



**T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DEFİTİNİZE TEFF UNUNUN BİSKÜVİ
ÜRETİMİNDE KULLANIM OLANAKLARI**

İrem KARAÇOBAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

**Şubat-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İrem KARAÇOBAN

Tarih: 16.02.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEFİTİNİZE TEFF UNUNUN BİSKÜVİ ÜRETİMİNDE KULLANIM OLANAKLARI

İrem KARAÇOBAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ

2022, 128 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ

Doç. Dr. Nilgün ERTAŞ

Doç. Dr. Hacer LEVENT

Bu çalışmada teffin içeriğinde doğal olarak bulunan bir antibesinsel faktör olan fitik asitin azaltılması amacıyla farklı defitinizasyon metotları (fermantasyon, otoklavlama ve fitaz enzimi ilavesi) uygulanmıştır. Elde edilen defitinize teff unları ile işlem görmemiş teff unu, farklı oranlarda (%0, 10, 20, 30 ve 40) bisküvi üretiminde kullanılmıştır. Bisküvi denemeleri (4x5)x2 faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Üretilen bisküvilerin bazı fiziksel, kimyasal ve duyuşal özellikleri belirlenmiştir. İşlem görmemiş teff ununda fitik asit miktarı 1350 mg/100 g olarak belirlenmiş ve fermentasyon, otoklavlama ve fitaz uygulaması sonrasında teff unlarında sırasıyla %86.59, 68.96 ve 85.33 oranında fitik asit kaybı gerçekleşmiştir. Bisküvi üretiminde teff unlarının defitinize edilerek kullanılması, bisküvilerin L^* ve b^* renk değerleri ile yayılma oranının düşmesine neden olmuştur. İşlem görmemiş teff unu kullanımına göre; otoklavlanmış teff unu kullanımı ile bisküvilerin sertliği azalırken, fermente ve fitaz ilave edilmiş teff unu kullanımı ile sertlik artmıştır. Ayrıca, defitinize edilmiş teff unlarının kullanımı ile bisküvilerin nem, kül, fitik asit ve toplam fenolik madde miktarı azalmış, protein ve yağ miktarı ile antioksidan aktivite değerleri değişmemiştir. En düşük fitik asit miktarları fermente edilmiş ve fitaz uygulanmış teff unlarının ilave edildiği bisküvilerde belirlenmiştir. Sonuçlar bisküviye ilave edilen teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; teff unu oranı arttıkça bisküvilerin kül, yağ, fitik asit, antioksidan aktivite, toplam fenolik madde ve mineral madde miktarının arttığı belirlenmiştir. %40 teff unu ilavesiyle bisküvilerin ortalama Ca, Fe, K, Mg, P ve Zn miktarları sırasıyla %36.40, 83.08, 35.24, 56.38, 25.1 ve 97.67 oranında artmıştır. Duyusal analiz sonuçlarına göre; bisküvilerde, işlem görmemiş, otoklavlanmış ve fitaz ilave edilmiş teff unlarının %20 oranına kadar kullanımı genel beğeni puanı üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Bisküvi, defitinizasyon, fermentasyon, fitaz enzimi, fitik asit, otoklavlama, teff

ABSTRACT

MS THESIS

USAGE POSSIBILITIES OF DEPHYTINIZED TEFF FLOUR IN COOKIE PRODUCTION

İrem KARAÇOBAN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN FOOD ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ

2022, 128 Pages

**Jury
Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ
Assoc. Prof. Nilgün ERTAŞ
Assoc. Prof. Hacer LEVENT**

In this study, different dephytinization methods (fermentation, autoclaving and phytase enzyme treatment) were applied in order to reduce phytic acid, which is an antinutritional factor naturally found in teff. Untreated teff flour and dephytinized teff flours were used in the production of cookies at different ratios (0, 10, 20, 30 and 40%). Cookie experiments were carried out according to the (4x5)x2 factorial design. Some physical, chemical and sensory properties of the cookies were determined. Phytic acid content of untreated teff flour was determined as 1350 mg/100 g and, phytic acid losses were observed in teff flours after fermentation, autoclaving, and phytase treatment as 86.59, 68.96 and 85.33%, respectively. The use of dephytinized teff flour in cookie production caused to reduce in *L** and *b** values with spread ratio of cookies. Compared to untreated teff flour usage, the addition of autoclaved teff flour decreased the hardness of the cookie samples, while the addition of fermented and phytase treated teff flour increased the hardness. Also, the use of dephytinized teff flour in cookie formulation decreased moisture, ash, phytic acid, and total phenolic content values, and had no effect on protein, fat and antioxidant activity values compared to untreated teff flour. The lowest amount of phytic acid was determined in the cookies with fermented and phytase treated teff flours. When the results are evaluated in terms of teff flour addition ratio into cookie formulation; as the teff flour ratio increased, ash, protein, fat, phytic acid, antioxidant activity, total phenolic and mineral content increased. With 40% teff flour usage in cookie formulation, Ca, Fe, K, Mg, P and Zn values of the cookies increased by 36.40, 83.08, 35.24, 56.38 25.10 and 97.67%, respectively. According to sensory analysis results, the use of untreated, autoclaved and phytase treated teff flours up to 20% in cookie did not have a negative effect on the overall acceptability score.

Keywords: Autoclaving, cookie, dephytinization, fermentation, phytase enzyme, phytic acid, teff

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, antik bir tahıl olan teff tohumunda doğal olarak bulunan antibesinsel bir bileşen olan fitik asitin azaltılması amaçlanmış, elde edilen sonuçlar işlem görmemiş ve defitinize edilmiş teff unlarının belirli orana kadar bisküvi formülasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Öncelikle bu tez çalışmasının hazırlanmasında, lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle yoluma ışık tutan, desteğini her zaman yanımda hissettiğim, sabırla bana yol gösteren ve danışmanım olmasından onur duyduğum değerli hocam Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ'ye şükranlarımı sunarım.

Lisans eğitimimde ve tez çalışmamın her aşamasında yanımda olup desteklerini esirgeyemeyen değerli hocam Prof. Dr. Selman TÜRKER hocama çok teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen ve beni yönlendiren değerli hocalarım Dr. Elif YAVER'e ve Arş. Gör. Dr. Tekmile CANKURTARAN KÖMÜRCÜ'ye, Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda bulunan öğretim üyesi hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman destekleriyle yanımda olan değerli hocalarım Doç. Dr. İsmail TONTUL'a ve Arş. Gör. Vildan EYİZ'e ve değerli yüksek lisans arkadaşlarım Merve MUTLUER ve Ali İLHAN'a çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 211319020 nolu proje ile desteklenmiştir. Tez çalışmamı destekleyen Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

İrem KARAÇOBAN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Teff (<i>Eragrostis tef</i>)	3
2.2. Fitik Asit	13
2.2.1. Fitik asitin olumsuz etkileri	15
2.2.2. Fitik asitin olumlu etkileri.....	17
2.2.3. Gıdalarda fitik asiti azaltan yöntemler.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Materyal	31
3.2. Yöntem.....	31
3.2.1. Deneme planı	31
3.2.2. Teff unlarının defitinizasyonu	31
3.2.3. Bisküvi üretimi	32
3.2.4. Hammadde analizleri	33
3.2.4.1. Renk ölçümü	33
3.2.4.2. Kimyasal analizler	33
3.2.4.2.1. Nem.....	33
3.2.4.2.2. Kül	33
3.2.4.2.3. Ham protein	33
3.2.4.2.4. Ham yağ.....	34
3.2.4.2.5. Fitik asit	34
3.2.4.2.6. Toplam fenolik madde	34
3.2.4.2.7. Antioksidan aktivite	35
3.2.4.2.8. Mineral madde	35
3.2.5. Bisküvi analizleri	35
3.2.5.1. Renk ölçümü	35
3.2.5.2. Fiziksel analizler	35
3.2.5.3. Kimyasal analizler	36
3.2.5.4. Duyusal analizler	36
3.2.6. İstatistiki analizler.....	36
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	37

4.1. Hammadde Analiz Sonuçları	37
4.1.1. Buğday ununa ait sonuçlar.....	37
4.1.2. Farklı defitinizasyon işlemlerine tabi tutulan teff unlarına ait sonuçlar	38
4.2. Bisküvi Örneklerine Ait Analiz Sonuçları	45
4.2.1. Bisküvi örneklerine ait renk değerleri	45
4.2.1.1. L^* değeri	46
4.2.1.2. a^* değeri	48
4.2.1.3. b^* değeri	49
4.2.1.4. ΔE değeri.....	51
4.2.2. Bisküvi örneklerine ait çap, kalınlık ve yayılma oranı değerleri.....	54
4.2.2.1. Çap	54
4.2.2.2. Kalınlık	56
4.2.2.3. Yayılma oranı	57
4.2.3. Bisküvi örneklerine ait sertlik değerleri.....	60
4.2.4. Bisküvi örneklerine ait bazı kimyasal analiz sonuçları	63
4.2.4.1. Nem.....	63
4.2.4.2. Kül	65
4.2.4.3. Protein.....	65
4.2.4.4. Yağ.....	66
4.2.5. Bisküvi örneklerine ait fitik asit, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite sonuçları	70
4.2.5.1. Fitik asit	70
4.2.5.2. Toplam fenolik madde	75
4.2.5.3. Antioksidan aktivite	79
4.2.6. Bisküvi örneklerine ait mineral madde sonuçları	81
4.2.7. Bisküvi örneklerine ait duyusal analiz sonuçları	92
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
5.1. Sonuçlar	98
5.2. Öneriler	101
KAYNAKLAR	102

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a^* : (+) kırmızı, (-) yeşil renk değeri

b^* : (+) sarı, (-) mavi renk değeri

Ca : Kalsiyum

dk : Dakika

Fe : Demir

g : Gram

K : Potasyum

kg : Kilogram

L^* : (0) siyah-(100) beyaz

M : Molar

Mg : Magnezyum

mg : Miligram

ml : Mililitre

mm : Milimetre

mmol : milimol

N : Newton

nm : Nanometre

P : Fosfor

rpm : Devir sayısı/dakika

TE : Troloks eşdeğeri

TEAC : Antioksidan kapasite

Zn : Çinko

α : Alfa

β : Beta

μ : Mikron

μ g : Mikrogram

μ mol : Mikromol

ΔE : Toplam renk farkı

Kısaltmalar

DPPH : 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radikalinin inhibisyonu

GAE : Gallik asit eşdeğeri

TFM : Toplam fenolik madde

TU : Teff unu

1. GİRİŞ

Kökeni kuzey Etiyopya dağlıklarına uzanan teff, yaklaşık 350 farklı türü olan antik bir tahıl çeşididir. İdeal esansiyel aminoasit kompozisyonu ve mineral profili sebebiyle antik tahıl çeşitleri “Süper gıdalar” olarak da tanımlanabilmektedir (Kahlon ve Chiu, 2015). Etiyopya ve Eritre’ye özgü olan teff; injera (gözleme), tella (opak bira) ve kitta (mayasız ekmek) gibi çeşitli geleneksel yiyecek ve içeceklerin üretiminde kullanılmaktadır (Zhu, 2018). Üstün besinsel özellikleri nedeniyle dünya çapında kullanımı giderek artan teff tohumu (Gebremariam ve ark., 2014) Hollanda, Idaho, Avustralya ve Hindistan gibi bölgelerde de yetiştirilmektedir (O’Connor, 2016). Teff; kuraklık ve toprakta tuzluluk gibi birçok olumsuz çevresel koşula adapte olabilmektedir (Assefa ve ark., 2015). Ayrıca, depolama sırasında böceklerin ve diğer zararlıların saldırılarına karşı, diğer tahıl çeşitlerine göre daha dayanıklıdır (Gebremariam ve ark., 2014).

