,47 ± 0,055e	77,91 ± 0,389d	72,62 ± 0,184b
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	73,16 ± 0,175cd	1,78 ± 0,057c	9,50 ± 0,061c	9,67 ± 0,049d	79,36 ± 0,397bc	71,47 ± 0,162cd

*Ortalama ± standart sapma; n=3; Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.2. Karabuğdayların valsli değirmende öğütülmesi ile elde edilen *öğütme unlarının* renk özellikleri.

Yetiştirme Lokasyonu	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>C</i> *	<i>h</i> °	<i>BI</i>
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	87,51 ± 0,155a	0,43 ± 0,017f	8,90 ± 0,139cde	8,91 ± 0,139cd	87,24 ± 0,076b	84,65 ± 0,146a
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	87,41 ± 0,081a	0,26 ± 0,035g	8,76 ± 0,098e	8,76 ± 0,092d	88,28 ± 0,258a	84,66 ± 0,056a
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	86,31 ± 0,100c	0,74 ± 0,006c	9,14 ± 0,049b	9,17 ± 0,049b	85,36 ± 0,052d	83,52 ± 0,093c
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	87,26 ± 0,091a	0,51 ± 0,042e	8,84 ± 0,044de	8,86 ± 0,044cd	86,67 ± 0,284c	84,48 ± 0,071a
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	85,67 ± 0,346d	1,04 ± 0,026a	8,81 ± 0,235de	8,88 ± 0,237cd	83,27 ± 0,204g	83,14 ± 0,413d
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	86,86 ± 0,163b	0,92 ± 0,021b	8,95 ± 0,076bcd	9,00 ± 0,076bc	84,14 ± 0,098f	84,07 ± 0,173b
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	85,22 ± 0,092e	0,91 ± 0,026b	9,80 ± 0,025a	9,84 ± 0,025a	84,70 ± 0,160e	82,24 ± 0,064e
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	87,49 ± 0,069a	0,69 ± 0,006d	9,09 ± 0,114bc	9,11 ± 0,114b	85,63 ± 0,070d	84,52 ± 0,110a
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	85,55 ± 0,123d	1,00 ± 0,025a	9,94 ± 0,057a	9,99 ± 0,057a	84,27 ± 0,126f	82,43 ± 0,124e

*Ortalama ± standart sapma; n=3; Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.3. Karabuğdayların valsli değirmende öğütülmesi ile elde edilen *kırma unlarının* renk özellikleri.

Yetiştirme Lokasyonu	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>C</i> *	<i>h</i> °	<i>BI</i>
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	90,38 ± 0,067d	-0,04 ± 0,006e	5,83 ± 0,044c	5,83 ± 0,044c	90,44 ± 0,090b	88,75 ± 0,051d
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	90,45 ± 0,087d	-0,06 ± 0,015ef	5,72 ± 0,032de	5,72 ± 0,032de	90,58 ± 0,125ab	88,87 ± 0,087d
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	91,19 ± 0,093b	-0,07 ± 0,015ef	5,71 ± 0,006e	5,71 ± 0,006e	90,67 ± 0,153ab	89,50 ± 0,080b
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	91,36 ± 0,119a	-0,08 ± 0,006f	5,81 ± 0,040cd	5,81 ± 0,040cd	90,82 ± 0,087a	89,58 ± 0,107ab
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	90,73 ± 0,108c	0,14 ± 0,036c	5,35 ± 0,082g	5,35 ± 0,082g	88,51 ± 0,327d	89,30 ± 0,064c
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	91,35 ± 0,107ab	0,02 ± 0,006d	5,57 ± 0,085f	5,57 ± 0,085f	89,85 ± 0,082c	89,71 ± 0,113a
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	89,43 ± 0,046f	0,24 ± 0,010a	7,10 ± 0,080b	7,10 ± 0,080b	88,06 ± 0,072e	87,27 ± 0,082e
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	91,21 ± 0,081ab	0,02 ± 0,021d	5,72 ± 0,050de	5,72 ± 0,050de	89,83 ± 0,178c	89,51 ± 0,052b
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	89,60 ± 0,111e	0,20 ± 0,000b	7,78 ± 0,021a	7,78 ± 0,020a	88,54 ± 0,021d	87,01 ± 0,095f

*Ortalama ± standart sapma; n=3; Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.4. Tam karabuğday unları, öğütme unları ve kırma unlarının α -amilaz aktivitesi ve proteaz aktivitesi değerleri.

