

**MÜGE ÖZBEK**

**BESLENME VE DİYETETİK**

**İSTANBUL - 2025**

**İSTİNYE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TİP3 DİRENÇLİ NİŞASTA İÇERİĞİ ARTTIRILMIŞ BULGURUN BAZI  
FONKSİYONEL VE TEKSTÜREL ÖZELLİKLERİ İLE TAHMİNİ GLİSEMİK  
İNDEKS DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ**

**MÜGE ÖZBEK**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. HAMİT KÖKSEL**

**BESLENME VE DİYETETİK ANABİLİM DALI**

**İSTANBUL – 2025**

**İSTİNYE ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TİP3 DİRENÇLİ NİŞASTA İÇERİĞİ ARTTIRILMIŞ BULGURUN BAZI  
FONKSİYONEL VE TEKSTÜREL ÖZELLİKLERİ İLE TAHMİNİ GLİSEMİK  
İNDEKS DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ**

**MÜGE ÖZBEK**

**DANIŞMAN**  
**PROF. DR. HAMİT KÖKSEL**

**İSTANBUL – 2025**

## TEZ ONAYI

Bu tezin Yüksek Lisans derecesi için gereken tüm şartları sağladığımı tasdik ederim.

Anabilim Dalı Başkanı  
Prof. Dr. Funda ELMACIOĞLU

Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. İlhami ÇOLAK

Bu tezin Yüksek Lisans derecesi için gereken tüm şartları sağladığımı tasdik ederim.

Danışman  
Prof. Dr. Hamit KÖKSEL

İkinci Danışman  
Dr. Turgay ŞANAL

Okuduğumuz ve savunmasını dinlediğimiz bu tezin bir Yüksek Lisans derecesi için gereken tüm kapsam ve kalite şartlarını sağladığını beyan ederiz.

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hamit KÖKSEL

İstinye Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mutlu Tuçe ÜLKER

İstinye Üniversitesi

## ETİK BEYANI

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum, “*Tip3 Dirençli Nişasta İçeriği Arttırılmış Bulgurun Bazı Fonksiyonel ve Tekstürel Özellikleri ile Tahmini Glisemik İndeks Değerlerinin İncelenmesi*” adlı çalışmanın, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Müge ÖZBEK

## İTHAF

Canım aileme ithaf ediyorum.

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmamın gerçekleştirilmesinde ve çalışma süresince kıymetli bilgi, tecrübe ve destekleriyle bana yol gösteren, ilgisini ve önerilerini esirgemeyen değerli tez danışmanım Prof. Dr. Hamit KÖKSEL'e

Çalışmamın tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden ve her sorumu içtenlikle yanıtlayan değerli ikinci tez danışmanım Dr. Turgay ŞANAL'a

Tez çalışmam süresince kıymetli bilgi birikimi, yardımları ve değerli emeğiyle çalışmamda bana destek sağlayan Dr. Kübra ÖZKAN'a,

Çalışmam süresince desteklerini her zaman hissettiğim sevgili dostlarıma,

Eğitimim boyunca, daha da önemlisi hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteklerini gördüğüm ve görmeye devam edeceğimden emin olduğum her daim yanımda olan Annem Nuray ÖZBEK'e, Babam Özden ÖZBEK'e ve Ablam Melis ÖZBEK'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI .....	i
ETİK BEYANI .....	ii
İTHAF .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	x
ÖZET .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Tahıllar, Buğday ve Bulgur.....	3
2.1.1. Dünya’da ve Türkiye’de Bulgur Üretimi ve Tüketimi .....	5
2.1.2. Bulgur Üretim Aşamaları.....	6
2.1.3. Bulgurun Besinsel, Fonksiyonel ve Fizyolojik Özellikleri.....	8
2.1.4. Bulgurun Türk Mutfağında Yeri ve Önemi .....	12
2.2. Nişasta.....	13
2.2.1. Nişastanın Jelatinizasyonu ve Retrogradasyonu .....	14
2.3. Enzime Dirençli Nişasta .....	16
2.3.1. Enzime Dirençli Nişasta Oluşumu.....	18
2.3.2. Enzime Dirençli Nişastanın Fizyolojik Özellikleri.....	20
2.3.3. Enzime Dirençli Nişastanın Kullanım Alanları ve Avantajları .....	22
2.4. Glisemik İndeks .....	24
2.4.1. Glisemik İndekse Etki Eden Faktörler .....	24
2.4.1.1. Gıdanın İçerdiği Nişasta Türü.....	25
2.4.1.2. Gıdanın Fiziki Yapısı .....	25
2.4.1.3. Gıdanın Olgunluk Seviyesi .....	25
2.4.1.4. Gıdanın Karbonhidrat, Posa ve Lipid İçeriği .....	25
2.4.1.5. Gıdanın Asiditesi.....	26

2.4.1.6. Gıdaya Uygulanan İşlemler ve Pişirme Yöntemleri .....	26
2.4.2. Glisemik İndeksin Sağlık Üzerine Etkileri .....	27
3. MATERYAL VE METOT .....	30
3.1. Materyal .....	30
3.2. Metot .....	30
3.2.1. Buğdayın Karakteristik Özellikleri .....	30
3.2.1.1. Hektolitre Ağırlığı .....	30
3.2.1.2. Bin Tane Ağırlığı .....	30
3.2.1.3. Tane Sertlik Değeri .....	30
3.2.1.4. Tane Çapı .....	30
3.2.1.5. Nem Miktar Tayini .....	31
3.2.1.6. Protein Tayini .....	31
3.2.1.7. Kül Tayini .....	31
3.2.1.8. Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) Sedimentasyon Hacimleri .....	31
3.2.2. Bulgur Üretimi ve Enzime Dirençli Nişasta Oluşumu .....	31
3.2.3. Buğday ve Bulgur Örneklerinde Renk Analizi .....	33
3.2.4. Bulgur Örneklerinin Pişirme Özellikleri .....	34
3.2.5. Bulgur Örneklerinin Tekstür Özellikleri .....	34
3.2.6. Bulgur Örneklerinin Ekstraksiyonu .....	35
3.2.6.1. Bulgur Örneklerinin Yağdan Arındırılması .....	35
3.2.6.2. Serbest Fenolik Bileşiklerin Ekstraksiyonu .....	35
3.2.6.3. Bağlı Fenolik Bileşiklerin Ekstraksiyonu .....	36
3.2.6.4. Toplam Fenolik İçerik Tayini (Serbest ve Bağlı) .....	36
3.2.7. Antioksidan Kapasite Tayini .....	37
3.2.7.1. DPPH Serbest Radikal Yakalama Aktivitesi Tayini .....	37
3.2.7.2. ABTS Radikal Temizleme Yöntemi .....	37
3.2.7.3. Antioksidan Kuvvet (FRAP) Yöntemi / Demir (III) İndirgeme .....	37
3.2.8. Enzime Dirençli Nişasta Miktarı Tayini .....	37
3.2.9. Bulgur Örneklerinin <i>In Vitro</i> Glisemik İndeks Değerleri .....	38
3.2.10. İstatistiksel Analiz .....	38
4. BULGULAR .....	39
4.1. Buğday Örneklerinin Fiziksel ve Kimyasal Analiz Değerleri .....	39

4.2. Bulgur Örneklerinin Renk Özellikleri .....	40
4.3. Bulgur Örneklerinin Pişirme Özellikleri.....	40
4.4. Bulgur Örneklerinin Tekstür Özellikleri.....	41
4.5. Bulgur Örneklerinin Fenolik Madde İçerikleri .....	42
4.6. Bulgur Örneklerinin Antioksidan Kapasitesi.....	43
4.7. Bulgur Örneklerinde Enzime Dirençli Nişasta Miktarları .....	44
4.8. Bulgur Örneklerinin Hidroliz İndeks ve Glisemik İndeks İçeriği .....	45
5. TARTIŞMA .....	47
6. SONUÇ, ÖNERİLER VE TOPLUMA KATKI .....	63
KAYNAKÇA.....	67
EKLER.....	89
EK-1: İNTİHAL RAPORU .....	90
EK-2: ÖZGEÇMİŞ .....	91

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.1: Bazı tahılların besin değerleri.....	10
Tablo 2.4.1: Bazı besinlerin ortalama glisemik indeks değerleri .....	28
Tablo 4.1.1: Buğday örneklerinin fiziksel ve kimyasal analiz içerikleri .....	39
Tablo 4.2.1: Bulgur örneklerinin renk parametreleri.....	40
Tablo 4.3.1: Bulgur örneklerinin pişirme özellikleri değerleri.....	41
Tablo 4.4.1: Bulgur örneklerinin tekstür özellikleri tablosu.....	42
Tablo 4.5.1: Bulgur örneklerinin serbest ve bağlı fenolik madde içerikleri.....	43
Tablo 4.6.1: Bulgur örneklerinin antioksidan değerleri.....	44
Tablo 4.7.1: Bulgur örneklerinin enzime dirençli nişasta içerikleri .....	45
Tablo 4.8.1: Bulgur örneklerinin hidroliz ve <i>in vitro</i> glisemik indeks değerleri .....	46

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.1: Bulgur üretim akım şeması.....	6
Şekil 2.2.1: Amiloz ve amilopektinin kimyasal yapısı .....	14
Şekil 2.3.1: Dirençli nişasta türleri .....	17
Şekil 3.2.1: Enzime dirençli nişastalı bulgur üretim şeması.....	32
Şekil 3.2.2: Üretilen bulgur örnekleri .....	33



## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b><math>\alpha</math></b>	: Alfa
<b>a*</b>	: Kırmızılık-yeşillik
<b>AACCI</b>	: American Association of Cereal Chemist International
<b>ABTS</b>	: 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazolline-6-sulfonic acid)
<b>AOAC</b>	: Association of Official Analytical Chemists
<b>b*</b>	: Sarılık-mavilik
<b>B1</b>	: Tiamin
<b>B2</b>	: Riboflavin
<b>°C</b>	: Santigrat derece
<b>Ca</b>	: Kalsiyum
<b>Cr</b>	: Krom
<b>dk</b>	: Dakika
<b>DM</b>	: Diabetes mellitus
<b>DN</b>	: Dirençli nişasta
<b>DPPH</b>	: 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
<b>EDN</b>	: Enzime dirençli nişasta
<b>EDTA</b>	: Etilendiamintetraasetik asit
<b>Fe</b>	: Demir
<b>FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O</b>	: Ferrik Klorür Heksahidrat
<b>FRAP</b>	: Demir (III) İndirgeyici Antioksidan Güç
<b>g</b>	: Gram
<b>GAE</b>	: Gallik Asit Eşdeğeri
<b>Gİ</b>	: Glisemik indeks
<b>GOPOD</b>	: Glukoz Oksidaz-Peroksidaz
<b>HAB</b>	: Yüksek amiloz bulgur
<b>HAB-C</b>	: Yüksek amiloz bulgur-kontrol
<b>HAW</b>	: Yüksek amiloz buğday genotipi
<b>HCl</b>	: Hidroklorik asit

<b>HDL</b>	: High density lipoprotein
<b>HI</b>	: Hardness index
<b>Hİ</b>	: Hidroliz indeks
<b>hl</b>	: Hektolitre
<b>HSN</b>	: Hızlı sindirilen nişasta
<b>IGF-1</b>	: İnsülin benzeri büyüme faktörü-1
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization
<b>K</b>	: Potasyum
<b>K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub></b>	: Potasyum Persülfat
<b>ka</b>	: Kuru ağırlık
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>Kj</b>	: Kilojoule
<b>KOH</b>	: Potasyum Hidroksit
<b>KVH</b>	: Kardiyovasküler hastalıklar
<b>KZYA</b>	: Kısa zincirli yağ asitleri
<b>L*</b>	: Parlaklık
<b>M</b>	: Molar
<b>Mg</b>	: Magnezyum
<b>mg</b>	: Miligram
<b>mL</b>	: Mililitre
<b>mM</b>	: Milimolar
<b>Mm</b>	: Milimetre
<b>N</b>	: Azot
<b>nm</b>	: Nanometre
<b>P</b>	: Fosfor
<b>pH</b>	: Potential of hydrogen
<b>rpm</b>	: Dakikadaki devir sayısı
<b>s</b>	: Saniye
<b>sa</b>	: Saat
<b>SB</b>	: Svevo bulgur
<b>SB-C</b>	: Svevo bulgur-kontrol
<b>SDS</b>	: Sodyum Dodesil Sülfat

<b>SGMM</b>	: Suya geçen madde miktarı
<b>SW</b>	: Svevo buğday
<b>TE</b>	: Trolox Eğdeğeri
<b>TOBB</b>	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
<b>TPTZ</b>	: 2,3,5-Triphenyltetrazolium Chloride
<b>U</b>	: nite
<b>UV-VIS</b>	: Ultraviyole ve görünür ışık
<b>v</b>	: Hacim
<b>YSN</b>	: Yavaş sindirilen niğasta
<b>Zn</b>	: Çinko
<b>μL</b>	: Mikrolitre

## ÖZET

Özbek, M. (2025). Tip3 Dirençli Nişasta İçeriği Arttırılmış Bulgurun Bazı Fonksiyonel ve Tekstürel Özellikleri ile Tahmini Glisemik İndeks Değerlerinin İncelenmesi. İstinye Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik ABD. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.

Bulgur, en eski işlenmiş gıdalardan biridir ve diyet lif, protein, kalsiyum, demir, tiamin, niasin ve dirençli nişasta açısından oldukça zengindir. Dirençli nişasta, sağlıklı bireylerin ince bağırsaklarında sindirilmeden kalın bağırsakta fermente olabilen nişasta fraksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Dirençli nişasta, Tip1, Tip2, Tip3, Tip4, Tip5 olmak üzere 5 farklı gruba ayrılmaktadır. Dirençli nişastalar içerisinde Tip3, sindirime karşı en dirençli form olduğundan gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu araştırmada Svevo buğday çeşidi ve yüksek amiloz durum buğdayı, enzim hidrolizi ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile Tip3 enzime dirençli nişasta içeriği arttırılmış bulgur üretiminde kullanılmıştır. Tip3 dirençli nişasta bulgur üretiminde pişmiş buğday örneklerine, pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri uygulanmıştır. Soğutma süresi sonunda örnekler 33°C'de 66sa boyunca etüvde kurutulmuştur. Elde edilen Tip3 dirençli nişasta içeriği arttırılmış bulgur örneklerinde, fiziksel-kimyasal, pişme ve tekstür özellikleri, antioksidan kapasiteleri, fenolik madde miktarları, dirençli nişasta içerikleri, hidroliz indeks ve glisemik indeks özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgur örneklerinin dirençli nişasta miktarı %2,35-%9,47 arasında değişmiştir. Dirençli nişasta içeriği yüksek olan bulgur örneklerinin hidroliz indeks ve glisemik indeks değerleri düşük bulunmuştur. Enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile üretilen yüksek amiloz bulgur ve Svevo bulgur örneklerinin antioksidan kapasiteleri ve fenolik madde içerikleri kontrollere göre yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, Tip3 enzime dirençli nişasta içeriği arttırılmış bulgurun fonksiyonel bir gıda olarak toplum sağlığına katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tip3 enzime dirençli nişasta, Bulgur, Jelatinizasyon, Enzim modifikasyonu

## ABSTRACT

Ozbek, M. (2025). Investigation of Some Functional and Textural Properties and Estimated Glycemic Index Values of Bulgur with Increased Type3 Enzyme Resistant Starch Content. Istinye University, Institute of Health Science, Department of Nutrition and Dietetics. Master Thesis. Istanbul.

Bulgur is one of oldest processed foods and is rich in dietary fiber, protein, calcium, iron, iron, thiamine, niacin and resistant starch. Resistant starch is defined as the starch fraction that can ferment in the large intestine without being digested in the small intestine of healthy individuals. Resistant starch is divided into 5 different groups as Type1, Type2, Type3, Type4, Type5. Among resistant starches, Type 3 is the most digestion-resistant form and is therefore frequently used in the food industry. In this study, Svevo wheat variety and high amylose durum wheat were used in the production of bulgur with increased Type3 enzyme resistant starch content by enzyme hydrolysis and autoclaving-cooling cycles. In the production of bulgur with Type3 resistant starch content, pullulanase enzyme application and autoclaving-cooling cycles were applied to cooked wheat samples. At the end of the cooling period, the samples were dried in an oven at 33°C for 66h. The physical-chemical, cooking and texture properties, antioxidant capacity, phenolic contents, resistant starch content, hydrolysis index and glycemic index properties were determined in Type 3 bulgur samples with increased resistant starch content. The resistant starch content of the bulgur samples obtained varied between 2.35% and 9.47%. Hydrolysis index and glycemic index values of bulgur samples with high resistant starch content were found to be low. The antioxidant capacities and phenolic substance contents of high amylose bulgur and Svevo bulgur samples produced by enzyme treatment and autoclaving-cooling cycles were higher than the controls. According to these results, it is predicted that bulgur with increased Type3 enzyme resistant starch content can contribute to public health as a functional food.

Keywords: Type3 enzyme resistant starch, Bulgur, Gelatinization, Enzyme modification

## 1. GİRİŞ

Bulgur, buğday bazlı besin değeri yüksek bir ürün olup, pirinç ekme ve makarna gibi diğer tahıl ürünlerinden daha yüksek protein, kalsiyum, demir, tiamin ve niasin seviyesine sahiptir ve içerdiği folik asit ile gebe anneler ve bebekler için sağlıklı bir besindir (Yousif ve ark., 2018, Irvine ve ark., 2022). Tam buğday tanesinden elde edilen bulgur, güçlü antioksidan özellik gösteren fenolik bileşikler ve flavonoidler içermektedir (Tacer Caba ve ark., 2012). Bulgur kolonda, bütirat, asetat, propiyonat gibi kısa zincirli yağ asitlerinin gelişimini arttıran diyet lifi ve dirençli nişasta açısından da zengindir (Slavin, 2003; Fardet, 2010). Yüksek lif içerdiğinden, sindirime, bağırsak sağlığına ve ağırlık yönetimine yardımcı olur (Iversen, 2021; Laus ve ark., 2022).

Nişasta bitkilerde granüler formda bulunan; patates, mısır, buğday ve pirinç gibi tahıl türlerinin temel bileşeni olan bir maddedir. Nişasta,  $\alpha$ -D-Glukoz birimlerinin polimerleşmesi ile oluşmuş polisakkarittir ve yapısında amiloz ve amilopektin olmak üzere iki farklı polimer yer almaktadır (Hoseney, 1994; Jobling, 2004). Amiloz  $\alpha$ -1,4 bağları ile bağlanmış, düz zincir yapısına sahip, nişastanın suda çözünebilir bileşenidir. Amilopektin ise dallanma noktalarında  $\alpha$ -1,6 bağları bulunan, dallanmış yapıya sahip, nişastanın suda çözünmeyen bileşenidir (Hoseney, 1994; Parker ve Ring, 2001). Doğal nişasta su içerisinde çözünmez ancak ısıtıldığında granüller su alarak şişer. Bu olaya jelatinizasyon denir. Jelatinize olmuş nişastanın soğutulması ve bekletilmesi ile kristalize bir yapı meydana gelir ve bu olaya retrogradasyon denir (Haralampu, 2000; Köksel, 2005). Oluşan kristalize yapı, enzimlere karşı daha çok direnç gösterir (Nargül, 2019).

Nişasta, gastrointestinal sistemdeki sindirim hızına göre; hızlı sindirilebilir nişasta (HSN), yavaş sindirilebilir nişasta (YSN) ve dirençli nişasta (DN) olmak üzere 3 ana gruba ayrılır. Dirençli nişasta (DN), Englyst ve ark. (1982) tarafından, insan vücudunda sindirilmeyen ve ince bağırsakta emilimi tam gerçekleşmeden kalın bağırsaktaki bakteriler tarafından fermente olabilen nişasta olarak tanımlanmıştır. Dirençli nişasta, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre Tip1, Tip2, Tip3, Tip4 ve Tip5 olmak üzere beş gruba ayrılmaktadır ve içlerinden beslenme açısından en ilgi çekici Tip3 enzime dirençli nişastadır.

Tip3 enzime dirençli nişasta, nişastanın pişirilip soğutulması sonucu meydana gelen retrograde nişastalardır ve sindirime karşı en dirençli formdur (Demirekin ve Gül, 2016; Bayar ve Yurttagül, 2023). Fonksiyonel gıda bileşenlerinden olan DN, ince bağırsaktan sindirilmeden kalın bağırsağa geçerek, buradaki bakteriler tarafından fermente edilir ve kısa zincirli yağ asitlerini (KZYA) oluşturur (Levent ve ark., 2011). Enzime dirençli nişasta (EDN) içeren gıdaların sindirim oranı düşük olduğundan, kandaki glukoz seviyesi kontrollü ve yavaş yükselir. Bu sayede kandaki düşük glukoz seviyesi ile salgılanan insülin hormon düzeyi de azalır (Demirekin ve Gül, 2016). Enzime dirençli nişasta, kendine has karakteristik özellikleri arasında, yüksek diyet lif içeriği, hafif ve baskın olmayan lezzeti, beyaz rengi, doğal kaynaklı oluşu ve düşük su tutma kapasitesi ile fonksiyonel gıdaların formülasyonunda oldukça önemli bir bileşen olarak yer almaktadır (Haralampu, 2000; Homayouni ve ark., 2014).

Bu çalışmanın genel amacı beslenmede önemli bir yere sahip olan bulgurun, çeşitli işlemlerle Tip3 enzime dirençli nişasta içeriğini arttırmak ve bununla beraber insan sağlığına daha faydalı hale gelmesini sağlamaktır. Çalışmada, tescilli Svevo buğday (SW) çeşidi ve yüksek amiloz içeriğine sahip buğday genotipi (HaW) örneğinin pişirilmesi, enzim ilavesi ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile Tip3 enzime dirençli nişasta içeriği arttırılmış bulgur örnekleri elde edilmiştir. Nişastanın yapısında bulunan amilopektin polimerinin dallı yapısını, düz zincirli bir yapıya dönüştürmek için pullulanaz enzimi kullanılmıştır. Enzim uygulaması sonrası üç kez otoklavlama (121°C'de 30 dk) ve soğutma (4°C'de 48 sa) döngüleri uygulanmış ve örnekler etüvde 33°C'de 66 sa boyunca kurutulmuştur. Tip3 enzime dirençli nişasta içeriği arttırılmış bulgur örneklerinin, fiziksel-kimyasal, renk, pişme ve tekstür özellikleri, antioksidan kapasiteleri, toplam fenolik madde miktarları, dirençli nişasta içerikleri, hidroliz indeks ve *in vitro* glisemik indeks özellikleri incelenmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Tahıllar, Buğday ve Bulgur

Dünya nüfusunun ortalama %35'i tahılları temel besin kaynağı olarak kullanmakta ve günlük protein ve enerji ihtiyaçlarının önemli bir kısmı tahıllardan karşılanmaktadır (Kotancılar ve ark., 1995; Dhanda, ve ark., 2004; Salantur ve Karaoğlu, 2021). Tahıllar içerisinde yer alan buğday, ilk çağlardan itibaren insanoğlu tarafından kültüre alınan, stratejik önemi yüksek bir besin kaynağıdır (Dergi ve Karaduman, 2022). Tam tahıl terimi, ruşeym, endosperm ve kabuk kısmının tamamını içeren yenilebilir tahıl tanesi olarak ifade edilir. Tahılların işlenmesi esnasında ezilme, kırılma ve eleme ile tahılların farklı kısımları ayrılabilir. Bir ürünün tam tahıl olarak adlandırılabilmesi için taneyi oluşturan tüm bileşenleri (ruşeym, endosperm ve kepek) içermesi gerekmektedir (AACCC International, 2010; Ruxton ve Derbyshire, 2014). Tam tahıllar önemli fitokimyasal gruplar, fenolik bileşikler, fitoöstrojenler, flavonoidler, karotenoidler,  $\beta$ -glukan ve diyet liflerce zengin ürünlerdir. Bu bileşenler, başta ruşeym ve kepek olmak üzere tüm tahıl içerisinde eşit olmayan bir şekilde dağılır ve tahıl çeşidine göre bu dağılım değişir (McKeown ve ark., 2013). Mineral ve proteinler buğdayın daha çok kepek kısmında bulunurken; nişasta ise yoğun olarak buğdayın endosperm kısmında bulunmaktadır. Aynı zamanda fitokimyasallar gibi diğer biyoaktif özellik gösteren, polifenoller, fitatlar ve lignan gibi bitkisel bileşenler tam buğday ürünlerinde yer almaktadır (Tacer, 2008).

Kromozom sayısına göre buğdaylar; diploid ( $2n=14$ ), tetraploid ( $2n=28$ ) ve hekzaploid ( $2n=42$ ) olarak üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Ekmeklik ve makarnalık buğdaylar ekonomik değere sahip buğdaylar olmakta ve beslenmede önemli yer tutmaktadırlar. Hekzaploid buğdaylar; ekmek, börek, bisküvi, pasta ve baklava yapımına; tetraploid buğdaylar ise makarna ve bulgur yapımına uygun buğdaylardır (Yalçın, 2007; Šramková, 2009; Demirel, 2018). *Triticum aestivum*, en yaygın yetiştirilen buğday türüdür ve toplam üretimin %90-95'ini oluştururken, *Triticum durum* ise %5'ini oluşturmaktadır (Shewry, 2009; Gélinas ve McKinnon, 2016; Shevkani ve ark., 2017).

Buğdayın, Türkiye için tarihi, sosyal ve kültürel değeri vardır. Kùltürlerin oluşması ve gelişmesi için buğday, itici bir güç olmuştur. Aynı zamanda buğday bereketin göstergesidir. İsrâf edilmemesi ve yere düşürülmemesi gereken kutsal bir değerdir (Özberk ve ark., 2016). İnsanlar tarih boyunca, hatta Taş Devri'nden beri buğdayı işlemeye ve buğdaydan gıda elde etmenin yeni yollarını araştırmaya odaklanmıştır (Bayram, 2007). Buğday giderek Dünya'ya yayılmış ve en çok üretimi, tüketimi ve ticareti yapılan tarım ürünü haline gelmiştir (Tacer, 2008). Geniş adaptasyon kabiliyeti, depolama kolaylığı, besleyici özelliği ve un, irmik, bulgur, bazlama gibi birçok gıdanın hammaddesi olarak kullanılması buğdayı Dünya'da en çok üretimi ve ticareti yapılan bitkisel bir ürün yapmıştır (Sayılğan, 2016, Guzmán ve ark., 2017; Olgun ve ark., 2017). Dünya genelinde yaklaşık 219 milyon hektar alanda, 85,94 milyar dolar değerinde, 780 milyon tondan fazla buğday yetiştirilmektedir (FAO, 2023). Buğday, üretim miktarı (şeker kamışı, mısır ve çeltikten sonra) ve değer (et, süt ve çeltikten sonra) açısından dördüncü en önemli gıda ürünüdür. Çin, Avrupa Birliği, Hindistan, Rusya, ABD, Kanada, Pakistan, Avustralya, Ukrayna ve Türkiye buğday üreten ilk on ülkedir. Türkiye, buğday üretimi bakımından dünyada 10. sırada, makarnalık buğday üretiminde ise Kanada ve İtalya'dan sonra 3. sırada olup, unlu mamuller ihracatı ile Dünya buğday ticaretinde önemli bir yere sahiptir (TMSD, 2022).

Makarnalık buğday (*Triticum durum L.*) üretiminde Türkiye önemli gen merkezlerinden biridir. Buğdayın büyük bir kısmı gıda (%67) olarak kullanılırken, bir kısmı da yem (%20), tohum (%7) ve endüstriyel amaçlar (%6) için kullanılmaktadır (Shevkani ve ark., 2017). Buğdayın, Türkiye'de yer alan yabancı türlerinden doğal ve yapay varyasyonlar sonucu ilk olarak kavuzlu kültür formları sonrasında ise çıplak taneli kültür formları meydana gelmiştir. Ülkemiz, 600'den fazla geliştirilmiş buğday çeşidine ve 20'den fazla yabancı buğdayla beraber buğday akraba türlerine ev sahipliği yapmaktadır. Türkiye'de yetiştirilen yerel buğday çeşitlerin; adaptasyon yeteneği geniş, tane kaliteleri yüksek, sıcaklığa ve kuraklığa dayanıklı genetik kaynaklar olduğu belirtilmiştir (Özbek ve Uluk, 2022). Buğday tanesinin yaklaşık %13-17'si kepek (perikarp), %2-3'ü embriyo (rüşeym) ve %81-84'ü endosperm (unlu kısım) olmak üzere toplam 3 temel bölümden oluşmaktadır (Barak ve ark., 2015). Endosperm kısmı bitkinin büyüme gelişmesi için gerekli olan maddelerin bulunduğu bölümdür.

Kepek kısmı ise buğdayın en dış katmanıdır ve bitkiyi, böceklere, küfe, bakterilere ve olumsuz hava şartlarına karşı korumaktadır (Fulcher ve Duke, 2002). Buğday genel anlamda sert ve yumuşak olarak sınıflandırılmaktadır. Sert yapıya sahip buğdaylar, içeriğindeki yüksek protein oranı ile ekmek, makarna ve bulgur yapımı için daha uygundur. Yumuşak yapıya sahip olan buğdaylar ise içeriğindeki düşük protein sebebiyle daha çok bisküvi ve kek yapımı için uygundur. *Triticum aestivum* buğdaylardan sert yapıda olanlar sanayi tipi ekmek yapımına uygun iken *Triticum durum* özellikle makarna ve bulgur yapımına uygun buğdaylardır (Tacer, 2008).

Buğdayın bulgura dönüştürülmesi, Türkiye'nin Anadolu bölgesinde, Akdeniz'de ve Orta Doğu'da ortaya çıkan çok eski bir süreçtir. Bulgur aslında ilk işlenmiş gıdalardan birisidir (Bayram, 2007). Bulgur, Moğol imparatoru Cengiz Han'ın ve ordusunun en sevdiği yemeklerinden biriydi ve ordunun erzakları arasında yer almaktaydı. İmparator Shen Nung döneminden kalma tarihi kanıtlar, Çinlilerin milattan önce 2.800 gibi erken bir tarihte, buğdayı tükettiklerini ve darı, arpa, pirinç ve soya fasulyesi ile beş önemli üründen biri olarak ilan ettiklerini göstermektedir. İncil'deki referanslar bulgurun 4000 yıl önce eski Babilliler, Hititler ve İbrani/Yahudi halkları tarafından hazırlandığını gösterirken başka kayıtlar da milattan önce 1000 yıllarında Mısır ve Doğu Akdeniz'de yaşayan kültürlerin, buğdayı pişirip kuruttuğunu göstermektedir. Başka bir deyişle bulgur, çok uzun bir geçmişe sahip bir buğday ürünüdür (Bayram, 2007; Dal, 2012). Tarihte bulgur, birçok farklı isimle anılmıştır. İsrailoğulları “dagan”, Romalılar “cerealıs”, “Yunanlılar pourgouri” ve Suudi Arabistan halkı “jarish” olarak adlandırmıştır. “Arisah” adı İncilde’ de bu isimle anılmaktadır. Bulgur, diğer Batı dillerinde, Ortadoğu halkının isimlendirdiği şekli ile “bulgur” olarak adlandırılmaktadır (Bayram ve Öner, 2003; Dal, 2012).

### **2.1.1. Dünya’da ve Türkiye’de Bulgur Üretimi ve Tüketimi**

Bulgur en yaygın olarak durum buğdayından üretilir, ancak arpa, yulaf, mısır, tritikale, çavdar, soya fasulyesi ve nohut gibi diğer ürünler de üretimde kullanılabilir (Dueck ve ark., 2020). TOBB sanayi veri tabanına göre, Türkiye’de 22 farklı ilde 102 tane bulgur fabrikası bulunmaktadır.