Son yıllarda teff tohumu gluten içermemesi ve yüksek diyet lifi içeriği nedeniyle dünya çapında oldukça popüler hale gelmiştir (Zhu, 2018). Zengin mineral (özellikle demir, kalsiyum, fosfor ve bakır) ve B1 vitamini içeriği ile dikkat çekmektedir (Hruskova ve ark., 2012). Teff unu, teff tohumunun çok küçük boyutta olması nedeniyle tam tahıl unu olarak elde edilebilmektedir. Kepek bileşenlerinin de dahil edilmesi nedeniyle, lif içeriği bakımından zengin olan teff unu, polifenoller gibi biyoaktif bileşikler açısından da önemli bir kaynaktır (Shumoy ve Raes, 2016). Ayrıca gliadin içermemesi sebebiyle çölyak hastalarının diyetinde kullanılabileceği belirtilmektedir (Mengesha, 1996; Hopman ve ark., 2008).

Teff, diğer tahıllarda olduğu gibi fitik asit, tanenler ve tripsin inhibitörleri gibi antibesinsel bileşenler içerebilmektedir. Bu antibesinsel bileşenlerden birisi olan fitik asit; çinko, demir, kalsiyum, magnezyum ve bakır gibi minerallerle kompleks oluşturmakta ve bunların biyoyararlılığını düşürmektedir. Ayrıca, fitik asitin minerallerle bağlanmasıyla meydana gelen fitatlar, fitat-protein kompleksleri oluşturarak protein emiliminin azalmasına da neden olabilmektedir.

Tahıllarda bulunan fitik asit miktarı üzerinde; toprak özellikleri, iklim, sulama ve lokasyon gibi birçok faktörün etkisinin olduğu bildirilmiştir (Bassiri ve Nahapetien, 1977). Gıdalardaki fitik asit, tanenin dış tabakalarında daha fazla miktarda bulunduğu için öğütme gibi mekaniksel işlemlerle uzaklaştırılabilmektedir (Cheryan, 1980). Bununla birlikte; ıslatma, fermentasyon, çimlendirme, pişirme, otoklavlama, fitaz

ilavesi ve malt unu ilavesi işlemleri de fitik asit miktarını azaltan önemli yöntemlerden bazılarıdır (Özkaya, 2004). Defitinize edilmiş tahılların tüketimi sonucunda, demirin ve diğer minerallerin biyoyararlılığının arttığı saptanmıştır (Davidsson ve ark., 1995).

Defitinizasyon için en sık uygulanan yöntemlerden birisi olan fermentasyon işlemi, tahıllarda mineral ve proteinler gibi çok değerlikli katyonlarla kompleksler halinde bulunan fitik asitin enzimatik hidrolizi için optimum pH koşullarını sağlayarak fitik asit miktarının azalmasını sağlamaktadır (Blandino ve ark., 2003). Etkili defitinizasyon yöntemlerinden bir diğeri olan otoklavlama işlemi, gıdanın yapısında fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana getirmekte ve düşük sıcaklıklardayken fitazın fitik asiti parçalamasını da sağlamaktadır (Bektaş, 2018). Fitatı parçalayan enzimler kullanarak da gıdalardaki fitik asit miktarını azaltmak, tahıl çeşitlerinin besleyici değerinin artmasını sağlamaktadır. Bu yöntemler ile fitik asitte meydana gelen azalmayla birlikte, çözünür mineral miktarında artış sağlanabilmektedir (Blandino ve ark., 2003).

Son yıllarda gıda teknolojisindeki ilerlemeler ve tüketicilerin daha bilinçli hale gelmesi ile ürün kalitesinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar da artış göstermiştir (Halaç, 2002). Gıda endüstrisinde önemli sektörlerden birisi olan bisküvi üretimi, gelişmiş ülkelerde oldukça önemli bir yere sahiptir. Gelişmekte olan ülkelerde ise, bisküvi üretim ve tüketim miktarı hızla artmaktadır. Bisküvinin tüketiciler tarafından tercih edilme nedenlerinden birisi, birçok çeşidinin bulunmasıdır. Bunun yanında; bayatlamadan uzun süre depolanması, pratik olması ve tüketiciye hoş ve değişik lezzetler sunması gibi nedenlerle bisküvi öğün dışı beslenmede önemli bir yer tutmaktadır (Karaduman, 2013).

Bu çalışmada yüksek oranda lif ve mineral madde içeriğine sahip antik bir tahıl olan teffin bileşiminde bulunan ve mineralleri bağlayarak biyoyararlılıklarını azaltan fitik asitin, farklı defitinizasyon yöntemleri (fermantasyon, otoklavlama ve fitaz enzimi ilavesi) ile azaltılması hedeflenmiştir. Farklı yöntemlerle defitinize edilen teff unları farklı oranlarda bisküvi üretiminde kullanılarak, bisküvinin fiziksel, kimyasal ve duyuşsal özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Teff (*Eragrostis tef*)

Poaceae (*Gramineae*) familyası, Chloridoideae (*Eragrostioideae*) alt familyası, Eragrostidae takımı, Eragrostis cinsine dahil bir antik tahıl olan teff, yüzyıllardır Etiyopya'da insanların tüketimi için yetiştirilmekte ve kullanılmaktadır (Watson ve Dallwitz, 1992). Kökeninin Etiyopya'da olduğu bilinen ve ekimi günümüzden 3000 yıl öncesine dayanan teff, antik bir tahıl olarak kabul edilmektedir (Girma ve ark., 2014). Teff, tropikal geleneksel yiyecek ve içeceklerin üretiminde kullanılmaktadır (Gebremariam ve ark., 2014; Bultosa, 2016).

Etiyopya kültüründe büyük önemi olan teff, yerel çiftçiler için yılda yaklaşık 500 milyon ABD doları değerinde gelir sağlamaktadır. 2011-2012 yıllarında Etiyopya'daki tüm ekili alanların yaklaşık %20'sini oluşturduğu tahmin edilmektedir (Minten ve ark., 2016). Etiyopya'da teff, çiftlik geliri açısından önemli bir üründür (Minten ve ark., 2016) ve üretimi 2015 yılında 4.2 milyon tona kadar ulaşmıştır (EATA, 2016). Bunun yanı sıra Güney Afrika, Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde genellikle hayvan yemi olarak kullanılmaktadır (Baye ve ark., 2014).

Diğer mahsullerin üretiminin uygun olmadığı farklı iklim koşullarındaki gelişme yeteneği, teff sürdürülebilir bir ürün yapmaktadır. Bununla birlikte teff gübre ve pestisit uygulamaları olmadan da dayanıklılığını korumaktadır. Hava ve çevre koşullarındaki ani değişikliklerden çok etkilenmemesi nedeniyle, teff acil durum mahsulü olarak kabul edilmektedir. Çok verimli bir mahsul olmasının yanı sıra yaygın olarak ekvator bölgelerinde yetiştirildiğinden, tropik bölgenin dışında yetiştirildiğinde teffin verimi değişebilmektedir (Miller, 2007).

Oldukça küçük olan teff tohumlarının (Kreitschitz ve ark., 2009) en yaygın olan renkleri beyaz, açık kahverengi ve koyu kahverengidir (Ketema, 1993). Etiyopya Standart Ajansı (ESA, 2012) ise teff tanelerini renklerine göre çok beyaz (magna), beyaz (nech), karışık (sergegna) ve kahverengi (key) olarak sınıflandırmaktadır. Uzun oval biçimli tohum taneleri 1.1-1.2 mm uzunluğunda ve 0.6 mm genişliğindedir (Kreitschitz ve ark., 2009). Tek bir teff tohumunun ağırlığı 0.2-0.4 mg aralığında iken, bin tane ağırlığı genellikle 0.19-0.21 g civarındadır (Bedane ve ark., 2015). Bu sebeple teff, karbonhidrat yönünden zengin tahıl çeşitleri arasında en küçük tohuma sahip olan bitkidir (Belay ve ark., 2006; Bultosa, 2007).

Bitki tanelerinin yere düşürülmesi halinde kolayca kaybolması ve bulunmasının hemen hemen imkansız olması sebebiyle, bu bitki yerel dilde (Amharca) teffa yani kayıp olarak adlandırılmaktadır (Stallknecht ve ark., 1993). Teff, çok küçük taneleri nedeniyle öğütülürken kabuğundan ayıramamakta ve tam tane olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden lif açısından oldukça zengindir (Shumoy ve Raes, 2016). Bununla birlikte teff; buğday, kinoa, yulaf, karabuğday ve sorgum ile karşılaştırıldığında en yüksek jelleşme sıcaklıklarına sahip olduğundan glisemik indeksi düşük gıdaların üretilmesinde kullanılabileceği belirtilmektedir (Shumoy ve Raes, 2017).