Yetiştirme Lokasyonu	α -amilaz Aktivitesi* ^{a1} (mg maltoz eşd./g)	Proteaz Aktivitesi* ^{a1} (mg <i>L</i> - tirozin eşd./g)	α -amilaz Aktivitesi* ^{a2} (mg maltoz eşd./g)	Proteaz Aktivitesi* ^{a2} (mg <i>L</i> - tirozin eşd./g)	α -amilaz Aktivitesi* ^{a3} (mg maltoz eşd./g)	Proteaz Aktivitesi* ^{a3} (mg <i>L</i> - tirozin eşd./g)
Konya (<i>Aktaş cv.</i>)	23,0 $\pm$ 0,11c	0,56 $\pm$ 0,003g	51,1 $\pm$ 0,13b	0,97 $\pm$ 0,003c	7,9 $\pm$ 0,09c	0,15 $\pm$ 0,002b
Konya (<i>Güneş cv.</i>)	23,1 $\pm$ 0,03bc	0,56 $\pm$ 0,002g	56,5 $\pm$ 0,17a	1,09 $\pm$ 0,003a	7,4 $\pm$ 0,08d	0,14 $\pm$ 0,002d
Afyon (<i>Güneş cv.</i>)	20,0 $\pm$ 0,19f	0,67 $\pm$ 0,003a	43,3 $\pm$ 0,09e	0,86 $\pm$ 0,001f	4,1 $\pm$ 0,07g	0,12 $\pm$ 0,002f
Aksaray (<i>Güneş cv.</i>)	23,2 $\pm$ 0,12b	0,62 $\pm$ 0,005d	44,6 $\pm$ 0,07d	0,84 $\pm$ 0,002g	5,5 $\pm$ 0,07f	0,11 $\pm$ 0,000g
Bilecik (<i>Güneş cv.</i>)	18,7 $\pm$ 0,03g	0,63 $\pm$ 0,001c	42,0 $\pm$ 0,12f	0,82 $\pm$ 0,000h	3,2 $\pm$ 0,11h	0,11 $\pm$ 0,000g
Çorum (<i>Güneş cv.</i>)	24,0 $\pm$ 0,03a	0,57 $\pm$ 0,001f	46,3 $\pm$ 0,08c	0,93 $\pm$ 0,002d	5,7 $\pm$ 0,09e	0,12 $\pm$ 0,002f
Kastamonu (<i>Güneş cv.</i>)	20,3 $\pm$ 0,05e	0,58 $\pm$ 0,003e	44,4 $\pm$ 0,28d	0,92 $\pm$ 0,003e	8,5 $\pm$ 0,14b	0,15 $\pm$ 0,004c
Niğde (<i>Güneş cv.</i>)	21,0 $\pm$ 0,05d	0,64 $\pm$ 0,006b	39,4 $\pm$ 0,17g	0,98 $\pm$ 0,003b	5,7 $\pm$ 0,09e	0,12 $\pm$ 0,000e
Şanlıurfa (<i>Güneş cv.</i>)	24,0 $\pm$ 0,14a	0,63 $\pm$ 0,002c	36,8 $\pm$ 0,14h	0,77 $\pm$ 0,003i	11,4 $\pm$ 0,14a	0,22 $\pm$ 0,003a

*Ortalama $\pm$ standart sapma; n=3; ^a kuru madde üzerinden verilmiştir. ¹Tam karabuğday unları, ²Öğütme unları ve ³Kırma unları. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.5. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın tam karabuğday unu ile aynı karabuğdaydan iki farklı koşulda üretilen malt unlarının α -amilaz aktivitesi ve proteaz aktivitesindeki değişim.