Bu fabrikaların yıl içindeki bulgur üretim kapasitesi 1.193.840 ton olarak gösterilmiştir (TOBB 2023). ABD'de endüstriyel ölçekte yılda 250.000 ton bulgur üretilmektedir. Avrupa (5-6), Kanada (7-8), Amerika (8-9) ve Arap ülkelerinde de (7-8) bulgur fabrikaları mevcuttur (Bayram ve Öner, 2006). Bulgurun uzun süre depolanabilmesi, dayanıklılığı, yüksek besin değeri ve hazırlama kolaylığı sebebi ile daha fazla üretimi ve tüketimi yapılmaktadır. Bu nedenle bulgur, Dünya'nın birçok yerinde giderek daha popüler hale gelmektedir (Evlice ve Özkaya, 2019; Vaculova ve ark., 2019). Başlıca bulgur üreticisi olan Türkiye'de, kişi başına düşen yıllık bulgur tüketimi, bulgurun ekonomik ve besinsel değerini yansıtmaktadır. Türkiye'de bulgur tüketimi, makarna tüketiminden 2,5-3,5 kat ve pirinç tüketiminden 1,5-2,5 kat daha fazladır. Yıllık ortalama tüketim Türkiye'de yaklaşık 15 kg/kişidir. Türkiye'nin doğu ve güney bölgelerinde tüketim ortalama 25 kg/kişi iken, Suriye, Irak, İran, İsrail, Lübnan ve Arabistan'da (yani Orta Doğu ülkelerinde) tüketim ortalama 30-35 kg/kişidir. Bulgura yönelik artan talep nedeniyle, bu bölgelerdeki bazı makarna ve un fabrikaları, sistemlerini bulgur işleyecek şekilde entegre etmişlerdir ve yeni bulgur fabrikaları planlanmakta ya da inşa edilmektedir (Bayram, 2007; Savaş ve Basman, 2016).

### 2.1.2. Bulgur Üretim Aşamaları

Türkiye en büyük bulgur üreticisi ve ihracatçısıdır. Diğer illerde de irili ufaklı firmalar bulunsa da Gaziantep, Karaman ve Çorum bulgur üretimi yapan başlıca illerdir (Keskin, 2023). Gaziantep, Türkiye'nin bulgur endüstrisinin büyük üretim merkezidir ve ülke bulgur üretiminin %70'ini karşılamaktadır (Bayram, 2007).

Bulgur üretimindeki temel aşamalar; temizleme, yıkama, nişasta jelatinleşene kadar taneleri suda pişirme, içerik depolama için güvenli bir seviyeye ulaşana kadar kurutma (yaklaşık %12), tavlama, ayıklama, öğütme ve kırma, parçacık boyutuna göre sınıflandırma ve parlatma (isteğe bağlı) işlemlerini içerir (Balcı ve Bayram, 2020). Bulgur üretiminin genel akım şeması Şekil 2.1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1.1: Bulgur üretim akım şeması

Bulgur üretimindeki en kritik aşamalar, pişirme ve kurutma kısımlarıdır (Savaş ve Basman, 2016; Yousif ve ark., 2018). Farklı pişirme (mikrodalga, basınçlı ve atmosferik) ve kurutma (mikrodalga, güneş, kızılötesi ve havalandırılmalı fırın) yöntemleri bulgur kalitesini etkilemektedir. Otoklav gibi basınç altında pişirme ve geleneksel yöntemde olduğu gibi atmosferik basınç altında pişirme en çok tercih edilen pişirme yöntemleridir. Geleneksel pişirme yöntemi ile bulgurda parlak sarı renk elde edilir fakat bu yöntemde bulgur taneleri deforme olma eğilimindedir ve bu durum üreticiler tarafından istenmemektedir (Evlice ve Özkaya, 2019). Otoklavda pişirme sırasında yüksek sıcaklık seviyeleri ve basınç, bulgurda renk koyulaşmasına sebep olsa da otoklavda pişirme yöntemi daha çok sürekli sistemlerde kullanılmaktadır (Koca ve Anıl, 1996; Özboy, 1998). Geleneksel kurutma yöntemi olan açık havada güneşte kurutma, bulgurda kalite bozulmasına ve kontaminasyona neden olabilmektedir. Modern bulgur tesislerinde, kapasite ve sanitasyonun artması ile çoğunlukla sıcak hava kurutması kullanılmaktadır (Kahyaoglu ve ark., 2010; Kahyaoglu ve ark., 2012; Savaş ve Basman, 2016).

Türkiye’de bulgur üretimi için “Gaziantep” ve “Karaman” olmak üzere iki ayrı ticari teknik yer almaktadır. Bu tekniklerin isimleri, Türkiye’deki başlıca bulgur üreticilerinin bulunduğu illeri ifade edecek şekilde belirlenmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin köylerinde yaygın olarak kullanılan bir ev yapımı bulgur üretim yöntemi (atmosferik basınçta pişirme ve açık havada güneşte kurutma) de bulunmaktadır. Gaziantep ve Karaman (Mut) teknikleri, temel olarak kabuk soyma öncesi tavlama aşamasında farklılık göstermektedir. Antep tipi bulgur üretiminde, 15-30 dakika bir tavlama süresi vardır ve bulgurun nemi % 15-17 seviyesine kadar çıkarılır (Yousif ve ark., 2018; Evlice ve Özkaya, 2019). Karaman tipi bulgur üretiminde ise tavlama süresi daha uzun olup, yaklaşık 10-14 saat arasındadır ve bulgurun nem seviyesi %20-24’e kadar çıkar. Her iki teknikte yapılan tavlama işlemi, kepeğin endospermden ayrılmasını kolaylaştırır. Antep tipi üretimde bulgur, ön temizliği yapıp, pişirilip, kurutulduktan sonra kepek kısmının ayrılması ve kırma işlemi sırasıyla dikey zımparalı kabuk soyucu ve çekiçli veya diskli değirmenler kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilir.

Karaman (Mut) tekniğinde ise kepek kısmının ayrılması ve kırılması geleneksel olarak taş değirmen kullanılarak aynı anda gerçekleştirilir (Bayram ve Öner, 2005; Ünal ve Saçılık, 2011). İki bulgur üretim sistemi arasındaki bu farklılıklar, bulgur parçacıklarının şeklini, rengini ve büyüklüğünü etkilemektedir. Taş değirmenin aşındırıcı etkisinden dolayı Karaman (Mut) sistemi ile üretilen bulgur, açık sarı renkte ve oval bir şekle sahiptir ancak proses koşullarının (enerji tüketimi, bakım, işçilik, üretim maliyeti ve yüksek nem seviyesi) kontrolü zordur. Bundan dolayı Dünya bulgur üretiminin %70'i, Gaziantep sistemi ile üretilmektedir (Bayram ve Öner, 2005; Dal, 2012).

Bulgur üretiminde kullanılan buğday türü veya çeşidi, bulgur üretim tekniğinin yanı sıra bulgurun kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bulgur, tipik olarak *Triticum durum* buğdayından yapılan tam tahıllı bir üründür. Buğday türlerinde farklı seviyelerde bulunan yüksek sarı pigment içeriği, durum buğdayını ekmeklik buğdaydan ayıran en önemli kalite özelliklerinden biridir (Abdel-Aal ve ark., 2002; Hidalgo ve ark., 2017; Karwasra ve ark., 2017). Bulgurun parlak sarı rengi, kalitesini ve tüketicilerin kararlarını etkileyen parametrelerden biridir (Bayram, 2005). Bulgur üreticileri, tüketicilerin isteklerini karşılamak için bulgurda talep edilen sarı rengi elde etmeye çalışırlar (Balcı ve Bayram, 2015). Bulgurun verimi, üreticiler için önemli bir kalite parametresidir ve buğday çeşidine, türüne, pişirme, kurutma ve kırma koşullarına göre değişir (Evlice ve Özkaya, 2019). Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde bulgur üretimi ve tüketimi arttığından, bulgur üretim sürecindeki teknolojik ilerleme, bulgurun kalitesini iyileştirmek için çok önemlidir. Sonuç olarak, bulgur üretiminin her aşamasının dikkatlice düşünülmesi ve yeni teknolojilerle güncellenmesi gerekmektedir (Kahyaoğlu ve ark., 2010; Evlice ve Özkaya, 2019).

### **2.1.3. Bulgurun Besinsel, Fonksiyonel ve Fizyolojik Özellikleri**

Bulgur besin değeri yüksek, endüstriyel olarak işlenebilen buğday bazlı eski bir gıdadır (Laus ve ark., 2022). Raf ömrünün uzun olması, kolay hazırlanması, yüksek besin içeriği ve nispeten ucuz olması ile bulgur, değerli bir gıda ürünü olarak kabul edilmektedir (Richard, 2007; Cankurtaran ve Bilgiçli, 2021). Literatüre göre bulgur %9-13 nem, %10-16 protein, %1,2-1,5 yağ, %76-78 karbonhidrat, %1,2-1,4 kül ve %1,1-1,3 lif içermektedir (Vaculova ve Sedlackova, 2019).

Buğday, özellikle tiamin, riboflavin, niasin, pantotenik asit ve piridoksin olmak üzere B grubu vitaminleri açısından oldukça zengindir. Bu bileşikler esas olarak buğdayın ruşeym (embriyo) ve kepek (aleurone) kısmında bulunur (Shewry ve Hey, 2015). Bulgurun işlenmesi sırasında, tahılın bu kısımları ayrılmaz ve bu vitaminlerin önemli bir miktarı bulgurda kalır. Bulgurdaki bu vitaminlerin yüzdesi esas olarak bulgur işleme yöntemlerine bağlıdır (Kadalkal ve ark., 2007). Diyet lifinin sağlığı geliştirici ve iyileştirici etkisine ilişkin artan kanıtlar ve tüketicilerin besleyici gıdalara daha çok ilgi duyması diyet lifi açısından zengin gıdalara yönelimin artmasına sebep olmuştur. Amerikan Kalp Derneği'nin Beslenme Planı'na göre, diyet lifi açısından zengin bir beslenmenin, takviyeler ile değil, gıda kaynaklı bir diyet ile sağlanması önerilmektedir. Diyet lifinin önerilen günlük tüketimi 25-30 g arasındadır (Shah ve ark., 2022).

Tahıllardan kepek ayırma önemli miktarda lif kaybına neden olur ve bulgur tam tahıldan üretildiği için beslenmede sağlıklı bir diyet lifi kaynağıdır (Saka ve ark., 2020). Bulgurun diyet lif içeriği, pirinç, makarna, buğday unu, ekmek ve yulaf unundan sırasıyla 3.5, 4.3, 6.8, 2.3 ve 1.8 kat daha yüksektir (Bayram ve Öner, 2007; Cummings, 2002; Dreher, 2001). Bulgur, tam tahıl olarak yüksek lif içerdiğinden sindirime, bağırsak sağlığına ve ağırlık yönetimine yardımcı olur (Iversen, 2021). Bulgur, pirinç ve makarna gibi diğer tahıllardan daha yüksek protein, kalsiyum, demir, tiamin ve niasin seviyesine sahiptir (Yousif ve ark., 2018). Bulgur, pirince kıyasla daha yüksek lif, doymamış yağ asitleri, folat, vitamin (E, B1, B2) ve mineral (Fe, Ca, Mg, K, Cr, Zn, P) içeriğine sahip olduğundan daha sağlıklı bir gıda ürünüdür. Yüksek lif içeriği sebebi ile de kan glukoz seviyesinin kontrol altında tutulmasına yardımcı olur (Tacer Caba ve ark., 2012; Çarşamba ve ark., 2017; Yılmaz ve Yıldırım, 2020; Keskin, 2023). Kimyasal veya katkı maddesi kullanılmadan işlendiği için bulgur, doğal ve vejetaryen beslenme için de uygun bir fonksiyonel gıdadır. Bulgur, folat/folik asit içeriği sebebi ile gebe anneler ve bebekler için sağlıklı bir besindir. Folat, bebeğin beyin gelişimi için gebeliğin özellikle ilk 3 ayında gereklidir. Metabolizma sürekli olarak folatı/folik asiti parçalar ve bu nedenle beslenme ile sürekli yenilenmesi gerekir. Bulgurun folat/folik asit içeriği, buğdayı türüne ve işleme parametrelerine bağlı olarak 41-150 µg/100 g arasında değişmektedir. Sonuç olarak bulgur, fetal beyin gelişimi ve anne adaylarının sağlığı için oldukça önemli bir gıdadır (Bayram, 2007; Irvine ve ark., 2022). Bulgurun ve bazı diğer tahılların besin bileşimi Tablo 2.1.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.1: Bazı tahılların besin değerleri (Türkomp, 2025)**

<b>Besin Öğeleri (100g)</b>	<b>Bulgur</b>	<b>Pirinç</b>	<b>Makarna</b>	<b>Beyaz Ekmek</b>
Enerji (kkal)	357	341	356	276
Karbonhidrat (g)	64,9	75,6	74,3	50,1
Protein (g)	12	6,8	8,4	9,4
Yağ (g)	3,9	0,4	1,8	3,2
Diyet Lif (g)	6,7	3,4	4,2	4,3
Potasyum (mg)	273	97	220	113
Kalsiyum (mg)	19	5	18	109
Magnezyum (mg)	59	29	42	25
Fosfor (mg)	182	113	142	77
Demir (mg)	0,9	0,4	1,3	1
Tiamin (mg)	0,2	0,1	0,2	0,1
Riboflavin (mg)	0,1	0,03	0,04	0,04
Niasin (mg)	6,2	1,7	5	0,8

Tam tahılların, antioksidan aktiviteleri sayesinde çeşitli hastalıklara karşı yararlı etkileri vardır (Călinoiu ve Vodnar, 2018). Antioksidanların temel işlevi, serbest radikallerle reaksiyona girerek kendi lipidlerini, proteini ve DNA'yı, serbest radikal veya reaktif oksijen türlerinin saldırılarından korumaktır (Develaraja ve ark., 2016). Birçok kronik hastalığın başlangıcı serbest radikal saldırısıdır. Tam buğday tanesinden elde edilen bulgur, güçlü antioksidan özellik gösteren fenolik asitler ve flavonoidler açısından zengindir (Tacer-Caba ve ark., 2012). Fenolik asitlerden biri olan ferulik asit, serbest radikallere hidrojen atomu veren güçlü bir antioksidandır. Tam tahılların kepek ve tohum kısımlarında bulunan lutein, alfa-karoten, beta-karoten ve beta-siotoxanthin karotenoidleri, aynı zamanda antioksidan olarak etki gösterebilirler (Develaraja ve ark., 2016).

Bulgurun antioksidan bileşenlerini araştırmak için yapılan bir çalışmada, epikateşin, 3,4-hidroksibenzoik asit, kafeik asit, gallik asit, ve ferulik asidin, bulgur örneklerinde bulunan fenolik maddeler arasında olduğu bulunmuştur (Tacer-Caba ve ark., 2012). Bulgurun diyet lifi, dirençli nişasta, toplam fenolik bileşikler ve antioksidan kapasitesi gibi fonksiyonel biyoaktif bileşenleri, sağlık üzerindeki potansiyelini açıkça ortaya koymuştur. Bulgur, inflamasyonu azaltmaya ve sağlıklı hücrelerin mutasyona uğrayarak kansere neden olmasını önlemeye yardımcı olan antioksidan fitonutrientler içerir. Kanser, kardiyovasküler hastalıklar, Tip2 DM ve obezite gibi kronik hastalık riskini en aza indirmek için, beslenmede tam tahıllı gıdalar, toplam tahıl tüketiminin en az yarısını oluşturmalıdır. Tam tahıllardan olan bulgur, tam tahıl tüketimi ile ilişkilendirilen sağlığa yararlı etkilerin çoğunu sağlar (Yılmaz ve Koca, 2017; Tekin ve ark., 2022). Yılmaz ve Koca (2017), Siyez buğdayından ve sert buğdaydan bulgur üretiminde, pişirme (otoklav, geleneksel, mikrodalga) ve kurutma (mikrodalga ve sıcak hava) işlemlerinin, bulgurun toplam fenolik içeriği, sarı pigment ve antioksidan kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırmak amacı ile yürüttükleri çalışmada; bulgur üretiminden sonra her iki buğdayda da önemli miktarda antioksidan kapasitenin korunduğu görülmüştür. Her iki buğdayda da ferulik asit en yüksek, klorojenik asit en düşük olarak bulunmuştur. Bu çalışmanın bulguları, bulgurun antioksidan kapasitesinin işlendikten sonra korunduğunu ortaya koymaktadır.

Diyabet en yaygın endokrin hastalıktır ve önemli bir morbidite ve mortalite kaynağıdır. Yapılan birçok geniş çaplı çalışma, tam tahıl tüketimi ile Tip2 DM ve kardiyovasküler hastalık insidansı arasında güçlü bir ters ilişki olduğu sonucuna varmıştır (Shah ve ark., 2022). Tam tahıllı fitokimyasallar anti-diyabetik ve anti-obezite özelliklerine sahip olabilir ve Tip2 DM ve metabolik bozuklukların tedavisinde rol oynayabilir (Tang ve Tsao, 2017). Bulgur, vücudun insülin üretim sürecinde ve glukoz metabolizmasında yer alan 300'den fazla enzim için kofaktör görevi gören bir mineral olan magnezyum açısından zengindir (Al-Fartusie ve Mohssan, 2017). Bulgur nispeten düşük glisemik indeksli (Gİ) bir besin olduğundan diyabetin kontrolü için faydalıdır. Bulgurun sindirilmesi zaman alır, bu da kan dolaşımına glukozun yavaş ve kademeli bir şekilde salınmasını sağlayarak, diyabetli bireylerde kan glukoz seviyelerinde, tehlikeli artışların ve düşüşlerin önüne geçer (Shah ve ark., 2022).

Dünya genelinde önde gelen ölüm sebeplerinden biri kanserdir ve önemli bir halk sağlığı sorunudur. Diyet ve yaşam tarzı değişikliği, yaşam boyu sağlığı korumada, iyileştirmede ve kanser gibi kronik hastalıkları önlemede kritik faktördür (Martinon ve ark., 2021). Yapılan çalışmalara göre, günde 30 g'dan fazla lif tüketen menopoz öncesi kadınların, meme kanserine yakalanma riskinin daha düşük olduğu görülmüştür (Cade ve ark., 2007). Bir su bardağı pişmiş bulgur, günlük lif ihtiyacının (25-30 g) üçte biri olan yaklaşık 8 g lif içerdiği bildirilmiştir (Stone ve ark., 2020). Tam tahılların birkaç olası mekanizma yolu ile kolorektal kansere karşı koruma sağladığı düşünülmektedir. Bulgur kolonda, bütirat, asetat, propiyonat gibi kısa zincirli yağ asitlerinin gelişimini arttıran diyet lifi ve dirençli nişasta açısından zengindir (Slavin, 2003; Fardet, 2010). Kısa zincirli yağ asitleri, özellikle bütirat ve propiyonat, mukozal hücreleri artırır ve kolorektal kanser riskini düşürür (Gomes ve ark., 2020). Bulgur, bağışıklık sistemi için önem taşıyan çok çeşitli vitamin ve mineraller içerir. Bunlardan özellikle çinko, vücutta daha sağlıklı bir bağışıklık tepkisi ile ilişkilendirilmiştir. Bulgur, her porsiyonda önemli miktarda (günlük önerilen miktarın yaklaşık %20'si) çinko içerir (Demirel ve ark., 2008; Shah ve ark., 2022).

#### **2.1.4. Bulgurun Türk Mutfağında Yeri ve Önemi**

Mutfak kültürü, toplumun gıda ile ilgili simgesel, sözel ve davranışsal, üretimlerinin zamanla alışkanlık haline gelip, nesilden nesile aktarımla birlikte gelenek ve göreneklere evrilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır (Halıcı, 2013). Zengin bir Türk mutfak kültürünün oluşmasında, Anadolu ve Asya topraklarındaki gıda çeşitliliği, göçler sırasında diğer toplumlarla kurulan etkileşimler, Osmanlı ve Selçuklu saraylarında mutfaktaki ustalar ve harem tarafından geliştirilen ve değiştirilen lezzetler gibi birçok unsur etkili olmuştur (Güler, 2010). Tahıllar, Orta Asya'dan gelen Türk toplumu için sofraların vazgeçilmezidir. Tahılların başında ise buğday ve arpa gelmektedir. Türk mutfak kültüründe, buğdayının kaynatılması, kurutulması, kabuğunun soyulması ve sonrasında kırılması ile elde edilen bulgur, yarma irmik ve un vazgeçilmez gıdalar arasındadır. Türk mutfağında yer alan birçok yemeğin temel unsuru olan bulgur; çorbalarda böreklerde ve pilavlarda kullanılır. Kültürümüzde temel gıda olarak kullanılan bulgurun karşılığı, Batı ülkelerinde mısır ve patates, Çin'de pirinç gibi besleyici ve nişasta içeriği yüksek gıdalardır (Şeren-Karakuş ve ark., 2008; Arıkdal, 2009).

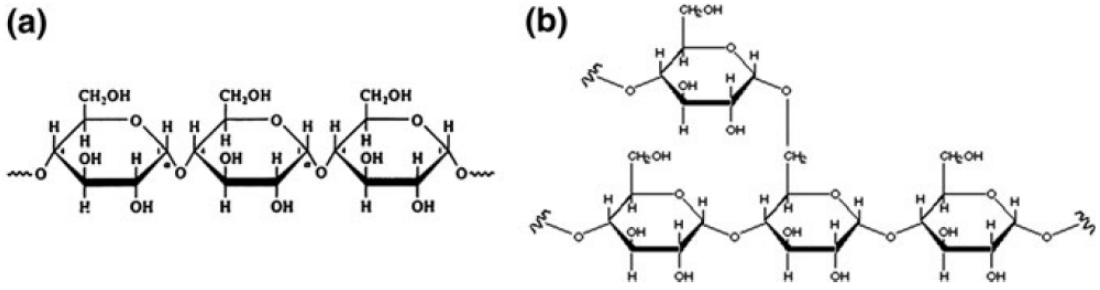
Mutfak kültürü, yalnızca tokluğu sağlamak değil, ölümler ve düğünler gibi birçok merasimde de hem toplum davranışının hem de toplumun örf ve adetlerinin vazgeçilmez değerleri arasında yer alır (Sağır, 2012). Bundan dolayı buğday ve bulgur kullanılarak yapılan yemekler, düğünlerde, özel günlerde ve bayramlarda yemek, çorba, ekmek ve börek olarak sofralarda yer almıştır (Ardıç-Yetiş, 2020). Türk mutfak kültüründe çorbanın yeri ayrıdır ve Türk toplumu bulguru çorbalarında da kullanmıştır. Bölgesel olarak farklılaşan ancak genel anlamda kabul gören bulgur çorbası, Aydın, Karaman, Bolu, Kütahya, Muğla, Kayseri, Sivas ve Sinop gibi illerin mutfaklarında yer almaktadır (Güldemir ve ark., 2018). Besmeç kelimesi Türk toplumundaki birçok mutfakta kullanılmaktadır ve bulgurdan elde edilmiş yassı köfte olarak bilinmektedir (Atabey, 2012). Besmeçin, çiğ köfteden farkı, şişmiş ve yumuşamış olan bulgurun kıyma ile ısıtılmış varlığında yapılmasıdır (Ardıç-Yetiş, 2020).

## 2.2. Nişasta

Bitkilerde granüler formda bulunan nişasta; mısır, buğday ve pirinç gibi tahıl türlerinin temel bileşeni olan bir maddedir. Nişasta,  $\alpha$ -D-Glukoz birimlerinin polimerleşmesi ile oluşmuş bir polisakarittir ve kimyasal yapısında amiloz ve amilopektin olmak üzere iki tip polimer bulunmaktadır (Hoseney, 1994; Jobling, 2004). Nişastanın yapısındaki amiloz ve amilopektin oranı kaynağına göre değişkenlik gösterebilmektedir (García-Alonso ve ark., 1999; Tharanathan ve Tharanathan, 2001). Nişastadaki amiloz miktarı pirinç (%17) ve mercimek (%38) gibi farklı bitkilerde değişiklik gösterebilmektedir. Yumru ve hububat nişastalarındaki amiloz oranı ortalama %23 iken, amilopektin oranı %77'dir. Bazı hububat mutantlarının ise %100 amilopektin bulunan nişastalara (mumsu: waxy) sahip olduğu belirtilirken, bazı hububat nişastalarında ise yüksek oranda amiloz içerdiği bildirilmiştir.

Yapısında yüksek oranda amiloz bulunduran nişastalar, "amilotip nişasta" olarak belirtilmektedir (Shi ve ark., 1998; García-Alonso ve ark., 1999; Chung ve ark., 2003; Patil, 2004). Amiloz, nişastanın suda çözünebilen bileşenidir ve yapısında  $\alpha$ -1,4 bağları bulunan, D-Glukoz birimlerinden oluşmuş bir lineer polimerdir. Amiloz, düz zincir yapısında olup yaklaşık 250-2000 glukoz birim zincir uzunluğundan oluşur ve molekül ağırlığı da yaklaşık 20.000-250.000 arasında değişmektedir.

Nişastanın suda çözünmeyen kısmı amilopektindir ve amiloz gibi  $\alpha$ -1,4 bağı ile bağlanmıştırd ancak amilopektin dallı bir yapıya sahiptir ve dallanma kısımlarında  $\alpha$ -1,6 bağları yer almaktadır (şekil 2.2.1). Her bir dal 20-25 glukoz biriminden oluşmaktadır ve molekül büyüklüğü yaklaşık  $10^7$ - $10^8$  olarak, amiloza göre oldukça fazladır (Hoseney, 1994; Parker ve Ring, 2001; Nargül 2019). Nişasta granülleri düşük düzeyde bazı bileşenlere de sahiptir. Bu bileşenler küçük miktarlarda olmasına karşın, nişastanın birtakım özelliklerini etkiler. Hububat nişastaları düşük oranda yağ (%0,5-1,0) içeriğine sahiptir. Nişastanın yapısında aynı zamanda azot ve fosfor da yer almaktadır (Köksel, 2005).



şekil 2.2.1: Amiloz (a) ve amilopektinin (b) kimyasal yapısı (Vazquez ve ark., 2012)

### 2.2.1. Nişastanın Jelatinizasyonu ve Retrogradasyonu

Doğal nişasta granülleri su içerisinde çözünmeyenler fakat nişasta-su yapısı ısıtıldığı takdirde su, nişasta granülünün yapısına girer ve granüller şişme gösterir. Suyun granülün yapısına girmesi ve çıkması düşük sıcaklıklarda geri dönüşümlüdür. Ancak ısının yükselmesiyle geri döndürülemeyen farklılıklar oluşmaya başlar. Söz konusu bu farklılıkların sonucunda, nişasta molekülünün düzenli yapısı deforme olur ve çift kırınım özelliğini kaybeder. Bu durum jelatinizasyon, bu işlemin gerçekleştiği sıcaklık ise jelatinizasyon sıcaklığı olarak adlandırılmaktadır. Isıtmanın devam ettirilmesi ile nişasta granülleri kısmen çözünmeye başlar ve çözünen nişasta çözeltiye geçer. Çözünür nişasta ve nişasta granülünün kalan parçalarının suyu bağlaması ile viskozite artar. Jelatinize nişastanın soğutulması ile yüksek viskoziteli sıvı jelleşir. Bu jelin bekletilmesi ile nişasta zincirlerinin arasında yeni hidrojen bağları meydana gelir. Puding benzeri yüksek su bulunan sistemlerde, nişasta zincirleri arasındaki etkileşim sonucu yapıdan su sızar. Bu olay sineresis olarak adlandırılmaktadır. Bekletme süresinin arttırılması ile nişasta zincirlerinin etkileşimi artmaya devam eder ve bu zincirler hidrojen bağları ile güçlenerek ikili sarmal yapı halinde tekrardan dizilirler.

Tüm bu süreçlerin bitiminde kristalize bir yapı oluşur. Bu olay retrogradasyon olarak isimlendirilir (Haralampu, 2000; Köksel, 2005). Nişasta molekülleri tamamen jelatinize olduğunda, enzim varlığında rahatlıkla parçalanabilir. Ancak jelatinizasyon sonucunda gerçekleşen jelin soğutulması ile oluşan kristalize yapı, enzimlere karşı daha fazla direnç gösterir (Nargül, 2019). Nişastanın amiloz ve amilopektin polimerlerinin de retrogradasyonun oluşmasında etkilidir. Amiloz polimerinin retrogradasyon oluşumu birkaç saat içinde gerçekleşirken, amilopektin polimerinin retrogradasyon oluşumu günler sürer (Eerlingen ve ark., 1994; Garcia-Alonso ve ark., 1999). Kaynağına bağlı olmakla birlikte nişastalarda jelatinizasyon yaklaşık 50-55°C'de gerçekleşir. Ancak amiloz içeriği yüksek olan nişastaların jelatinizasyon sıcaklığı, normal düzeyde amiloz içeren nişastalara kıyasla daha fazladır (Jiang ve Liu, 2002; Jeong ve Lim, 2003; Varavinit ve ark., 2003; Xie ve Liu, 2004). Bu sebeple normal pişirme durumunda, yüksek amiloz içeriğine sahip nişastaların jelatinizasyonu mümkün olmamakta, bu tip nişastaların jelatinizasyonu gerçekleşmesi için yüksek basınç ve yüksek sıcaklık sağlayabilen otoklav gibi sistemler kullanılır (Chung ve ark., 2003; Patil, 2004). Amilotip nişastanın yapısında bulunan amilopektinin uzun zincirli yapısının olması sebebi ile daha dirençli kristaller oluşturabildiği ve bu sayede ısıl işlemlere karşı daha dayanıklı hale geldiği belirtilmektedir (Chung ve ark., 2003).

Nişasta, gastrointestinal sistemdeki sindirim hızına göre; hızlı sindirilebilen nişasta (HSN), yavaş sindirilebilen nişasta (YSN) ve dirençli nişasta (DN) olarak 3 ana gruba ayrılır. Besinsel karakteristik özelliklerine göre de sindirilebilen nişasta (YSN ve HSN) ve sindirilemeyen nişasta (DN) olarak 2 gruba ayrılır (Lee ve ark., 2013). HSN, patates, ekmek benzeri ısısal süreçlerden geçirilmiş yüksek nişastalı gıdalarda bulunan, sindirimleri kısa sürede gerçekleşen fraksiyonlardır. Yapılan kimyasal işlemler sonucunda, nişastanın enzimatik sindirim sonunda glukozaya dönüşmesi yaklaşık 20 dakikadır. YSN, pişirilmiş gıdalarda ve tahıllarda bulunan, granül yapıda veya retrograde olmuş, sindirimi uzun sürede gerçekleşen fraksiyondur. Yapılan kimyasal işlemler sonucunda, nişastanın enzimatik sindirim sonunda glukozaya dönüşmesi yaklaşık 100 dakikadır (Sajilata ve ark., 2006).