Teff tohumun besin değerinin yüksek olmasının sebeplerinden birisi de kepek oranının tohumun geri kalanına kıyasla (endosperm) daha yüksek olmasıdır (Roosjen, 2006). Teff tohumu; embriyo, perikarp (kütikül, mezokarp ve endokarp) ve endosperm tabakalarından oluşmaktadır. Çoğu tahılda olduğu gibi endosperm tabakası, teff tohumunun önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Teff tohumu ayrıca proteinler ve yağ asitleri açısından zengin tek katmanlı bir aleuron tabakası içermektedir (Bultosa, 2016; Serna-Saldivar ve Espinosa-Ramirez, 2019). Sarı ve Tiriyaki (2018)'nin USDA/ARS (2016)'dan derlediği verilere göre teff tohumunun 100 gramında 13.3 g protein, 2.4 g yağ, 73.1 g karbonhidrat ve 8 g diyet lifi bulunmaktadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Teffin diğer tahıl çeşitleri ile besin bileşenleri yönünden karşılaştırılması

Bileşen (g/100 g)	Teff	Mısır	Çeltik	Sorgum	Buğday	Arpa	Çavdar
Su	8.8	10.4	9.4	12.4	13.1	9.6	10.6
Enerji (kcal)	367.0	365.0	354.0	329.0	327.0	342.0	338.0
Protein	13.3	9.4	7.5	10.6	12.6	12.5	10.3
Karbonhidrat	73.1	74.3	76.3	72.1	71.2	73.5	75.9
Toplam yağ	2.4	4.7	3.2	3.5	1.5	2.3	1.6
Ham lif	8.0	7.3	3.6	6.7	12.2	17.3	15.1
Şeker	1.8	0.6	0.7	2.5	0.4	0.8	1.0

(USDA/ARS, 2016; Sarı ve Tiriyaki, 2018)

Teff tohumunun %80'ini, insanlar için ana enerji kaynağı olan kompleks karbonhidratlar oluşturmaktadır. Yaklaşık %73'lük bir nişasta içeriğine sahip olması teff tohumunu nişastalı tahıl haline getirmektedir. 13 teff çeşidinin amiloz içeriğinin %20 ile 26 arasında değiştiği bildirilmiştir (Bultosa, 2007). Karbonhidratların ince bağırsakta sindirilme ve emilme kapasiteleri sağlık açısından oldukça önemlidir. Hızlı sindirilen ve emilen karbonhidratların (glisemik karbonhidratlar) daha fazla metabolik bozulmaya yol açmaları sebebiyle kan şekeri seviyelerinde daha büyük etkileri vardır

(Lafiandra ve ark., 2014). Bu nedenle sağlık açısından, yavaş sindirilen karbonhidratlar, hızlı sindirilenlere tercih edilmektedir.

Teff tohumunun nişasta granül boyutu, buğday ve mısır gibi diğer tahıllardan daha küçük olmakla birlikte 2 ila 6 µm arasında değişmektedir (Delcour ve ark., 2010). Teff yüksek amiloz içeriği, düşük nişasta zedelenmesi ve amiloz-lipid komplekslerinin oluşumu nedeniyle diğer tahıllara göre düşük glisemik indekse sahiptir (Singh ve ark., 2010; Wolter ve ark., 2013). Bununla birlikte, diğer tahıllara göre teffin bileşimindeki yüksek diyet lifi miktarı, kan şekeri seviyesini azaltarak diyabetin önlenmesine yardımcı olabilmektedir (Post ve ark., 2012).

Teffin ortalama ham protein içeriği, buğday gibi diğer tahıllara benzer orandadır (Wolter ve ark., 2013; USDA/ARS, 2014). Teffin fraksiyonel protein bileşimi; glutelinlerin (%45) ve albüminlerin (%37) başlıca protein depoları olduğunu, prolaminlerin ise küçük bir bileşen (%12) olduğunu göstermektedir (Bekele ve ark., 1995; Tatham ve ark., 1996). Buna karşın, son zamanlarda yapılan çalışmalar prolaminlerin teff içindeki ana protein depoları olduğunu bildirmektedir (Adebowale ve ark., 2011). Teffin genel aminoasit bileşimi iyi bir dengeye sahip olup çoğu tahıldan daha yüksektir (Minarovicova ve ark., 2019; Viell ve ark., 2020). Teffin bir başka önemli özelliği de gluten içermemesidir (Hopman ve ark., 2008). Spaenij-Dekking ve ark. (2005), 14 teff çeşidini analiz etmişler ve hiçbir teff çeşidinde gluten proteinine rastlamamışlardır. Bu çalışmalar, teffin çölyak hastaları için oldukça sağlıklı bir alternatif olduğunu göstermiştir (Baye ve ark., 2014).

Teff taneleri doymamış yağ asitlerince, ağırlıklı olarak da oleik asit (%32.4) ve linoleik asit (%23.8) bakımından zengindir (El-Alfy ve ark., 2012). Bu sebeple teff, iyi bir yağ asidi kaynağı olan soya fasulyesi gibi baklagillerle karşılaştırılabilir özelliktedir (Baye ve ark., 2014).

Mengesha (1996) teffin kimyasal kompozisyonunu buğday, arpa ve sorgum ile karşılaştırmıştır. Bu çalışmada teffin, diğer tahıllardan daha yüksek demir, kalsiyum, bakır ve çinko miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte; kullanımdan önce tahılın temizlenmesi amacıyla uygulanan yıkama işleminin, tahıldaki demir miktarını önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Bu azalmaya rağmen, teff tohumunda bulunan demir miktarının diğer tahıl çeşitlerine kıyasla nispeten yüksek olduğu bildirilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada da teffin kalsiyum, demir, magnezyum, fosfor, çinko, bakır ve mangan miktarı diğer tahıl çeşitlerine göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Teffin diğer tahıl çeşitleri ile mineral miktarları yönünden karşılaştırılması

Mineral değerleri (mg/100 g)	Teff	Mısır	Çeltik	Sorgum	Buğday	Arpa	Çavdar
Kalsiyum	180.0	7.0	9.0	130.0	29.0	33.0	24.0
Demir	7.6	2.7	1.3	3.4	3.2	3.6	2.6
Magnezyum	184.0	127.0	116.0	165.0	126.0	133.0	110.0
Fosfor	429.0	210.0	311.0	289.0	288.0	264.0	332.0
Potasyum	427.0	287.0	250.0	363.0	363.0	452.0	510.0
Sodyum	12.0	35.0	5.0	2.0	2.0	12.0	2.0
Çinko	3.6	2.2	2.1	1.7	2.7	2.8	2.7
Bakır	0.8	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4
Mangan	9.2	0.5	2.9	1.6	4.0	1.9	2.6
Selenyum	4.4	15.5	17.1	12.2	70.7	37.7	13.9

(USDA/ARS, 2016; Sarı ve Tiryaki, 2018)

Ambaw (2013) geleneksel yöntemle ve laboratuvar ortamında yetiştirilmiş teff örneklerini karşılaştırmıştır. Geleneksel olarak yetiştirilen teff örneklerinde, toprak kontaminasyonu nedeniyle demir miktarında %30 ila 38 oranında artış meydana gelmiştir. Laboratuvar koşullarında yetiştirilen teff tohumunun demir miktarı ise 16 mg/100 g olarak bulunmuştur. Bu da teffin buğday, arpa, sorgum ve mısır gibi diğer tahıllardan daha iyi bir demir kaynağı olduğunu göstermektedir.

Teff, fenolik bileşikler ve saponinler gibi çeşitli biyoaktif metabolitler açısından da zengindir (Gebru ve ark., 2020). Teffteki fenolik bileşiklerin çoğunluğunu flavonlar, apigenin ve luteolin C-glikozil flavonlarının oluşturduğu bildirilmiştir (Ravisankar ve ark., 2018). Teffteki fenolik bileşik varlığının kronik hastalık riskini de azalttığı ifade edilmiştir. Teff tohumunun kimyasal bileşenleri üzerinde yapılan *in vitro* çalışmalar, bileşenlerin antioksidan ve antienflamatuvar özelliklere sahip olduğunu göstermiştir (Gebru ve ark., 2020).

Teff tohumunun bileşiminde bulunan diyet lifi ve fitokimyasal miktarının yüksek olması, teffin sağlığa yararlı bir gıda olmasını sağlamaktadır (Baye ve ark., 2014). Tam un olarak üretilen teff unu; ekmek, kurabiye, bisküvi, kek, makarna, krep, puding, çorba ve ekstrüde ürünler gibi birçok gıda ürünlerinde kullanılmaktadır (Zegeye, 1997; Yetneberk ve ark., 2004; Arendt ve Zannini, 2013). Çok yüksek sıcaklıklarda bile jelleşebilen teff, puding gibi gıdaların yapısını kuvvetlendirmeye yardımcı olabilmektedir. Teff, aynı zamanda çorba, güveç ve et suyu için iyi bir koyulaştırıcıdır (Small, 2015).

Coleman ve ark. (2013) unlu mamuller üretiminde kullanım imkanlarını belirlemek için, teffin pişirme özelliklerini değerlendirmişlerdir. Teff ununu buğday ununa %0, 10, 20, 30, 40 ve 100 oranlarında ikame edip ekmek, kek, kurabiye ve bisküvi üretiminde kullanmışlardır. Kullanılan teff oranı arttıkça, ekmek ve kek hacminde azalmalar olduğu görülmüştür. Bisküvilerde ise kırılma kuvvetinde önemli derecede fark gözlemlenmemiştir. %40 ve 100 teff unu ikameli üretilen kurabiyelerde yayılma oranı belirgin olarak farklı bulunmuştur. Genel olarak teff ununun kurabiye ve bisküvi kullanımına uygun olduğu bildirilmiştir.

Kenney ve ark. (2011) teff ununu %25 ve 50 oranlarında glutensiz şekerli ve fıstık ezmeli bisküvi formülasyonlarına dahil etmişlerdir. Teff unu içeren bisküvilerin, kontrol bisküvilerine kıyasla daha kırılğan olduğunu belirlemişlerdir. Kontrol bisküviler ile teff unu içeren bisküviler arasında tat, lezzet ve görünüş açısından önemli bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir. %25 teff unu içeren bisküvilerin kabul edilebilir duyuşal özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir.

Svec ve ark. (2017) buğday-arpa paçalından yapılan bisküvilerin kalitesini artırmak için chia ve teff unu kullanmışlardır. 70:30 ve 50:50 oranındaki buğday-arpa paçalına, %5 ve 10 oranında chia ve teff unu ilave etmişlerdir. Chia ve teff unları kullanılarak üretilen bisküvilerde olumlu değişiklikler gözlemlenmiş, ancak karakteristik arpa unu aromasının, chia ve teff unu ile maskelendiği tespit edilmiştir.