Karabuğday Örneği	α-amilaz Aktivitesi*^a (mg maltoz eşd./g)	Proteaz Aktivitesi*^a (mg L-tirozin eşd. /g)
Tam Karabuğday Unu	23,1 $\pm$ 0,03c	0,56 $\pm$ 0,002c
Karabuğday Malt Unu- I. Koşulda Üretim (M1)	80,2 $\pm$ 0,78b	0,81 $\pm$ 0,007b
Karabuğday Malt Unu- II. Koşulda Üretim (M2)	170,2 $\pm$ 35,48a	1,01 $\pm$ 0,011a

*Ortalama $\pm$ standart sapma; n=3; ^akuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harfler ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.6. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdayın, tam karabuğday unu ve farklı koşullarda üretilen malt unlarının renk özellikleri.

Karabuğday Örneği	<i>L</i>*	<i>a</i>*	<i>b</i>*	<i>C</i>*	<i>h</i>°	<i>Bi</i>
Tam Karabuğday Unu	75,89 ± 0,267c	1,14 ± 0,050a	8,32 ± 0,030b	8,40 ± 0,025b	82,19 ± 0,348c	74,46 ± 0,258c
Karabuğday Malt Unu- I. Koşulda Üretim (M1)	78,55 ± 0,929b	0,40 ± 0,156c	8,70 ± 0,362b	8,72 ± 0,357b	87,29 ± 1,146a	76,83 ± 0,786b
Karabuğday Malt Unu- II. Koşulda Üretim (M2)	81,03 ± 0,998a	0,86 ± 0,179b	9,61 ± 0,313a	9,65 ± 0,304a	84,90 ± 1,136b	78,71 ± 0,829a

*Ortalama ± standart sapma; n=9. Aynı sütun içerisinde farklı harfler ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır (P<0,05).

EK B.7. Kontrol (C1, C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin kabuk ve ekmek içi renk özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	Ekmek Kabuğu			Ekmek İçi		
		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>
Karabuğday Malt Unu-I. Koşulda Üretim (M1)	C1	72,28 ± 1,980a	5,01 ± 0,439b	33,79 ± 0,692b	63,86 ± 0,818a	-2,17 ± 0,126g	7,38 ± 0,321e
	M110	53,34 ± 1,379c	12,47 ± 0,621a	33,67 ± 0,224b	51,71 ± 3,276b	0,72 ± 0,141f	8,14 ± 0,444d
	M125	49,11 ± 0,852de	12,59 ± 1,225a	32,64 ± 0,272bc	45,07 ± 5,062c	2,48 ± 0,141d	8,95 ± 0,419c
	M150	46,61 ± 0,428e	13,22 ± 1,210a	31,80 ± 1,186cd	37,28 ± 3,325d	2,90 ± 0,401c	9,50 ± 0,615c
Karabuğday Malt Unu-II. Koşulda Üretim (M2)	C2	72,15 ± 2,200a	5,03 ± 0,510b	33,77 ± 0,684b	63,61 ± 1,163a	-2,11 ± 0,187g	7,16 ± 0,569e
	M210	56,66 ± 2,949b	12,51 ± 0,828a	35,61 ± 0,748a	50,59 ± 2,600b	1,48 ± 0,291e	9,25 ± 0,697c
	M225	49,60 ± 3,192d	12,96 ± 1,961a	30,89 ± 1,859d	44,83 ± 1,866c	3,61 ± 0,389b	11,23 ± 0,697b
	M250	40,95 ± 2,884f	13,47 ± 2,286a	25,59 ± 2,325e	39,26 ± 0,601d	4,77 ± 0,444a	11,91 ± 0,761a