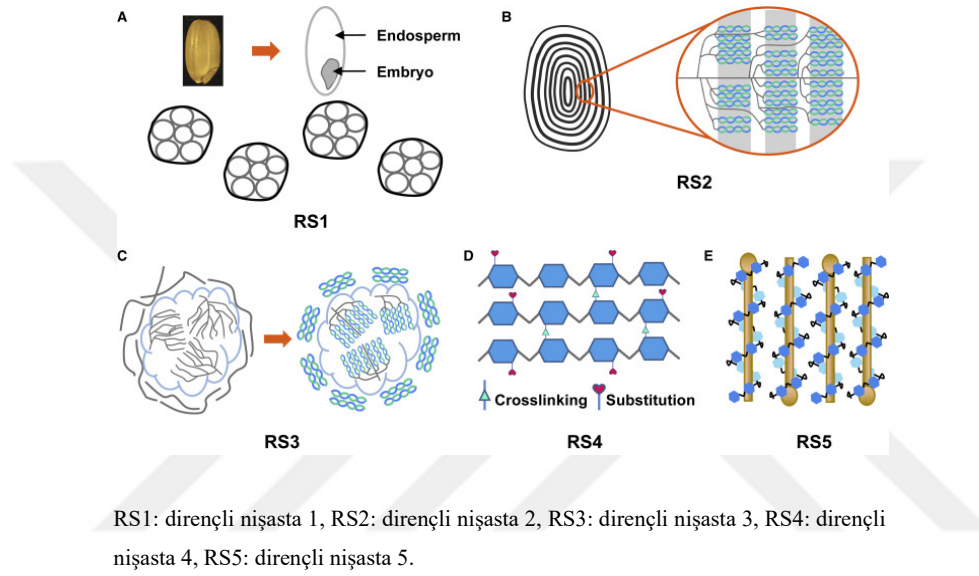
DN, enzime dirençli nişasta olarak ilk 1982 yılında Englyst ve arkadaşları, mide ve ince bağırsakta sindirilmeyen ve ince bağırsakta tamamen emilmeyen ancak kalın bağırsakta bakteriler tarafından fermente olabilen nişasta fraksiyonları olarak tanımlamışlardır. Enzime dirençli nişastanın yaklaşık 2 saat süren inkübasyon sonunda nişastanın hidrolize uğramadığı gözlemlenmiştir (Kotancılar ve ark., 2009).

### 2.3. Enzime Dirençli Nişasta

Enzime dirençli nişasta, bitkisel lif sınıfında yer almaktadır. Tahıllar ve dış katmanları, meyve ve sebzeler, baklagiller, patates, pirinç, makarna, sarımsak, soğan, olgunlaşmamış muz, selüloz bitkisel diyet liflerine örnek olarak verilebilir (Fuentes-Zaragoza ve ark., 2010; Nargül, 2019). EURESTA (European Food-Linked Agro-Industrial Research–Concerted Action on Resistant Starch), enzime dirençli nişastayı (EDN), “sağlıklı insanların ince bağırsağında sindirilemeyen nişasta ve nişasta parçalanma ürünleri” olarak tanımlamışlardır (Jiang ve Liu, 2002). Yapılan çalışmaların sonucundan tamamen sindirilebilen nişastanın enerji değeri 15 kJ/g olarak bulunurken, EDN'nin ortalama 8 kJ/g olarak hesaplanmıştır (Demirekin ve Gül, 2016). Enzime dirençli nişasta, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre 5 gruba ayrılmaktadır.

- **Tip1 EDN;** gastrointestinal sistemdeki enzimler tarafından parçalanamayan, sindirilemeyen dirençli nişasta türüdür. Kısmen öğütülmüş tahıllar ve baklagillerde bulunur.
- **Tip2 EDN;** granül formunda bulunan,  $\alpha$ -amilaz enzimi tarafından yavaşça hidrolize olan, jelatinize olmamış dirençli nişasta türüdür. Amiloz içeriği yüksek olgunlaşmamış muzda, mısırdaki ve çiğ patatesteki bulunur.
- **Tip3 EDN;** nişastanın pişirilip soğutulması sonucu meydana gelen retrograde nişastalardır, granüler yapıda değillerdir. Sindirim enzimlerine karşı en dirençli formdur. Pişirilip soğutulmuş patates, kahvaltılık gevrekler ve ekmekte bulunur.
- **Tip4 EDN;** kimyasal olarak modifiye edilmiş dirençli nişasta türüdür. Fosfat nişastaları, asetat nişastaları, çapraz bağlı nişastalar ve sitrat nişastalarını kapsar. Endüstriyel olarak işlem görmüş gıda katkı maddeleridir. Kek, ekmek gibi gıdalarda kullanılır.

- **Tip5 EDN;** amiloz-lipid kompleksi oluşturan dirençli nişasta türüdür. Jelatinizasyon sırasında lipidlerle bir araya gelerek termostabil nişasta kompleksleri oluştururlar ve enzimatik hidrolize karşı direnç gösterirler. Bu tür amiloz-lipid kompleksleri genellikle yüksek amilozlu nişastalardan üretilir (Öztürk, 2008; Demirekin ve Gül, 2016; Nargül, 2019; Bayar ve Yurttagül, 2023).



**Şekil 2.3.1: Dirençli nişasta türleri (Shen ve ark., 2022)**

Diyet posası olarak, enzime dirençli nişasta türlerinden tip1, tip2, tip3 ve tip5 besinlerde doğal olarak bulunurken, tip2, tip3 ve tip4 fonksiyonel bir bileşen olarak gıdalara eklenebilir. Genel anlamda, kahvaltılık gevrekler, tahıllar, patates, ekmekler, pirinç, makarna, atıştırmalık yiyecekler ve baklagiller dirençli nişasta içerir. Pişirilen ve ardından soğutulan gıdalar, pişmiş gıdalardan daha yüksek miktarda dirençli nişastaya sahiptir. Amiloz içeriği yüksek olan besinler, diğer besinlere kıyasla fazla miktarda dirençli nişasta içerir (Stewart ve ark., 2018). Termal stabilitesi sebebiyle en çok tercih edilen dirençli nişasta türü tip3'tür. Normal pişirme sürecinde yapısal dengesinin bozulmaması ve besinsel özelliğini muhafaza etmesinden dolayı birçok besin maddesinde ana bileşen olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Bu sebepten ötürü gıdalarda tip3 enzime dirençli nişasta içeriğinin artırılmasına yönelik çalışmalar gittikçe önem arz etmektedir (Wang ve ark., 2014).

### 2.3.1. Enzime Dirençli Nişasta Oluşumu

Enzime dirençli nişasta işlem görmüş veya görmemiş nişastalı gıdalarda farklı miktarlarda bulunur (Fuentes-Zaragoza ve ark., 2011). Doğal nişastalar, fonksiyonel özellik kazanımı için endüstriyel kullanım amaçlarına uygun birçok yapısal modifikasyona tabi tutulurlar (Braşoveanu ve Nemtanu, 2014). Genel anlamda EDN oluşumu için, ısıtma işlemler, kısmi asit hidrolizi, asit modifikasyonu, enzim modifikasyonu ile kimyevi veya ekstrüzyon metotlar uygulanmaktadır. Metotlar sonrasındaki EDN oluşumu ve miktarı, nişastadaki amiloz-amilopektin oranı, amiloz-lipid kompleksi varlığı, moleküllerin zincir uzunluğu ve nişasta üzerinde yapılan ısıtma işlemler (ısıtma, soğutma, kurutma, vb.) gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Charalampopoulos ve ark., 2002; Sajilata ve ark., 2006).

Tip3 enzime dirençli nişasta oluşturmak için nişasta öncelikle jelatinize sonra retrograde edilmelidir (Öztürk, 2008). Granüler yapı, aşırı su varlığında ısıyla beraber jelatinizasyon sonucu dağılma göstermektedir. Jelatinizasyon sonrası hareketli durumdaki düz amiloz molekülleri, hidrojen bağlarıyla bir araya gelerek ikili sarmal yapı halinde tekrar dizilirler. Nişastanın ikili sarmal yapısının düzenlenmesi sonucu oluşan kristalize yapı, nişastayı hidrolize eden enzimlere karşı dirençli hale gelmektedir. Tip3 EDN üretimi için yapılan çalışmalar, nişasta maddesinin kristalizasyonunun, üretimde önemli katkısı olduğu görülmüştür (Farhat ve ark., 2001; Chung ve ark., 2003). Depolama koşulları nişastanın retrogradasyonunda son derece önemlidir. Amiloz, amilopektin polimerine kıyasla daha kısa zamanda retrograde olmaktadır ve amilopektin kristallerine kıyasla sıcaklığa daha fazla dayanıklıdır. Amilopektin kristalleri ortalama 60°C'de erimektedir. Bundan dolayı depolama esnasında sıcaklığın fazla olması enzime dirençli nişastanın miktarının azalmasına neden olur (García-Alonso ve ark., 1999). Nişastadaki amilopektinin dallanma noktalarından kısmen kırılması ile amiloz içeriğinde ve lineer amiloz segmentlerinde artış meydana gelmesi mümkündür. Jelatinize nişasta üretimi için lineer glukoz üretiminde ve nişastanın yeniden kristalizasyonunda, pullulanaz enzimi ile nişastanın dallanma noktalarının kırılması önemli bir teknolojidir.

Pullulanaz enzimi, nişastadaki  $\alpha$ -1,6 bağlarını seçici olarak hidrolize uğratarak amiloz benzeri yapı üretir.  $\alpha$ -1,6-D-Glukozidik bağları dallanma noktalarından seçici olarak ayrılır ve çok sayıda lineer glukan zinciri oluşur. Böylelikle retrogradasyon sırasında oluşacak tip3 EDN miktarı artış gösterecektir (Zhang ve Jin, 2011; Homayouni ve ark., 2014; Fuentes-Zaragoza ve ark., 2011). Zhang ve Jin (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, pullulanaz enzimi ile hidroliz için optimum koşullar araştırılmıştır. Çalışmada mısır nişastası, pullulanaz enzimi ile hidroliz edilmesi sağlanarak dirençli nişasta içeren numuneler oluşturulmuştur. Araştırma için uygun koşulun pH 6, 32 saat, inkübasyon sıcaklığı 47°C ve 13 ASPU/g pullulanaz olacak şekilde belirlenmiştir. Dirençli nişasta oluşum işlemi numuneler, 121°C'de 60 dk boyunca otoklav uygulanmış ve 4°C'de 1 gece boyunca bekletilmiştir. Bu döngü toplam iki defa tekrarlanmış ve numuneler 105°C'de kurutulmuştur. Süreç sonunda örneklerin dirençli nişasta içeriği %45,78'e yükseltilmiştir.

Piecyk ve arkadaşları (2013) yaptıkları bir çalışmada, farklı ısıl işlemler (geleneksel pişirme ve otoklavlama) ile soğutma ve dondurma (-18°C'de 21 gün) işlemlerinin uygulanmasıyla çalı fasulyesindeki EDN etkilerine bakmışlardır. Pişirme ve dondurma işlemi uygulanan fasulyelerdeki EDN içeriklerinin, doğal baklagile göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Otoklavlanmış ve -18°C'de dondurulmuş örneklerde en yüksek EDN (%8,8) seviyesinin görüldüğü ifade edilmiştir.

Morales-Medina ve arkadaşları (2014) çalışmalarında, enzimatik hidrolizle beş çeşit baklagilden enzime dirençli nişasta üretimi gerçekleştirmişlerdir. Baklagil çeşitlerinin her birine ilk olarak ısıl işlem gerçekleştirilmiş, sonrasında enzim ile 24 saat boyunca pH 5, 50°C uygulama koşullarında hidroliz gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar sonunda barbunya unundan elde edilen enzime dirençli nişasta seviyesinin (%31,8) diğer baklagil unlarından daha yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir.

Dündar (2014) tarafından yapılan çalışmada, yüksek amilozlu doğal mısır nişastasından asit modifikasyonu ve enzim modifikasyonu yöntemi ile iki ayrı dirençli nişasta içeren nişasta türevleri elde edilmiştir. Enzim modifikasyonunda, mısır nişastası örneği  $\alpha$ -amilaz ile inkübe edilerek 121°C'de 60 dakika otoklavlanmış, beraberinde 12 ASPU/g pullulanaz enzimi eklenip 24 saat boyunca pH 5.0'de, 60°C'de inkübe edilip bekletilmiştir.

Bekletme işleminden sonra,  $\alpha$ -amilaz enzim inkübasyonu gerçekleştirilerek enzime dirençli nişasta türevi elde edilmiştir. Enzime dirençli nişasta içeren örneklerde, en yüksek %52,23 değeri ile dirençli nişasta içeriğine ulaşılmıştır.

Demirekin ve Gül (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, otoklavlama-retrogradasyon yöntemi ile enzime dirençli nişasta eldesinin, ekmeğin bazı kimyasal özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın başlangıcında içeriğinde enzime dirençli nişasta bulunmayan saf pirinç nişastasında otoklavlama ve retrogradasyon işlemleri sonunda %0.57 oranında enzime dirençli nişasta oluşmuştur.

Arp ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, pullulanaz enzimi ile modifiye edilmiş ve edilmemiş buğday nişastasından tip3 EDN elde etmek için 0 ve 4°C olmak üzere iki retrogradasyon sıcaklığı değerlendirilmiştir. Doğal buğday nişastası süspansiyonları jelatinize edilmiş ve sonrasında 59°C'de 6 saat boyunca pullulanaz (20 ASPU/g) olmadan veya pullulanaz (20 ASPU/g) ile inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda numuneler 121°C'de 30 dakika otoklavlanmış ve retrogradasyon için 0 veya 4°C'de 24 saat bekletilmiştir. Döngüsel ısıtma-soğutma işlemi dört kez tekrarlanmıştır. Elde edilen ürünler dondurularak kurutulmuş ve toz haline getirilmiştir. Analizler sonucunda, pullulanaz enzimi ile modifiye edilmiş nişastanın en yüksek tip3 EDN oluşturduğu görülmüştür.

### **2.3.2. Enzime Dirençli Nişastanın Fizyolojik Özellikleri**

Son dönemde sağlık üzerinde olumlu etkileri sebebiyle, fonksiyonel gıdalara ilgi fazlasıyla artmıştır. Bir fonksiyonel gıda bileşeni olan EDN, ince bağırsakta sindirime uğramadan kalın bağırsağa geçerek, buradaki bakteriler tarafından fermente edilir ve kısa zincirli yağ asitlerini (KZYA) oluşturur (Levent ve ark., 2011). Diğer sindirilemeyen karbonhidratlara kıyasla, EDN'lerin daha yüksek miktarlarda bütirat oluşturduğu öne sürülmektedir (Fuentes-Zaragoza ve ark., 2011). EDN yapısında daha çok  $\alpha$ -(1-4)-D-glukozidik bağlarının oluşturduğu doğrusal parçalardan meydana gelir ve diğer posa türlerine göre kolonda fermente edilebilirliği daha yüksektir (Karabıyıklı ve Donat, 2019; Tekin ve Fisunoğlu, 2020). EDN, kalın bağırsaktaki faydalı bakteriler tarafından fermente edildiği için prebiyotik etki göstermektedir. Aynı zamanda Bifidobakterler için besleyici bir etkiye sahip olup, gelişimlerine olanak sağlamaktadır (Fuentes-Zaragoza ve ark., 2010).

KZYA'lar, kalın bağırsağın iç yüzeyinde bulunan hücreler için enerji kaynağıdır. Kolondaki kan akışını hızlandırarak, pH'yı düşürürler ve bu sayede kalın bağırsaktaki  $\alpha$  hücrelerin gelişimini önlemeye yardımcı olurlar (Maki ve ark., 2009). KZYA'lardan özellikle bütiratın, bağırsak sağlığı üzerinde olumlu etkilerinin bulunduğu bildirilmiştir. Birçok çalışmada, bütiratlar hücre döngüsü fazlarında tümör hücrelerinin gelişip çoğalmasında, inhibitör etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Bingham ve arkadaşlarının (2003) yaptığı bir çalışmada, diyet lif tüketimi az olan bir nüfusun, diyet lif tüketimini arttırması (yaklaşık iki katı) ile, kolorektal kanser riskini yaklaşık %40 oranında azaltabildiğini belirtmiştir. Genel anlamda EDN, dışkı miktarını arttırır, kolon pH'yi düşürür ve kolon kanserine yakalanma riskini azaltır (Haralampu, 2000; Sharma ve ark., 2008).

EDN içeren gıdalar, ince bağırsakta sindirilmeden kalın bağırsağa geçtiğinden gıdanın Gİ değerini düşürmektedir (Shamai ve ark., 2003). Ancak nişastalı ürünlerin Gİ'si; nişasta granüllerinin yapısına, amiloz-amilopektin oranına, pişirme sıcaklığına, nişastanın jelinizasyonuna ve su içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Gİ'yi etkileyen bu özellikler, EDN oluşumunu da etkilemektedir. Glukoz referans olarak alındığında, baklagil nişastalarındaki Gİ değeri yaklaşık 10 iken, kahvaltılık tahıllar, patates ve pirinç gibi gıdalarda 10 kat daha fazla Gİ değeri bulunur (Sharma ve ark., 2008). Karbonhidratların birçoğu tüketildikten ortalama 15-45 dakika sonra kandaki glukoz seviyesini arttırlar. Enzime dirençli nişasta içeren gıdalarda sindirim oranı az olduğundan, kandaki glukoz seviyesi kontrollü ve yavaş yükselir. Bu sayede kandaki düşük glukoz seviyesi ile salgılanan insülin hormon düzeyi de azalır, depo yağlarının kullanılabilirliği artar (Demirekin ve Gül, 2016).

Kwak ve arkadaşlarının (2012) yürüttüğü bir çalışmada, DM öncesi veya tip2 DM tanısı yeni almış bireylerin 4 hafta boyunca beslenmeleri, EDN pirinç nişastasası ile desteklenerek kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır. Beslenmede artan enzime dirençli nişasta miktarı ile insülin direnci ve insülin salınımı düşmüş ve beraberinde endotel fonksiyonların geliştiği, oksidatif stresin ve kandaki glukoz düzeyinin azaldığı görülmüştür.

García-Vázquez ve arkadaşları (2023) tarafından, dirençli nişastanın glisemik yanıt üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla tip2 DM'li 17 birey, 4 gün boyunca yüksek amilozlu mısır nişastası, sindirilebilir mısır nişastası ve doğal muz nişastası tüketmiştir. 5. günde glisemik ve insülinemik yanıtları ve yemek sonrası lipide miyi değerlendirmek için 6 saatlik oral öğün tolerans testi yapılmıştır. Test sonunda doğal muz nişastası tüketen bireylerde, açlık glisemi, gliseminin pik noktası ve insülin yanıtında azalma, doyumluk hissinde artış görülmüştür. İnsanlar ve fareler üzerinde yürütülen çalışmalarda EDN'nin serum kolesterol ve trigliserid düzeyini düşürdüğü, dolayısıyla kardiyovasküler problemleri önlediği bildirilmektedir (Martinez-Flores ve ark., 2004).

Harcanan enerji ile alınan enerji arasındaki dengenin bozulması ve alınan enerjinin fazla olması halinde ağırlık artışı görülmektedir. EDN'nin gıda tüketimi sonrası insülin salınımını azaltmasının ve ağırlık kaybını düzenlemesinin yanı sıra, yağ oksidasyonunu ve tokluk hissinin de arttırdığı bilinmektedir. Kas kütleini koruyarak yağ dokularında daha az yağ depolar ve obeziteye neden olan etmenleri ortadan kaldırır. Aynı zamanda enzime dirençli nişastanın lifli yapıya benzer özelliklerinin olması, gıdanın termik etkisini yükseltir ve harcanan toplam enerjiyi artırır (Higgins, 2014).

### **2.3.3. Enzime Dirençli Nişastanın Kullanım Alanları ve Avantajları**

Enzime dirençli nişasta, karakteristik özelliği sayesinde (çözünmez lif gibi davranıp fizyolojik açıdan çözünür lif yararı sağlaması, hafif ve baskın olmayan lezzeti, beyaz rengi, doğal kaynaklı olması, düşük su tutma kapasitesi) fonksiyonel gıdaların formülasyonunda oldukça önemli bir bileşen olarak yer almaktadır (Haralampu, 2000; Homayouni ve ark., 2014). Dirençli nişasta çeşitleri, lifli yapılarına karşın istenilen kalite özelliklerine göre ürün üretilmesine olanak sağlamaktadır. Yüksek seviyede diyet lifi içeren besinler, rafine edilmiş ve işlenmiş gıdalara kıyasla lezzetsiz, yoğun ve daha kaba bir yapıdadır. Dirençli nişasta ise, gıdanın dokusuna ve lezzetine çok düşük seviyede etki etmekte ve duyu sal özelliklerin gelişmesine olanak sağlamaktadır (Sajilata ve ark., 2006). Dirençli nişastanın partikül boyutunun küçük olması ve jelatinleşme ile vizkozitesini azaltması nedeniyle gıda maddelerine işlevsel bir bileşen olarak tercih edilmektedir.

Özellikle fırıncılık ürünlerinde tekstür değişimi sağlamak amacıyla ve yüksek sıcaklıklarda üründeki gevrekliği arttırmak amacıyla tercih edilebilmektedir. Aynı zamanda ekstrüde ve atıştırılabilir gıdalarda genişleme özelliğini arttırmaktadır. EDN'ler çözünme göstermeyen diğer lifli gıdalara kıyasla, tat olarak az hissedilir ve gıdanın kendine has tadının maskelenmesini azaltır. Geleneksel ekmek yapımında kullanılan diyet lifinin, sebep olduğu zayıf doku hissi, koyu renk ve ekmeğin tadının maskelenmesi gibi olumsuz özelliklere ters olarak dirençli nişasta kullanımı, gıdaların işlenmesi sırasında işlem kolaylığı sağlarken, gevreklik, hacim ve dokuyu iyileştirme konularında da başarılıdır (Sajilata ve ark., 2006; Baixauli ve ark., 2008). Pratiğe yönelik EDN uygulamaları daha sık orta ve düşük nem içeriğine sahip gıdalarda, özellikle de lif içeriği yüksek ekmek, kepekli kekler ve kahvaltılık hububatlar gibi bazı gıdalarda gerçekleştirilmiştir (Haralampu, 2000).

Yağ içeriği tamamen uzaklaştırılmış veya azaltılmış gıdalarda, yağın özelliklerini sağlamak amacıyla kullanılan maddelere yağ ikame edici maddeler denir. Son zamanlarda, yağ ikame edici maddeler arasında EDN'ler de yer almaktadır. Buğday, pirinç mısır, baklagil ve patatesten elde edilen nişasta, modifiye edilerek veya doğal halde yağ ikame edici olarak kullanılmaktadır. Nişastanın yağ ikame edici olarak kullanılmasının avantajı, nişastanın su içerisinde dağılarak jel oluşturmasıdır. Bu sayede yağın, gıdaya sağladığı görünüm kısmi olarak elde edilmektedir (Akoh, 1998). Yüksek sıcaklıklarda üretilen gıdalarda, tip3 EDN sıcaklığa daha dirençli olduğundan kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, kızartılmış hamur ürünlerindeki unun %20 oranında tip3 EDN ile değiştirilmesiyle, son üründeki toplam lif miktarı %5'ten %13,2'ye yükselmiştir. Tip3 EDN miktarının artması istenilen kızıl-kahverengini de arttırmıştır. Çalışmadaki tüm hamur formüllerinde (%20, %10, %0 tip3 EDN) tüketicilerin belirttikleri, tat, renk, gevreklik, yağ içeriği ve kabul edilebilirlik değerlerinin hepsinden orta ve üstü olacak şekilde sonuçlanmıştır (Sanz ve ark., 2008).

Aravind ve arkadaşlarının (2013) çalışmasında, tip3 ve tip2 EDN'nin farklı oranlarda (%20 ve %10) eklenmesi ile ürünün özelliklerinde gerçekleşen değişimler incelenmiştir. Eklenen EDN miktarı artış gösterdikçe hamurun zayıfladığı görülmüştür. Bunun nedeninin, EDN'nin irmiğe kıyasla su tutma kapasitesinin daha fazla olması olarak düşünülmüştür. Tüm formülasyonlar arasında, %10 oranında tip3 EDN içeriğine sahip olan makarnanın, en düşük pişme kaybı seviyesinde olduğu belirtilmiştir.

Probiyotikler, bağırsak sistemindeki yararlı bakterileri artırma özelliği sayesinde fonksiyonel gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Bir ürünün probiyotik olması için, içerisinde en az  $10^7$  adet canlı bakteriye sahip olması gerekir. Prebiyotikler ise, kolonda patojen bakterilerin sayısını sınırlayan ve probiyotik bakterilerin gelişimini sağlayan sindirilmeyen karbonhidratlardır. EDN'ler de, prebiyotikler gibi sindirilemeyen karbonhidratlardır. EDN'lerin prebiyotik olarak fonksiyonel gıda formülasyonunda kullanılmasının temel amaçları, *bifidobacteria* ve *lactobacilli* gibi probiyotik bakterilerin gelişimi için fermente edilebilir substrat sağlama, diyet lifi olarak fazla miktarda yararlı fizyolojik etkinin artırılması ve probiyotiklerin kararlılıklarını artırılması şeklinde sıralanabilir (Fuentes ve Zaragoza ve ark., 2011).

#### 2.4. Glisemik İndeks

Jenkins ve arkadaşları (1981) tarafından glisemik indeks (Gİ), karbonhidratlı gıdaların kan glukozunu yükseltme potansiyeli olarak tanımlanmaktadır. Gİ, 50g karbonhidrat içeriğine sahip bir test gıdanın, tüketildikten sonra iki saat içinde meydana gelen kan glukoz artış alanının, aynı düzeyde karbonhidrat içeriğine sahip bir referans gıdanın oluşturduğu kan glukoz alanına oranlanması şeklinde ifade edilmektedir.

$$\text{Glisemik İndeks Hesabı: } \frac{\text{Test edilen gıdanın 50g karbonhidratında meydana gelen glukoz yanıt eğrisi altında kalan alan}}{\text{Referans gıdanın 50g karbonhidratında meydana gelen glukoz yanıt eğrisi altında kalan alan}}$$

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gıdada bulunan karbonhidratın fizyolojik etkilerinin, gıdanın Gİ'sine bağlı olarak düşük (<55), orta (56-69) ve yüksek (>70) Gİ'ye sahip gıdalar olarak üç grupta sınıflandırmaktadır (Frost ve Dornhorst, 2013; Scazzina ve ark., 2013).

##### 2.4.1. Glisemik İndekse Etki Eden Faktörler

Gıdanın Gİ'si, gıdanın nişasta içeriğine, yapısına ve çeşidine, olgunluk düzeyine, asit içeriğine, işleme ve pişirme yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Güler ve Bilici, 2017).

#### **2.4.1.1. Gıdanın İçerdiği Nişasta Türü**

Nişastanın yapısında yer alan amilopektin ve amiloz oranları glisemik indekse etki etmektedir. Nişastada amiloz miktarının yüksek seviyede olması, gıdanın glisemik indeksini düşürmektedir. Bunun sebebi, amilozun amilopektine kıyasla daha hızlı retrograde olması ve lipidlerle birlikte sindirilemeyen kompleksler (amiloz-lipid kompleksi) oluşturmamasından kaynaklanmaktadır (Güler ve Bilici, 2017). Nişastadaki amiloz polimerini zincir uzunluğunun, amilopektin polimerinin zincir uzunluğundan daha büyük olması sebebi ile amilozun,  $\alpha$ -amilaz ile hidrolizi sonucu daha az miktarda glukoz ortaya çıkmaktadır, bu da gıdanın glisemik indeksini düşürmektedir (Nayak ve ark., 2014). Baklagillerin yapısında yüksek düzeyde amiloz bulunduğundan glisemik indeksi düşüktür ancak buğdaydan üretilen undaki amilopektin seviyesinin yüksek olmasından kaynaklı glisemik indeksi fazlaca yüksektir (Kahn ve Gordon, 1994).

#### **2.4.1.2. Gıdanın Fiziki Yapısı**

Tahıllar ve baklagiller gibi gıdaların dış tabakası sindirim için engel teşkil eden bir fibröz tabaka ile kaplı olması, sindirimin yavaş olmasına ve glisemik indeksin düşmesine neden olur. Gıdaların boyutlarının küçültülmesi ile glisemik indeks değeri artmaktadır. Örneğın, glisemik indeks değeri meyve sularında, meyvenin kendisine kıyasla oldukça yüksektir (Kahn ve Gordon, 1994; Akbulut ve ark., 2013).

#### **2.4.1.3. Gıdanın Olgunluk Seviyesi**

Gıdalar olgunlaştıkça içeriğindeki amiloz miktarı çok az artarken, amilopektin miktarı belirgin seviyede yükselir. Tam olgunlaşmamış gıdalarda, amilopektinin düşük derecede dallanması, nişastanın jelatinizasyonuna karşı daha fazla direnç göstermesi ile ilişkilendirilmektedir. Bu durum gastrointestinal sistemde, daha düşük hızda nişasta hidrolizinin olmasına sebep olur ve bu sayede gıdanın glisemik indeks değeri azalır (Nayak ve ark., 2014).

#### **2.4.1.4. Gıdanın Karbonhidrat, Posa ve Lipid İçeriği**

Gıdaların içerdiği karbonhidrat, lipid ve posanın düzeyi ve türü glisemik indeks seviyesine etki eder (Nargül, 2019). Besinlerin içerdiği karbonhidrat, gıdanın glisemik indeks değeri için önemli bir unsurdur. Farklı gıdalarda bulunan nişastaların glisemik indeksi, nişastanın zincir uzunluğuna değil, enzimatik sindirime duyarlılığı ile belirlenir. Beyaz ekmek ve makarna aynı zincir uzunluğuna sahip olsa da beyaz ekmeğın glisemik

indeksi daha yüksektir. Bunun sebebi, beyaz ekmekte bulunan nişastanın tersiyer yapısı ve çözünürlüğü sebebi ile tükürük ve pankreatik amilazlara daha fazla maruz kalması şeklinde açıklanabilir. Monosakkaritlerin glisemik indeks değerleri, polisakkaritlere göre daha hızlı emildiğinden yüksektir (Frost ve Dornhorst, 2013; Aune ve ark., 2012). Suda çözünen pektinler  $\beta$ -glukanlar, gamlar, pektinler ve pentozlar gibi viskoziteyi arttıran posa çeşitleri, gıdanın mideden ince bağırsağa geçişini yavaşlatır ve enzimlerin substrata ulaşmasını engeller. Bu sayede gıdanın sindirim ve emilim hızı azalır ve gıdanın glisemik indeks değeri düşer (Miao ve ark., 2015; Russell ve ark., 2016). Yağlar, gastrik boşalmayı yavaşlatarak glisemik yanıtı azaltır, enzimatik sindirime karşı dirençli amiloz-lipid kompleksi oluşturur ve bu sayede karbonhidratların sindirimini azaltır (Lehmann ve Robin, 2007).

#### **2.4.1.5. Gıdanın Asiditesi**

Gıdaların asiditesinin yüksek olması, gastrik boşaltım hızını yavaşlatır ve glukoz yanıtını etkileyip karbonhidratların sindirim hızını yavaşlatarak, gıdanın glisemik indeks seviyesini azaltır. Besin tüketimi sırasında gıdaya limon suyu, sirke benzeri lezzet vericilerin eklenmesi, gıdanın glisemik indeks değerini düşürür (Güler ve Bilici, 2017).

#### **2.4.1.6. Gıdaya Uygulanan İşlemler ve Pişirme Yöntemleri**

Gıdaların işlenmesi, besin öğelerinin sindirimini yüksek oranda etkilemektedir. Fiziksel işleme ve kimyasal modifikasyon işlemlerinin gıda üzerinde uygulanması, gıdanın glisemik indeks değerini etkilemektedir. Kimyasal modifiye nişastanın, işlenmiş besinlerde katkı maddesi olarak kullanılması, modifikasyon sırasında glisemik indeksi önemli ölçüde azaltabilmektedir. Ham nişasta granüllerinin sindirim hızı düşüktür. Pişirme ile nişasta sindirilebilir hale gelerek, glisemik indeks üzerindeki yanıtı değiştirir. Örneğin, tam olgunlaşmamış patates konservesi, haşlanmış olgun patatese kıyasla daha düşük glisemik indekse sahiptir (Güler ve Bilici, 2017).

Pişirme yöntemi, nişastalı ürünlerde daha iyi verim, daha iyi tahıl hacmi ve daha iyi depolama sağlaması sebebi ile bazı ülkelerde uygulanmaktadır. Bu yöntemde nişasta tanelerinin jelatinizasyonu ve retrogradasyonu sağlanmaktadır, bu sayede dirençli nişasta oluşumu gözlenir ve glisemik indeks azalır (Shobana ve ark., 2012; Han ve Lim, 2009). Nişastalı besinlerin pişirilmeden önce ıslatılması, nişasta granüllerinin genişlemesine ve daha iyi seviyede jelatinize olmasını sağlamaktadır.