Daelemans ve ark. (2019) amarant, karabuğday, beyaz kinoa, kırmızı kinoa, karışık kinoa, beyaz teff ve kahverengi teff unlarının glutensiz bisküvi yapımında kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Kahverengi teff unu içeren bisküviler haricinde tüm glutensiz bisküvilerin, kontrol bisküvilere kıyasla daha düşük yayılma oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Beyaz kinoa katkılı bisküvi lezzet ve genel beğeni açısından en düşük puanları alırken beyaz teff lezzet açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Ancak yeşilimsi rengi nedeniyle genel beğeni puanının daha düşük olduğu bildirilmiştir.

Hawa ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada farklı oranlarda teff, okara ve buğday unları kullanılarak 16 farklı bisküvi üretimi gerçekleştirilmiştir. Bisküvilerde yapılan analiz sonuçlarına göre; antibesinsel bileşenler (tanen ve fitik asit), bisküvi formülasyonunda okara miktarının artmasıyla yükselmiştir. En iyi sonuçların %33-38 teff, %18-20 buğday ve %45-47 okara kullanım oranlarında olduğu tespit edilmiştir.

Teshome ve ark. (2017) pişirme sıcaklığı, pişirme süresi ve bisküvi kalınlığı parametrelerinin optimizasyonu için teff ununu glutensiz bisküvi formülasyonuna dahil

etmişlerdir. Sonuç olarak, 9 dk boyunca 174°C sıcaklıkta pişirilen, 4.5 mm kalınlığındaki bisküviler daha kaliteli bulunmuştur. Farklı pişirme koşulları, bisküvilerin tekstür ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkilememiştir. Bu çalışma, glutensiz teff içerikli bisküvinin, gluten intoleransı olan tüketiciler için alternatif bir gıda kaynağı olarak tüketilebileceğini doğrulamaktadır.

Teff unu-tam yulaf unu karışımlarının, bisküvinin besleyici ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için kullanıldığı bir çalışmada, teff içeren karışım unlarının, buğday ununa göre daha yüksek su emme kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen hamur ve pişmiş bisküvilerin tekstürel özelliklerinde farklılıklar tespit edilmiştir. Genel olarak, teff unu-tam yulaf unu karışımlarından elde edilen bisküvilerin renk, tat ve tekstürel açıdan kabul edilebilir olduğu bildirilmiştir (Inglett ve ark., 2016).

Mancebo ve ark. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı hammaddelerden elde edilen glutensiz unların (teff, mısır, pişmiş mısır, karabuğday, kısa taneli ve uzun taneli pirinç unu) bisküvi kalitesine etkileri araştırılmıştır. Uzun taneli pirinç unu içeren bisküviler haricindeki glutensiz bisküvilerin, kontrol (buğday) bisküvilerinden daha düşük yayılma oranına ve daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, kontrol örneğine benzer duyuusal kabul edilebilirlik puanlarına sahip glutensiz bisküviler elde etmenin mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Teff ununun bisküvi ve ekmek kalitesi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; teff ununun esansiyel aminoasitler, diyet lifi, fosfor, bakır, magnezyum ve sodyum gibi mineraller açısından iyi bir kaynak olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte; ekmek ununa teff unu ilavesi su absorpsiyonunda önemli bir artışa neden olmuştur. Ekmek ve bisküvi un paçalarına teff unu ilavesi ile gluten ve gluten indeksinde önemli bir düşüş gerçekleşmiştir (Mohammed, 2007).

Legesse ve ark. (2015) pirinç-teff unu paçallarından elde edilen ekmeğin kimyasal bileşimi, mineral ve fitik asit miktarını araştırmışlardır. Pirinçteki fitik asit oranı, teffe göre daha az olduğundan ekmekte optimum fitik asit miktarı (0.31 mg/g), “%90 pirinç unu + %10 teff unu” paçalından elde edilmiştir. Pirinç ununa teff unu ilavesi; ürünün ham lif, yağ, mineral ve fitik asit miktarını önemli ölçüde artırmıştır.

Mohammed ve ark. (2009) teff ununu, buğday ununa %0, 5, 10, 15 ve 20 seviyelerinde ilave ederek ekmeğin duyuusal ve besinsel özelliklerini incelemişlerdir. Buğday ununa teff unu ilave edilmesi, küldede önemli düzeyde artışa ve protein miktarında ise önemli düzeyde azalmaya neden olmuştur. Bununla birlikte, artan teff unu oranı duyuusal özelliklerde olumsuz değişikliklere neden olmuştur. %5 teff unu

içeren ekmeklerin duyusal ve besinsel özellikler açısından kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Villanueva ve ark. (2021) mısır nişastası esaslı glutensiz hamurların reolojik ve termal özellikleri ile ekmek özellikleri üzerine üç farklı teff çeşidinin (DZ-Cr-387, DZ-Cr-37 ve DZ-01-99) ve bu tefflerin farklı oranlarının (%50, 75 ve 100) etkilerini araştırmışlardır. %50 ve 75 teff unu kullanım oranlarında ekmeklerin hacim ve iç yapı özelliklerinin teff çeşidinden önemli ölçüde etkilendiği ve ekmeklerin kalitesini iyileştirdiği rapor edilmiştir. Bu çalışma, teknolojik olarak uygulanabilir ve duyusal olarak kabul edilebilir %100 teff unu katkılı glutensiz ekmek eldesinin mümkün olduğunu göstermiştir.

Homem ve ark. (2021) %100 teff unu, “%75 teff unu + %12.5 pirinç unu + %12.5 manyok nişastası”, “%50 teff unu + %25 pirinç unu + %25 manyok nişastası” formülasyonları ile yüksek lifli ekmek üretimi gerçekleştirmişlerdir. Farklı oranlarda teff unu ile yapılan ekmeklerin yüksek miktarda toplam ve çözünmeyen lif içerdiği rapor edilmiştir. Sonuç olarak teff ununun, teknolojik ve besinsel değerlerinin yanı sıra duyusal özellikler açısından da umut verici olduğu belirtilerek, tüketici memnuniyetini azaltmadan yeni glutensiz unlu mamuller geliştirmenin mümkün olduğu bildirilmiştir.

Alaunyte ve ark. (2012) buğday ununa %0, 10, 20 ve 30 oranlarında teff unu ilave ederek direk hamur ve ekşi hamur fermantasyon yöntemleriyle ekmek üretimi gerçekleştirmişlerdir. Teff ekmeklerinde farklı enzim kombinasyonları (ksilanaz, amilaz, glikoz oksidaz ve lipaz) da kullanılmıştır. Teff ilavesi, ekmeğin özgül hacmini ve duyusal kabul edilebilirliğini azaltırken; hamurun yumuşama derecesini, gelişme süresini ve ekmek içi sertliğini artırmıştır. Teff ununun enzimlerle birlikte kullanılması, ekmeklerin tekstürel ve duyusal kalitesini büyük ölçüde geliştirmiştir.

Campo ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada *Lactobacillus helveticus* ile hazırlanan ekşi hamura belirli oranlarda (%5, 10 ve 20) teff unu ilave etmişlerdir. Üretilen glutensiz ekmeklerin duyusal özelliklerini ve tüketici tercihi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. %20 teff unu içeren ekmekler görsel açıdan oldukça beğenilirken, lezzet açısından %10 teff ve pirinç ekşi hamurundan hazırlanan ekmekler daha fazla tercih edilmiştir. Bu çalışma, teff unu ve kullanılan diğer tahılların, geliştirilmiş duyusal profile sahip glutensiz ekmek elde etmede alternatif bir yol olabileceğini göstermiştir.

Wolter ve ark. (2014) *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 ile fermente edilen ekşi hamurun, çeşitli unlardan (teff, karabuğday, yulaf, kinoa ve sorgum) hazırlanmış glutensiz ekmekler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, seçilen

glutensiz unların *L. plantarum* FST 1.7 için substrat görevi görebileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, glutensiz unlardan hazırlanan ekmeklerde tespit edilen kötü aromanın ekşi maya ilavesi ile iyileştirilemediğini bildirmişlerdir.

Dingeo ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, teff unu ve tip I ekşi hamur kullanımı ile glutensiz muffinler üretmişlerdir. *L. plantarum*, *L. fermentum* ve *S. cerevisiae* suşlarının hakim olduğu ekşi hamur %0, 5, 10 ve 15 oranlarında muffin üretiminde kullanılmıştır. Teff unu, muffinlerde lif (>3 g/100 g) ve protein (>6 g/100 g) miktarlarını yükselterek sağlıklı gıda üretimi sağlamıştır. Bununla birlikte, yüksek antioksidan (%56) ve küf gelişimini önleyici aktiviteleri ile potansiyel olarak ürünün daha uzun bir raf ömrü göstereceği bildirilmiştir.

Genellikle teff ununun fermente edilmesiyle hazırlanan injera, Etiyopya'da oldukça sık tüketilen geleneksel bir gıdadır (Neela ve Fanta, 2020). Ekşi tadı, ince, gözenekli, süngerimsi ve elastik yapısıyla gözleme benzeri bir gıda olmasının yanı sıra yassı ekmek olarak da bilinir. Hemen hemen her Etiyopyalı tarafından günde en az bir kez tüketilmektedir. İnjera diğer tahıl çeşitleri kullanılarak veya bunların teff unu ile karıştırılmasıyla hazırlanabilmektedir. Ancak, teff unundan yapılan injera yumuşak süngerimsi dokusunu 3 gün korumakta ve daha iyi tat özelliği sergilemektedir (Small, 2015).

İnjera üretiminde kullanılan teff, amarant ve arpa unu oranlarının optimize edildiği bir çalışmada; amarant ve teff oranındaki artışla birlikte injeranin kalsiyum, demir ve çinko içerikleri de artmıştır. Amarant ve arpa unu ilavesiyle ise ürünün duyuşal açıdan kabul edilebilirliği azalmıştır (Woldemariam ve ark., 2019).

Yegrem ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada teff ve acı bakla unu karışım oranlarının injeranin kimyasal bileşimi üzerine etkisini araştırmışlardır. Kompozit undan hazırlanan injeraların demir, çinko ve kalsiyum miktarlarının sırasıyla 12.26-14.98 mg/100 g, 2.39-2.83 mg/100 g ve 145.31-163.96 mg/100 g arasında; tanen ve fitik asit miktarlarının ise sırasıyla 9.59-11.95 mg/100 g ve 98.91-120.64 mg/100 g arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kompozit un kullanımı ile injeranin protein miktarında önemli bir artış gözlemlenmiş ve zenginleştirilmiş injera üretimi için acı bakla-teff unu karışımı kullanımının uygun olabileceği bildirilmiştir.