*Ortalama ± standart sapma; n=9. Aynı sütun içerisinde farklı harfler ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.8. Kontrol (C1, C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin kabuk ve ekmek içi renk özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	Ekmek Kabuğu			Ekmek İçi		
		C*	h°	Bİ	C*	h°	Bİ
Karabuğday Malt Unu- I. Koşulda Üretim (M1)	C1	33,96 ± 0,832cd	81,37 ± 1,612a	55,99 ± 1,622a	8,15 ± 0,412e	106,03 ± 0,530a	63,05 ± 0,824a
	M110	35,49 ± 0,276b	67,65 ± 0,939cd	41,12 ± 1,118bc	8,04 ± 0,299e	86,84 ± 1,366b	51,01 ± 3,221b
	M125	35,21 ± 0,549bc	66,70 ± 0,749de	38,23 ± 0,707de	9,27 ± 0,441d	75,09 ± 0,381d	44,28 ± 4,932c
	M150	34,64 ± 1,036bcd	65,94 ± 0,559e	36,45 ± 0,966e	10,01 ± 0,609c	70,84 ± 0,549e	36,49 ± 3,211d
Karabuğday Malt Unu- II. Koşulda Üretim (M2)	C2	34,07 ± 0,664cd	81,15 ± 2,656a	55,92 ± 1,653a	7,69 ± 0,371e	106,29 ± 0,468a	62,84 ± 1,187a
	M210	37,82 ± 0,935a	70,54 ± 1,183b	42,49 ± 2,243b	9,37 ± 0,662d	81,39 ± 1,186c	49,70 ± 2,486b
	M225	33,53 ± 2,208d	68,98 ± 1,182bc	39,42 ± 2,874cd	11,81 ± 0,727b	70,99 ± 0,457e	43,57 ± 1,710c
	M250	29,65 ± 1,446e	59,61 ± 1,434f	34,16 ± 2,233f	12,83 ± 0,804a	67,85 ± 0,766f	37,91 ± 0,516d

*Ortalama ± standart sapma; n=9. Aynı sütun içerisinde farklı harfler ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.9. Kontrol (C1, C2) ve farklı koşullarda üretilen karabuğday malt unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin serbest fenolik madde (SFM) ve antioksidan aktivite özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	SFM* ^{a1} (mg gallik asit/g)	SFM* ^{a2} (mg gallik asit/g)	DPPH Radikalini Süpürme Aktivitesi* ^a (%)	TEAK* ^a (mmol troloks eşd./kg)
	C1	0,45 ± 0,006g	0,42 ± 0,006g	3,2 ± 0,38f	7,45 ± 0,055g
Karabuğday Malt Unu- I. Koşulda Üretim (M1)	M110	1,04 ± 0,014f	0,59 ± 0,017f	8,6 ± 0,73e	10,79 ± 0,793f
	M125	1,69 ± 0,015d	1,06 ± 0,019d	12,2 ± 0,51d	14,65 ± 0,634d
	M150	2,46 ± 0,015b	1,88 ± 0,016b	18,9 ± 0,32b	24,89 ± 0,700b
	C2	0,43 ± 0,007g	0,41 ± 0,010g	3,3 ± 0,11f	7,45 ± 0,064g
Karabuğday Malt Unu- II. Koşulda Üretim (M2)	M210	1,28 ± 0,008e	0,72 ± 0,013e	9,0 ± 0,11e	12,01 ± 0,024e
	M225	2,06 ± 0,013c	1,31 ± 0,008c	15,0 ± 0,08c	17,47 ± 0,255c
	M250	3,90 ± 0,018a	2,66 ± 0,017a	25,4 ± 0,55a	34,17 ± 0,343a

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^akuru madde üzerinden verilmiştir. ¹DMSO ekstraksiyonu ile belirlenen TFM değerleri. ²%80'lik MetOH ekstraksiyonu ile belirlenen TFM değerleri. Aynı sütun içerisinde farklı harfler ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.10. Konya lokasyonunda yetiştirilen *Güneş cv.* çeşidi karabuğdaya farklı enerji seviyelerinde UV-C ışık uygulanması ile α -amilaz aktivitesi ve proteaz aktivitesinde meydana gelen değişimin aynı örneğin tam karabuğday unu ile karşılaştırılması.

Karabuğday Unu	α -amilaz Aktivitesi* ^a (mg maltoz eşd./g)	Proteaz Aktivitesi* ^a (mg L-tirozin eşd. /g)
Kontrol	23,07 $\pm$ 0,026a	0,56 $\pm$ 0,002c
15 W	18,92 $\pm$ 0,199b	0,70 $\pm$ 0,006b
30 W	18,42 $\pm$ 0,214c	0,70 $\pm$ 0,009b
45 W	13,51 $\pm$ 0,227d	0,69 $\pm$ 0,009b
60 W	13,37 $\pm$ 0,528d	0,79 $\pm$ 0,004a

*Ortalama $\pm$ standart sapma; n=3; ^akuru madde üzerinden verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.11. Farklı enerji seviyelerinde UV-C ışık işlemi uygulanmış karabuğday (*Güneş cv.*, Konya lokasyonu) tanesinin ve tam karabuğday unlarının renk özellikleri.