Gıdaları kızartma esnasında, besinin iç kısmında bulunan hücrenin içerisindeki su, nişasta granülünün tam jelatinizasyonuna ve yüksek sıcaklık ile yüzeyde amilolipid kompleksinin (dirençli nişasta) oluşmasına neden olur. Ayrıca, hücre içindeki suyun hızlıca buharlaştığı ve hücre dehidratasyonunun olduğu kızarmış yüzeyin, nişasta ve enzimler arasındaki etkileşim için bir engel olabileceği bildirilmektedir. Bunun aksine, kaynatma işlemi esnasında, gıdanın hücre yapısının bozulması ve nişasta granülünün tam jelatinize olması ile nişastanın sindirimi kolaylaşmaktadır (García-Alonso ve Goni, 2000; Tian ve ark., 2016).

Fırınlama ve derin yağda kızartma işlemlerinin, gıdanın su kullanılabilirliğini sınırlandırdığı ve bundan dolayı fırında pişirilmiş ve kızartılmış patatesin, haşlanmış ve çiğ patatese kıyasla daha az miktarda toplam nişasta içerdiği belirtilmektedir. Kızartma yapıldıktan hemen sonra dirençli nişasta içeriği azalsa da gıdanın soğuması ile tekrar artış gösterdiği bildirilmektedir. Genel anlamda, çiğ patatese, jelatinizasyon seviyesi arttıkça dirençli nişasta miktarı azalmaktadır. Gıdanın kaynatılması esnasında, yeterli su varlığında nişasta granüllerinin tam jelatinizasyonu ile dirençli nişasta miktarı azalmakta ve sindirilebilirlik artmaktadır (Nayak ve ark., 2014; Güler ve Bilici, 2017).

#### **2.4.2. Glisemik İndeksin Sağlık Üzerine Etkileri**

Yüksek Gİ'ye sahip gıdaların sürekli tüketimi, 24 saatlik kan glukoz ve insülin seviyelerini yükselttiği bildirilmiştir. Uzun dönemde tüketilen yüksek Gİ'li besinler, insülin duyarlılığının azalması ile insülin direncine ve tip2 DM gelişimine sebep olabilmektedir (Alphan, 2008). Düşük Gİ değerine sahip karbonhidratlı gıdalar, çeşitli mekanizmalar yoluyla kilo yönetimine yardımcı olabilir. Düşük Gİ'li gıdalar insülinemi azaltarak yakıt kaynağı olarak yağ asitlerine daha fazla erişim sağlayabilir ve daha fazla yağ oksidasyonunu teşvik edebilir. Orta şiddetli egzersiz esnasında düşük Gİ'li bir öğün, yüksek Gİ'li bir öğüne kıyasla daha yüksek oranda yağın oksitlenmesine neden olur. Daha yavaş sindirim ve emilim oranları sayesinde, düşük Gİ'li gıdalar tokluk süresini artırabilir, açlığı azaltabilir ve sonraki öğündeki gıda alım miktarını düşürebilir. Tersine, yüksek Gİ'li öğünler, iştah uyarımının artmasına ve daha yüksek enerji alımına sebep olabilir (Brand-Miller ve ark., 2009). Bazı besinlerin Gİ değerleri Tablo 2.4.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.4.1: Bazı besinlerin ortalama glisemik indeks değerleri (Mızrak, 2016)**

<b>Besinler</b>	<b>Gİ Değeri</b>
Bulgur	48
Pirinç	89
Makarna	58
Beyaz Ekmek	71

Glisemik indeksin doğunluk hissi, ağırlık kaybı, metabolik risk faktörleri ve inflamasyon ile ilişkisine bakıldığı bir çalışmada, 122 obez ve kilolu kişilere orta seviyede karbonhidrat ve düşük glisemik indeksli, orta seviyede karbonhidrat ve yüksek glisemik indeksli ve yüksek glisemik indeksli ve düşük yağ seviyeli üç farklı beslenme planı 20 hafta boyunca uygulanmıştır. 20. haftanın sonunda düşük glisemik indeksli grubun beden kitle indeksi, insülin direnci ve pankreas  $\beta$  hücre işlevi, düşük yağlı diyet programı içeren gruba göre daha fazla azalma göstermiştir. Çalışmanın sonunda düşük glisemik indeksli bir diyet planının, insülin ve glukoz metabolizmasının kontrolünü sağlamada, yüksek glisemik indeks veya düşük yağ düzeyine sahip bir diyet planına göre daha başarılı sonuç verdiği saptanmıştır (Juanola-Falgarona ve ark., 2014).

Yüksek Gİ'li diyetlerin vücutta insülin seviyelerini arttırarak insülinemiye sebep olduğu görülmektedir. Kandaki yüksek insülin düzeyleri, vücuttaki insülin benzeri büyüme faktörü-1 (IGF-1) seviyesini arttırmaktadır. Çocukluk ve fetal dönemde büyüme ve gelişmede yer alan IGF'ler, yetişkin dönemde hücre döngüsü metabolizmasında, proliferasyonda ve apoptotik hücre uyarılarına karşı savunmada etkilidir. Aynı zamanda IGF'ler bozulmuş hücre stimülasyonu, malign hücre büyümesi, gelişimi ve progresyonuna sebep olabilir. IGF'ler hücre transformasyon riskinin artmasına, gen ekspresyonundaki değişikliklere ve tümör hücrelerinde proliferasyona neden olabilir.

Tümör tiplerinin birçoğunda, serumdaki IGF-1 seviyelerinin yükseldiği belirtilmiştir. Yüksek Gİ'ye sahip besinler, obezite riskini arttırarak da kanser oluşumu ve gelişimini tetikleyebilir (Bıyıklı ve ark., 2017). Düşük Gİ ve yüksek posa içeren diyetler, vücuttaki kan lipidlerini azaltır. Bununla beraber yüksek Gİ'li diyetler kolesterol metabolizmasını değiştirerek HDL-kolesterol seviyesini düşürür (Mercanlıgil,

2008). Tam tahıllarda ve baklagillerde bulunan viskoz çözünür liflerin jel oluşturma özellikleri, kan glukozu, lipid ve insülin seviyelerindeki artışı hafifletir. Viskoz çözünür lifli gıdaların, sindirim ve emilimin uzun sürmesinden dolayı düşük Gİ'ye sahiptir. Bu gıdaların tüketiminin, diyabeti olan ve olmayan bireylerde kan glukozunu iyileştirdiği, ölüm ve kardiyovasküler hastalık (KVH) riskini azalttığı gösterilmiştir (Hardy ve ark., 2010).

Bu çalışmanın genel amacı beslenmede önemli bir yere sahip olan bulgurun, pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile Tip3 enzime dirençli nişasta içeriğini arttırmak ve bununla beraber insan sağlığına daha faydalı hale gelmesini sağlamaktır. Pullulanaz enzim uygulamasından sonra tekrarlanan otoklavlama-soğutma döngüleri, bulgur üretiminde ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında bulgur örneklerinin hazırlanması için durum buğday örneklerinden Svevo buğday (SW) ve yüksek amiloz içeriğine sahip buğday genotipi (HaW) kullanılmıştır (Tuscia Üniversitesi, Viterbo, İtalya). Bulgur üretimine başlamadan önce buğday örnekleri, öncelikle yabancı maddeleri temizleme cihazı (Quator, Tripette & Renaud, Fransa) ile ayrıştırılmış ve sınıflandırılmıştır. Bu cihaz 2,2 mm, 2,5 mm ve 2,8 mm'lik eleklerle sahip olup, silindirik elek sistemi ile iyi taneler elenirken, kırık ve ince taneler, hava akımı ile de toz ve kabuklar ayrılmıştır. Çalışmada 2,2 mm elek üzerinde kalan taneler kullanılmıştır. Mevcut çalışmada kullanılan tüm reaktifler ve çözücüler, Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, MO, ABD) ve Megazyme Dirençli Nişasta ve Glukoz Test Kiti Megazyme International'dan (Wicklow, İrlanda) alınmıştır.

#### 3.2. Metot

##### 3.2.1. Buğdayın Karakteristik Özellikleri

###### 3.2.1.1. Hektolitre Ağırlığı

Hektolitre ağırlığı Vasiljevic ve Banasik'e (1980) göre bir Ohaus Hektolitre Test Cihazı (Chicago, ABD) ile belirlenmiştir. Analiz iki paralel olarak gerçekleşip, sonuçlar kilogram / hektolitre (kg / hL) olarak verilmiştir.

###### 3.2.1.2. Bin Tane Ağırlığı

Bin tane ağırlığı, 20 g temiz numune kullanılarak ISO Yöntemine (No: 520:2010) göre elektronik bir tane sayacı (Numigral II, Tripette & Renaud, Fransa) kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar gram kuru madde cinsinden verilmiştir.

###### 3.2.1.3. Tane Sertlik Değeri

Buğday örneklerinin tane sertliği, AACC yöntemi 55-31.01 (AACCI 2010) ve SKCS (Tek Tane Karakterizasyon Sistemi) kullanılarak belirlenmiştir.

###### 3.2.1.4. Tane Çapı

Buğday örneklerinin tane çap değerleri, AACC yöntemi 55-31.01 (AACCI 2010) ve SKCS (Tek Tane Karakterizasyon Sistemi) kullanılarak belirlenmiştir.

### **3.2.1.5. Nem Miktar Tayini**

Tüm numunelerin nem içeriği AACC Uluslararası Yöntem 44-15.02'ye göre belirlenmiştir (AACCI, 2010).

### **3.2.1.6. Protein Tayini**

Buğday örneklerinin protein içeriği (%), AACCI Yöntem 46-30.01'e (AACCI, 2010) göre, EDTA ile kalibre edilmiş bir LECO leco FP828 yanmalı azot analizi cihazında (LECO Instruments Corp., St Joseph, MI, ABD), 5,7 x toplam azot olarak belirlenmiş ve kuru bazda (db) raporlanmıştır.

### **3.2.1.7. Kül Tayini**

Buğday örneklerinin kül içeriği tayinleri AACCI Standart Metot No: 08-01.01'e göre yapılmıştır (AACCI, 2010).

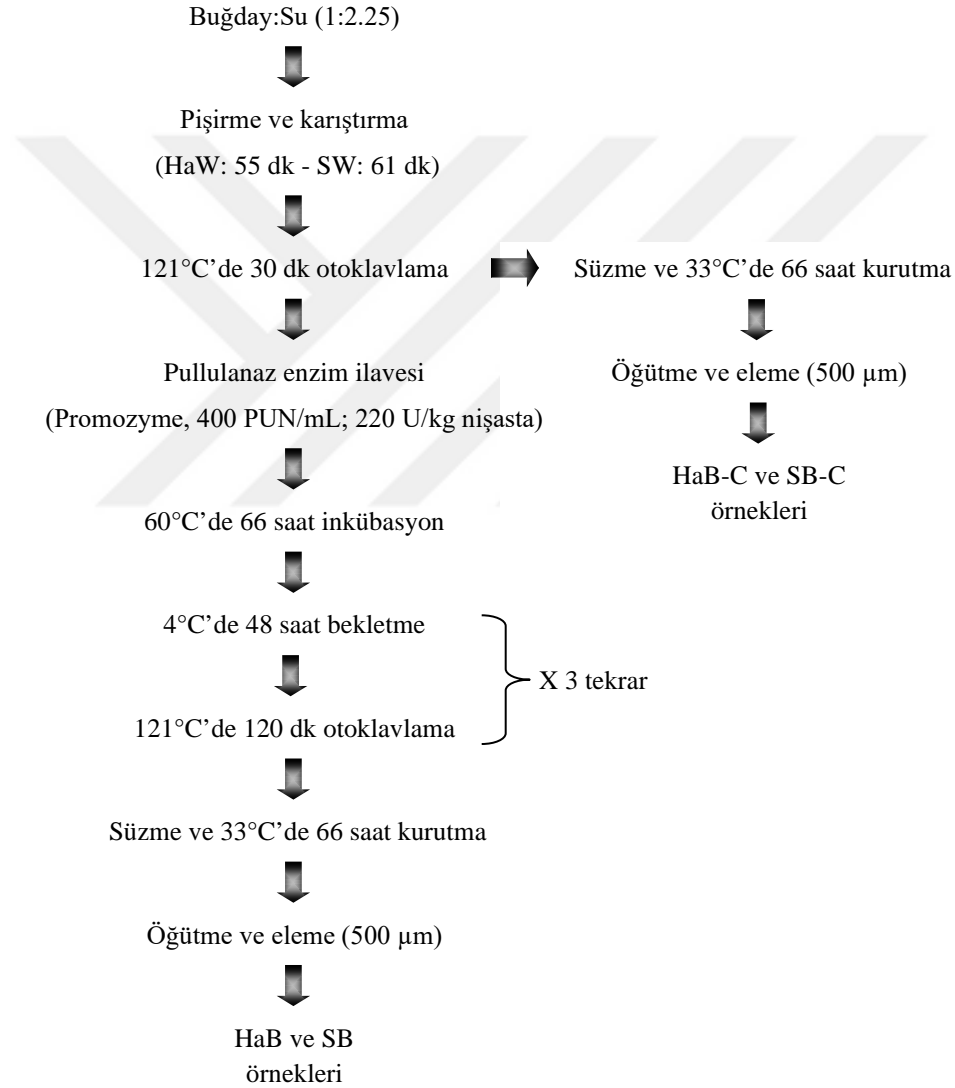
### **3.2.1.8. Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) Sedimentasyon Hacimleri**

Örneklerin sodyum dodesil sülfat (SDS) sedimentasyon değerleri (mL), Williams ve ark. (1988)'de belirtilen yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar %14,0 rutubet esasına göre verilmiştir.

### **3.2.2. Bulgur Üretimi ve Enzime Dirençli Nişasta Oluşumu**

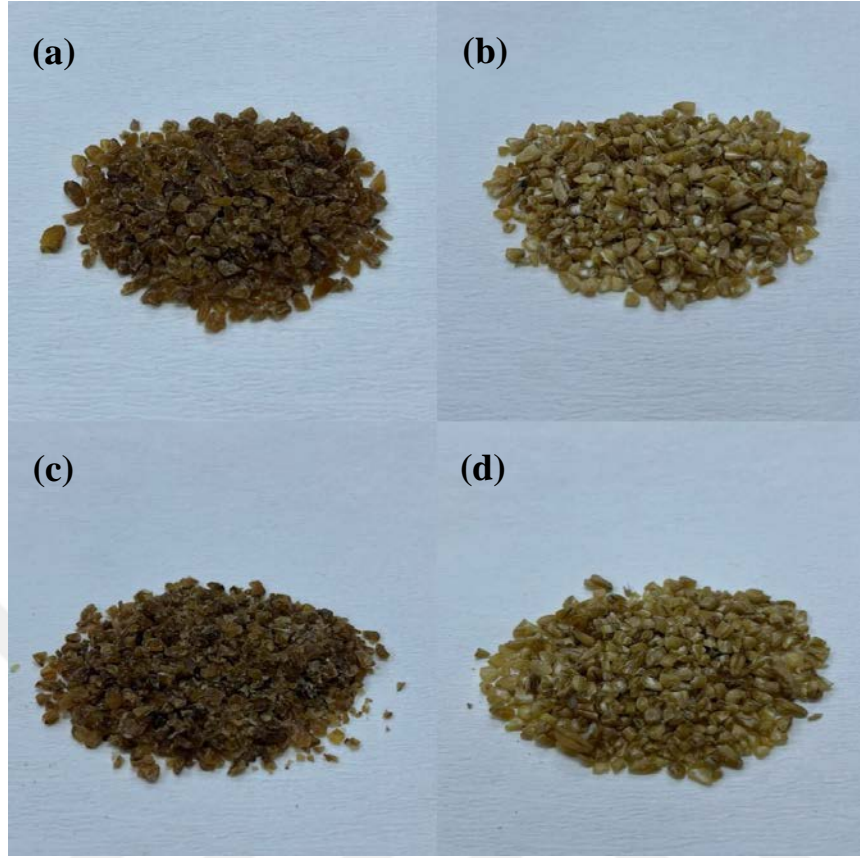
Yüksek amiloz buğday genotipi (HaW) ve Svevo buğday (SW) örneklerinin ön temizliği, bir tahıl temizleme ekipmanı (Quator, Tripette & Renaud, Fransa) kullanılarak yapılmış ve 400 g HaW ve SW örnekleri, 1:2,25 oranında kaynamış su kullanılarak pişirilmiştir. Örnekler belirli aralıklarla karıştırılmış pişirme süresi, iki cam plaka arasında hafifçe sıkıldığında opak merkezi kısmın kaybolması için gereken süre olarak belirlenmiştir (Basman ve Yalçın, 2011). Pişirilen buğday örnekleri, 121°C'de 30 dakika boyunca otoklav uygulanmış ve HaW ve SW örneklerinin nişasta modifikasyonu için Öztürk ve arkadaşları (2011) tarafından tarif edilen yöntem kullanılmıştır. Otoklav uygulanmış buğday örneklerine 4 mL (Promozyme 400 PUN/mL, 220 U/kg nişasta) pullulanaz enzimi ilave edilmiş ve 60°C'de 66 saat inkübe edilmiştir. İşlem sonunda örnekler, 4°C' de 48 saat soğuk odada bekletilmiş ve ardından 121°C'de 120 dakika otoklavlanmıştır. Soğuk odada bekletme ve otoklavlama döngüsü iki kez daha tekrarlanmıştır. Döngü sonunda örnekler süzülüş ve 35°C'de 66 saat boyunca etüvde kurutulmuştur.

Kurutulmuş örnekleri kırmak için laboratuvar tipi bir bulgur öğütme makinesi (Duru Değirmen Makineleri, Karaman, Türkiye) kullanılmış ve ardından 500 µm'lik bir elek kullanılarak elenmiştir. Elek üzerinde kalan ürün bulgur (HaB ve SB) olarak ifade edilmektedir. HaW ve SW örneklerinden, enzim ilave edilmeden üretilen bulgur örnekleri ise kontrol grubu bulgur (HaB-C ve SB-C) olarak kullanılmış ve 35°C'de 66 saat boyunca kurutulmuştur. Enzime dirençli nişastasız artırılmış bulgur üretim şeması Şekil 3.2.1' de verilmiştir.



**Şekil 3.2.1: Enzime dirençli nişastalı bulgur üretim şeması**

HaW: Yüksek amiloz buğday genotipi, SW: Svevo buğday, HaB: yüksek amiloz bulgur, SB: Svevo bulgur, HaB-C: yüksek amiloz bulgur-kontrol, SB-C: Svevo bulgur-kontrol.



(a): HaB örneği, (b): HaB-C örneği, (c): SB örneği, (d): SB-C örneği.

**Şekil 3.2.2: Üretilen bulgur örneğleri**

### 3.2.3. Buğday ve Bulgur Örneğlerinde Renk Analizi

Buğday ve bulgur örneğlerinin renk değerleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), CIE renk sistemi kullanılarak (CR400 Konica, Minolta, Tokyo, Japan), Anonymous (2002) metotuna göre belirlenmiştir. Burada  $L^*$  koyuluk (0) / parlaklık (100),  $a^*$  yeşillik (-) / kırmızılık (+),  $b^*$  mavilik (-) / sarılık (+) şeklinde tanımlanmıştır. Cihaz renk ölçüm işlemi öncesi, beyaz bir plakaya karşı kalibre edilmiştir. Yüksek (+)  $a^*$  kırmızı rengi, yüksek (-)  $a^*$  yeşil rengi temsil ederken; yüksek (+)  $b^*$  sarı rengi ve yüksek (-)  $b^*$  mavi rengi temsil etmektedir. Kroma/saflık değeri, rengin doygunluğunu belirtmektedir. Siyah, beyaz ve gri gibi donuk renklerde kroma değeri düşmekte, canlı renkler de ise kroma değeri yükselmektedir.

### 3.2.4. Bulgur Örneklerinin Pişirme Özellikleri

Bulgur örneklerinin, pişme süresi, ağırlık artışı, hacim artışı ve suya geçen madde miktarı (SGMM) belirlenmiştir. Pişirme sonrası, pişme suyuna geçen katı madde miktarı suya geçen madde miktarı olarak bilinmektedir. SGMM değerini belirlemek için 10 g bulgur örneği 100 mL kaynar suda pişirilmiştir. Pişirme suyu bir beherde toplanmış ve 98°C'de suyun tamamen uzaklaşana kadar etüvde kurutulmuştur. Kalıntı tartılarak pişme süresince suya geçen madde miktarı yüzde (%) olarak belirtilmiştir (Savaş ve Basman, 2016). Ağırlık artış değerinin belirlenmesi için 10 g bulgur 100 ml kaynar su ile pişirilmiştir. Pişirme tamamlandığında, bulgur örneklerindeki fazla su filtre kağıdı ile yaklaşık 5 dakika boyunca uzaklaştırılmış ve örnekler tartılmıştır (Tekin-Çakmak ve ark., 2024). Pişirme öncesi ve sonrası bulgur ağırlıkları arasındaki yüzde fark, su absorpsiyonunu belirlemek için pişirme öncesi bulgur ağırlığına bölünmüştür. Hacim artış değerinin belirlenmesi için, 10 g bulgur örneği 100 ml distile su içeren 250 ml'lik bir ölçüm silindirene yerleştirilmiş ve hacim artışı kuru hacim olarak kaydedilmiştir. Pişirilmiş ve suyu alınmış bulgurun 10 gramı, 100 ml distile su içeren 250 ml'lik bir ölçüm silindirene yerleştirilmiş ve hacim artışı ıslak hacim olarak kaydedilmiştir. Hacim artışı (%), yaş hacimden kuru hacmin çıkarılması, kuru hacme bölünmesi ve yüz ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır (Tekin-Çakmak ve ark., 2024). Analizler iki paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.5. Bulgur Örneklerinin Tekstür Özellikleri

Pişmiş bulgur örneklerinin tekstür profil analizi değerleri, Yılmaz ve Koca (2020) tarafından yayınlanan metot modifiye edilerek ve Texture Analyzer (TA.XT2 Plus, Stable Micro System Ltd., Surrey, UK) cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Analiz öncesi 10 g tartılan bulgur örnekleri, 150 mL kaynatılmış su ile pişirilmiştir. Tüm numunelerin standart bir şekle sahip olması için ekipmanın test platformunun ortasındaki metal bir halkaya (çap: 80 mm ve yükseklik: 50 mm) yerleştirilmiştir. Metal halka ile silindirik bir şekil verilen numuneye iki döngülü bir sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Test öncesi ve test sonrası aşamalar için hızlar 1 mm/s olarak ayarlanmıştır. Her iki döngü için de numuneler 36 mm P/36 flat silindirik prob (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) kullanılarak 4 mm'ye kadar sıkıştırılmıştır.

Sıkıştırılmalar arasındaki süre 5 saniye ve tetikleme kuvveti 5 g olarak ayarlanmıştır. Analiz edilen tekstür profili parametreleri sertlik, yapışkanlık, elastikiyet, koheziflik, çiğnenebilirlik ve esneklik değerleridir.

### **3.2.6. Bulgur Örneklerinin Ekstraksiyonu**

#### **3.2.6.1. Bulgur Örneklerinin Yağdan Arındırılması**

Analize başlamadan önce, hekzan kullanılarak örneklerdeki yağ uzaklaştırılmıştır. Bulgur örneklerine 1:5 (v/v) oranında hekzan eklenerek bir vorteks ile karıştırılmıştır. Örnekler, bir çalkalayıcıda (MK200D, Yamato Scientific Co., Ltd., Tokyo, Japonya) 200 rpm'de 10 dakika boyunca çalkalanmıştır. Çalkalama sonunda örnekler 25°C'de, 6000 rpm'de 5 dakika boyunca santrifüj edilmiştir (Santrifüj, Heraeus, Multifuge X3 FR, Thermo Scientific, Almanya). Örneklerin süpernatant (sıvı kısım) kısımlarında kalan hekzan, bir pipet yardımı ile uzaklaştırılmış ve tekrar hekzan eklenmiştir. Döngü toplamda 3 kez tekrarlanmıştır. Yağı arındırılmış örnekler, 12 saat boyunca çeker ocak altında bir filtre kağıdının üzerinde kurutulmuştur.

#### **3.2.6.2. Serbest Fenolik Bileşiklerin Ekstraksiyonu**

Yüksek amiloz bulgur (HaB) ve Svevo bulgur (SB) örneklerindeki serbest ve bağlı fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu daha önce Shamanin ve arkadaşları (2022) tarafından açıklanan yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bulgur örneklerinin fenolik bileşiklerinin ekstraksiyonu için aseton-su (1:1, v/v) karışımı kullanılmıştır. Öncelikle öğütülmüş ve yağı alınmış 0.5 g bulgur örneği, fenolik bileşiklerin çözünmesi için 5 mL aseton-su karışımına eklenerek bir vorteks ile karıştırılmıştır. Ekstraksiyon işlemi, bir çalkalayıcı kullanılarak 25°C'de, 200 rpm'de 1 saat süresince gerçekleştirilmiştir ve karışım, oda sıcaklığında 6000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneklerin süpernatant kısımları ayrı bir tüpe konmuştur ve kalan pellet (katı kısım) kısmına tekrar aseton-su karışımı eklenmiştir. Bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır. Döngü sonunda örneklerin süpernatant kısımları ayrı bir tüpte birleştirilmiş ve sonraki aşamaya kadar alüminyum folyoya sarılarak +4°C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir. Pellet kısımlarının bulunduğu örnekler, kapağı açık bir şekilde bir gece boyunca, çeker ocak altında bir filtre kağıdının üzerinde kurutulmuştur. Çözücüler bir evaporatör cihazı (Hei-VAP Advantage, Heidolph, Schwabach, Almanya) kullanılarak uçurulmuştur. Evaporatör cihazının su banyosu 55°C, dönme hızı 60 rpm ve basıncı 65 mbar olacak

şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen serbest fenolik bileşikler, alüminyum folyoya sarılı yuvarlak buharlaştırma şişesinde, 5 mL metanol içerisinde 15 dakika boyunca belirli aralıklarla çalkalanarak çözdürülmüştür. Tamamı çözülmüş örnekler, 4 mL'lik amber renkli şişelere alınarak bir sonraki analize kadar -20°C'de bekletilmiştir.

### **3.2.6.3. Bağlı Fenolik Bileşiklerin Ekstraksiyonu**

Kalan pellet kısmı, 20 mL 2N NaOH ile çalkalayıcıda 200 rpm'de 4 saat boyunca çalkalanmıştır. Çalkalama sonrası örneğin pH seviyesini 1.8-2.2'ye ayarlamak için her bir örneğe 6M HCl eklenmiştir. Kalan serbest yağ asitlerini uzaklaştırmak amacı ile her örnek toplamda 3 kez, 10 mL hekzan ilave edilerek vortekslenmiştir. Örnekler 200 rpm'de 10 dakika süresince karıştırıcıda çalkalanmış ve 6000 rpm'de 10 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Kalan hekzan bir pipet yardımı ile uzaklaştırılmıştır. Daha sonra her bir örnek, 10 mL dietil eter-etil asetat (1:1, v/v) ilave edilerek vortekslenmiş ve 200 rpm'de 15 dakika çalkalanarak, 6000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Bu işlem toplam 5 kez tekrar edilmiştir ve tüm dietil eter-etil asetat fraksiyonları birleştirilmiştir. Çözücüler bir evaporatör cihazı (Hei-VAP Advantage, Heidolph, Schwabach, Almanya) kullanılarak uçurulmuştur. Elde edilen bağlı fenolik bileşikler, alüminyum folyoya sarılı yuvarlak buharlaştırma şişesinde, 5 mL metanol içerisinde 15 dakika boyunca belirli aralıklarla çalkalanarak çözdürülmüştür. Tamamı çözülmüş örnekler, 4 mL'lik amber renkli şişelere alınarak bir sonraki analize kadar -20°C'de bekletilmiştir.

### **3.2.6.4. Toplam Fenolik İçerik Tayini (Serbest ve Bağlı)**

Toplam fenolik içerik için, serbest ve bağlı fenolik bileşikler belirlenir ve bu değerler toplanır. Serbest ve bağlı fenoliklerin konsantrasyonlarını belirlemek için Tekin-Çakmak ve arkadaşları (2024) tarafından modifiye edilen Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılmış ve sonuçlar mg (GAE)/100 g (ka) olarak belirtilmiştir. Ekstraktlardan 100 µL örnek alınmıştır. Metanol içindeki 100 µL ekstrakt, 500 µL Folin-Ciocalteu reaktifi (2N), 1.5 mL Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisi (200 g/L) ve 7.9 mL saf su ile karıştırılmıştır. Kontrol grubu için ekstrakt yerine 100 µL metanol eklenmiştir. Örnekler karanlık ortamda 120 dakika boyunca bekletilmiştir. Örneklerin absorbans değerleri, 760 nm dalga boyunda Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre (Kyoto, Japonya) ile ölçülmüştür.

### **3.2.7. Antioksidan Kapasite Tayini**

#### **3.2.7.1. DPPH Serbest Radikal Yakalama Aktivitesi Tayini**

Antioksidan kapasite tayinlerinden, DPPH radikalini yakalama aktivitesi, Singh ve arkadaşlarının (2002) kullandığı metota göre gerçekleştirilmiştir. Her bir tüpe ekstrakte edilmiş ürünlerde 100 µL alınmış ve kontrol grubu için örnek yerine metanol konmuştur. 20 saniye aralıklarla her bir tüpe 4,9 mL DPPH solüsyonu (0,1 mM) eklenmiş ve vortekslenmiştir. Ardından karanlık bir ortamda, 27°C'de 20 dakika boyunca inkübe edilmiştir. Örneklerin absorbans değerleri, 517 nm dalga boyunda Shimadzu 150 UV-1800 spektrofotometre (Kyoto, Japonya) ile ölçülmüştür.

#### **3.2.7.2. ABTS Radikal Temizleme Yöntemi**

Analiz öncesi spektrofotometre cihazında ABTS solventinin absorbans değeri 0.700 olacak şekilde ayarlama yapılmıştır. Bu yöntemde Re ve arkadaşlarının (1999) geliştirdiği metot kullanılmıştır. ABTS (7mmol/L) ve K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (2,45mmol/L) çözeltileri hazırlanıp karıştırılarak 16 saat boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Ardından ekstraktan 100 µL alınıp, üzerine ayarı yapılmış 2 mL ABTS solventi eklenmiştir ve 27°C'de 6 dakika boyunca inkübe edilmiştir. Örneklerin absorbans değerleri, 734 nm'de spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür.

#### **3.2.7.3. Antioksidan Kuvvet (FRAP) Yöntemi / Demir (III) İndirgeme**

Bu yöntemde Benzie ve Strain (1996) tarafından geliştirilen metot kullanılmıştır. Metot için 300 mM Asetat tamponu (A), 10 mM TPTZ (B), 20 mM FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O (C) olmak üzere 3 adet farklı çözelti hazırlanmıştır. Çözeltiler hacimce, 10A:1B:1C olacak şekilde karıştırılmıştır. Sırayla, 100 µL örnek, 900 µL damıtık su, 2 mL FRAP reaktifi karıştırılarak 30 dakika boyunca inkübe edilmiştir. Örneklerin absorbans değerleri, 593 nm'de spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür.

### **3.2.8. Enzime Dirençli Nişasta Miktarı Tayini**

Bulgur örneklerinin enzime dirençli nişasta miktarı tayini, Glukoz test kiti (Megazyme Int., Wicklow, İrlanda) kullanılarak AOAC 2002.02 (AOAC, 1998) ve AACCI 32-40.01 (AACCI, 1990) yöntemlerine göre gerçekleştirilmiştir. Yöntemde numuneler, amiloglukozidaz ve α-amilaz enzimleri ile 37°C'de 16 saat boyunca bekletilir ve D-Glukoza hidrolize edilir. Reaksiyon etil alkol ilavesi ile sonlandırılır. Çökeltmiş olan dirençli nişasta peleti santrifüj ile uzaklaştırılır.