Assefa ve ark. (2018) değirmen tipinin (çekimli değirmen, taş diskli değirmen ve bıçaklı değirmen) teff injerasının duyuşal kalitesi ve nişasta sindirilebilirliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İnjera hazırlama sırasında teff tohumunu öğütmek için kullanılan değirmen tipindeki farklılıklar; teff ununun partikül boyutu dağılımını,

zedelenmiş nişasta miktarını ve dolayısıyla injeranın nihai kalitesini etkilemiştir. Diskli değirmende elde edilen teff unu kullanılarak yapılan injeranın en yüksek genel beğeni puanına sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Cherie ve ark. (2018) daha parlak ve kabul edilebilir özelliklere sahip injera üretimi için, teff-mısır-pirinç unu esaslı formülasyonların optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Teff, mısır ve pirinç unu kombinasyonları başarıyla injera formülasyonuna dahil edilmiştir. Renk ve genel beğeni parametreleri açısından en uygun injera formülünün %70 teff unu, %0 mısır unu ve %30 pirinç unu olduğu tespit edilmiştir.

Minarovicova ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, pirinç unlu glutensiz keklere teff unu ilavesinin (%0, 25, 50 ve 75) kalitatif ve duyusal parametreler üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. %25 ve 50 teff unu ilavesi keklerde olumlu sonuçlar sağlamış, fakat %75 teff unu katkısı keklerin kalitatif ve tekstürel özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Teff unu ile zenginleştirilmiş keklerin hoş bir tada sahip olduğu tespit edilmiştir. Duyusal değerlendirmede ise %25 teff unu içeren pirinç keklerinin en fazla kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Tess ve ark. (2015) pirinç ununun %0, 25, 50, 75 ve 100 oranında teff unu ile ikame edilmesinin keklerin besin içeriğini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak kabul edilebilir seviyede bulunan %25 ve 50 teff unu içeren keklerin mükemmel demir ve diyet lifi kaynağı olduğu belirlenmiştir.

Hager ve ark. (2013) taze yumurtalı makarna üretimi için en uygun yulaf ve teff unu formülasyonlarını optimize etmişlerdir. Kontrol olarak buğday unu kullanılan bu çalışmada, yulaf ve teff makarnasının tekstürel özelliklerinin kontrol makarna ile karşılaştırılabilir olduğu ancak esnekliğin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Lif ve mineral içeriği açısından yulaf ve teff unu içeren örneklerin kontrolden daha üstün olduğu tespit edilmiştir.

Kahlon ve Chiu (2015) teff, karabuğday, kinoa ve amarant unları ile tam tahıllı makarna üretimi gerçekleştirmiştir. Teff ve karabuğday unu içeren makarnaların aroması benzer bulunurken, kinoa ve amarant unu içeren makarnalara göre kabul edilebilirliklerinin önemli oranda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu araştırma hem vejetaryenler hem de glutene duyarlı bireyler için sağlıklı bir seçenek sunmuştur.

Giuberti ve ark. (2016) teff ununa lektin içermeyen ve fitik asit bakımından düşük fasulye ununun %40'a kadar dahil edilmesiyle, tagliatelle tipi makarna

üretmişlerdir. Teff ununun fasulye unu ile ikamesi, glutensiz makarna üretiminde başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Teffin yüksek karbonhidrat içeriği, gluten içermemesi, yüksek çimlenme potansiyeli ve malt kalitesi onu glutensiz içeceklerin üretimi için uygun bir hammadde haline getirmektedir. Ayrıca teff maltının α -amilaz ve β -amilaz aktiviteleri arpanınkinden daha düşük olmakla birlikte, malt hammaddesi olarak kullanılacak yeterli enzim aktivitesine sahiptir (Gebremariam ve ark., 2014). Gebremariam ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada malt ve bira sanayisinde glutensiz yiyecek ve içecek üretimi için genel özellikleri ile teffi incelemişlerdir. Sonuç olarak teff tohumunun besin bileşimi sayesinde dünya çapında yiyecek ve içeceklerde kullanılma potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

Griffith ve ark. (1998) %60 tahıl (teff ve inci darı) ve %40 baklagili (börülce ve yer fıstığı) karıştırarak bebekler için ek gıda üretimi gerçekleştirmişlerdir. Tam teff unu (%20) ilavesi, protein miktarını artırırken polisakkarit içeriğini çok az oranda etkilemiştir. Başka bir çalışmada ise teff, sorgum ve soya fasulyesi karışımlarının ve bazı işleme koşullarının ek gıda kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir. İşleme koşullarının, ek gıda ürünlerinin besleyici ve duyuşal özellikleri üzerinde önemli etkisi olmuştur. Duyusal analiz sonuçlarına göre fermente edilmiş teff, sorgum ve soya fasulyesi unu karışımlarının yüksek oranda kabul edilebilir olduğu ortaya çıkmıştır (Heiru ve ark., 2017).

Duenas ve ark. (2021) farklı işlemlerin (endüstriyel öğütme, pulcuk (flake) oluşumu ve ekstrüzyon) beyaz ve kahverengi teff tohumunun fenolik bileşimi üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Farklı işleme metotlarının fenolik profilleri değiştirdiği, ancak sadece kahverengi teff tanelerinden üretilen pulcuklarda ve ekstrüde ürünlerde toplam fenolik madde miktarını artırdığı ifade edilmiştir.

Robin ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada buğday, teff, sorgum, darı, amarant ve kinoa gibi farklı tam tane unlarından elde edilen ekstrüde ürünleri incelemişlerdir. Ekstrüzyon işlemi, teff ununun suda çözünürlüğünü büyük ölçüde artırmıştır. Çalışma sonucunda ise bu tahıl ve tahıl benzeri tanelerin unlarının ekstrüde ürün üretimi için buğday ununa tam anlamıyla muadil olamadığını bildirmişlerdir.

Zewdie ve Muchie (2014) ekstrüzyon pişirme teknolojisi kullanarak yapılan injera hamurunda, teff ununun yanı sıra börülceyi formülasyona dahil etmişlerdir. Teffin börülce ile paçallanması, maliyeti düşürmeye yardımcı olmuş ve lizin içeriğini dengelemiştir.

Teklehaimanot ve ark. (2013) tefften elde edilen nişastayı, düşük kalorili mayonez tipi emülsiyonlarda %50 ve 80 oranında yağ ikame maddesi olarak kullanılmak üzere stearik asit (%1.5) ile modifiye etmişlerdir. Artan yağ ikame oranlarının (%50-80) viskoziteyi artırdığı tespit edilmiştir. %50 yağ ikame oranında, modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş stearik asitli teff nişastasının, düşük kalorili mayonez tipi emülsiyonlar üretiminde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Öztürk-Kerimoğlu ve ark. (2020) emülsiyon tipi sosislerin formülasyonunda kısmi sığır yağı ikamesi olarak kinoa ve teff unu kullanmışlardır. Kinoa ve teff ununun formülasyona dahil edilmesi, nem ve karbonhidrat miktarlarını artırırken, yağ ve enerji değerlerini düşürmüştür. Bununla birlikte daha düşük sertlik ve yapışkanlığa da yol açmıştır. Teff unu kullanımı çiğnenebilirliği azaltmada etkili bulunmuştur. Sonuç olarak kinoa ve teff ununun dahil edilmesiyle daha sağlıklı emülsiyon tipi sosisler elde edilmiştir.

Teff ticari olarak da protein barlarından pankek karışımlarına kadar birçok gıda ürününde kullanılmaktadır (O'Connor, 2016). Teffin gıda endüstrisinde geniş kullanımının olmasının yanı sıra teff yan ürünleri, hayvan yemi olarak süt ve et endüstrisine büyük katkı sağlamaktadır (Amentae ve ark., 2016).

Teff tohumu, genel olarak dış faktörler ve büyüme koşullarındaki farklılıklar nedeniyle çok çeşitli oranlarda ve yüksek miktarda fitik asit içermektedir. Baye ve ark. (2014)'nın derlediği verilere göre teff tohumundaki fitik asit miktarı 682-1374 mg/100 g'dır. Fitik asit, bazı gelişmekte olan ülkelerdeki çocuklar için önemli bir beslenme sorunu olan minerallerin biyoyararlılığını etkileyen tahıl ve baklagillerin önemli bir bileşenidir (Schlemmer ve ark., 2009; Baye ve ark., 2014).

2.2. Fitik Asit

Genel formülü $C_6H_{18}O_{24}P_6$ olan fitik asit, tuz formundaki inositol heksakisfosfat (IP6) olarak bilinmektedir. Fitik asit tuzları, fitatlar (myo-inositol-1,2,3,4,5,6-hekzakisfosfatlar) olarak adlandırılır ve çoğunlukla tek, çift ve üç değerlikli Ca^{2+} , $Fe^{2+/3+}$, K^+ , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} ve Mg^{2+} katyonlarının tuzları olarak bulunmaktadır. Bununla birlikte fitik asit 660.04 g/mol moleküler ağırlığına sahiptir (Kumar ve ark., 2010).

1903 yılında keşfedilen fitik asit, bitki tohumlarında ve tahıllarda hem fosfat hem de myo-inositolün birincil depolama görevini üstlenmektedir (Loewus, 2002;

Mullaney ve ark., 2007; Schlemmer ve ark., 2009). Bunun yanı sıra bitki köklerinde, sporlarında, polenlerinde ve yumrularında da düşük miktarlarda fitik asit bulunabilmektedir (Feil, 2001). Uyku durumunda olan tohumlarda toplam fosfatın %60-90'ını oluşturan fitatlar, bitki tohumunun olgunlaşması esnasında oluşmaktadır (Loewus, 2002). Fitik asit konsantrasyonu tohumda ağırlıkça %0.4 ile 1.7 arasında değişmektedir. Tahılların içerdiği fitik asit miktarı Çizelge 2.3'te verilmiştir (Bilgiçli, 2002).