Karabuğday Örneği		<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>C</i> *	<i>h</i> °	<i>Bi</i>
Karabuğday Tanesi	Kontrol	42,07 ± 0,429a	6,15 ± 0,180a	12,51 ± 0,633a	13,73 ± 0,872a	63,76 ± 0,616b	41,38 ± 0,274a
	15 W	41,95 ± 0,736a	5,17 ± 0,274b	10,50 ± 0,444b	12,34 ± 0,720b	64,85 ± 0,814b	40,78 ± 0,680ab
	30 W	40,69 ± 0,802b	3,69 ± 0,332cd	9,02 ± 0,900c	10,35 ± 0,615c	66,98 ± 1,546a	39,89 ± 0,719bc
	45 W	40,11 ± 1,137b	3,97 ± 0,168c	8,89 ± 0,488c	9,72 ± 0,452cd	66,87 ± 1,003a	39,32 ± 1,089c
	60 W	40,17 ± 0,892b	3,49 ± 0,181d	8,52 ± 0,279c	9,26 ± 0,300d	67,73 ± 1,038a	39,47 ± 0,851c
Tam Karabuğday Unu	Kontrol	75,89 ± 0,267a	1,14 ± 0,050c	8,32 ± 0,030b	8,40 ± 0,025b	82,19 ± 0,348a	74,46 ± 0,258a
	15 W	74,91 ± 0,742a	1,41 ± 0,072a	8,71 ± 0,188a	8,83 ± 0,188a	80,81 ± 0,443c	73,40 ± 0,656b
	30 W	75,30 ± 0,717a	1,33 ± 0,119ab	8,60 ± 0,312ab	8,70 ± 0,326a	81,21 ± 0,488bc	73,81 ± 0,694ab
	45 W	75,35 ± 0,609a	1,31 ± 0,047b	8,75 ± 0,158a	8,84 ± 0,153a	81,49 ± 0,330b	73,81 ± 0,559ab
	60 W	75,15 ± 0,957a	1,31 ± 0,095b	8,79 ± 0,122a	8,89 ± 0,131a	81,55 ± 0,541ab	73,60 ± 0,923ab

*Ortalama ± standart sapma; n=9. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.12. Kontrol (C1, C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanan karabuğday unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin kabuk ve ekmek içi renk özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	Ekmek Kabuğu ^b			Ekmek İçi ^b		
		<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
15 W (U1)	C1	72,27 ± 2,553a	5,24 ± 0,365c	35,50 ± 0,230a	65,47 ± 1,834a	-2,27 ± 0,163d	7,40 ± 0,734d
	U110	68,20 ± 1,854b	6,10 ± 0,523b	31,52 ± 0,328c	50,83 ± 2,180c	1,62 ± 0,179c	9,21 ± 0,573c
	U125	63,09 ± 2,663c	6,26 ± 0,501b	30,25 ± 1,196d	44,46 ± 2,637d	3,55 ± 0,308b	10,86 ± 0,722ab
	U150	58,35 ± 3,066d	7,66 ± 0,739a	25,29 ± 0,366f	39,75 ± 2,185e	4,70 ± 0,206a	11,38 ± 0,577a
45 W (U2)	C2	72,56 ± 1,139a	5,32 ± 0,410c	34,21 ± 2,125b	65,16 ± 2,190a	-2,23 ± 0,246d	7,21 ± 0,510d
	U210	66,25 ± 0,772b	6,03 ± 0,401b	32,18 ± 0,485c	59,08 ± 2,589b	1,66 ± 0,392 c	9,45 ± 0,852c
	U225	55,94 ± 1,488e	6,20 ± 0,540b	26,54 ± 0,945e	48,78 ± 1,942c	3,31 ± 0,373b	10,42 ± 0,827b
	U250	50,69 ± 1,265f	7,25 ± 0,489a	23,42 ± 0,188g	40,67 ± 3,553e	4,49 ± 0,358a	10,95 ± 0,902ab

^b Ortalama ± standart sapma; n=9. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.13. Kontrol (C1, C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanan karabuğday unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin kabuk ve ekmek içi renk özellikleri.