Dirençli nişasta peleti, 2M KOH içerisinde çözündürülerek amiloglukozidaz enzimi ile D-Glukoz hidrolize edilir ve glikoz oksidaz/peroksidaz reaktifi (GOPOD) ile ölçülür ve bu, numunenin dirençli nişasta içeriğinin bir ölçüsüdür.

### 3.2.9. Bulgur Örneklerinin *In Vitro* Glisemik İndeks Değerleri

Bulgur örneklerinin *in vitro* glisemik indeks analizi, Goñi ve ark. (1997) ve Arıbaş ve ark. (2020) yöntemine göre modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Pişmiş bulgur örnekleri, 10 adet cam boncuk (4 mm çapında) içeren 50 mL'lik falkon tüplerine 100 mg olacak şekilde tartılmıştır. Tüplere 2 mL pepsin çözeltisi (10 mg/2 mL, Sigma, P7000 ve 0.05 M HCl) eklenmiştir. Mide simülasyonu için tüpler, 30 dakika boyunca 37°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda tüplere, 4 ml, 0,5 M, pH 5,2 olan sodyum asetat tamponu ilave edilmiştir. Her bir tüpten 100 µL örnek alınıp, eppendorf tüplerine konulmuş ve üzerlerine 1 mL mutlak etanol eklenmiştir. Bu tüp örnekleri 0. dakikayı ifade etmektedir.

Bağırsak simülasyonu için her falkon tüpüne 0,104 g pankreatin (Sigma, P7545) içeren 1 ml enzim çözeltisi ve 14,45 U amiloglukozidaz (3300 U/mL, Megazyme Int., İrlanda) eklenmiş ve tüpler 90 dakika boyunca 37°C'de inkübe edilmiştir. 90. dakikada eppendorf tüplerine 100 µL örnek alınıp üzerlerine 1 mL mutlak etanol eklenmiş ve bu çözeltiler 800 xg'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası çözeltilerin üst kısımlarından 100 µL örnek alınıp cam tüplere konmuştur ve üzerlerine 3 mL glukoz oksidaz-peroksidaz (GOPOD) reaktifi (Megazyme Int., İrlanda) eklenmiştir. Örnekler 20 dakika boyunca 50°C'de inkübe edilmiştir. Ardından glukoz içeriği, bir spektrofotometre (Shimadzu 1601, Japonya) cihazı kullanılarak 510 nm dalga boyunda ölçülmüştür.

### 3.2.10. İstatistiksel Analiz

Tüm analizler üç paralel olarak gerçekleştirilmiş ve bulgular ortalama  $\pm$  standart sapma olarak sunulmuştur. İstatistiksel analiz SPSS İstatistik Yazılımı (IBM sürüm 22, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulgur örnekleri arasındaki farklılıkları değerlendirmek için tek yönlü ANOVA ve beraberinde Tukey'in posthoc testi yapılmıştır. SW ve HaW örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri arasındaki farklar T-testi ile değerlendirilmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Buğday Örneklerinin Fiziksel ve Kimyasal Analiz Değerleri

SW ve HaW örneklerinin hektolitre ağırlığı, bin tane ağırlığı, tane sertliği, tane çapı, protein, kül, SDS sedimentasyon, L\*, a\* ve b\* değerleri Tablo 4.1.1'de belirtilmiştir. SW ve HaW örneklerinin hektolitre ağırlığı sırasıyla 81,00 kg/hl, 73,07 kg/hl, bin tane ağırlığı 41,55 g, 31,30 g, tane sertliği %88,00, %71,05, tane çapı 3,09 mm, 2,95 mm, protein miktarı %12,71, %13,07, kül içeriği %1,74, %1,81, SDS sedimentasyon değeri 29,00 mL, 34,00 mL L\* değeri 47,27, 55,45 a\* değeri 9,31, 8,13 ve b\* değeri 26,17, 26,82 olarak elde edilmiştir. SW örneğinin hektolitre ağırlığı, bin tane ağırlığı, tane sertliği, tane çapı ve a\* değeri HaW örneğine kıyasla önemli derecede ( $p<0,05$ ) yüksek bulunmuştur. HaW örneği ile SW örneğinin protein değeri ve L\* değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır ( $p<0,05$ ).

**Tablo 4.1.1: Buğday örneklerinin fiziksel ve kimyasal analiz içerikleri**

Örnekler	Hektolitre Ağırlığı (kg/hl)	Bin Tane Ağırlığı (g)	Tane Sertliği (HI, %)	Tane Çapı (mm)	Protein (NX5,7, %)
SW	81,00±0,05 <sup>a</sup>	41,55±0,50 <sup>a</sup>	88,00±1,06 <sup>a</sup>	3,09±0,02 <sup>a</sup>	12,71±0,08 <sup>b</sup>
HaW	73,07±0,07 <sup>b</sup>	31,30±0,14 <sup>b</sup>	71,05±0,57 <sup>b</sup>	2,95±0,03 <sup>b</sup>	13,07±0,08 <sup>a</sup>
	Kül (% ka)	SDS (mL)	L*	a*	b*
SW	1,74±0,04 <sup>a</sup>	29,00±1,41 <sup>a</sup>	47,27±0,04 <sup>b</sup>	9,31±0,09 <sup>a</sup>	26,17±0,08 <sup>a</sup>
HaW	1,81±0,01 <sup>a</sup>	34,00±1,41 <sup>a</sup>	55,45±0,02 <sup>a</sup>	8,13±0,09 <sup>b</sup>	26,82±0,55 <sup>a</sup>

SW: Svevo buğday, HaW: yüksek amiloz buğday genotipi, SDS: sodyum dodesil sülfat, ka: kuru ağırlık, \*: %14 rutubet üzerinden hesaplanmıştır. Her sütunda farklı harflerle gösterilen ortalama değerler (a-b) önemli ölçüde farklıdır ( $p<0,05$ ).

## 4.2. Bulgur Örneklerinin Renk Özellikleri

Bulgur örneklerinin renk parametreleri Tablo 4.2.1’de verilmiştir. SB-C, SB, HaB-C ve HaB örneklerinin L\* değerleri sırasıyla, 52,07, 39,20, 53,27 ve 39,41 iken a\* değerleri, 4,42, 6,56, 4,79 ve 6,84, b\* değerleri ise 25,46, 18,65, 24,64 ve 15,90 olarak belirlenmiştir. Enzim ilavesi ve ısıtma-soğutma döngüsü ile SB ve HaB örneklerinde a\* değerleri kontrol gruplarından önemli ölçüde ( $p<0,05$ ) daha yüksektir. SB ve HaB bulgur örneklerinin L\* ve b\* değerleri SB-C ve HaB-C bulgur örneklerinden önemli derecede ( $p<0,05$ ) daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun, yüksek basınç altında otoklavda pişirme ve ısıtma-soğutma döngülerinin, bulgurda renk koyulaşmasına neden olabileceği düşünülmektedir.

**Tablo 4.2.1: Bulgur örneklerinin renk parametreleri**

Örnekler	L*	a*	b*
SB-C	52,07±0,97 <sup>a</sup>	4,42±0,20 <sup>b</sup>	25,46±0,35 <sup>a</sup>
HaB-C	53,27±0,95 <sup>a</sup>	4,79±0,38 <sup>b</sup>	24,64±0,83 <sup>a</sup>
SB	39,20±0,90 <sup>b</sup>	6,56±0,30 <sup>a</sup>	18,65±0,33 <sup>b</sup>
HaB	39,41±0,71 <sup>b</sup>	6,84±0,25 <sup>a</sup>	15,90±0,73 <sup>c</sup>

SB-C: Svevo bulgur-kontrol, HaB-C: yüksek amiloz bulgur-kontrol, SB: Svevo bulgur, HaB: yüksek amiloz bulgur. Her sütunda farklı harflerle gösterilen ortalama değerler (a-c) önemli ölçüde farklıdır ( $p<0,05$ ).

## 4.3. Bulgur Örneklerinin Pişirme Özellikleri

HaB ve SB örneklerinin pişme süresi, ağırlık artışı, hacim artışı ve suya geçen madde miktarı (SGMM) değerleri Tablo 4.3.1’de verilmiştir. Pişme süreleri HaB ve SB örneklerinde sırasıyla 7 dk, HaB-C ve SB-C örneklerinde ise 6 dk’dır. HaB, SB, HaB-C ve SB-C örneklerinin ağırlık artışları sırasıyla %158,87, %195,70, %175,71 ve %164,25 ve hacim artışları sırasıyla %227,68, %268,80, %206,25 ve %238,10’dur. SGMM değerleri, HaB ve SB örneklerinde sırasıyla %15,75 ve %18,30, HaB-C ve SB-C örneklerinde %6,90 ve %6,45’tir. Beklendiği gibi, enzim uygulaması ve ısıtma-soğutma döngüleri ile elde edilen HaB ve SB örneklerinin SGMM değerleri, kontrol bulgur örneklerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek olduğu görülmüştür ( $p<0,05$ ).

**Tablo 4.3.1: Bulgur örneklerinin pişirme özellikleri değerleri**

Örnekler	Pişme Süresi (dk)	Ağırlık Artışı (%)	Hacim Artışı (%)	SGMM (%)
<b>SB-C</b>	6±0,07 <sup>b</sup>	164,25±0,95 <sup>c</sup>	238,10±4,76 <sup>ab</sup>	6,45±0,07 <sup>b</sup>
<b>HaB-C</b>	6±0,07 <sup>b</sup>	175,71±2,71 <sup>b</sup>	206,25±6,25 <sup>b</sup>	6,90±0,28 <sup>b</sup>
<b>SB</b>	7±0,07 <sup>a</sup>	195,70±1,20 <sup>a</sup>	268,80±31,3 <sup>a</sup>	18,30±0,28 <sup>a</sup>
<b>HaB</b>	7±0,07 <sup>a</sup>	158,87±6,73 <sup>c</sup>	227,68±15,18 <sup>ab</sup>	15,75±1,77 <sup>a</sup>

SB-C: Svevo bulgur-kontrol, HaB-C: yüksek amiloz bulgur-kontrol, SB: Svevo bulgur, HaB: yüksek amiloz bulgur, SGMM: suya geçen madde miktarı. Her sütunda farklı harflerle gösterilen ortalama değerler (a-c) önemli ölçüde farklıdır (p<0,05).

#### 4.4. Bulgur Örneklerinin Tekstür Özellikleri

Bulgur örneklerinin sertlik, yapışkanlık, elastikiyet, koheziflik, çiğnenebilirlik ve esneklik değerleri Tablo 4.4.1’de verilmiştir. Dirençli nişasta içeriği artırılan bulgur örnekleri ve kontrol grupları arasında sertlik, yapışkanlık, elastikiyet, koheziflik, çiğnenebilirlik ve esneklideğerleri arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür (p<0,05). Bulgur örneklerinin sertlik değerleri 293,61-588,22 g aralığında değişmektedir. Beklendiği üzere en yüksek sertlik değeri SB-C örneğinde, en düşük sertlik değeri HaB örneğinde gözlemlenmiştir. Yapışkanlık değeri en yüksek olan bulgur örneği HaB-C (-6,65 g.s) iken, en düşük yapışkanlık değeri HaB (-3,00 g.s) örneğinde görülmektedir. SB-C, HaB-C, SB ve HaB örneklerinin elastikiyet değerleri sırasıyla 0,78, 0,66, 0,86 ve 0,96 olarak belirlenmiştir. En yüksek elastikiyet değeri HaB örneğinden, en düşük elastikiyet değeri HaB-C örneğinden elde edilmiştir. SB-C örneği en düşük koheziflik ve esneklik (0,45, 0,25) değerine sahipken, SB örneği en yüksek koheziflik ve esneklik (0,66, 0,38) değerine sahiptir. Bulgur örneklerinin çiğnenebilirlik değerlerine bakıldığında, beklediği üzere en düşük çiğnenebilirlik değeri HaB (130,33) örneğinde, en yüksek çiğnenebilirlik değeri SB-C (265,36) bulgur örneğinde görülmektedir.

**Tablo 4.4.1: Bulgur örneklerinin tekstür özellikleri tablosu**

Örnekler	Sertlik (g)	Yapışkanlık (g.s)	Elastikiyet	Koheziflik	Çiğnenebilirlik	Esneklik
<b>SB-C</b>	588,22±7,40 <sup>a</sup>	-6,49±0,25 <sup>b</sup>	0,78±0,01 <sup>c</sup>	0,45±0,03 <sup>c</sup>	265,36±4,10 <sup>a</sup>	0,25±0,04 <sup>b</sup>
<b>HaB-C</b>	517,74±5,83 <sup>b</sup>	-6,65±0,36 <sup>b</sup>	0,66±0,03 <sup>d</sup>	0,46±0,02 <sup>c</sup>	233,41±2,43 <sup>b</sup>	0,27±0,01 <sup>b</sup>
<b>SB</b>	447,54±5,08 <sup>c</sup>	-3,22±0,16 <sup>a</sup>	0,86±0,01 <sup>b</sup>	0,66±0,01 <sup>a</sup>	163,02±3,29 <sup>c</sup>	0,38±0,01 <sup>a</sup>
<b>HaB</b>	293,61±3,56 <sup>d</sup>	-3,00±0,10 <sup>a</sup>	0,96±0,03 <sup>a</sup>	0,59±0,02 <sup>b</sup>	130,33±3,07 <sup>d</sup>	0,36±0,01 <sup>a</sup>

SB-C: Svevo bulgur-kontrol, HaB-C: yüksek amiloz bulgur-kontrol, SB: Svevo bulgur, HaB: yüksek amiloz bulgur. Her sütunda farklı harflerle gösterilen ortalama değerler (a-d) önemli ölçüde farklıdır (p<0,05).

#### 4.5. Bulgur Örneklerinin Fenolik Madde İçerikleri

Bulgur örneklerinin serbest, bağlı ve toplam fenolik içerikleri Tablo 4.5.1’de gösterilmiştir. Serbest, bağlı ve toplam fenolik içerikleri, SB örneğinde sırası ile 287,95, 325,99, 613,94 mgGAE/100 g km; SB-C örneğinde 264,22, 285,42, 549,64 mgGAE/100 g km; HaB örneğinde 295,50, 391,38, 686,88 mgGAE/100 g km ve HaB-C örneğinde 280,03, 302,81, 582,85 mgGAE/100 g km olarak bulunmuştur. Enzim uygulaması ve ısıtma-soğutma döngüleri ile elde edilen HaB ve SB örneklerinin serbest, bağlı ve toplam formlarındaki fenolik madde miktarları, kontrol gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farkla artmıştır (p<0,05). Serbest, bağlı ve toplam formlardaki fenolik madde içeriği en yüksek HaB örneğinde elde edilirken, en düşük fenolik madde içeriği SB-C örneğinde elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan bulgur örneklerindeki fenolik madde miktarındaki farklılıklar, örneğin hammadde özelliklerine ve bulgur üretim sürecindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Tablo 4.5.1: Bulgur örneklerinin serbest ve bağlı fenolik madde içerikleri**

Örnekler	Fenolik İçerik (mg GAE/100 g ka)		
	Serbest	Bağlı	Toplam
<b>SB-C</b>	264,22±1,74 <sup>d</sup>	285,42±0,81 <sup>d</sup>	549,64±1,42 <sup>d</sup>
<b>HaB-C</b>	280,03±0,71 <sup>c</sup>	302,81±1,27 <sup>c</sup>	582,85±0,59 <sup>c</sup>
<b>SB</b>	287,95±1,74 <sup>b</sup>	325,99±2,03 <sup>b</sup>	613,94±0,29 <sup>b</sup>
<b>HaB</b>	295,50±1,44 <sup>a</sup>	391,38±2,12 <sup>a</sup>	686,88±3,20 <sup>a</sup>

SB-C: Svevo bulgur-kontrol, HaB-C: yüksek amiloz bulgur-kontrol, SB: Svevo bulgur, HaB: yüksek amiloz bulgur. Her sütunda farklı harflerle gösterilen ortalama değerler (a-d) önemli ölçüde farklıdır (p<0,05).

#### 4.6. Bulgur Örneklerinin Antioksidan Kapasitesi

Bulgur örneklerinden elde edilen serbest, bağlı ve toplam fraksiyonların DPPH, ABTS ve FRAP kapasiteleri Tablo 4.6.1’de verilmiştir. HaB örneğinin serbest fraksiyonlarında DPPH, ABTS ve FRAP değerleri sırasıyla 49,95, 130,74, 28,44 mg TE/100 g km ve bağlı fraksiyonlarında 152,83, 190,17 ve 70,19 mg TE/100 g km, HaB-C örneğinin serbest fraksiyonlarında DPPH, ABTS ve FRAP değerleri sırasıyla 38,87, 122,12, 23,91 mg TE/100 g km ve bağlı fraksiyonlarında 85,17, 132,96 ve 55,19 mg TE/100 g km olarak elde edilmiştir. SB örneğinin serbest fraksiyonlarında DPPH, ABTS ve FRAP değerleri sırasıyla 36,47, 125,16, 26,63 mg TE/100 g km ve bağlı fraksiyonlarında 148,22, 184,50, 69,68 mg TE/100 g km olarak, SB-C örneklerinin serbest fraksiyonlarında DPPH, ABTS ve FRAP değerleri sırasıyla, 27,19, 117,86, 18,92 mg TE/100 g km ve bağlı fraksiyonlarında 79,45, 124,55 ve 53,53 mg TE/100 g km olarak edilmiştir. Pullulanaz enzim muamelesi ve ısıtma-soğutma döngüleri ile üretilen SB ve HaB örneklerinin, ABTS ve FRAP testlerinin tüm serbest, bağlı ve toplam formlarında ve DPPH testinin bağlı ve toplam formunda antioksidan kapasite miktarları, kontrol gruplarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir farkla artmıştır (p<0.05). Tüm DPPH, ABTS ve FRAP testlerin serbest ve bağlı fraksiyonlarında, en yüksek antioksidan seviye HaB örneğinde elde edilirken, tüm DPPH, ABTS ve FRAP testlerin serbest ve bağlı fraksiyonlarında, en düşük antioksidan seviye SB-C örneğinde elde edilmiştir.

**Tablo 4.6.1: Bulgur örneklerinin antioksidan değerleri**

Örnekler	ABTS (mg TE/100 g km)		
	Serbest	Bağlı	Toplam
SB-C	117,86±0,46 <sup>d</sup>	124,55±0,47 <sup>d</sup>	242,41±0,42 <sup>d</sup>
HaB-C	122,12±0,48 <sup>c</sup>	132,96±0,48 <sup>c</sup>	255,08±0,84 <sup>c</sup>
SB	125,16±0,47 <sup>b</sup>	184,50±3,05 <sup>b</sup>	309,67±2,94 <sup>b</sup>
HaB	130,74±0,32 <sup>a</sup>	190,17±0,98 <sup>a</sup>	320,91±1,29 <sup>a</sup>

Örnekler	DPPH (mg TE/100 g km)		
	Serbest	Bağlı	Toplam
SB-C	27,19±1,04 <sup>c</sup>	79,45±1,04 <sup>d</sup>	106,64±1,04 <sup>d</sup>
HaB-C	38,87±0,70 <sup>b</sup>	85,17±0,70 <sup>c</sup>	124,03±1,22 <sup>c</sup>
SB	36,47±0,39 <sup>b</sup>	148,22±0,68 <sup>b</sup>	184,69±1,04 <sup>b</sup>
HaB	49,95±1,42 <sup>a</sup>	152,83±0,71 <sup>a</sup>	202,78±1,23 <sup>a</sup>

Örnekler	FRAP (mg TE/100 g km)		
	Serbest	Bağlı	Toplam
SB-C	18,92±0,58 <sup>d</sup>	53,53±0,45 <sup>c</sup>	18,92±0,58 <sup>d</sup>
HaB-C	23,91±0,57 <sup>c</sup>	55,19±0,81 <sup>b</sup>	23,91±0,57 <sup>c</sup>
SB	26,63±0,67 <sup>b</sup>	69,68±0,33 <sup>a</sup>	26,63±0,67 <sup>b</sup>
HaB	28,44±0,68 <sup>a</sup>	70,19±0,46 <sup>a</sup>	28,44±0,68 <sup>a</sup>

ABTS: 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiyazolin6- sülfonik asit), DPPH: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil radikal süpürme aktivitesi, FRAP: Demir (III) İndirgeyici Antioksidan Güç. SB-C: Svevo bulgur-kontrol, HaB-C: yüksek amiloz bulgur-kontrol, SB: Svevo bulgur, HaB: yüksek amiloz bulgur. Her sütunda farklı harflerle gösterilen ortalama değerler (a-d) önemli ölçüde farklıdır (p<0,05).

#### 4.7. Bulgur Örneklerinde Enzime Dirençli Nişasta Miktarları

Bulgur örneklerinin dirençli nişasta değerleri Tablo 4.7.1'de verilmiştir. Örneklerin dirençli nişasta içerikleri %2,35-%9,47 aralığında değişmektedir. SB-C, HaB-C, SB ve HaB örneklerinin dirençli nişasta miktarları sırasıyla %2,35, %3,24, %9,27, %9,47 olarak tespit edilmiştir. Amiloz içeriği yüksek HaB-C örneğinin dirençli nişasta miktarı, SB-C örneğine kıyasla önemli derecede (p<0,05) daha yüksek bulunmuştur.

Enzim uygulaması ve ısıtma-soğutma döngüleri ile elde edilen HaB ve SB örnekleri ve kontrol bulgur örneklerinin dirençli nişasta değerleri arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ( $p<0,05$ ). Beklendiği üzere en yüksek dirençli nişasta miktarı, HaB örneğinde (%9,47) elde edilmiştir.

**Tablo 4.7.1: Bulgur örneklerinin enzime dirençli nişasta içerikleri**

Örnekler	EDN (%)
SB-C	2,35±0,04 <sup>d</sup>
HaB-C	3,24±0,02 <sup>c</sup>
SB	9,27±0,03 <sup>b</sup>
HaB	9,47±0,02 <sup>a</sup>

SB-C: Svevo bulgur-kontrol, HaB-C: yüksek amiloz bulgur-kontrol, SB: Svevo bulgur, HaB: yüksek amiloz bulgur, EDN: enzime dirençli nişasta. Her sütunda farklı harflerle gösterilen ortalama değerler (a-d) önemli ölçüde farklıdır ( $p<0,05$ ).

#### 4.8. Bulgur Örneklerinin Hidroliz İndeks ve Glisemik İndeks İçeriği

Bulgur örneklerinin hidroliz indeksi (Hİ) ve *in vitro* glisemik indeks (Gİ) değerleri Tablo 4.8.1’de verilmiştir. Çalışma sonucunda HaB ve SB örnekleri ile HaB-C ve SB-C örneklerinin glisemik indeks değerleri arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür ( $p<0,05$ ). Bulgur örneklerinin Hİ değerleri 22,58 ile 59,91 arasında değişirken, Gİ değerleri 52,11 ile 72,60 arasında değişmektedir. Dirençli nişasta içeriği arttırılmış HaB ve kontrol grubunun Gİ değeri sırasıyla 52,11 ve 70,29 iken, dirençli nişasta içeriği arttırılmış SB ve kontrol grubunun Gİ değeri sırasıyla 62,30 ve 72,60 olarak tespit edilmiştir. Enzim uygulaması ve ısıtma-soğutma döngüleri ile dirençli nişasta içeriği arttırılmış bulgur örnekleri, kontrol gruplarına kıyasla daha düşük Hİ ve *in vitro* Gİ değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

**Tablo 4.8.1: Bulgur örneklerinin hidroliz ve *in vitro* glisemik indeks değerleri**

Örnekler	Hİ	Gİ
SB-C	59,91±0,50 <sup>a</sup>	72,60±0,28 <sup>a</sup>
HaB-C	55,71±0,19 <sup>b</sup>	70,29±0,10 <sup>b</sup>
SB	41,16±0,56 <sup>c</sup>	62,30±0,31 <sup>c</sup>
HaB	22,58±1,13 <sup>d</sup>	52,11±0,62 <sup>d</sup>

SB-C: Svevo bulgur-kontrol, HaB-C: yüksek amiloz bulgur-kontrol, SB: Svevo bulgur, HaB: yüksek amiloz bulgur, Hİ: hidroliz indeksi, Gİ: glisemik indeks. Her sütunda farklı harflerle gösterilen ortalama değerler (a-d) önemli ölçüde farklıdır (p<0,05).

## 5. TARTIŞMA

Buğday çeşidi, iklim, lokasyon, toprak özellikleri ve mevsim, buğday tanesinin fiziksel özelliklerini etkileyen başlıca parametrelerdir (Hidalgo ve ark., 2009). Buğdayda bin tane ağırlığı ve hektolitre ağırlığı ile, un, irmik ve bulgur verimi arasında yüksek korelasyon olup iri ve homojen taneli buğdaylarda genellikle verim yüksek çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda Svevo buğdayının hektolitre ağırlığı; Yıldırım ve Atasoy (2020) 83,08 kg/hl, Ünsal-Canay (2018), 79,90 kg/hl, Melik (2014) 85,00 kg/hl ve Pasqualone ve ark. (2023) 81,6 kg/hl olarak bulunmuştur. Çalışmamızda Svevo buğdayın hektolitre ağırlığı (81, 00 kg/hl), Ünsal-Canay'ın (2018) çalışmasındaki Svevo buğdaydan yüksek; Yıldırım ve Atasoy (2020), Melik (2014) ve Pasqualone ve arkadaşlarının (2023) çalışmasındaki Svevo buğdaydan düşük bulunmuştur. Çalışmamız sonucunda HaW ve SW örneklerinden elde ettiğimiz hektolitre ağırlıkları, literatürde yer alan Svevo buğdayların hektolitre ağırlıklarına yakın olduğu görülmektedir. Hektolitre ağırlığı yetiştirme sezonundan, yetiştirme yerinden yağış rejiminden ve agronomik uygulamadan etkilendiğinden araştırma sonuçları arasında farklılıklar görülmesi normaldir.

Türkiye'de genel olarak durum buğday çeşitlerinin bin tane ağırlıkları 25-55 g arasında değiştiği belirtilmektedir (Köksel ve ark., 2000). Akan ve ark. (2021), kuru koşullarda durum buğdayı çeşitlerinin verim ve kalitesini incelediği çalışmada, Svevo buğdayın bin tane ağırlığını 31,11 g olarak belirtmiştir. Yıldırım ve Atasoy (2020) yaptıkları çalışmada Svevo buğdayının bin tane ağırlığını 49,5 g, D'Isita ve ark. (2024) 45,3 g, Ünsal-Canay (2018) 38,12 g ve Melik (2014) 42,16 g olarak bulunmuştur. Mevcut çalışmamızda HaW ve SW örneklerinin bin tane ağırlıkları (34,35 g ve 46,85 g) literatüre kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Araştırmalar arasında farklı sonuçların bulunması, ekolojik şartların ve agronomik uygulamaların farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Buğdayın, farklı ürünlere uygunluk derecesinin belirlenmesi, tavlama ve öğütme gibi işleme koşullarının kararlaştırılmasında tane sertliği, fiziksel özelliklerden en önemlisidir. Tane sertliği temel olarak, buğdaydaki nişasta-gluten arasındaki bağların veya etkileşimlerin bir sonucudur (Yüksel ve ark., 2011).

Hrušková ve Švec (2009) buğday sertliğinin diğer kalite özellikleri ile ilişkisini incelediği çalışmada, Orta Bohemya ve Güney Moravya bölgelerinde ekimi gerçekleşen 281 çeşit buğday örneğinin tane sertlik değerlerini %36-60 aralığında tespit etmişlerdir. Hrušková ve Švec'e (2009) göre SKCS tane sertliği sınıflandırmasında; % HI: >84 (ekstra sert), 73-84 (çok sert), 61-72 (sert), 49-60 (orta sert), 37-48 (orta yumuşak), 25-36 (yumuşak), 13-24 (çok yumuşak) ve <12 (ekstra yumuşak) olarak sınıflandırılmıştır. Hardness index (HI) olarak Svevo buğday çeşidinin sertlik değerini Yıldırım ve Atasoy (2020) %58,50, Ünsal-Canay (2018) %86,16 ve Pasqualone ve ark. (2023) %92,9 olarak bulmuştur. Quayson ve ark. (2016), *Triticum turgidum ssp. durum* ve *Triticum aestivum*'da Puroindolin (PIN) proteinlerinin ampirik reoloji ve yapışma özellikleri üzerindeki etkisini araştırdıkları bir çalışmada Svevo buğday çeşidinin sertlik değerini %73 olarak tespit etmişlerdir. Çalışmamızda Svevo buğday çeşidinin (SW) sertlik değeri (%88), Quayson ve arkadaşlarının (2016) yaptığı çalışmadan düşük, diğer çalışmalardan yüksek; çalışmamızdaki yüksek amilozlu buğday genotipinin (HaW) sertlik değeri (%77) ise Yıldırım ve Atasoy (2020) ve Quayson ve ark. (2016) çalışmalarından yüksek diğer çalışmalardan düşük bulunmuştur. Çalışmada kullanılan buğday genotiplerinden SW genotipi sert buğday sınıfında, HaW genotipi ekstra sert buğday sınıfında yer almıştır. Tane sertliği, buğday çeşidinin karakteristik özelliğini belirleyen genetik faktörlerinden olup, yetiştirme sezonu, iklim özellikleri, yağış rejimi, toprak yapısı ve agronomik uygulamalardan etkilenmektedir.

Protein miktarı, buğdayın kalitesini değerlendirmede ve buğday ticaretinde önemli bir parametredir ve protein miktarı, genetik yapıdan, çevre koşullarından, yetiştirilme sezonu ve buğday genotip farklılığından etkilenmektedir. Yapılan çalışmalarda Svevo buğdayının protein miktarı; Yıldırım ve Atasoy (2020) %15,1, Ünsal-Canay (2018), %14,85, Batu (2021) %13,76 ve Quayson ve ark. (2016) %15,9 olarak bulmuştur. Çalışmamız sonucunda HaW (%13,07) ve SW (%12,71) örneklerinden elde ettiğimiz protein miktarları, yukarıda belirtilen çalışmalarda yer alan Svevo buğdayların protein miktarlarına yakın olduğu görülmektedir.

Kül; hububat ve ürünlerinin yakılması sonucunda oluşan mineral maddelerin oluşturduğu kalıntıdır ve buğdayın kül miktarı, toprağın özelliklerine, mevsime, buğday çeşidine ve gübreleme durumuna göre farklılık göstermektedir (Köksel ve ark., 2000).

Buğday tanesinde mineral maddeler genellikle kepeğe yakın kısımda bulunduğundan, mineral maddenin büyük bir kısmı öğütme ile kepeklerle birlikte ayrılmaktadır. Kül içeriği endospermin kepekten etkili bir şekilde ayrılıp ayrılmaması ile ilgili olarak değişmektedir. Aynı zamanda kül miktarı, tanedeki kepek miktarı, hektolitre ağırlığı ve tane boyutu hakkında da bilgi verir (Emeksizoglu, 2016). Ünsal-Canay (2018), yaptığı çalışmada Svevo buğdayının kül miktarını %1,59 olarak bulmuştur. Yılmaz (2012) Siyez buğdayı ile durum buğdayından üretilen bulgur örneklerinin kalite özelliklerini değerlendirdiği çalışmasında, bulgur üretimi öncesi Siyez ve durum buğday örneklerinin kül miktarlarını %2,22 ve %1,81 olarak tespit etmiştir. İki çalışma karşılaştırıldığında, mevcut çalışma ile elde edilen HaW ve SW örneklerinin kül miktarları (%1,81 ve %1,74), Yılmaz (2012)'nin durum buğday örneğinin kül miktarı ile benzerlik göstermektedir. Bu tez çalışmasında elde ettiğimiz değerlerin, literatürdeki bazı çalışmalarla uyumlu iken bazı çalışmalarla uyumlu çıkmamasının nedeninde, yetiştirme sezonu, yetiştirme yeri, iklim özellikleri ve agronomik uygulamalardaki farklılıkların etkili olduğu düşünülmektedir.