Çizelge 2.3. Tahılların fitik asit miktarı

Tahıl	Fitik asit (mg/100 g)
Buğday (sert)	840
Buğday (yumuşak)	1140
Arpa	970-1160
Yulaf	790-1010
Tritikale	500-1890
Çavdar	970
Pirinç	890
Mısır	890

Günlük fitat alımı ortalama olarak gelişmekte olan ülkelerde kırsal alanlarda yaşayanlar için 150-1400 mg iken vejetaryen insanlar için 2000-2600 mg'dır (Reddy, 2002). Fitik asit; aminoasit, protein ve özellikle çeşitli minerallerle kompleks oluşturabilmektedir. Fizyolojik pH değerlerinde çözünmez mineral-fitat kompleksleri oluşmakta ve insanların sindirim sisteminde bu çözünmez kompleksler absorbe edilememektedir. Bununla birlikte sindirim sisteminin üst kısmında fitatı hidrolize eden enzimlerin bulunmaması nedeniyle fitat, ince bağırsakta çok sınırlı bir şekilde hidrolize edilmektedir (Iqbal ve ark., 1994).

pH, fitatın çözünürlüğünü etkileyen önemli bir faktördür (Cheryan ve ark., 1983). Fitatın mineraller ve diğer besin maddeleri ile etkileşimi pH'a bağlıdır (Reddy, 2002). İnsan vücudunda sindirim sırasında gıdalar düşük pH'da bulundukları mideden, nötr pH'daki üst ince bağırsağa geçer. Sindirim sırasında, fitat-mineral kompleksleri ayrışabilir ve gastrointestinal sistem yoluyla başka kompleksler oluşturabilir. İnce bağırsağın üst kısmında, çözünmeyen kompleksler temel elementlerin emilimini azaltmaktadır (Kumar ve ark., 2010).

2.2.1. Fitik asitin olumsuz etkileri

Hamile kadınlar, vejetaryenler ve gelişme çağındaki çocuklarda mineral alımı oldukça önemlidir (Maberly ve ark., 1994). Fitik asit içeriği yönünden zengin diyetlerde kalsiyum, çinko, demir, bakır ve mangan gibi minerallerin emiliminin olumsuz yönde etkilendiği ifade edilmiştir (Lopez ve ark., 2002; Lönnerdal, 2002). Beslenme üzerindeki olumsuz etkilerinin temel sebebi, fitik asitin katyonlarla oluşturduğu komplekslerin sindirilebilirlik özellikleridir (Lasztity ve Lasztity, 1990). Fitik asit, yüksek negatif yükü nedeniyle çok değerlikli mineral iyonları yani katyonlar ile sıkıca bağlanarak mineral-fitat kompleksleri oluşturmaktadır (Gupta ve ark., 2015). Bağlanma sonucu oluşan komplekslerin sindirilebilirlikleri gastrointestinal sistem pH değerlerinde en az düzeyde olduğundan bağırsaktaki emilimleri de engellenmektedir (Harland ve Narula, 1999).

Beslenmede önemli bir mikro besin ögesi olan çinko, bitki ve hayvanlarda çok sayıda biyolojik olayda görev alır ve önemli fizyolojik etkilere sahiptir. Demirden sonra insan vücudunda en çok bulunan ikinci iz elzem element çinkodur. Vücutta 300'den fazla enzimin işlevi için kullanılan çinkonun eksikliğinde ve yetersiz alımında bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin yaraların geç onarılması, tat-koku gibi duyuşal algılarda bozukluklar, hastalıklara karşı zayıf direnç, fiziksel olarak büyümede gerilik gibi olumsuz etkiler görülebilmektedir (Akdeniz ve ark., 2016). Özellikle yüksek fitik asit alımının çinko eksikliğine neden olduğu bildirilmiştir (D'souza ve ark., 1987; Lönnerdal, 2000).

Gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkelerin en önemli sağlık sorunlarından birisi demir eksikliğine bağlı anemidir. Çocuklarda tedavi edilmediği veya yetersiz tedavi edildiği takdirde fiziksel ve zihinsel gelişmede kalıcı gerilemeye neden olacağından demir eksikliği anemisini tedavi etmek ve önlemek gerekmektedir. Bunun için bu ülkelerde demir eksikliğinin nelerden kaynaklandığının bulunması gerekir. Buna göre öncelikle anemiye neden olan faktörler azaltılmalı, demir yönünden zengin gıdalar tüketilerek demir katkısı yapılmalı ve bu uygulamanın sonuçları gözlemlenerek ulaşılan sonuçlara göre de gerekli önlemler alınmalıdır (Erduran, 2010).

Yüksek oranda demir içeren teffin %30 oranında buğday ile paçal edilmesiyle yapılan ekmeklerin tüketiminin, hamile kadınlarda serum demir seviyelerinin korunmasına yardımcı olabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışmada, fitik

asit tahribinin demir biyoyararlılığını artırabileceği ifade edilmiştir (Bokhari ve ark., 2012).

Beslenme, kemik kütlesinin oluşması ve korunmasında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Kemiklerin mineral içeriğinin %80-90'ını fosfor ve kalsiyum ihtiva etmektedir. En yüksek kemik kütlesi seviyesinin elde edilmesi ve bu değerin devam ettirilmesi için yeterli miktarda kalsiyum alınması gerekmektedir. Diyetle alınan kalsiyumun emilimi için ise D vitaminine gereksinim vardır (Dinç ve Eryavuz, 2002). Yetersiz beslenme sonucunda, temelini D vitamini ve kalsiyumun meydana getirdiği hücre aktivasyonu azalır ve kemik kütlesi olumsuz yönde etkilenir (Angin, 2016). Bu nedenle diyetle kalsiyum ve D vitamini alımına dikkat edilmelidir. Yetersiz kalsiyum alımının, yaygın bir kemik hastalığı olan riketse neden olabileceği bilinmektedir (Kooh ve ark., 1977; Oginni ve ark., 1999). Özellikle tahıl bazlı ve fitik asit yönünden zengin gıdalarla beslenen, süt ve süt ürünlerini yeterince tüketemeyen çocuklarda kalsiyum eksikliği sonucu rikets hastalığı görülebilmektedir (Pettifor, 2004).

Fitik asitin proteinler ile de kompleks oluşturduğu bilinmektedir (Cheryan, 1980). Fitik asit ve proteinler arasındaki en güçlü etkileşim düşük pH'da gerçekleşmektedir. Düşük pH koşullarında pozitif yüklü olan terminal amino, histidil, arjinil ve lisil grupları, negatif yüklü olan fitat anyonları ile bağ oluşturmaktadır. Yüksek pH koşullarında ise etkileşim potansiyeli azalmaktadır (Özkaya, 2004). Bu etkileşim enzimatik aktiviteyi ve protein sindirilebilirliğini azaltma gibi protein yapısında bazı değişiklikler meydana getirebilmektedir (Cheryan, 1980).

Nişasta ile doğrudan hidrojen bağları yoluyla veya dolaylı olarak nişasta ile bağlantılı proteinler yoluyla kompleks oluşturan fitat, bunların çözünürlüğünü azaltabilir ve sindirilebilirliği ve glikoz emilimini olumsuz etkileyebilir (Rickard ve Thompson, 1997). Bununla birlikte yapılan *in vitro* çalışmalarda pepsin, tripsin ve kimotripsin gibi proteazlar ve α -amilaz, lipazlar gibi sindirim enzimlerinin fitat tarafından inhibe edildiği tespit edilmiştir (Greiner ve Konietzny, 2006).

Tek mideli hayvanların sindirim sistemlerinde fitatın hidrolizinde önemli etkiye sahip olan fitaz aktivitesi yetersizdir (Moses ve ark., 2003). Yemlerle birlikte alınan toplam fosforun çoğu tek mideli hayvanlar tarafından dışkıyla dışarı atılmaktadır (Xavier ve ark., 2003). Bu nedenle, düşük fitik asitli yemlerin kullanılması teşvik edilmelidir. Geviş getiren hayvanlar (ruminant) ise mide mikroorganizmaları tarafından üretilen fitaz sayesinde fitatı kolayca sindirebilirler (Klopfenstein ve ark., 2002).

Kümes hayvanı, domuz, balık gibi ruminant olmayan hayvanlar; mısır, tahıl ve baklagiller ile beslenmektedir (Jezierny ve ark., 2010). Bu tahıllarda ve baklagillerde bulunan fitat, midede emilemeyerek gastrointestinal sistemden geçer ve gübredeki fosfor miktarını yükseltir. Bunun sonucu olarak aşırı fosfor atılımı, ötrofikasyon gibi çevresel sorunlara yol açabilir (Mallin ve Cahoon, 2003). Ötrofikasyonun en büyük etkeni fosfattır. Bu nedenle filizlenmiş tahılların hayvanların beslenmesinde kullanımı, besin değerinde önemli bir azalma olmaksızın yemdeki fitik asit miktarını azaltacaktır. Ayrıca bu sorun için tohum ıslahı (biyofortifikasyon) veya fitat içeriğini azaltıcı bazı araştırmalar hala devam etmektedir (Raboy, 2020).

2.2.2. Fitik asitin olumlu etkileri

Yapılan araştırmalara göre fitik asitin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri önemli ölçüde gün ışığına çıkmıştır. Fakat bunun yanı sıra fitik asit tüketiminin birçok olumlu etkisi de bulunmaktadır. Örneğin, bitki kaynaklı fitik asitlerin tüketildiği gelişmekte olan ülkelerde fitik asitin kanser, tip 2 diyabet, böbrek taşı ve damar sertleşmesi hastalıklarına olumlu etkilerde bulunabildiği tespit edilmiştir (Kumar ve ark., 2010). Bununla birlikte fitik asit, fosfor, enerji deposu ve myo-inositol kaynağı olarak işlev görmektedir (Reddy ve ark., 1982).

Tıp literatüründeki çok sayıda çalışma fitatın, tümör hücrelerinin büyümesini durduran bir faktör olduğunu kanıtlamıştır. İnsan kolon kanseri hücreleri ve lösemik hematopoez hücrelerinin fitat uygulaması ile inhibe edildiği; meme kanseri, rahim ağzı kanseri ve prostat kanseri hücrelerinin çoğalmasını da sınırlayabildiği rapor edilmiştir. Bunun yanı sıra hücre sinyal iletim yollarını, hücre döngüsü düzenleyici genleri ve tümör baskılayıcı genleri etkileyebilmektedir. Böylece gen düzeyinde fitat, tümör hücrelerinin farklılaşmasına neden olabilmektedir (Kumar ve ark., 2010).

Bir α -amilaz inhibitörü olarak kabul edilen fitik asitin ayrıca, vücuda alındığında kan şekeri düzeyini azalttığı tespit edilmiştir (Jenab ve Thomson, 2002). Bu nedenle, fitik asit bakımından zengin gıdaların, batı toplumunda yaygın beslenmeye bağlı hastalıklardan biri olan tip 2 diyabetin önlenmesinde önemli bir faktör olduğu düşünülmektedir (Greiner ve Konietzny, 2006). Doğal bir antioksidan olan fitik asit, demir katalizli oksidatif reaksiyonları, serbest radikallerin oluşumunu ve sonuç olarak bazı kanser türlerinin oluşumunu engelleyebilmektedir (Dost ve Tokul, 2005).