		Ekmek Kabuğu ^b			Ekmek İçi ^b		
	Glutensiz Ekmek	C*	h°	Bİ	C*	h°	Bİ
15 W (U1)	C1	36,16 ± 0,641a	79,14 ± 0,687a	54,62 ± 1,732abc	7,63 ± 0,357d	106,79 ± 0,913a	64,60 ± 1,702a
	U110	32,15 ± 0,343c	76,77 ± 0,103b	54,80 ± 1,519ab	9,35 ± 0,370c	80,47 ± 0,725b	49,94 ± 2,070c
	U125	30,47 ± 1,021d	75,34 ± 0,313c	52,85 ± 1,828c	10,65 ± 0,314b	72,03 ± 0,599c	43,29 ± 2,474e
	U150	26,46 ± 0,357e	74,88 ± 0,608cd	50,65 ± 2,601d	12,43 ± 0,576a	67,31 ± 0,569d	38,50 ± 2,061f
45 W (U2)	C2	35,60 ± 0,481a	79,38 ± 0,318a	55,78 ± 1,058a	7,57 ± 0,411d	106,62 ± 0,874a	64,34 ± 2,076a
	U210	33,28 ± 0,519b	76,53 ± 0,124b	52,97 ± 0,596bc	9,15 ± 0,571c	79,75 ± 0,869b	57,96 ± 2,397b
	U225	27,13 ± 0,929e	76,41 ± 0,368b	48,42 ± 1,560e	10,60 ± 0,304b	72,63 ± 0,815c	47,62 ± 1,735d
	U250	22,26 ± 0,375f	74,55 ± 0,268d	44,93 ± 1,078f	12,28 ± 0,438a	67,55 ± 0,795d	39,49 ± 3,329f

^bOrtalama ± standart sapma; n=9. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).

EK B.14. Kontrol (C1, C2) ve farklı enerji seviyelerinde UV-C uygulanan karabuğday unu ilaveli (%10, %25, %50) glutensiz ekmeklerin serbest fenolik madde (SFM) ve antioksidan aktivite özellikleri.

	Glutensiz Ekmek	SFM ^{*a1} (mg gallik asit/g)	SFM ^{*a2} (mg gallik asit/g)	DPPH Radikalini Süpürme Aktivitesi ^{*a} (%)	TEAK ^{*a} (mmol troloks eşd./ kg)
	C1	0,50 ± 0,014f	0,46 ± 0,021g	2,32 ± 0,223f	7,75 ± 0,467g
15 W	U110	1,06 ± 0,027d	0,55 ± 0,030e	5,23 ± 0,028e	14,51 ± 0,367e
(U1)	U125	1,45 ± 0,029b	0,81 ± 0,014c	9,51 ± 0,264c	18,75 ± 0,452c
	U150	1,92 ± 0,025a	1,34 ± 0,010a	16,72 ± 0,073a	29,48 ± 0,599a
	C2	0,50 ± 0,037f	0,44 ± 0,009g	2,17 ± 0,103f	7,85 ± 0,109g
45 W	U210	0,84 ± 0,023e	0,51 ± 0,011f	4,88 ± 0,055e	12,36 ± 0,071f
(U2)	U225	1,30 ± 0,041c	0,70 ± 0,009d	8,38 ± 0,575d	16,27 ± 0,545d
	U250	1,87 ± 0,010a	1,09 ± 0,010b	15,85 ± 0,512b	23,38 ± 0,307b

*Ortalama ± standart sapma; n=3; ^akuru madde üzerinden verilmiştir. ¹DMSO ekstraksiyonu ile belirlenen TFM değerleri. ²%80'lik MetOH ekstraksiyonu ile belirlenen TFM değerleri. Aynı sütun içerisinde farklı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($P<0,05$).