SDS sedimentasyon değeri, protein kalitesinin ve miktarının değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametre olup, genetik yapıdan, çevre koşullarından, yetiştirme sezonu ve buğday çeşit farklılığından etkilenmektedir. Akan ve arkadaşları (2021) durum buğday çeşitlerinin verim ve kalitesini etkileyen parametreleri incelemiştir. Çalışmada 4 yerel ve 4 ticari durum buğday çeşidi kullanılmış ve tüm durum buğdayı çeşitlerinin SDS değeri ortalama 21,94 mL, Svevo buğdayının SDS değeri ise 23,50 mL olarak tespit edilmiştir. Ünsal-Canay (2018), yaptığı çalışmada Svevo buğdayının SDS sedimentasyon miktarını 21 ml olarak bulmuştur. Literatür çalışmaları kendi çalışmamız ile kıyaslandığında, HaW ve SW örneklerimizin SDS sedimentasyon değerleri (34,00 ve 29,00), diğer çalışmalara kıyasla daha yüksektir. Mevcut çalışma sonunda elde edilen bu değerler, iki buğday türü arasındaki gluten kalitesi farklılıklarını göstermektedir. Tipik olarak, daha yüksek SDS sedimentasyon değerleri, makarna ve ekmek gibi buğday bazlı ürünler için arzu edilen özellikler olan daha güçlü gluten ağları ve daha iyi protein kalitesi ile ilişkilidir. SW'ye kıyasla HaW'deki daha yüksek değer, Tablo 4.1.1'de bildirildiği gibi daha yüksek protein içeriğine bağlanabilir.

SDS sedimentasyon değeri aynı zamanda, buğday çeşidinin karakteristik özelliğini belirleyen genetik faktörlerinden olup, yetiştirme sezonu, iklim özellikleri, yağış rejimi, toprak yapısı ve agronomik uygulamalardan etkilenmektedir.

Bulgurda sarı renk, tüketicilerin tercihlerini etkileyen önemli bir faktördür (Balci ve Bayram, 2017). Yüksek sarı pigmentasyona sahip Svevo durum buğdayı Güneydoğu Anadolu'da önemli bir çeşittir ve bulgur üretiminde kullanılmaktadır (Ertaş, 2017). Batu (2021) buğday örneklerinin bulgur üretimine uygunluk potansiyellerini araştırdığı çalışmada, Svevo, buğdayının  $b^*$  (sarılık) değerini 29,85; Melik (2014) yaptığı bir çalışmada Svevo bulgurun  $b^*$  (sarılık) değerini 19,76 olarak tespit etmiştir. Literatürdeki bu değerler mevcut çalışma ile karşılaştırıldığında, Batu (2021)'in çalışmasındaki Svevo buğdayın  $b^*$  değerinin HaW ve SW örneklerinden yüksek, Melik (2014)'ün çalışmasındaki Svevo buğdayının  $b^*$  değerinin HaW ve SW örneklerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Buğdayda  $b^*$  değeri, buğday çeşidinin karakteristik özelliğini belirleyen genetik faktörlerinden olup, yetiştirme sezonu, iklim özellikleri, yağış rejimi, toprak yapısı ve agronomik uygulamalardan etkilenmektedir.

Bulgur üretiminde renk önemli bir parametredir ve bulgurun üretildiği buğdayın rengi, yetiştirme sezonu ve agronomik uygulamalardan etkilenir. Üretimde kullanılan durum buğday çeşidi ve uygulanan yöntemler de (pişirme, kurutma ve öğütme), bulgurun rengini önemli ölçüde etkilemektedir (Dueck, 2019). Evlice (2016), çalışmasında kullandığı farklı pişirme yöntemlerinin (buharda pişirme, otoklav), 7 çeşit durum buğdayından elde ettiği bulgur örneklerindeki renk değerleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) üzerindeki etkisini incelemiştir. Otoklavda pişirme yöntemi ile bulgur örneklerinin  $a^*$  (kırmızılık) değeri, buharda pişirici ile  $L^*$  ve  $b^*$  değerleri yükselmiştir ( $p<0,05$ ) ve bulgur örneklerinde en düşük  $L^*$  ve  $b^*$  değeri, otoklavda pişirme yönteminde elde edilmiştir. Özboy (1998) bulgur üretim aşamasında, yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem uygulamasının, bulgurun renginde matlığa, kararmalara ve olumsuzluklara, sebep olduğu, bunun da bulgurdaki yüksek düzeydeki indirgen şeker ve aminoasit ile ısıl işlem gerçekleşmesi sonucu oluşan Maillard reaksiyonunun etkisi olduğu belirtmiştir. Benzer şekilde Savaş (2010) tarafından da farklı pişirme yöntemlerinin (haşlama, otoklav), bulgurdaki  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonunda, otoklavda pişirilen bulgur örneklerinin  $L^*$  değeri, haşlama yöntemi ile pişirilen bulgur örneklerinin  $L^*$  değerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yüksek

sıcaklık ve basınç özellikli otoklav uygulamasının, bulgur renginde koyulaşmaya (düşük  $L^*$  değeri) neden olabileceğine bağlanmıştır (Yılmaz, 2012). Savaş ve Basman (2016), iki ekmeçlik ve iki makarnalık buğday kullanarak yaptıkları bulgur üretim çalışmasında; İkizce çeşidi hariç diğer çeşitlerde benzer renk değerleri elde etmişlerdir. Otoklavda pişirme ile tüm çeşitlerde az da olsa düşük  $L^*$  değerleri elde ettiklerini, bu durumun da otoklavda pişirmede uygulanan yüksek sıcaklık ve basınçtan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Literatürdeki bu değerler, mevcut çalışmamızın sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilen HaB ve SB örneklerinin  $L^*$  ve  $b^*$  değerleri, kontrol bulgur örneklerine göre daha düşükken;  $a^*$  değerleri kontrol bulgur örneklerine kıyasla daha yüksektir. Bu durumun sebebinin, otoklavda pişirme yöntemi ve ısıtma-soğutma döngülerinin bulgurda renk koyulaşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda buğdaylar arasındaki genotip farkı, SB'ye kıyasla HaB'de önemli ölçüde daha düşük olan  $b^*$  parametresi dışında, hem kontrol bulgur örneklerinde hem de enzim hidrolizi ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile üretilen bulgur örneklerinde rengi etkilememektedir.

Kısa pişirme süresi ve yüksek su emme kapasitesi bulgurun istenen pişirme özellikleridir ancak pişirme süresi bulgurun boyutuna ve bileşimine bağlı olarak da değişmektedir (Yılmaz ve Koca, 2020; Tekin-Çakmak ve ark., 2024). Yılmaz ve Koca (2020), durum bulguru ve Siyez bulguru ile yaptığı çalışmada, durum bulgurunun pişirme süresini (14,22 dk) Siyez bulguru örneklerine (6,44 dk) kıyasla iki kat daha fazla bulmuştur. Dündar (2014) gerçekleştirdiği bir çalışmada, %15 DN ilave edilen eriştenin en kısa pişme süresine (7 dk) sahipken, kontrol grubunun en uzun pişme süresine (13 dk) sahip olduğunu belirtmiştir. EDN ilave edilmesinin, daha hızlı bir şekilde ısı/nem penetrasyonu sebebiyle gıdanın jelatinizasyon hızını arttırmasından dolayı, pişme süresinin, kontrol bulgura kıyasla kısalmasına sebep olduğu düşünülmektedir (Dündar, 2014). Normal düzeyde amiloz içeriğine sahip nişastalar ortalama 50-60°C'de jelatinize olurken, yüksek amiloz oranına sahip nişastalarda jelatinizasyonun oluşması için sıcaklığın 100°C'nin üzerinde olması gerekir. Bundan dolayı, jelatinizasyon normal pişirme koşullarında yeteri kadar oluşmamakta fakat otoklav gibi yüksek sıcaklık ve basınç işlemi ve ısıtma-soğutma döngüleri ile jelatinizasyonun tamamlandığı düşünülmektedir.

Hendek-Ertop (2019) yaptığı bir çalışmada endüstriyel ve ev yapımı Siyez bulgur örneklerinin ağırlık artış değerlerini sırasıyla %149 ve %151; durum bulguru örneğinin ağırlık artış değerini %180 olduğunu belirtmiştir. Çalışmada Siyez bulgur örneklerinin, durum bulgur örneklerine kıyasla daha düşük ağırlık artış değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların kullanılan materyalin tane özelliklerinden ve partikül boyutundan kaynaklandığı belirtilmiştir. Savaş ve Basman (2016), farklı buğday çeşitleri ve farklı pişirme ve kurutma yöntemleri ile üretilen bulgur örneklerinin ağırlık artışını yaklaşık %190-290 aralığında olduğunu bildirmiştir. Bu bulgular, muhtemelen farklı teknolojik özelliklere sahip farklı buğday çeşitlerinin etkisi ve farklı üretim yöntemlerinden kaynaklanmaktadır. Yılmaz ve Koca (2020), Siyez ve durum bulgur örneklerinin ağırlık artış değerlerini sırasıyla %90,33-132,67 ve %197,93-237,33 arasında olduğunu belirtmiştir. Mevcut çalışmamızdaki tüm bulgur örneklerinin ağırlık artışı değerleri, Yılmaz ve Koca (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Siyez bulgur örneklerinin ağırlık artışı değerlerinden daha yüksek, durum bulgur örneklerinin ağırlık artışı değerlerinden daha düşük bulunmuştur.

Bulgur örneklerinin ağırlık artış değerleri, farklı muameleler ve genotipler arasında önemli ölçüde değişmiştir. SB örneği (%195,70) en yüksek ağırlık artışını göstermiş ve kontrol örneğinden (SB-C, %164,25) önemli ölçüde daha fazla olmuştur; bu da enzimatik işlem ve otoklavlama-soğutma döngülerinin su emme kapasitesini arttırdığını göstermektedir. Bu durum, nişasta ve protein matrislerinde daha yüksek hidrasyonu destekleyen yapısal değişikliklerden kaynaklanıyor olabilir. Öte yandan, HaB örneği (%158,87) en düşük ağırlık artışını sergilemiş ve kontrol örneğinden (HaB-C, %175,71) bile daha düşük bir ağırlık artışı göstermiştir. Kontrol numuneleri (SB-C ve HaB-C) karşılaştırıldığında, HaB-C'nin (%175,71), SB-C'den (%164,25) biraz daha yüksek bir ağırlık artışına sahip olması, işlenmemiş yüksek amilozlu buğday genotipinin (HaW) başlangıçta daha fazla su emebileceğini göstermektedir. Ancak, enzimatik işlem ve otoklavlama-soğutma döngülerinden sonra, HaB (%158,87) SB'den (%195,70) önemli ölçüde daha az su emerek bu eğilim tersine dönmüştür. Bu durum, işleme etkilerinin genotipin nişasta bileşimine bağlı olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Düşük hacim artışı, bulgurların daha az miktarda su absorbe ettiğini gösterir ve bu da bulgurların pişme sonrasında daha sert bir yapıya sahip olmasına neden olur. Bu sebeple bulgur örneklerinde hacim artışının fazla olması istenir. Çalışmamızda beklendiği üzere, enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilmiş bulgur örneklerinin (HaB ve SB) hacim artış oranları, kontrol bulgur örneklerine (HaB-C ve SB-C) göre yüksek bulunmuştur. Sonuçlar, otoklavlama-soğutma döngülerinin hacim artışı üzerinde iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Yılmaz (2012) yaptığı bir çalışmada, Siyez ve Eminbey (durum) buğdayından farklı pişirme (mikrodalga, otoklav, geleneksel) ve kurutma (mikrodalga, etüv) yöntemleri ile elde edilen bulgur örneklerinin hacim artış oranlarını incelemiştir. Siyez buğdayından üretilen bulgur örneklerinin hacim artışı %126, Eminbey buğdayından elde edilen bulgur örneklerinin hacim artışı ise %189 olarak saptanmıştır. Bunun sebebinin durum bulgurunun, Siyez bulguruna kıyasla yaklaşık iki kat daha fazla pişme süresine sahip olmasına ve dolayısıyla bu sürede durum bulgurunun, daha fazla suyu absorbe etmesine dayandırmışlardır. Aynı çalışmada pişirme yöntemlerine göre bulgur örneklerinin hacim artış oranları arasında fark olmamış, yine de mikrodalgada pişirilen bulgur örneklerinin hacim artış oranları, diğer yöntemle pişirilen bulgur örneklerine kıyasla daha düşük bulunmuştur.

Melik (2014) bazı durum buğday çeşitlerinin bulgur kalitesini incelediği çalışmada, Svevo bulgurun SGMM değerini %4,16 bulmuştur. Tağar (2021) bazı makarnalık ve ekmeklik buğday çeşitlerinin bulgura işlenmesi ile ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonunda buğday örneklerinin pişirme sırasında SGMM değerleri %3,40-%5,77 arasında değişim göstermiştir. Buğday çeşitlerinde SGMM değerlerinin farklı olmasının nedeni, buğday türlerinin ve çeşitlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Türk Gıda Kodeksi Bulgur Tebliğine göre, kuru maddede suya geçen madde miktarı pilavlık bulgur ve esmer bulgurda en yüksek %10, çeşnili pilavlık bulgurda ise en yüksek %12 olması gerektiği ifade edilmiştir. Mevcut çalışmamızda kontrol örneklerinin (HaB-C ve SB-C) SGMM değerleri Türk Gıda Kodeksi Bulgur Tebliği'nde (2016/49) belirtilen değerden düşük bulunurken, enzim uygulaması ve ısıtma-soğutma döngüleri ile elde edilen örneklerde (HaB ve SB) belirtilen değerden yüksek bulunmuştur.

Sertlik, numunenin ilk sıkıştırma proba uyguladığı kuvvet olup, bulgurda çok yüksek veya çok düşük sertlik tercih edilmemektedir. Çalışmamızda bulgur örneklerinin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, pullulanaz enzim muamelesi ve otoklavlama-soğutma döngüleri, her iki bulgur örneğinde de ilgili kontrole göre sertlik değerini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir. Yılmaz ve Koca (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, Siyez ve durum buğdayından üç farklı pişirme yöntemi (otoklav, geleneksel ve mikrodalga) ve iki farklı kurutma yöntemi (mikrodalga ve sıcak hava) ile bulgur üretimi gerçekleştirilmiştir. Otoklavda pişirme ve sıcak hava ile kurutma yöntemleri ile üretilen Siyez ve durum buğdaylarından elde edilen bulgur örneklerinin sertlik değerleri sırasıyla, 24612,30 g ve 16802,98 g olarak belirtilmiştir. Otoklavda pişirme ve mikrodalgada kurutma yöntemi ile elde edilen bulgur örneklerinin sertlik değerinin en yüksek olduğu görülmüştür. Sonuçlar, otoklavda pişirme ve mikrodalgada kurutma yöntemlerinin genel olarak örnekler üzerinde sertleştirici bir etkiye sahip olması ve özellikle mikrodalga ile kurutulan örneklerin nem içeriğinin, sıcak hava ile kurutulan örneklerin nem içeriğinden daha düşük olmasının, bulgur örneklerinin sertlik değeri üzerinde bir etkiye sahip olabileceğini düşündürmüştür. Literatürdeki değerler bu çalışmadan daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni birden fazla kez otoklavlama-soğutma döngüsünün tekrarlanması ve analizde kullanılan prob çapının Yılmaz ve Kocanın (2020) çalışmasında kullanılan prob çapından küçük olması bulgur örneklerindeki sertlik değerini azaltabileceği olarak düşünülmektedir.

Mevcut çalışmamızın sonuçları, hem buğday genotipinin hem de işleme uygulamalarının (pullulanaz enzimi uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri) bulgurun sertliğini önemli ölçüde ( $p<0.05$ ) etkilediğini göstermektedir. İşlemden önce HaB-C'nin SB-C'ye kıyasla daha düşük sertliğe sahip olması, yüksek amiloz içeriğinin daha yumuşak bir dokuya yol açtığını göstermektedir. Bu durum nişasta bileşimindeki farklılıklardan kaynaklanıyor olabilir, zira yüksek amiloz nişastasası daha sert ancak daha az kohezif bir yapı oluşturarak sertliğin azalmasına neden olur. İşlemden sonra, genotipler arasındaki fark daha belirgin hale gelmiş ve HaB en düşük sertliği göstererek SB'den önemli ölçüde daha düşük olmuştur. Bu durum, işlemlerin (enzim muamelesi ve otoklavlama-soğutma döngüleri) neden olduğu yapısal değişikliklerin, SW'ye kıyasla HaW üzerinde daha büyük bir yumuşatma etkisi olduğunu göstermektedir.

Yapışkanlık, probu örnekten uzaklaştırmak için uygulanan negatif kuvvet olarak tanımlanmıştır. Ürünlerdeki yüksek yapışkanlık seviyesi, tüketicilerde görsel ve duyuşsal sorun oluşturmaktadır. Mevcut çalışmada, HaB-C ve SB-C örnekleri (-6,65 ve -6,49), enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilen HaB ve SB örneklerine göre (-3,00 ve -3,22) daha yüksek yapışkanlık özelliği göstermiştir. Otoklavlama-soğutma döngüleri yapışkanlık değerleri üzerinde önemli bir iyileştirici etkiye sahipti.

Numunelerin elastikiyet değerleri, doku analizi esnasında ikinci ve birinci sıkıştırma işlemleri arasında geçen zamanın (mesafenin) oranı ile hesaplanmaktadır (Yılmaz ve Koca, 2020). Pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilen bulgur örneklerinin elastikiyet değerleri (0.86-0.96), kontrol gruplarına göre (0.66-0.78) daha yüksek bulunmuştur. Yılmaz (2012) tarafından Siyez ve Eminbey buğday çeşitleri kullanılarak farklı pişirme ve kurutma yöntemleri ile bulgur elde edilmiş ve bulgur kalitesindeki değişimler incelenmiştir. Çalışma sonunda, 5 dakika boyunca 121°C' de otoklavlanan ve 14 saat boyunca 60°C' de etüvde kurutulan Siyez ve Eminbey bulgur örneklerinin elastikiyet değerleri sırasıyla 0,65 ve 0,64 olarak elde edilmiştir. Yılmaz ve Koca (2020) makarnalık bulgur örneklerinde otoklavda pişirme ve sıcak hava ile kurutma yönteminin elastikiyet değerini, mikrodalga pişirme ve sıcak hava ile kurutma yöntemine göre arttırdığı tespit etmişlerdir. Yılmaz ve Koca'nın (2020) çalışmasında olduğu gibi mevcut çalışmamızda da otoklavda pişirmenin elastikiyet değerini arttırdığı görülmüştür.

Koheziflik, bir maddenin kırılmadan önce dişler arasında sıkıştırılma derecesi olarak tanımlanır. Mevcut çalışmada, enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilen HaB ve SB örneklerinin koheziflik değerlerinin (0,59 ve 0,66), kontrol gruplarına göre (0,46 ve 0,45) daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklılığın nedeninin otoklavlama-soğutma döngülerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ertaş (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, otoklavlanmış ve sıcak hava ile kurutulmuş durum bulguru örneklerinin kohezivite değeri 3,75-4,85 aralığında bulunmuştur. Bu değer mevcut çalışmamızın sonucundan daha yüksek bulunmuştur.

Çiğnenebilirlik, katı gıda maddesinin çiğnemek için gereken enerji olarak ifade edilmektedir. Çiğnenebilirlik, elastikiyet, sertlik ve koheziflik değerlerinin çarpılmasıyla elde edilir. Düşük çiğnenebilirlik değeri, gıdanın daha kolay çiğnenebildiğini göstermektedir. Bulgur örneklerinde daha düşük sertlik değerinin, çiğnenebilirliği arttıracak sonucuna varılabilir (Yılmaz, 2012). Mevcut çalışmamızın sonucu, literatürdeki bu bilgiyi desteklemektedir. Enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilen HaB ve SB örnekleri, kontrol gruplarına göre daha düşük sertlik değerine ve bununla paralel daha düşük çiğnenebilirlik değerine sahiptir.

Yılmaz ve Koca (2020), otoklavda pişirme ve mikrodalgada kurutma yöntemlerinin, diğer pişirme ve kurutma yöntemlerine kıyasla makarnalık bulgur örneklerinde çiğnenebilirliği olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Öte yandan, mevcut çalışmada, otoklavlama-soğutma döngüleri, bu yöntemle üretilen bulgur örneklerinin çiğnenebilirlik değerlerini iyileştirmiştir. Bu farklılığın sebebinin birden fazla otoklavlama-soğutma döngüsünün uygulanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Esneklik, gıda maddelerine karşı uygulanan etkinin ortadan kaldırılmasından sonra gıda maddesinin orijinal halini alması olarak ifade edilmektedir. Tekin-Çakmak ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan bir çalışmada, Chifaa ve Yalın arpalarından ve Kızıltan buğdayından elde edilen bulgur örneklerinin esneklik değerleri sırası ile 0,21, 0,23 ve 0,25 olarak tespit edilmiş ve mevcut çalışmanın sonuçlarından düşük bulunmuştur. Yüksek Tip3 dirençli nişasta değerlerine sahip bulgur elde etmek için uygulanan otoklavlama-soğutma döngüleri, bulgur örneklerinin esneklik değerlerini arttırmıştır.

Bir gıda bileşeni olan fenolik bileşikler, antioksidatif ve antimikrobiyal özellikleri ile başta insan sağlığına fayda sağlamaları, gıdalarda tat, koku ve renk oluşumuna ve değişimine etki etmeleri ile önem taşımaktadır (Acar ve Gökmen, 2016). Bitkisel materyallerdeki fenolik bileşikler serbest ve bağlı formda bulunur. Genellikle serbest fenolik bileşikler sulu organik çözücüler ile ekstrakte edilirler. Hücre duvarı polisakkaritlerine kovalent bağlı olan bağlı fenolik bileşikler, alkali hidroliz ile tamamen olmasa da serbest bırakılabilir. Bitki materyallerine yönelik yapılan özel işlemler (ıslatma, ısıtma, darbeli elektrik alanları, mikro akışkanlaştırma, ekstrüzyonla pişirme vb.) hücre duvarı matrisini gevşeterek ya da parçalayarak bağlı fenolik bileşiklerin ekstrakte edilebilirliğini arttırabilir (Wang ve ark., 2013; Lohani ve

Muthukumarappan, 2016; Wu ve ark., 2021). Pekirrişçi ve arkadaşları (2022) yaptıkları bir çalışmada, Siyez bulguru örneklerinin ortalama serbest, bağı ve toplam fenolik madde içeriklerini sırasıyla 200,00, 332,60 ve 532,71 mg GAE/100 g; firik bulguru örneklerinin ortalama serbest, bağı ve toplam fenolik madde içeriklerini ise sırasıyla 306,81, 436,45 ve 743,27 mg GAE/100 g olarak elde etmişlerdir.

Mevcut çalışma ile kıyaslandığında literatürdeki siyez bulgurunun fenolik madde içerikleri, çalışmamızdaki HaB ve SB örneklerinin fenolik madde içeriklerinden düşük; firik bulgurunun ise yüksek olduğu görülmektedir. Fenolik madde miktarındaki bu farklılıklar, örneğin hammadde özelliklerine ve bulgur üretim sürecindeki farklılıklara bağlanabilir.

Zhao ve arkadaşları (2022) ıslatma, ısıtma ve yüksek hidrostatik basınç işlemlerinin yağı alınmış pirinç kepeğinin flavanoid içeriği üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada serbest fenolik içerikleri 393-462 mg GAE/100 g DW arasında değişirken, bağı fenolik içerikleri 362-407 mg GAE/100 g DW arasında değişmiştir. Birlikte uygulandığında, ıslatma, ısıtma ve yüksek hidrostatik basınç işlemi pirinç kepeğinin genel yapısını aşamalı olarak bozmuş, böylece serbest veya bağı flavonoidlerin kısmen bozulmasına yol açmış ve bunların bir kısmı fenolik asitlere dönüşmüştür. Literatürdeki bu çalışma, mevcut çalışmamızdan farklı olarak serbest fenolik içerikleri, bağı fenolik içeriklerden daha yüksek bulunmuştur. Bu durumu Yeo ve Shahidi (2017), özel pişirme işlemlerinin bağı fenoliklerin ekstrakte edilebilirliğini artırabileceği gibi bazı bağı fenoliklerin serbest fenoliklere dönüşümünü teşvik edebileceğini bazen de bazı serbest fenoliklerin bozulmasına yol açabileceği olarak belirtmiştir. Mevcut çalışmamızda, aynı üretim süreçlerinden geçerek elde edilen HaB ve SB örneklerinin toplam fenolik madde miktarı (686,88 mg GAE/100 g ka ve 613,94 mg GAE/100 g ka) arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Yılmaz (2012), literatür çalışmalarında kullanılan buğday çeşidinin, bulgurların fenolik madde miktarını etkilediğini bildirmiştir. Çalışmamızda HaB ve SB örneklerinin üretiminde kullanılan buğday çeşitlerinin farklı olmasının, bulgurların fenolik madde miktarını etkilediği düşünülmektedir. Çalışmada kullanılan HaB ve SB örneklerindeki bağı fenoliklerin miktarı, serbest fenoliklerin miktarından daha yüksek bulunmuştur.

Özkaya ve arkadaşları (2018) buğday tanesindeki fenoliklerin, düşük molekül ağırlıklı fenolik bileşiklerin, hücre duvarı polisakkaritlerine kovalent bağlanması sebebiyle esas olarak bağlı formda olduğunu belirtmiştir. Bu sebeple HaB ve SB bulgur örneklerinin bağlı fenolik içerikleri yüksek bulunmuş olabilir. Bu durum muhtemelen otoklavlama-soğutma döngülerinden sonra fenolik bileşiklerin ekstrakte edilebilirliğinin artmasından kaynaklanmaktadır.

Antioksidan miktar analizinde kullanılacak testlerin her birinin, antioksidan etki göstermesi farklı bir mekanizma ile olur (Karadağ ve ark., 2009). Bundan dolayı örneklerin antioksidan aktivitelerini değerlendirmek için en az iki analiz testin gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir (Kamiloğlu ve ark., 2015). Bu çalışmada antioksidan kapasite belirleme testleri uygulanarak örneklerin DPPH, ABTS ve FRAP değerleri belirlenmiştir.

Tekin-Çakmak ve ark. (2024) yaptığı çalışmada, Chifaa ve Yalın arpalarından ve Kızıltan durum buğdayından üretilen bulgur örneklerinin toplam DPPH ve ABTS değerleri sırasıyla 560.15, 637.80 ve 123.35 mg TE/100 g km ve 472.47, 383.70 ve 311.01 mg TE/100 g km'dir. Kızıltan buğdayından elde edilen bulgur örneklerinin toplam DPPH ve ABTS antioksidan kapasite değerleri, Chifaa ve Yalın arpalarından üretilen bulgur örneklerine göre daha düşük bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Literatürdeki Kızıltan bulgur örneğinin toplam DPPH ve ABTS antioksidan kapasite değerleri, mevcut çalışmamızda HaB ve SB örneklerinin toplam DPPH ve ABTS değerlerinden (202,78, 184,69 mg TE/100 g km ve 320,91, 309,67 mg TE/100 g km) daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum kullanılan buğday çeşitlerinin farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Yılmaz (2012) yaptığı bir çalışmada, Siyez ve Eminbey (durum) buğdayından farklı pişirme (otoklav, geleneksel, mikrodalga) ve kurutma (mikrodalga, etüv) yöntemleri ile elde edilen bulgur örneklerinin, antioksidan aktivitelerindeki değişimleri incelemiştir. Siyez ve Eminbey durum buğdayından elde edilen bulgur örneklerinin DPPH indirgeme kuvvetleri %21,47 ve %19,12, ABTS radikal katyon süpürme aktiviteleri 3,95 ve 4,95  $\mu\text{mol/g TE}$  ve FRAP değerleri 5,55 ve 5,76  $\mu\text{mol/g TE}$  olarak elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan buğday çeşitlerinin, bulgurdaki antioksidan kapasitesi üzerinde etkisi önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ).

Siyez bulgurunun DPPH indirgeme gücü, durum bulguruna kıyasla daha yüksek bulunurken, ABTS ve FRAP metotlarında antioksidan kapasite, durum bulguruna göre daha düşük bulunmuştur. Farklı pişirme yöntemlerinin (geleneksel, mikrodalga, otoklav), bulgur örnekleri üzerindeki antioksidan kapasite etkilerine bakıldığında, ABTS metotunda otoklav pişirme yöntemi en düşük antioksidan kapasiteye sahipken, mikrodalga pişirme yönteminin en yüksek antioksidan kapasiteye sahiptir ( $p < 0,05$ ).

Farklı kurutma yöntemlerinin (mikrodalga, etüv) bulgur örnekleri üzerindeki antioksidan kapasite etkilerine bakıldığında, etüv yöntemi ile kurutulan bulgur örneklerinin ABTS antioksidan kapasite miktarları, mikrodalga yöntemi ile kurutulan bulgur örneklerine göre daha yüksek; DPPH ve FRAP metotlarında, etüv yöntemi ile kurutulan bulgur örneklerinin antioksidan kapasite miktarı, mikrodalga yöntemi ile kurutulan bulgur örneklerinden daha düşük bulunmuştur ( $p < 0,05$ ).

Yapılan çalışmalarda buğdaydaki antioksidan kapasitenin, buğdayın olgunlaşma süresi, çeşidi ve bulgur üretim sürecindeki faktörlere bağlı değişkenlik gösterebileceği belirtilmiştir. Araştırmalarda, bulgur üretim proseslerinde kısa pişirme süresinin, düşük kurutma sıcaklığının olması ile antioksidan kapasitenin daha iyi bir şekilde korunduğu görülmüştür (Yılmaz ve Koca, 2017). Rasheed ve ark. (2023) tarafından, Dilkash-2020, Akbar-2019 ve Anaj-2017 olmak üzere üç farklı buğday çeşidinden farklı pişirme yöntemleri (otoklav ve geleneksel) ile elde edilen bulgurun antioksidan aktivite özellikleri araştırılmıştır. Dilkash-2020 buğday çeşidinden elde edilen bulgur örneklerinin en yüksek FRAP ve ABTS değerleri ( $2,861 \pm 0,01 \mu\text{mol Fe}^{2+} \text{equiv/g-1}$  ve  $0.220 \pm 0.03 \mu\text{mol TEAC/100 g}$ ) otoklav pişirme yöntemiyle hazırlandığında elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları mevcut sonuçlarımızla benzerlik göstermiştir. Çalışmamızda otoklavlama-soğutma döngüleri HaB ve SB örneklerinin antioksidan aktivitelerini arttırmıştır. Sonuçlar, ısıl işlemlerin, özellikle otoklavlamanın buğday ve yulaf kepeği (Călinoiu ve Vodnar, 2019) ve buğday kepeği (Rico vd., 2020) antioksidan aktivitesi üzerinde iyileştirici bir etkisi olduğunu gösteren önceki çalışmalarla uyumludur. Artan antioksidan aktivite, Tip3 dirençli nişasta içeriğini artırmak için uygulanan otoklavlama-soğutma döngülerinden sonra antioksidan bileşiklerin ekstrakte edilebilirliğinin artmasından kaynaklanıyor olabilir.