Fitat dahil olmak üzere birçok myo-inositol fosfat, hücre içi moleküller olarak bulunmaktadır. Bu nedenle fitat, memeli hücrelerinde hücre sinyal mekanizmalarını etkileyerek kanser tedavisinde kullanım için önerilmiştir. Ayrıca, son zamanlarda yüksek oranda negatif yüklü myo-inositol polifosfatların plazma membranını geçebileceği ve hücreler tarafından absorbe edilebileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte, myo-inositol fosfat esterlerinin metabolik olarak aktif olduğu gözlemlenmiştir. Fitik asit diyabet, tümör, kronik damar hastalıklarını önleyebilmesi nedeniyle, bu hastalıkların tedavisinde kullanılması açısından incelenmiştir (Maffucci ve ark., 2005; Greiner ve Konietzny, 2006).

2.2.3. Gıdalarda fitik asiti azaltan yöntemler

Geçmişten günümüze gıdaların besleyici değerini artırmak amacıyla birçok uygulama yapılmıştır (Chavan ve ark., 1989; Hayes ve Garcia-Vaquero, 2016). Bu uygulamalardan en çok kullanılanları; ıslatma, çimlendirme, öğütme, ısıl işlemler, fermantasyon işlemi ve enzimatik yöntemlerdir (Chavan ve ark., 1989; Kockova ve ark., 2013). Bu uygulamalar ile gıdalardaki fitik asitin azaltılması mümkün olabilmektedir. Yaygın olarak tahıl ve baklagillerde endojen olarak oluşan fitaz enzimi aktivitesinin artırılmasıyla fitik asitin azaltılması gerçekleşmektedir (Kumar ve ark., 2010).

Defitinizasyon yöntemlerinden biri olan ıslatma işleminde (Greiner ve Konietzny, 1999) tahıl ve baklagil taneleri 15-20 dk ve daha uzun sürelerde suda bekletilmektedir. Islatma süresi boyunca suya önemli miktarda fitik asit geçmektedir (Kumar ve ark., 2010). Islatma sırasında meydana gelen fitik asit hidrolizinin sıcaklık ve pH'dan büyük ölçüde etkilendiği tespit edilmiştir (Greiner ve Konietzny, 1999). Liang ve ark. (2008) kahverengi pirinci ıslatarak fitik asit miktarını %42-59 oranında azaltmışlardır.

Tahıl ve baklagillere uygulanan çimlendirme işlemi, fitik asit ve proteaz inhibitörleri gibi bazı antibesinsel bileşenlerin parçalanmasını sağlayarak lezzetlerini ve besin değerlerini artırmak için yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bitkinin beslenme ihtiyaçlarını sağlamak için meydana gelen çimlenme olayı sırasında fitik asit, fitazların ve fosfatazların sinerjistik bir etkisi ile hidrolize edilir (Egli ve ark., 2003). Fitik asit, fitaz enzimi tarafından hidrolize edilirken aynı zamanda inorganik fosfor kaynağı olarak kullanılmaktadır. Çimlenme olayı sırasında fitaz aktivitesinin artması sebebiyle tanedeki fitik asit miktarı azalmaktadır (Bilgiçli, 2002). Moongngarm ve Saetung (2010) pirinci

24 saat boyunca çimlendirerek fitik asit miktarında %13 oranında azalma tespit etmişlerdir.

Öğütme ve eleme işlemi, tahıllarda bulunan fitik asit miktarını azaltan geleneksel yöntemlerden biridir. Öğütme işlemi ile fitik asitin yüksek miktarda bulunduğu kepek, tahıldan uzaklaştırılmış olmakta ve böylece fitik asit miktarı azalmaktadır. Bu işlem aynı zamanda minerallerin ve diyet lifinin büyük bir bölümünün kaybına da neden olmaktadır (Sakac ve ark., 2010). Tavajjoh ve ark. (2011) 8.2 g/kg fitik asit içeren buğdayın mekanik olarak öğütülmesiyle elde edilen unlardaki fitik asit miktarını 2.6 g/kg olarak belirlemişlerdir.

Piştirme, kaynatma, otoklavlama ve mikrodalga uygulamaları gıda üretiminde kullanılan ısıtma işlemlerinden bazılarıdır. Isıtma işlemi uygulaması ile gıdaların yapısında bazı kimyasal ve fiziksel değişiklikler oluşabilmekte, böylece fitik asit gibi antibesinsel bileşiklerin miktarı azaltılabilmekte ve gıdaların besin değerinin artması sağlanabilmektedir (Rehman ve Shah, 2005; Bektaş, 2018).

Fermantasyon, tahıl ve baklagil tanelerindeki antibesinsel bileşenlerin miktarını azaltan ve minerallerin biyoyararlılığını artıran önemli işlemlerden birisidir. Fermantasyon işlemi ile fitik asit miktarında meydana gelen azalma, fermantasyonda görev alan mikroorganizmaların aktivitelerinden kaynaklanmaktadır (Gupta ve ark., 2015; Bektaş, 2018).

Fitik asit miktarını azaltmak için tahıl ve baklagillere uygulanan fitaz enzimi ilavesi en etkili yöntemlerdendir. Tahıl ve baklagillerde doğal olarak oluşan endojen enzimler tarafından fitik asit fosforilasyonunun yanı sıra gıda işleme sırasında ticari olarak temin edilebilen eksojen fitaz enzimlerinin eklenmesi önerilmektedir (Greiner ve Konietzny, 1999). Bu tez çalışmasında kullanılan defitinizasyon yöntemleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Fermantasyon; Fermantasyon, gıdaların korunmasında kullanılagelen en eski ve en ekonomik uygulamalardan biridir. Günümüzde dünya genelinde 3500'den fazla farklı fermente gıda ve içecek ürününün üretildiği düşünülmektedir. Bu ürünlerin çoğu Asya, Orta Doğu ve Afrika ülkelerinde evlerde, köylerde veya küçük ölçekli işletmelerde üretilmektedir (Kabak ve Dobson, 2011).

Fermantasyon işlemi; gıdanın muhafazasını, besinsel kalitesinin iyileştirilmesini, istenmeyen antibesinsel bileşenlerin ortadan kaldırılmasını, gıdanın tekstürünün ve tadının iyileştirilmesini, gıdanın tüketilebilir hale gelmesini ve daha güvenli şekilde üretimin sağlanmasını kolaylaştırmaktadır (Chavan ve ark., 1989; Kockova ve ark.,

2013). Fermantasyon gıdaların bozulmadan korunmasını sağlarken, esansiyel aminoasit ve vitaminlerin senteziyle gıdaların besin değerini artırmaktadır. Genel olarak tahılların doğal fermantasyonu ile bazı sindirilemeyen polisakkarit ve oligosakkaritlerin oranında bir azalma meydana gelmekte ve böylece fermantasyon sindirime yardımcı olmaktadır (Kabak ve Dobson, 2011). Fermantasyon işlemi ile besinlerin sindirilebilirlik oranı artırılırken, çığ besinlerde bulunan tanen, polifenoller ve fitik asit gibi istenmeyen antibesinsel bileşenlerin yıkımı ve detoksifikasyonu da gerçekleştirilmektedir.

Tahılların belli sürelerde fermente edilmesi, aminoasit bileşimini ve vitamin içeriğini artırırken protein ve nişasta sindirilebilirliğini de artırmaktadır (Mezemir, 2015). Fermantasyon, laktik ve asetik asit bakterilerinin pH'yı düşürmesiyle, fitaz aktivitesi için ortam pH'sını uygun hale getirerek fitik asitin azalmasını sağlamaktadır (Robertson ve ark., 2012). Böylelikle fermantasyon tahıllarda bulunan fitatın enzimlerce parçalanabilmesi için optimum pH koşullarını sağlar (Kabak ve Dobson, 2011). Hamurun fermantasyonu sırasında meydana gelen fitat hidrolizinin; mayadaki fitaz, buğdaydaki fitaz ve hamur fermantasyonunda görev alan diğer mikroorganizmalar tarafından sağlandığı rapor edilmiştir (Lasztity ve Lasztity, 1990).

Teff fermantasyonunun; demir, kalsiyum, fosfor ve bakır gibi bazı minerallerin ve B1 vitamininin besinsel özellikleri üzerinde olumlu bir etkisi vardır (Bultosa ve Taylor, 2004). Fitik asitin tahrip edilmesinin, teff tohumunda bulunan demir ve diğer minerallerin biyoyararlılığının geliştirilmesine katkıda bulunduğu belirlenmiştir (Wood, 2004).

Fischer ve ark. (2014) tefften üretilen injeradaki fitik asit miktarını azaltmak için uygun laktik asit bakteri (LAB) suşlarını değerlendirmiştir. Sonuç olarak, injera fermantasyonundan izole edilen farklı LAB türlerine ait bazı suşların fitik asiti kısmen azalttığı tespit edilmiştir. Fakat fitik asit seviyeleri hala nispeten yüksek bulunduğu için fitik asitin daha yüksek seviyede tahrip edilmesinin gerekli olduğu rapor edilmiştir.

Robertson ve ark. (2012) yaptıkları bir çalışmada 3-13 yaş arası Etiyopyalı çocuklarda çinko eksikliğini önlemek amacıyla teff unundan yapılmış ve çinko laktat ile güçlendirilmiş bisküvi üretmişlerdir. Teff ununun fitik asit miktarını azaltmak için üç ana işlem (öğütme, fermantasyon ve bisküvilerin pişirilmesi sırasında uygulanan ısı işlem) uygulanmıştır. Teff kepeği, teff unu (endosperm) ve fermente teff unundan elde edilen ve çinko laktat ile güçlendirilmiş bisküvilerinin fitik asit miktarları belirlenmiştir. Fitik asit miktarı bakımından kullanılan bütün hammaddeler karşılaştırıldığında en yüksek değer teff kepeğinde (18.5 mg/g) elde edilmiş, fermantasyon ise fitik asit

miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. Teff kepeği ve fermente teff ununun (3.8 mg/g) fitik asit içeriğinde yaklaşık altı kat fark tespit edilmiştir. Böylece fermantasyonun fitik asiti parçalamada alternatif bir işlem olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte fermente teff unu kullanılan bisküvilerin ekşi bir tada ve istenmeyen bir aromaya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak teff unu kullanılarak hazırlanan ve çinko laktat ile güçlendirilmiş bisküvilerde fitik asit miktarı 11 mg/g olarak tespit edilmiştir. Isıl işlemin fitik asit miktarının azaltılmasında alternatif bir adım olduğu bildirilmiştir.