Çalışmada kullanılan HaB ve SB örnekleri, pullulanaz enzim işleminden sonra üç kez otoklavlama-soğutma döngüsüne tabi tutulmuştur. Otoklavlama-soğutma döngüleri ve bekletme aşaması sırasında nişasta molekülleri bir araya gelir (retrogradasyon) ve hidrojen bağları ile birbirine bağlı sıkı yapılar oluşturur, bu da nişasta sindirim enzimlerinin erişimini azaltır (Öztürk ve ark., 2011).

Çalışmamızda HaB ve SB örneklerinin en yüksek dirençli nişasta içeriklerine sahip olmaları beklenen bir sonuçtur. Mutlu (2015) tarafından yüksek amilozlu mısır nişastasının, enzime dirençli nişasta içeriğini yükseltmek amacıyla pullulanaz enzim uygulamasından sonra farklı kurutma ve mikrodalga-bekletme işlemleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda pullulanaz enzim uygulaması ve mikrodalga-bekletme döngülerinin artması ile dirençli nişasta içeriğinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Öztürk ve ark. (2009) tarafından dirençli nişasta içeriğini arttırmak amacıyla Hylon V (yaklaşık %55 amiloz) ve Hylon VII (yaklaşık %70 amiloz) nişasta örnekleri, pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüsüne tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüsü ile örneklerin dirençli nişasta içerikleri artmış ve Hylon VII'den üretilen örneklerin dirençli nişasta içerikleri, daha düşük amiloz içeriğine sahip Hylon V örneğinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar mevcut çalışmada da elde edilmiştir. Pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilen yüksek amiloz bulgur örneğinin dirençli nişasta miktarı, aynı koşullarda elde edilen Svevo bulgur örneğinden daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni, amiloz içeriği yüksek olan nişastaların sindirime daha çok direnç göstermesi ve retrogradasyona daha eğilimli olmasıdır.

Dirençli nişastanın oluşumu, nişastanın retrogradasyonu ile doğrudan ilgilidir (Kotancılar ve ark., 2009). Dündar (2014) çalışmasında, yüksek amiloz içeriğine sahip doğal mısır nişastasından asit modifikasyonu ve enzim modifikasyonu yöntemi ile iki ayrı dirençli nişasta içeren nişasta türevleri elde etmiştir. Enzim modifikasyonunda, mısır nişastası örneği  $\alpha$ -amilaz ile inkübe edilerek otoklavlanmış ve beraberinde pullulanaz enzimi eklenip bekletme işleminden sonra,  $\alpha$ -amilaz enzimi ile tekrar inkübasyon yapılarak enzime dirençli nişasta içeren nişasta türevi elde edilmiştir. Enzime dirençli nişasta içeren örneklerde, en yüksek %52,23 değeri ile dirençli nişasta içeriğine ulaşılmıştır.

Türkiye'deki farklı perakendecilerden 5 markayı temsil eden toplam 15 ticari bulgur örneğinin %2,1 ile %2,8 arasında toplam dirençli nişasta içeriğine sahip olduğu bulunmuştur (Tacer-Caba ve ark., 2012). Dolayısıyla, bu çalışmada bulgur üretimi için kullanılan yenilikçi uygulamaların dirençli nişasta içeriği üzerinde önemli bir artırıcı etkisi olmuştur.

Besinler, düşük ( $GI \leq 55$ ), orta ( $GI$  56-69) ve yüksek ( $GI \geq 70$ ) glisemik indeksli gıdalar olarak sınıflandırılmaktadır (Memiş ve Şanlıer, 2009). Sonuçlar, dirençli nişasta içeriği arttırılmış HaB (52,11) ve SB (62,30) örneklerinin düşük ve orta GI değerine sahip olduğunu, kontrol gruplarının (70,29 ve 72,60) ise yüksek GI değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada dirençli nişasta üretimi, pullulanaz enzim uygulaması ve yüksek basınç ve sıcaklıkta otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilmiştir. Pişirilen ve arkasından soğutulan gıdalar, sadece pişmiş gıdalara kıyasla daha fazla miktarda dirençli nişasta içerir (Wang ve ark., 2019). Karbonhidratların birçoğu tüketimi yapıldıktan ortalama 15-45 dakika sonra kandaki glukoz seviyesini arttırırlar ancak dirençli nişasta içeriğine sahip gıdalar ince bağırsakta sindirilmeden kalın bağırsağa geçtiğinden, kandaki glukoz seviyesi kontrollü ve yavaş yükselir (Demirekin ve Gül, 2016). Gıdalara dirençli nişasta ilavesi ile gıdaların glisemik indeks değerlerinin düştüğüne dair birçok çalışma bulunmaktadır.

Li ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, dirençli nişasta içeriğine sahip farklı un formülasyonları uygulanarak yapılan tuzlu erişte örneklerinin, glisemik indeks değerlerinin düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tongyu ve arkadaşları (2021) yaptıkları araştırmada, abdominal ve sedanter obeziteye sahip 8 kişinin, yüksek oranda dirençli nişasta içeriğine sahip muffin tüketmesinin, glisemik yanıt üzerindeki etkisini araştırmıştır. Muffinlerin 30 g dirençli nişasta ile desteklenmesi ile bireylerin glisemik indeks düzeylerinin azaldığı gösterilmiştir. Tekin-Çakmak ve arkadaşları (2024), Chifaa ve Yalın arpasından ve Kızıltan buğdayından ürettikleri bulgur örneklerinin GI değerlerini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda Chifaa ve Yalın arpasından üretilen bulgur örneklerinin GI değerlerini 56,25 ve 66,90, Kızıltan buğdayından elde edilen bulgur örneğinin GI değerini 74,60 olarak bulmuşlardır.

Arp ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, doğal buğday nişastasına pullulanaz enzim uygulaması ve dört kez otoklavlama-soğutma döngüsü uygulanarak, buğday nişastasından Tip 3 dirençli nişasta elde edilmesi amaçlanmıştır.

Araştırma sonunda, pullulanaz enzimi uygulanan buğday nişastası örnekleri, en düşük Gİ (yaklaşık %34) değeri sunarken, en yüksek dirençli nişasta içeriğine sahip olmuştur. Pullulanaz enzim uygulaması, dirençli nişasta oluşumunu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu durum daha yüksek düzeyde nişasta retrogradasyonuna, bu da nişastanın sindirilebilirliğinin azalmasına ve daha yüksek miktarda dirençli nişasta içermesine sebep olmaktadır (Arp ve ark., 2020). Çalışmamızda HaB örneğinin, SB örneğine göre dirençli nişasta içeriğinin daha yüksek, glisemik indeksinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, amiloz konsantrasyonu yüksek olan gıdaların daha yüksek seviyede dirençli nişasta içermesine ve bununla birlikte glisemik indeks değerlerinin daha düşük olmasına bağlıdır.



## 6. SONUÇ, ÖNERİLER VE TOPLUMA KATKI

Bu çalışmada, Pullulanaz enzim uygulaması ve üç kez otoklavlama-soğutma döngüleri ile Svevo buğdayı (SW) ve yüksek amiloz içeriğine sahip buğday genotipinden (HaW), Tip3 enzime dirençli nişasta içeriği arttırılmış bulgur elde edilmesi amaçlanmıştır. SW ve HaW örneklerinden, enzim uygulaması sonrası yüksek sıcaklıklarda otoklavlama (121°C'de 30 dk) ve soğuk odada bekletme (4°C'de 48 sa) periyotları ile Svevo bulgur (SB) ve yüksek amiloz bulgur (HaB) örnekleri üretilmiştir. Elde edilen Tip3 enzime dirençli nişasta içeriği arttırılmış bulgur örneklerinin, fiziksel-kimyasal, renk, pişme ve tekstür özellikleri, antioksidan kapasiteleri, toplam fenolik madde miktarları, dirençli nişasta içerikleri, hidroliz indeks ve glisemik indeks özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

Buğday çeşidi, iklim, lokasyon, toprak özellikleri ve mevsim, buğday tanesinin fiziksel özelliklerini etkileyen başlıca parametrelerdir. SW örneğinin hektolitre ve bin tane ağırlığı, HaW örneğinden daha yüksek bulunmuştur. Bulgur örneklerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde tane sertliği en önemli parametredir. Çalışmamızda HaW örneğinin sertlik değeri, SW örneğinden daha düşük bulunmuştur. Buğday sertliği ölçekleri göz önünde bulundurulduğunda SW örneği ekstra sert, HaW örneği sert sınıfta yer almaktadır. Protein miktarı, buğday kalitesini değerlendirmede önemli bir parametredir. HaW örneğin protein miktarı, SW örneğinin protein miktarından yüksek bulunmuştur.

Tip3 dirençli nişasta içeriği arttırılmış HaB ve SB örneklerinin a\* değerleri kontrol gruplarına (HaB-C ve SB-C) göre yüksek bulunurken, L\* ve b\* değerleri kontrol gruplarına göre düşük bulunmuştur. Bu durumun sebebi, yüksek sıcaklık ve basınç özellikli otoklavda pişirme ve ısıtma-soğutma döngülerinin bulgurda renk koyulaşmasına neden olmasına bağlanmaktadır.

Tip3 enzime dirençli nişasta içeriği arttırılmış HaB ve SB örnekleri kontrol örneklerine (HaB-C ve SB-C) göre daha yüksek pişme süresine sahiptir. Tip3 enzime dirençli nişasta içeriği arttırılmış HaB örneği en düşük ağırlık artış oranına sahipken, SB örneği en yüksek ağırlık artış oranına sahiptir. Bu bulgular, muhtemelen buğday çeşitlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Düşük hacim artışı bulgur örneklerinin daha az miktarda su absorbe ettiğini ve pişme sonrası daha sert bir yapıya sahip olacağını gösterir. Bu sebeple bulgur örneklerinde hacim artışının fazla olması beklenir. Enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilmiş HaB ve SB örneklerinin hacim artış oranları, kontrol bulgur örneklerine göre daha yüksek bulunmuştur. Pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri sonucu elde edilen HaB ve SB örneklerinin SGMM değerleri, kontrol bulgur grubuna göre daha yüksek tespit edilmiştir. Bunun HaB ve SB örneklerinin bulgur üretim sürecindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Piştirme sonrası HaB-C ve SB-C örneklerinin sertlik değerleri, enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile üretilen HaB ve SB örneklerinden yüksek bulunmuştur. En düşük sertlik değeri ise HaB örneğine aittir. Bulgurda çok düşük veya çok yüksek sertlik tercih edilmediğinden, bu sonuç olumlu bulunmuştur. Sertlik değeri ile uyumlu olarak HaB-C ve SB-C örneklerinin çignenebilirlik değerleri, HaB ve SB örneklerinden yüksek bulunmuştur. Düşük çignenebilirlik değeri, gıdanın daha kolay çignenebildiğini göstermektedir. HaB ve SB örneklerindeki düşük sertlik değerleri, çignenebilirlik özelliğini olumlu etkilemiştir. Bulgurdaki yüksek yapışkanlık seviyesi, tüketicilerde duyuşsal ve görsel sorun oluşturmaktadır. HaB ve SB örneklerinin yapışkanlık özelliğı, kontrol gruplarına göre daha düşük olduğı gözlemlenmiştir. Bu farklılığın nedeninin otoklavlama-soğutma döngülerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapışkanlık değeri ile farklı olarak HaB ve SB örneklerinin esneklik değerleri, HaB-C ve SB-C örneklerinden yüksek bulunmuştur. Pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilen bulgur örneklerinin elastikiyet ve koheziflik değerleri, HaB-C ve SB-C örneklerine kıyasla yüksek bulunmuştur.

Pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile üretilen HaB ve SB örneklerinin toplam fenolik madde miktarları, kontrol bulgur örneklerinden (HaB-C ve SB-C) daha yüksek bulunmuştur. Çalışmada üretilen bulgur örneklerindeki fenolik madde miktarındaki farklılıkların, örneklerin hammadde özelliklerinden ve bulgur üretim sürecindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bulgur örneklerinin antioksidan aktivitelerini değerlendirmek için DPPH, ABTS, ve FRAP antioksidan kapasite belirleme testleri uygulanmıştır. Enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilen HaB ve SB örneklerinin antioksidan kapasite değerleri, ABTS ve FRAP testlerindeki tüm formlarında ve DPPH testinde serbest ve toplam formlarında kontrol bulgur örneklerinden daha yüksek bulunmuştur.

Pullulanaz enzim hidrolizi ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile elde edilen SB ve HaB örneklerinin dirençli nişasta içerikleri (%9,27 ve %9,47) kontrol gruplarına kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu işlemde, SW ve HaW örneklerine, pullulanaz enzim uygulaması öncesi otoklavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede pullulanaz enzim hidroliziyle nişastanın düz zincir sayılarının artışı sağlanmıştır. Kısa zincirlerin birbirleri ile etkileşime daha kolay girmesi ve dirençli yapıların oluşumu arttırılmıştır. HaB örneğinin dirençli nişasta miktarı, aynı koşullarda üretilen SB örneğinden daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun, amiloz içeriği yüksek olan nişastaların sindirime daha dirençli ve retrogradasyona daha eğilimli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Pullulanaz işleminden sonra tekrarlanan otoklavlama-soğutma döngüleri, bulgur üretiminde ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

Pullulanaz enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile üretilen HaB ve SB örneklerinin Hİ ve Gİ değerleri, kontrol gruplarına göre düşük bulunmuştur. Bu çalışmada pullulanaz enzim uygulaması, daha yüksek seviyede nişasta retrogradasyonu ile nişastanın sindirilebilirliğinin azalmasını ve yüksek seviyede dirençli nişasta içermesini sağlamıştır. HaB ve SB örneklerinin Tip3 dirençli nişasta içeriğinin arttırılması, Hİ ve Gİ değerlerinin daha düşük olmasına neden olmuştur. Tip3 dirençli nişasta oluşumu ve yüksek verim eldesi için mevcut çalışmada gerçekleştirilen pullulanaz enzim hidrolizi ve otoklavlama-soğutma metotunun uygun olduğu görülmüştür.

Çalışmamız MEDWHEALTH projesi dahilinde, sıklıkla tahıl bazlı öğünlerden oluşan Akdeniz diyeti gibi sağlıklı beslenme alışkanlıklarının geliştirilmesine ve yayılmasına katkı sağlayacak temel gıdaların fonksiyonel olarak zenginleştirilmesi ile sağlığa faydalarını arttırmayı amaçlamıştır. Bu doğrultuda HaW ve SW örneklerinden, enzim hidrolizi ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile Tip 3 dirençli nişasta içeriği arttırılmış bulgur üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Üretilen HaB ve SB örneklerinin, yüksek düzeyde dirençli nişasta, antioksidan kapasite ve fenolik madde içeriği; düşük düzeyde Hİ ve Gİ değerlerine sahip olması yeni bir fonksiyonel gıda olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Tahıllar içerisinde oldukça önemli bir yere sahip olan bulgurun, enzim uygulaması ve otoklavlama-soğutma döngüleri ile dirençli nişasta içeriğinin artırılmasına ve bunun bulgur kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkisine yönelik araştırmaların sürdürülmesi yararlı olacaktır.



## KAYNAKÇA

AACC International. (1990). Approved methods of the AACC. (10th Ed.). American Association of Cereal Chemist International. Method No: 32-40.01. The Association: St. Paul. MN. USA. <https://doi.org/10.1094/aaccintmethod-80-04.01>.

AACC International. (2010). Approved methods of the AACC. (11th Ed.). American Association of Cereal Chemist International. Method No: 55-31.01, 44-15.02, 46-30.01, 08-01.01. The Association: St. Paul. MN. USA. [https://doi.org/10.1016/s0144-8617\(01\)00359-9](https://doi.org/10.1016/s0144-8617(01)00359-9).

Abdel-Aal, E. S. M., Young, J. C., Wood, P. J., Rabalski, I., Hucl, P., Falk, D., & Fregeau-Reid, J. (2002). Einkorn: A potential candidate for developing high lutein wheat. *Cereal Chem*, 79(3), 455-457. <https://doi.org/10.1094/cchem.2002.79.3.455>.

Acar, J. ve Gökmen, V. (2016). Fenolik Bileşikler ve Doğal Renk Maddeleri, *Gıda Kimyası*, 5, 557-590.

Akan, E., Ünsal, N. E., & Ünsal, A. S. (2021). Kuru koşullarda durum buğday çeşitlerinin verim ve kalitelerini etkileyen önemli parametrelerin belirlenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 5(1), 246-25. <https://doi.org/10.46291/ispecjasvol5iss1pp246-256>.

Akbulut, G., Eşingen, S. Ü., Bingöl, F. N., & Bayraktar, A. (2013). Diabetes Mellitus'un Tıbbi Beslenme Tedavisine Farklı Bir Bakış: Glisemik İndeks mi, Glisemik Yük mü daha Etkindir? *Bozok Tıp Dergisi*, 3(2), 42-49.

Akoh, C. C. (1998). Fat replacers. *Food Technology*, 52, 47-53.

Al-Fartusie, F. S., & Mohssan, S. N. (2017). Essential trace elements and their vital roles in human body. *Indian J Adv Chem Sci*, 5(3), 127-136. [10.22607/IJACS.2017.503003](https://doi.org/10.22607/IJACS.2017.503003).

Alphan, E. (2008). Diyet Posasının Glisemik Kontroldeki Önemi. VI. Uluslararası Beslenme ve Diyet Kongresi, 115.

Anonymous. 2002. Standard practice for obtaining spectrophotometric data for object-color evaluation. American Society for Testing and Materials (ASTM) Method No: E 1164.

AOAC International. (1998). Methods 2002.02, Resistant Starch in Starch and Plant Materials. The Association, Gaithersburg, MD.

Aravind, N., Sissons, M., Fellows, C. M., Blazek, J., & Gilbert, E. P. (2013). Optimisation of resistant starch II and III levels in durum wheat pasta to reduce in vitro digestibility while maintaining processing and sensory characteristics. *Food Chemistry*, 136(2), 1100-1109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.035>.

Ardıç Yetiş, Ş. (2020). Türk mutfak kültüründe bulgurun yeri ve önemi. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 716-728. <https://doi.org/10.26677/tr1010.2020.340>.

Arıbaş, M., Kahraman, K., & Köksel, H. (2020). In vitro glycemic index, bile acid binding capacity and mineral bioavailability of spaghetti supplemented with resistant starch type 4 and wheat bran. *Journal of Functional Foods*, 65, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103778>.

Arıkdal, N. (2009). *Dünden Bugüne Yaşayan Büyük Türk Mutfağı*. İstanbul: Doğan Kitap.

Arp, C. G., Correa, M. J., & Ferrero, C. (2020). Production and characterization of type III resistant starch from native wheat starch using thermal and enzymatic modifications. *Food and bioprocess technology*, 13, 1181-1192. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02470-5>.

Aune, D., Chan, D. S. M., Lau, R., Vieira, R., Greenwood, D. C., Kampman, E., & Norat, T. (2012). Carbohydrates, glycemic index, glycemic load, and colorectal cancer risk: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Cancer Causes & Control*, 23, 521-535. <https://doi.org/10.1007/s10552-012-9918-9>.

Baixauli, R., Salvador, A., Martínez-Cervera, S., & Fiszman, S. M. (2008). Distinctive sensory features introduced by resistant starch in baked products. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1927-1933. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.012>.

Balcı, F., & Bayram, M. (2015). Improving the color of bulgur: new industrial applications of tempering and UV/sun-light treatments. *Journal of food science and technology*, 52, 5579-5589. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1687-x>.

Balcı, F., & Bayram, M. (2017). Modification of mechanical polishing operation using preheating systems to improve the bulgur color. *Journal of Cereal Science*, 75, 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.024>.

Balcı, F., & Bayram, M. (2020). Bulgur cooking process: Recovery of energy and waste water. *Journal of Food Engineering*, 269, 109734. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109734>.

Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. S. (2015). Biochemical and functional properties of wheat gliadins: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(3), 357-368. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.654863>.

Basman, A., & Yalcin, S. (2011). Quick-boiling noodle production by using infrared drying. *Journal of Food Engineering*, 106(3), 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.019>.

Batu, O. (2021). İleri kavuzlu buğday hatlarının bulgur olma potansiyellerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Antalya. <https://doi.org/10.5152/0700>.

Bayar, E., & Yurttagül, S. M. (2023). Dirençli nişastanın glisemik indeks ve glisemik kontrol üzerindeki etkisi. *Toros University Journal of Food Nutrition and Gastronomy*, 2(2), 211-223. <https://doi.org/10.58625/jfng-2298>.

Bayram, M. (2005). Modelling of cooking of wheat to produce bulgur. *Journal of Food Engineering*, 71(2), 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.032>.

Bayram, M. (2007). Application of bulgur technology to food aid programs. *Cereal foods world*, 52(5), 249-256. <https://doi.org/10.1094/cfw-52-5-0249>.

Bayram, M., & Öner, M. D. (2003). Bulgur sanayi incelemesi. Abigem Raporu, Gaziantep.

Bayram, M., & Öner, M. D. (2005). Stone, disc and hammer milling of bulgur. *Journal of Cereal Science*, 41, 291-296. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2004.12.004>.

Bayram, M., & Öner, M. D. (2006). Determination of applicability and effects of colour sorting system in bulgur production line. *Journal of food engineering*, 74(2), 232-239. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.016>.

Bayram, M., & Öner, M. D. (2007). Bulgur milling using roller, double disc and vertical disc mills. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.042>.

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.

Bıyıklı, E. T., Bıyıklı, A. E., & Akbulut, G. (2017). Glisemik indeks, glisemik yük ve kanser. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 45(1), 70-76. <https://doi.org/10.34108/eujhs.669377>.

Bingham, S. A., Day, N. E., Luben, R., Ferrari, P., Slimani, N., Norat, T., ... & Riboli, E. (2003). Dietary fibre in food and protection against colorectal cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): an observational study. *The Lancet*, 361(9368), 1496-1501. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(03\)13174-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(03)13174-1)

Brand-Miller, J., McMillan-Price, J., Steinbeck, K., & Caterson, I. (2009). Dietary glycemic index: health implications. *Journal of the American College of Nutrition*, 28(sup4), 446S-449S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2009.10718110>.

Braşoveanu, M., & Nemţanu, M. R. (2014). Behaviour of starch exposed to microwave radiation treatment. *Starch-Stärke*, 66(1-2), 3-14. <https://doi.org/10.1002/star.201200191>.

Cade, J. E., Burley, V. J., & Greenwood, D. C. (2007). Dietary fibre and risk of breast cancer in the UK Women's Cohort Study. *International journal of epidemiology*, 36(2), 431-438. <https://doi.org/10.1093/ije/dyl295>.

Călinoiu, L. F., & Vodnar, D. C. (2018). Whole grains and phenolic acids: A review on bioactivity, functionality, health benefits and bioavailability. *Nutrients*, 10(11), 1615. <https://doi.org/10.3390/nu10111615>.

Călinoiu, L. F., & Vodnar, D. C. (2019). Thermal processing for the release of phenolic compounds from wheat and oat bran. *Biomolecules*, 10(1), 21. <https://doi.org/10.3390/biom10010021>.

Cankurtaran, T., & Bilgiçli, N. (2021). Improvement of functional couscous formulation using ancient wheat and pseudocereals. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100400. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100400>.

Charalampopoulos, D., Wang, R., Pandiella, S. S., & Webb, C. (2002). Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. *International journal of food microbiology*, 79(1-2), 131-141. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(02\)00187-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(02)00187-3).

Chung, H. J., Jeong, H. Y., & Lim, S. T. (2003). Effects of acid hydrolysis and defatting on crystallinity and pasting properties of freeze-thawed high amylose corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 54(4), 449-455. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.05.001>.

Cummings, J. (2002). Handbook of Dietary Fiber. Edited by Choo Susan Sungsoo, and Mark L. Dreher. New York: Marcel Dekker Inc. 2001.£ 158/€255. ISBN 0-8247-8960-1. British Journal of Nutrition, 88(2), 216-216. <https://doi.org/10.1079/bjn2002617>

Çarşamba, E., Akca, I., & Timur, M. (2017). Examination of firik produced in Hatay region in terms of nutritional aspect. Gıda, 42(6), 726-730. <https://doi.org/10.15237/gida.gd17064>.

Dal, B. (2012). Tam tahıl ürünleri ve bulgurun Türkiye’de yeri, önemi, etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi.

Demirekin, A., & Gül, H. (2016). Enzime dirençli nişasta ve sağlık üzerindeki etkileri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(2), 71-78. <https://doi.org/10.20479/bursauludagziraat.1410909>.

Demirekin, A., & Gül, H. (2020). Otoklavlama-Retrogradasyon yöntemi uygulanarak pirinç nişastasından elde edilen enzime dirençli nişastanın ekmek hamuru reolojisi ve ekmeğin bazı kimyasal özellikleri üzerine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(7), 807-812. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.284445>.

Demirel, F.(2018). Türkiye’nin farklı bölgelerinden toplanmış yerel buğday genotiplerinin morfolojik ve moleküler karakterizasyonu. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Doktora Tezi. <https://doi.org/10.21566/tarbitderg.581083>.

Demirel, S., Tuzen, M., Saracoglu, S., & Soylak, M. (2008). Evaluation of various digestion procedures for trace element contents of some food materials. Journal of hazardous materials, 152(3), 1020-1026. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.077>.

Dergi, E. ve Karaduman, Y. (2022). Farklı Buğday Türleri ve Yerel Çeşitleri ve Son Ürün Kalite ve Beslenme Özellikleri. 1st International Traditional Foods and Sustainable Food Systems Symposium, Turkey. <https://doi.org/10.37473/fic/10.35193/bseufbd.1188145>.

Develaraja, S., Reddy, A., Yadav, M., Jain, S., & Yadav, H. (2016). Whole grains in amelioration of metabolic derangements. Journal of nutritional health & food science, 4(4), 1. <https://doi.org/10.15226/jnhfs.2016.00173>.

Dhanda, S. S., Sethi, G. S., & Behl, R. K. (2004). Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *Journal of agronomy and crop science*, 190(1), 6-12. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2004.00592.x>.

D'Isita, I., Pistillo, O. M., Di Palma, A. M., De Vita, P., & Germinara, G. S. (2024). Susceptibility of old and modern wheat genotypes to *Sitophilus granarius* (L.) and *Rhyzoperta dominica* (F.). *Journal of Stored Products Research*, 106, 10226. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102265>.

Dreher, M. L. (2001). Dietary fiber overview. In *Handbook of dietary fiber* (pp. 1-16). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203904220-2>.

Dueck, C. J. (2019). Barley bulgur: Effects of drying methods (hot air, microwave, and superheated steam) on cooking qualities,  $\beta$ -glucan fibres, and tocochromanols. Master of Science. Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba, Canada. <https://doi.org/10.1002/cche.10263>.

Dueck, C., Cenkowski, S., & Izydorczyk, M. S. (2020). Effects of drying methods (hot air, microwave, and superheated steam) on physicochemical and nutritional properties of bulgur prepared from high-amylose and waxy hull-less barley. *Cereal Chemistry*, 97(2), 483-495. <https://doi.org/10.1002/cche.10263>.

Dünder, A. N. İ. (2014). Yüksek Amilozlu Mısır Nişastasından Dirençli Nişasta Eldesi ve Erişte Üretiminde Kullanımı (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University (Turkey)).

Eerlingen, R. C. (1994). Enzyme-resistant starch. V. Effect of retrogradation of waxy maize starch on enzyme susceptibility. *Cereal chemistry*, 71, 351.

Emeksizoglu, B. (2016). Kastamonu yöresinde yetiştirilen siyez (*Triticum monococcum* L.) buğdayının bazı kalite özellikleri ile bazlama ve erişte yapımında kullanımının araştırılması. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Samsun. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.1097846>.

Englyst, H., Wiggins, H. S., & Cummings, J. H. (1982). Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. *Analyst*, 107(1272), 307-318. <https://doi.org/10.1039/an9820700307>.

Ertaş, N. (2017). A comparison of industrial and homemade bulgur in Turkey in terms of physical, chemical and nutritional properties. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 23(3), 341-348. <https://doi.org/10.2298/ciceq160112047e>.

Evlice, A. K. (2016). Bulgurun fonksiyonel özellikleri ve teknolojik kalitesine buğday çeşidi ve üretim yönteminin etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.53037>.

Evlice, A. K., & Özkaya, H. (2019). Effects of wheat cultivar, cooking method, and bulgur type on the yield and colour properties of bulgur. *Quality assurance and safety of crops & foods*, 11(4), 381-390. <https://doi.org/10.3920/qas2018.1431>.

FAO (2023). Food and Agriculture Organization database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Erişim tarihi: 13.08.2024.

Fardet, A. (2010). New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?. *Nutrition research reviews*, 23(1), 65-134. <https://doi.org/10.1017/s0954422410000041>.

Farhat, I. A., Protzmann, J., Becker, A., Vallès-Pàmies, B., Neale, R., & Hill, S. E. (2001). Effect of the extent of conversion and retrogradation on the digestibility of potato starch. *Starch-Stärke*, 53(9), 431-436. [https://doi.org/10.1002/1521-379x\(200109\)53:9<431::aid-star431>3.0.co;2-r](https://doi.org/10.1002/1521-379x(200109)53:9<431::aid-star431>3.0.co;2-r).

Frost G, Dornhorst A. (2013). Glycemic Index. In: Caballero B. editor. *Encyclopedia of Human Nutrition*, Third Edition, published by Academic Press, Waltham. P:393-398. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-375083-9.00136-7>.

Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4), 931-942. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.02.004>.

Fuentes-Zaragoza, E., Sánchez-Zapata, E., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2011). Resistant starch as prebiotic: A review. *Starch-Stärke*, 63(7), 406-415. <https://doi.org/10.1002/star.201000099>.

Fulcher, R. G., & Duke, T. K. (2002). Whole-grain structure and organization: implications for nutritionists and processors. *Whole-grain foods in health and disease*, 9-45.

García-Alonso, A., Jiménez-Escrig, A., Martín-Carrón, N., Bravo, L., & Saura-Calixto, F. (1999). Assessment of some parameters involved in the gelatinization and

retrogradation of starch. *Food Chemistry*, 66(2), 181-187. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(98\)00261-1](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(98)00261-1).

García-Alonso, A., & Goni, I. (2000). Effect of processing on potato starch: in vitro availability and glycaemic index. *Food/Nahrung*, 44(1), 19-22. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-3803\(20000101\)44:1<19::aid-food19>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-3803(20000101)44:1<19::aid-food19>3.0.co;2-e).

García-Vázquez, C., Ble-Castillo, J. L., Arias-Córdova, Y., Ramos-García, M., Olvera-Hernández, V., Guzmán-Priego, C. G., ... & Hernández-Becerra, J. A. (2023). Effects of resistant starch on glycemic response, postprandial lipemia and appetite in subjects with type 2 diabetes. *European Journal of Nutrition*, 62(5), 2269-2278. <https://doi.org/10.1007/s00394-023-03154-4>.

Gélinas, P., & McKinnon, C. (2016). Gluten weight in ancient and modern wheat and the reactivity of epitopes towards R5 and G12 monoclonal antibodies. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(8), 1801-1810. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13151>.

Gomes, S. D., Oliveira, C. S., Azevedo-Silva, J., Casanova, M. R., Barreto, J., Pereira, H., ... & Preto, A. (2020). The role of diet related short-chain fatty acids in colorectal cancer metabolism and survival: prevention and therapeutic implications. *Current medicinal chemistry*, 27(24), 4087-4108. <https://doi.org/10.2174/0929867325666180530102050>.

Goñi, I., García-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition research*, 17(3), 427-437. [https://doi.org/10.1016/s0271-5317\(97\)00010-9](https://doi.org/10.1016/s0271-5317(97)00010-9).

Guzmán, C., Autrique, E., Mondal, S., Huerta-Espino, J., Singh, R. P., Vargas, M., ... & Peña, R. J. (2017). Genetic improvement of grain quality traits for CIMMYT semi-dwarf spring bread wheat varieties developed during 1965–2015: 50 years of breeding. *Field Crops Research*, 210, 192-196. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.002>.

Güldemir, O., Haklı, G. ve Işık, N., (2018). Türk Mutfağında Kahvaltıda Tüketilen Çorbalar ve İllere Göre Dağılımı, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 39: 56-66. <https://doi.org/10.52642/susbed.1405671>.

Güler, M. S., & Bilici, S. (2017). Besinin içeriği, işleme ve pişirme yöntemlerinin glisemik indeks üzerine etkisi. *Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(3), 1-12.

Güler, S. (2010). Türk Mutfak Kültürü ve Yeme-İçme Alışkanlıkları, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 26: 24-30. <https://doi.org/10.51290/dpusbe.1384647>.

Halıcı, N. (2013). Açıklamalı Yemek ve Mutfak Terimleri Sözlüğü. İstanbul: Oğlak Yayıncılık.

Han, J. A., & Lim, S. T. (2009). Effect of presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked brown rice. *Cereal Chemistry*, 86(1), 100-105. <https://doi.org/10.1094/cchem-86-1-0100>.

Haralampu, S. G. (2000). Resistant starch—a review of the physical properties and biological impact of RS3. *Carbohydrate polymers*, 41(3), 285-292. [https://doi.org/10.1016/s0144-8617\(99\)00147-2](https://doi.org/10.1016/s0144-8617(99)00147-2).

Hardy, D. S., Hoelscher, D. M., Aragaki, C., Stevens, J., Steffen, L. M., Pankow, J. S., & Boerwinkle, E. (2010). Association of glycemic index and glycemic load with risk of incident coronary heart disease among Whites and African Americans with and without type 2 diabetes: the Atherosclerosis Risk in Communities study. *Annals of epidemiology*, 20(8), 610-616. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2010.05.008>

Hendek-Ertop, M. (2019). Comparison of industrial and homemade bulgur produced from einkorn wheat (*Triticum monococcum*) and durum wheat (*Triticum durum*): Physicochemical, nutritional and microtextural properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(2), e13863. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13863>.

Hidalgo, A., Brandolini, A., & Ratti, S. (2009). Influence of genetic and environmental factors on selected nutritional traits of *Triticum monococcum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(14), 6342-6348. <https://doi.org/10.1021/jf901180q>.

Hidalgo, A., Fongaro, L., & Brandolini, A. (2017). Colour screening of whole meal flours and discrimination of seven *Triticum* subspecies. *Journal of Cereal Science*, 77, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.07.006>.

Higgins, J. A. (2014). Resistant starch and energy balance: impact on weight loss and maintenance. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(9), 1158-1166. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.629352>.

Homayouni, A., Amini, A., Keshtiban, A. K., Mortazavian, A. M., Esazadeh, K., & Pourmoradian, S. (2014). Resistant starch in food industry: A changing outlook for

consumer and producer. *Starch-Stärke*, 66(1-2), 102-114.  
<https://doi.org/10.1002/star.201300110>.

Hoseney, R.C. (1994). *Principles of cereal science and technology*, AACC Inc., ISBN 0-913250-79-1, St. Paul, Minnesota, USA.  
<https://doi.org/10.1002/star.19870390416>.

Hrušková, M., & Švec, I. (2009). Wheat hardness in relation to other quality factors. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(4), 240-248.  
<https://doi.org/10.17221/71/2009-cjfs>.

Irvine, N., England-Mason, G., Field, C. J., Dewey, D., & Aghajafari, F. (2022). Prenatal folate and choline levels and brain and cognitive development in children: a critical narrative review. *Nutrients*, 14(2), 364. <https://doi.org/10.3390/nu14020364>.

ISO (International Organization for Standardization), Method No: 520: 2010, (2010). *Determination of the mass of 1 000 grains*. Geneva, Switzerland.

Iversen, K. N. (2021). High fiber rye foods decrease body weight and body fat and affect metabolic risk markers. *Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden)*.

Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., ... & Goff, D. V. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *The American journal of clinical nutrition*, 34(3), 362-366.  
<https://doi.org/10.1093/ajcn/34.3.362>.

Jeong, H. Y., & Lim, S. T. (2003). Crystallinity and pasting properties of freeze-thawed high amylose maize starch. *Starch-Stärke*, 55(11), 511-517.  
<https://doi.org/10.1002/star.200300175>.

Jiang, G., & Liu, Q. (2002). Characterization of residues from partially hydrolyzed potato and high amylose corn starches by pancreatic  $\alpha$ -amylase. *Starch-Stärke*, 54(11), 527-533. [https://doi.org/10.1002/1521-379x\(200211\)54:11<527::aid-star527>3.0.co;2-g](https://doi.org/10.1002/1521-379x(200211)54:11<527::aid-star527>3.0.co;2-g).

Jobling, S. (2004). Improving starch for food and industrial applications. *Current opinion in plant biology*, 7(2), 210-218. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2003.12.001>.

Juanola-Falgarona, M., Salas-Salvadó, J., Ibarrola-Jurado, N., Rabassa-Soler, A., Díaz-López, A., Guasch-Ferré, M., ... & Bulló, M. (2014). Effect of the glycemic index of the diet on weight loss, modulation of satiety, inflammation, and other metabolic risk factors: a randomized controlled trial. *The American journal of clinical nutrition*, 100(1), 27-35. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.081216>.

Kadakal, Ç., Ekinci, R., & Yapar, A. (2007). The effect of cooking and drying on the water-soluble vitamins content of bulgur. *Food Science and Technology International*, 13(5), 349-354. <https://doi.org/10.1177/1082013207085688>.

Kahn, C. R., & Gordon, C. (1994). *Joslin's diabetes mellitus*. Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1177/014572179402000614>.

Kahyaoğlu, L. N., Sahin, S., & Sumnu, G. (2010). Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 159-169. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.022>.

Kahyaoğlu, L. N., Şahin, S., & Şümnü, G. S. (2012). Spouted bed and microwave-assisted spouted bed drying of parboiled wheat. *Food and bioproducts processing*, 90(2), 301-308. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.003>.

Kamiloğlu, S., Pasli, A. A., Özçelik, B., Van Camp, J., & Capanoglu, E. (2015). Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food chemistry*, 186, 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.046>.

Karabıyıklı, Ş., & Donat, İ. (2019). Prebiyotik Diyet Liflerinin Kolon Mikrobiyotası ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences*, (10), 1-15.

Karadağ, A., Özçelik, B., & Saner, S. (2009). Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Analytical Methods*, 2, 41-60. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7>.

Karwasra, B. L., Gill, B. S., Kaur, M., & Kaur, H. (2017). Indian wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars: physical characteristics, micronutrients and heavy metal content. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 9(3), 295-302. <https://doi.org/10.3920/qas2016.0998>.

Keskin, M. (2023). Assessing the Level of Adulteration in Firik Bulgur Mixed with Regular Bulgur by Using a Color Meter: A Preliminary Study. *Journal of Raw Materials to Processed Foods*, 4(1). 10.57252/jrpfods.2023.2

Koca, A. F., & Anıl, M. (1996). Farklı buğday çeşitleri ve pişirme yöntemlerinin bulgur kalitesine etkisi. *Gıda*, 21(5).

Kotancılar, G., Çelik, İ., & Ertugay, Z. (1995). Ekmeğin besin değeri ve beslenmedeki önemi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(3). <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.345820>.

Kotancılar, H. G., Gerçekaslan, K. E., Karaoğlu, M. M., & Boz, H. (2009). Besinsel lif kaynağı olarak enzime dirençli nişasta. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40(1), 103-107. <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.496393>.

Köksel, H. (2005). Karbonhidratlar. Gıda Kimyası. Saldamlı, İ. (Ed.), Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara.

Köksel, H., Sivri, D., Özboy, Ö., Başman, A. ve Karacan H. D. (2000). Tahıl Laboratuvarı El Kitabı, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın no: 47, s. 106.

Kwak, J. H., Paik, J. K., Kim, H. I., Kim, O. Y., Shin, D. Y., Kim, H. J., ... & Lee, J. H. (2012). Dietary treatment with rice containing resistant starch improves markers of endothelial function with reduction of postprandial blood glucose and oxidative stress in patients with prediabetes or newly diagnosed type 2 diabetes. *Atherosclerosis*, 224(2), 457-464. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2012.08.003>.

Laus, M. N., De Santis, M. A., Flagella, Z., & Soccio, M. (2022). Changes in antioxidant defence system in durum wheat under hyperosmotic stress: A concise overview. *Plants*, 11(1), 98. <https://doi.org/10.3390/plants11010098>.

Lee, K. Y., Lee, S., & Lee, H. G. (2013). Influence of storage temperature and autoclaving cycles on slowly digestible and resistant starch (RS) formation from partially debranched rice starch. *Starch-Stärke*, 65(7-8), 694-701. <https://doi.org/10.1002/star.201200186>.

Lehmann, U., & Robin, F. (2007). Slowly digestible starch—its structure and health implications: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 346-355. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.02.009>.

Levent, H., Bilgiçli, N., & Türker, S. (2011). Besinsel lif ve dirençli nişastanın gıda formülasyonlarında kullanımı. 1. Ulusal Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi, 174, 19-20.

Li, P. H., Wang, C. W., Lu, W. C., Chan, Y. J., & Wang, C. C. R. (2022). Effect of resistant starch sources on the physical properties of dough and on the eating quality

and glycemic index of salted noodles. *Foods*, 11(6), 814. <https://doi.org/10.3390/foods11060814>.

Lohani, U. C., & Muthukumarappan, K. (2016). Application of the pulsed electric field to release bound phenolics in sorghum flour and apple pomace. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 35, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.03.012>.

Maki, K. C., Sanders, L. M., Reeves, M. S., Kaden, V. N., Rains, T. M., & Cartwright, Y. (2009). Beneficial effects of resistant starch on laxation in healthy adults. *International journal of food sciences and nutrition*, 60(sup4), 296-305. <https://doi.org/10.1080/09637480903130538>.

Martinez-Flores, H. E., Chang, Y. K., Martinez-Bustos, F., & Sgarbieri, V. (2004). Effect of high fiber products on blood lipids and lipoproteins in hamsters. *Nutrition research*, 24(1), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2003.08.016>.

Martinon, P., Fraticelli, L., Giboreau, A., Dussart, C., Bourgeois, D., & Carrouel, F. (2021). Nutrition as a key modifiable factor for periodontitis and main chronic diseases. *Journal of clinical medicine*, 10(2), 197. <https://doi.org/10.3390/jcm10020197>.

McKeown, N. M., Jacques, P. F., Seal, C. J., de Vries, J., Jonnalagadda, S. S., Clemens, R., ... & Marquart, L. F. (2013). Whole grains and health: from theory to practice—highlights of the Grains for Health Foundation's Whole Grains Summit 2012. *The Journal of nutrition*, 143(5), 744S-758S. <https://doi.org/10.3945/jn.112.172536>.

Melik, M. (2014). Bazı yerel ve tescilli makarnalık buğday çeşitlerinin verim unsurları, bulgur kalitesi ve randımanının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay. <https://doi.org/10.13002/jafag4467>.

Memiş, E. ve Şanlıer, N. (2009). Glisemik İndeks ve Sağlık İlişkisi. *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, (24), 17-27. Ankara.

Mercanlıgil, S. (2008). Kalp-Damar Hastalıklarında Beslenme Önerileri. VI. Uluslararası Beslenme ve Diyet Kongresi, 2-6.

Mızrak, G. (2016). GLİSEMİK İNDEKS, GLİSEMİK YÜK, SAĞLIKLI BESLENME VE SPOR. *Ziraat Mühendisliği*, (363), 4-11.

Miao, M., Jiang, B., Cui, S. W., Zhang, T., & Jin, Z. (2015). Slowly digestible starch—A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(12), 1642-1657. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.704434>.

Morales-Medina, R., del Mar Munio, M., Guadix, E. M., & Guadix, A. (2014). Production of resistant starch by enzymatic debranching in legume flours. *Carbohydrate polymers*, 101, 1176-1183. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.027>.

Mutlu, S. (2015). Yüksek amilozlu mısır nişastasından enzim ve mikrodalga modifikasyonları ile enzime dirençli nişasta üretimi ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi (Türkiye). <https://doi.org/10.28948/ngumuh.542803>.

Nargül, M. T. (2019). Farklı nişasta kaynaklarından enzimle dirençli nişasta üretimi ve düşük glisemil indeksli fonksiyonel atıştırmalık formülasyonların geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı. <https://doi.org/10.47769/izufbed.1100761>.

Nayak, B., Berrios, J. D. J., & Tang, J. (2014). Impact of food processing on the glycemic index (GI) of potato products. *Food Research International*, 56, 35-46. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.020>.

Olgun, M., Ardiç, M., Turan, M., Sezer, O., Başçiftçi, Z. B., Ayter, G. N., & Koyuncu, O. (2017). Changes in the mineral contents of bread wheat genotypes during the development periods of wheat. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 30(2), 79-87. <https://doi.org/10.47947/ijnls.1001160>.

Özbek, C., & Uluk, N. (2022). 1st International Traditional Foods and Sustainable Food Systems Symposium. Toros University, Faculty of Fine Arts, Design and Architecture, Department of Gastronomy and Culinary Arts, Mersin (Türkiye).

Özberk, F., Karagöz, A., Özberk, İ., & Atlı, A. (2016). Buğday genetik kaynaklarından yerel ve kültür çeşitlerine; Türkiye'de buğday ve ekmek. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(2), 218-233. <https://doi.org/10.21566/tarbitderg.660237>.

Özboy, Ö. 1998. Bulgur üretiminde verim ve kalite belirlemede kullanılabilecek testler ile üretimin nişasta ve protein özellikleri üzerine etkileri. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 123, Ankara.

Özkaya, B., Türksoy, S., Özkaya, H., Baumgartner, B., Özkeser, İ., & Köksel, H. (2018). Changes in the functional constituents and phytic acid contents of firiks produced from wheats at different maturation stages. *Food Chemistry*, 246, 150-155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.022>.

Öztürk, S. (2008). Farklı nişasta kaynaklarından enzime dirençli nişasta üretimi ve karakterizasyonu. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı <https://doi.org/10.31590/ejosat.626229>.

Öztürk, S., Köksel, H., & Ng, P. K. (2009). Characterization of resistant starch samples prepared from two high-amylose maize starches through debranching and heat treatments. *Cereal Chemistry*, 86(5), 503-510. <https://doi.org/10.1094/cchem-86-5-0503>.

Öztürk, S., Köksel, H., & Ng, P. K. (2011). Production of resistant starch from acid-modified amylotype starches with enhanced functional properties. *Journal of Food Engineering*, 103(2), 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.10.011>.

Parker, R., & Ring, S. G. (2001). Aspects of the physical chemistry of starch. *Journal of Cereal Science*, 34(1), 1-17. doi:10.1006/jcrs.2000.0402

Pasqualone, A., Palombieri, S., Köksel, H., Summo, C., De Vita, P., & Sestili, F. (2023). Milling performance and bread-making aptitude of the new soft kernel durum wheat variety Faridur. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 268-278. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16200/v2/response1>.

Patil, S. K. (2004). Resistant starches as low-carb ingredients-current applications and issues. *Cereal Foods World*, 49(5), 292.

Pekkirişçi, B. (2022). Türkiye’de satışı sunulan firik ve siyez bulgurlarının fiziksel, kimyasal ve antibesinsel özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi (Türkiye). <https://doi.org/10.59287/as-ijanser.639>.

Pieczyk, M., Drużyńska, B., Worobiej, E., Wołosiak, R., & Ostrowska-Ligeza, E. (2013). Effect of hydrothermal treatment of runner bean (*Phaseolus coccineus*) seeds and starch isolation on starch digestibility. *Food Research International*, 50(1), 428-437. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.003>.

Quayson, E. T., Atwell, W., Morris, C. F., & Marti, A. (2016). Empirical rheology and pasting properties of soft-textured durum wheat (*Triticum turgidum* ssp.

durum) and hard-textured common wheat (*T. aestivum*). *Journal of Cereal Science*, 69, 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.03.017>.

Rasheed, A., Parveen, S., Afzaal, M., Niaz, B., Saeed, F., Hussain, M., ... & Al Jbawi, E. (2023). Exploring biochemical profile, antioxidant activity and structural properties of Bulgur prepared from traditional and autoclave methods. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 274-289. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2161570>.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

Richard, J. L. (2007). Some major mycotoxins and their mycotoxicoses—An overview. *International journal of food microbiology*, 119(1-2), 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.019>.

Rico, D., Villaverde, A., Martinez-Villaluenga, C., Gutierrez, A. L., Caballero, P. A., Ronda, F., ... & Martin Diana, A. B. (2020). Application of autoclave treatment for development of a natural wheat bran antioxidant ingredient. *Foods*, 9(6), 781. <https://doi.org/10.3390/foods9060781>.

Russell, W. R., Baka, A., Björck, I., Delzenne, N., Gao, D., Griffiths, H. R., ... & Weickert, M. O. (2016). Impact of diet composition on blood glucose regulation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(4), 541-590. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.792772>.

Ruxton, C., & Derbyshire, E. (2014). The health benefits of whole grains and fibre. *Nutrition & Food Science*, 44(6), 492-519. <https://doi.org/10.1108/nfs-01-2014-0004>.

Sağır, A. (2012). Bir Yemek Sosyolojisi Denemesi Örneği Olarak Tokat Mutfağı, *Turkish Studies - International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 7(4): 2675-2695. <https://doi.org/10.52108/2757-5942.3.2.2>.

Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant starch—a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5(1), 1-17. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x>.

Saka, İ., Özkaya, H., & Özkaya, B. (2020). Potential utilization of bulgur bran as a source of dietary fiber in cookies. *Cereal Chemistry*, 97(5), 930-939. <https://doi.org/10.1002/cche.10315>.

Salantur, A., & Karaoğlu, C. (2021). Macro-Microelements in Wheat Landraces and Their Use in Breeding. *Wheat Landraces*, 83-91. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77388-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77388-5_5).

Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S. M. (2008). Resistant starch (RS) in battered fried products: Functionality and high-fibre benefit. *Food Hydrocolloids*, 22(4), 543-549. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.01.018>.

Savaş, K. 2010. Kızılötesi uygulamasının bulgur üretiminde kullanımı ve bulgur kalitesine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 93, Ankara. <https://doi.org/10.30692/sisad.1254245>.

Savaş, K., & Basman, A. (2016). Infrared drying: A promising technique for bulgur production. *Journal of Cereal Science*, 68, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.11.001>.

Sayılgan, Ç. (2016). Küresel sıcaklık artışının buğdayda beklenen etkileri ve yüksek sıcaklığa toleranslılığın fizyolojik göstergeleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 439-447. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.282759>.

Scazzina, F., Siebenhandl-Ehn, S., & Pellegrini, N. (2013). The effect of dietary fibre on reducing the glycaemic index of bread. *British Journal of Nutrition*, 109(7), 1163-1174. <https://doi.org/10.1017/s0007114513000032>.

Shah, Y. A., Saeed, F., Afzaal, M., Ahmad, A., Hussain, M., Ateeq, H., & Khan, M. H. (2022). Biochemical and nutritional properties of wheat bulgur: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e16861. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16861>.

Shamai, K., Bianco-Peled, H., & Shimoni, E. (2003). Polymorphism of resistant starch type III. *Carbohydrate Polymers*, 54(3), 363-369. [https://doi.org/10.1016/s0144-8617\(03\)00192-9](https://doi.org/10.1016/s0144-8617(03)00192-9).

Shamanin, V. P., Tekin-Cakmak, Z. H., Gordeeva, E. I., Karasu, S., Pototskaya, I., Chursin, A. S., ... & Koxsel, H. (2022). Antioxidant capacity and profiles of phenolic acids in various genotypes of purple wheat. *Foods*, 11(16), 2515. <https://doi.org/10.3390/foods11162515>.

Sharma, A., Yadav, B. S., & Ritika. (2008). Resistant starch: physiological roles and food applications. *Food reviews international*, 24(2), 193-234. <https://doi.org/10.1080/87559120801926237>.

Shen, L., Li, J., & Li, Y. (2022). Resistant starch formation in rice: Genetic regulation and beyond. *Plant communications*, 3(3). <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100329>.

Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., & Kaur, A. (2017). Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(1), 38-58. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13266>.

Shewry, P. R. (2009). Wheat. *J. Exp. Bot.* 60:1537–1553. doi: 10.1093/jxb/erp058.

Shewry, P. R., & Hey, S. J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *Food and energy security*, 4(3), 178-202. <https://doi.org/10.1002/fes3.64>.

Shi, Y. C., Capitani, T., Trzasko, P., & Jeffcoat, R. (1998). Molecular structure of a low-amylopectin starch and other high-amylose maize starches. *Journal of Cereal Science*, 27(3), 289-299. <https://doi.org/10.1006/jcrs.1997.9998>.

Shobana, S., Kokila, A., LakshmiPriya, N., Subhashini, S., Ramya Bai, M., Mohan, V., ... & Sudha, V. (2012). Glycaemic index of three Indian rice varieties. *International journal of food sciences and nutrition*, 63(2), 178-183. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.615300>.

Singh, R. P., Chidambara Murthy, K. N., & Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(1), 81-86. <https://doi.org/10.1021/jf010865b>.

Slavin, J. (2003). Why whole grains are protective: biological mechanisms. *Proceedings of the Nutrition society*, 62(1), 129-134. doi: 10.1079/PNS2002221. <https://doi.org/10.1079/pns2002221>.

Šramková, Z. U. Z. A. N. A., Gregová, E. D. I. T. A., & Šturdík, E. R. N. E. S. T. (2009). Genetic improvement of wheat—a review. *Nova Biotechnol*, 9, 27-51. <https://doi.org/10.36547/nbc.1285>.

Stewart, M. L., Wilcox, M. L., Bell, M., Buggia, M. A., & Maki, K. C. (2018). Type-4 resistant starch in substitution for available carbohydrate reduces postprandial

glycemic response and hunger in acute, randomized, double-blind, controlled study. *Nutrients*, 10(2), 129. <https://doi.org/10.3390/nu10020129>.

Stone, A. K., Wang, S., Tulbek, M., Köksel, F., & Nickerson, M. T. (2020). Processing and quality aspects of bulgur from *Triticum durum*. *Cereal Chemistry*, 97(6), 1099-1110. <https://doi.org/10.1002/cche.10347>.

Şeren-Karakuş, S., Küçükkömürler, S. ve Ekmen, Z. (2008). Türk Kültüründe Bulgur, 38. ICANAS-Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi, 10-15 Eylül 2008. Ankara. ss. 1179-1190.

Tacer Caba, Z., Boyacıoğlu, M. H., & Boyacıoğlu, D. (2012). Bioactive healthy components of bulgur. *International journal of food sciences and nutrition*, 63(2), 250-256. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.639748>.

Tacer, Z. (2008). Bulgurun Fonksiyonel Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. İstanbul.

Tağar, B. (2021). Bazı Ekmeklik ve Makarnalık Buğdayların Bulgura İşlenmeleri ile Ortaya Çıkan Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, TC.Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana. <https://doi.org/10.55198/artibilimfen.1127690>.

Tang, Y., & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular nutrition & food research*, 61(7), 1600767. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600767>.

Tekin, M., Babacan, U., Batu, O., Akar, T., & Cengiz, M. F. (2022). The effects of genotypic variation in hulled wheat species and cooking methods on some quality parameters of bulgur. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(6), e15979. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15979>.

Tekin, T., & Fisunoğlu, M. (2020). Effect of Resistant Starch on Inflammatory Bowel Diseases and Microbiota. *Journal of Traditional Medical Complementary Therapies*, 3(1), 99–106. <https://doi.org/10.5336/jtracom.2019-72218>.

Tekin-Çakmak, Z. H., Ozer, C., Ozkan, K., Yıldırım, H., Sestili, F., Jilal, A. & Köksel, H. (2024). High-beta-glucan and low-glycemic index functional bulgur

produced from high-beta-glucan barley. *Journal of Functional Foods*, 112, 105939. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105939>.

Tharanathan, M., & Tharanathan, R. N. (2001). Resistant starch in wheat-based products: isolation and characterisation. *Journal of Cereal Science*, 34(1), 73-84. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0383>.

Tian, J., Chen, J., Ye, X., & Chen, S. (2016). Health benefits of the potato affected by domestic cooking: A review. *Food Chemistry*, 202, 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.120>.

TMSD (2022). Türkiye Makarna Sanayicileri Derneği. <https://www.makarna.org.tr/>. Erişim tarihi: 14.08.2024.

TOBB (2023). TOBB- Sanayi Veritabanı. [https://sanayi.tobb.org.tr/ksorgu\\_harita5.php?kodu=10.61.33.55.05](https://sanayi.tobb.org.tr/ksorgu_harita5.php?kodu=10.61.33.55.05). Erişim tarihi: 12.08.2024.

Tongyu, M., & Chong-Do, L. (2021). Effect of High Dose Resistant Starch on Human Glycemic Response. *Journal of Nutritional Medicine and Diet Care*, 7(1). <https://doi.org/10.23937/2572-3278/1510048>. <https://doi.org/10.23937/2572-3278/1510048>.

Türkomp (2025). Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı. <https://turkomp.tarimorman.gov.tr/main>. Erişim tarihi: 23.07.2024.

Ünal, H. G., & Saçılık, K. (2011). Milling quality of hulled wheat bulgur with stone mill. *Journal of Food Process Engineering*, 34(3), 893-904. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00516.x>.

Ünsal-Canay, F. (2018). Durum buğdayı çeşitlerinin fitik asit miktarları, makarnaya işleme sırasındaki değişiklikler ve fitik asitin azaltılması. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Vaculova, K., Sedlackova, I., & Jirsa, O. (2019). Barley bulger-a new option for the use of a hullless barley? *Journal of Cereal Research* 11(2).

Varavinit, S., Shobsngob, S., Varayanond, W., Chinachoti, P., & Naivikul, O. (2003). Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice. *Starch-Stärke*, 55(9), 410-415. <https://doi.org/10.1002/star.200300185>.

Vasiljevic, S., Banasik, O. J., (1980). *Quality Testing Methods for Durum Wheat and Its Products*, Department of Cereal Chemistry and Technology, North Dakota State University Fargo, North Dakota, 134pp.

Vazquez, A., Cyras, V. P., Alvarez, V. A., & Moran, J. I. (2012). "Starch/Clay NanoBiocomposites", In *Environmental Silicate Nano-Biocomposites* (pp. 287-321). Springer London. [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4108-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4108-2_11).

Wang, J., Tang, X. J., Chen, P. S., & Huang, H. H. (2014). Changes in resistant starch from two banana cultivars during postharvest storage. *Food Chemistry*, 156, 319-325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.012>.

Wang, T., Raddatz, J., & Chen, G. B. (2013). Effects of microfluidization on antioxidant properties of wheating bran. *Journal of Cereal Science*, 58(3), 380–386. <https://doi.org/10.1002/cche.10374>.

Wang, Y., Chen, J., Song, Y. H., Zhao, R., Xia, L., Chen, Y., ... & Wu, X. T. (2019). Effects of the resistant starch on glucose, insulin, insulin resistance, and lipid parameters in overweight or obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition & diabetes*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.1038/s41387-019-0086-9>.

Williams, P., El-Haramein, F.J., Nakkoul, H. and Rihavi, S. 1988. Crop quality evaluation methods and guidelines. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), 145, Aleppo, Syria. [https://doi.org/10.18006/2017.5\(spl-1-safsaw\).s76.s85](https://doi.org/10.18006/2017.5(spl-1-safsaw).s76.s85).

Wu, N. N., Ma, Z. Q., Li, H. H., Tian, X. H., Fang, Y., & Tan, B. (2021). Nutritional and cooking quality improvement of brown rice noodles prepared with extruded rice bran. *Cereal Chemistry*, 98(2), 346-354. <https://doi.org/10.1002/cche.10374>.

Xie, X., & Liu, Q. (2004). Development and physicochemical characterization of new resistant citrate starch from different corn starches. *Starch-Stärke*, 56(8), 364-370. <https://doi.org/10.1002/star.200300261>.

Yalçın, M. M. (2007). Bazı yabancı gernik genotiplerinin morfolojik ve fizyolojik özelliklerinin saptanması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı. Adana.

Yeo, J., & Shahidi, F. (2017). Effect of hydrothermal processing on changes of insoluble-bound phenolics of lentils. *Journal of Functional Foods*, 38, 716-722. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.12.010>.

Yıldırım, A., & Atasoy, A. (2020). Quality characteristics of some durum wheat varieties grown in Southeastern Anatolia Region of Turkey (GAP). *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(4), 420-431. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.738505>.

Yılmaz, M. S., & Yıldırım, A. (2020). Firik Üretim Teknikleri ve Fonksiyonel Özellikleri. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(2), 109-121. <https://doi.org/10.46578/humder.773680>.

Yılmaz, V. A., & Koca, A. F. (2017). Effect of different production techniques on bioactive compounds and antioxidant capacity of einkorn (*Triticum monococcum* L.) and durum (*Triticum turgidum* subsp. durum) bulgur. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 269-277. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7724>.

Yılmaz, V. A., & Koca, A. F. (2020). Quality, sensorial and textural properties of einkorn and durum bulgur produced with several methods. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100263. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100263>.

Yılmaz, V.A. (2012). Siyez (*Triticum monococcum* L.) ve makarnalık (*Triticum durum*) buğdayların bulgura işlenmesinde bulgur kalitesi biyoaktif bileşenler ve antioksidan aktivitesindeki değişimler. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı 141, Samsun. <https://doi.org/10.30692/sisad.1254245>.

Yousif, S. I., Bayram, M., & Kesen, S. (2018). Characterization of volatile compounds of bulgur (Antep type) produced from durum wheat. *Journal of Food Quality*, 2018(1), 8564086. <https://doi.org/10.1155/2018/8564086>.

Yüksel, F., Koyuncu, M., & Sayaslan, A. (2011). Makarnalık buğday (*Triticum durum*) kalitesi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 5-31.

Zhang, H., & Jin, Z. (2011). Preparation of resistant starch by hydrolysis of maize starch with pullulanase. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 865-867. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.066>.

Zhao, G., Hu, M., Lu, X., & Zhang, R. (2022). Soaking, heating and high hydrostatic pressure treatment degrade the flavonoids in rice bran. *Lwt*, 154, 112732. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112732>.

## **EKLER**

**EK - 1 : İntihal Raporu**

**EK - 2 : Özgeçmiş**



## EK-1: İNTİHAL RAPORU

### MÜGE ÖZBEK TEZ

#### ORJİNALLİK RAPORU

% <b>9</b>	% <b>7</b>	% <b>7</b>	%
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

#### BİRİNCİL KAYNAKLAR

<b>1</b>	<b>acikbilim.yok.gov.tr</b> İnternet Kaynağı	% <b>3</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> İnternet Kaynağı	% <b>1</b>
<b>3</b>	<b>DEMİREKİN, Ayşe and GÜL, Hülya. "Enzime Dirençli Nişasta ve Sağlık Üzerindeki Etkileri", Uludağ Üniversitesi, 2016.</b> Yayın	% <b>1</b>
<b>4</b>	<b>acikerisim.erbakan.edu.tr</b> İnternet Kaynağı	% <b>1</b>
<b>5</b>	<b>Pekkirişçi, Büşra. "Türkiye'De Satışa Sunulan Firik ve Siyez Bulgurlarının Fiziksel, Kimyasal ve Antibesinsel Özelliklerinin Belirlenmesi", Necmettin Erbakan University (Turkey), 2023</b> Yayın	<% <b>1</b>
<b>6</b>	<b>Aydın, Emine. "Balkabağı (Cucurbita Moschata) Unu Katkısının Bisküvinin Antioksidan Aktivite ve Besinsel Kalitesine Etkileri", Bursa Uludag University (Turkey), 2021</b> Yayın	<% <b>1</b>

## EK-2: ÖZGEÇMİŞ