Dingeo ve ark. (2020) *L. plantarum*, *L. fermentum* ve *S. cerevisiae* suşlarının hakim olduğu teff unundan elde edilen tip I ekşi hamurunu %0, 5, 10 ve 15 oranlarında kullanarak glutensiz muffinler hazırlamışlardır. Ekşi hamurda bulunan laktik asit bakterilerinin metabolik özellikleri sayesinde, fitik asit miktarının kontrol örneğe göre %50 oranında azaldığı ve toplam serbest aminoasit miktarında artış elde edildiği rapor edilmiştir.

Tane boyutunu küçültme, hidrotermal uygulama ve fermantasyon işlemlerinin buğday kepeğinin fitik asit miktarına etkisinin incelendiği bir çalışmada, bu işlemlerle fitik asit miktarı 50.1 mg/g'dan sırasıyla 21.6 mg/g, 32.8 mg/g ve 43.9 mg/g'a düşmüştür (Majzoobi ve ark., 2014a). Islatma, kabuk soyma, pişirme ve fermantasyonun soya fasulyesi, börülce ve yer fıstığı antibesinsel bileşenleri üzerindeki etkisinin incelendiği başka bir çalışmada ise fermantasyon işlemi ile fitik asit miktarının soya fasulyesi, börülce ve yer fıstığı sırasıyla %30.7, 32.6 ve 29.1 oranında azaldığı belirlenmiştir (Egounlety ve Aworh, 2003).

Urga ve Narasimha (1997) yaptıkları bir çalışmada, teff ununu 24 saat fermente etmişlerdir. Fermente edilen teff ununun yüzeyinde biriken berrak sarı sıvı olan ershoyu ayırmışlardır. Fermente edilmeden önce 707 mg/100 g olan fitat miktarının, 24 saat fermente edildikten sonra 510 mg/100 g'a düştüğünü belirlemişlerdir.

Özkaya ve ark. (2017a) yulaf kepeğindeki fitik asit miktarını azaltmak amacıyla 2, 4 ve 6 saat boyunca %3, 6 ve 9 oranlarında maya ilavesi ile fermantasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışma sonucunda en düşük fitik asit miktarına (%88.2 azalma), %6 oranında maya ilave edilen yulaf kepeğinin 6 saat boyunca fermente edilmesiyle ulaşılmıştır.

Fitik asit hidrolizine, fermantasyon süresinin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, mercimeklerin fermantasyona tabi tutulması ile fitik asit miktarı %70.2 oranında azalmıştır (Cuadrado ve ark., 1996).

Liang ve ark. (2008) kahverengi pirinçte biyoyararlılığı artırmak için ıslatma, çimlenme ve fermentasyonun çinko seviyelerine etkilerini araştırmışlardır. Fitik asiti azaltmada en etkili yöntem fermentasyon olarak tespit edilmiştir.

Bilgiçli (2004) tarhananın bazı besin öğeleri ve fitik asit miktarı üzerine maya, malt unu ve fitaz katkılarının etkilerini incelemiştir. Fitik asit miktarı, tarhana hamuru hazırlandıktan sonra %59.44-81.26 arasında bir düşüş göstermiştir. 72 saat sonra *Saccharomyces cerevisiae* ile mayalanan tarhana hamurunda ise fitik asit kaybı %95.32'ye çıkmıştır.

Abebe ve ark. (2007) Güney Etiyopya ve Sidama'nın kırsal kesimlerinden seçilmiş, çığ ve işlem görmüş bazı gıdaların fitik asit, çinko, demir ve kalsiyum miktarını ve biyoyararlılığını incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucu beyaz ve kahverengi teffin fermente edilmesiyle oluşan injera hamurundaki fitik asit miktarında, ham teff tanelerine göre %74 oranında (139 mg/100 g'dan 36 mg/100 g'a) azalma tespit edilmiştir.

Otoklavlama; Günlük hayatta ve endüstriyel olarak gıda üretiminde yararlanılan ısıtma işlemi proseslerinden biri olan otoklavlama işlemi (Bektaş, 2018), diyet lifinin fonksiyonelliğini değiştirerek gıdaların kullanımını geliştirmektedir (Martin-Cabrejas ve ark., 2004).

Fitik asit ısıya dayanıklı olduğundan, pişirme sırasında fitik asit miktarında önemli derecede ısı tahribatı meydana gelmemektedir. Bu nedenle, pişirme sırasında önemli miktarda fitat defosforilasyonu, sadece pişirme suyunun atılmasıyla veya pişirme fazının erken döneminde olan enzimatik fitat hidrolizi ile gerçekleştirilmiştir (Greiner ve Konietzny, 2006). Bununla birlikte vitaminleri kaybetmeden pişirebilmenin en iyi yolu otoklav tipi pişirmedir (Devos, 1988).

Bazı araştırmalara göre tahıl ve baklagillerin fitik asit oranını azaltmada basınçlı pişirmenin geleneksel pişirmeden daha etkili olduğu bildirilmiştir (Bilgiçli, 2009). Yapılan bir çalışmada nohut, mercimek ve fasulyedeki fitik asit miktarı geleneksel kaynatma yöntemi ile %24-35 oranlarında azalırken, otoklavlama işlemi ile %28-51.6 oranlarında azalmıştır (Rehman ve Salariya, 2005).

Abbas ve Ahmad (2018) çeşitli baklagilleri 121°C'de otoklavlayarak fitik asit miktarının %28-52 oranında azaldığını belirlemiştir. Khalil ve Mansour (1995) ise baklada 0.39 g/100 g olan fitik asit miktarını, bakla tohumlarını otoklavlama işlemine tabi tutarak 0.23 g/100 g'a kadar düşürmüştür.

Khattab ve ark. (2009) börölce, bezelye ve barbunya üzerinde ıslatma, kaynatma, kavurma, mikrodalgada pişirme, otoklavlama ve fermentasyonun etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak otoklavlama, protein kalite parametresini iyileştirmek için en etkili yöntem olarak bulunmuştur.

Özkaya ve ark. (2017a) fitik asit miktarını düşürmek amacıyla yulaf kepeğine 0.5, 1.0 ve 1.5 saat boyunca 4.5, 4.0 ve 3.5 pH değerlerinde otoklavlama işlemi uygulamışlardır. Yapılan bu çalışma sonucunda en düşük fitik asit miktarına pH 4'te 1.5 saat otoklavlama işlemi ile ulaşılmıştır. Ayrıca otoklavlama işlemi ile tüm örneklerdeki fitik asit miktarı %40.2 ile 41.8 oranında azalmıştır.

Otoklavlamanın buğday kepeği kalitesi ve biyoaktivitesi üzerindeki etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada; otoklavlama işlemi ile buğday kepeğindeki antioksidan etkiye sahip bileşikleri biyoyararlılığının arttığı raporlanmıştır (Rico ve ark., 2020).

Ertaş (2015) tarafından yapılan bir çalışmada; sıcak hava fırını, mikrodalga ve otoklav ile stabilize edilmiş buğday kepeği farklı seviyelerde (%10, 20 ve 30) bisküvi formülasyonuna dahil edilmiş, stabilize edilmiş buğday kepeği ilavesi bisküvilerin mineral ve protein miktarını artırmıştır. Otoklavlama yöntemi, bisküvilerde fitik asit kaybı üzerinde en etkili işlem olmuştur.

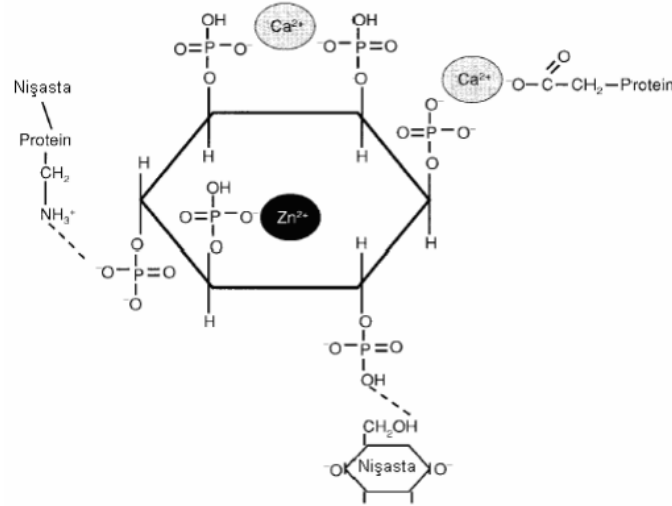
Fitaz enzimi ilavesi; Yem hammaddelerinde ve insanların tüketimi amacıyla üretilen gıdalardaki fitik asit içeriğini en az seviyeye indirmek amacı ile fitaz enzimleriyle ilgili yapılan çalışmalar son yıllarda oldukça artmıştır. Baklagil ve tahılların besinsel değerini artırmak amacıyla fitik asiti parçalayan enzimlerin kullanımı önerilmektedir (Simons ve ark., 1990; Cromwell ve ark., 1995).

Aspergillus niger'den üretilen ilk ticari fitaz Natuphos, 1991 yılında piyasaya sürülmüştür. Pazardaki ticari fitazı takiben, bir hayvan yemi takviyesi olarak kullanılması dünya çapında dikkat çekmiştir. De Silva ve ark. (2005), insan beslenmesinde ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi diğer alanlarda, fitaz enzimi kullanımını kapsamlı olarak araştırmışlardır. Greiner ve ark. (2002), gıda üretiminde fitaz enziminin kullanılmasıyla birlikte fonksiyonel gıdalar üretilebileceğini ve fitaz enzimi ilavesi ile insanlarda mineral madde emiliminin de artırılabilirliğini bildirmişlerdir.

Fitat defosforilasyonuna alternatif olarak, gıda işleme sırasında bir fitaz preparatının eklenmesi önerilmektedir. Mikrobiyal fitaz preparatları ticari olarak mevcut olup gıda işlemede kullanımlarını teknik olarak mümkün kılmaktadır. Fitazın etkinliği, tahıl ve baklagil kaynaklı gıda ürünlerindeki fitat içeriğini azaltmaktadır (Greiner ve Konietzny, 1999).

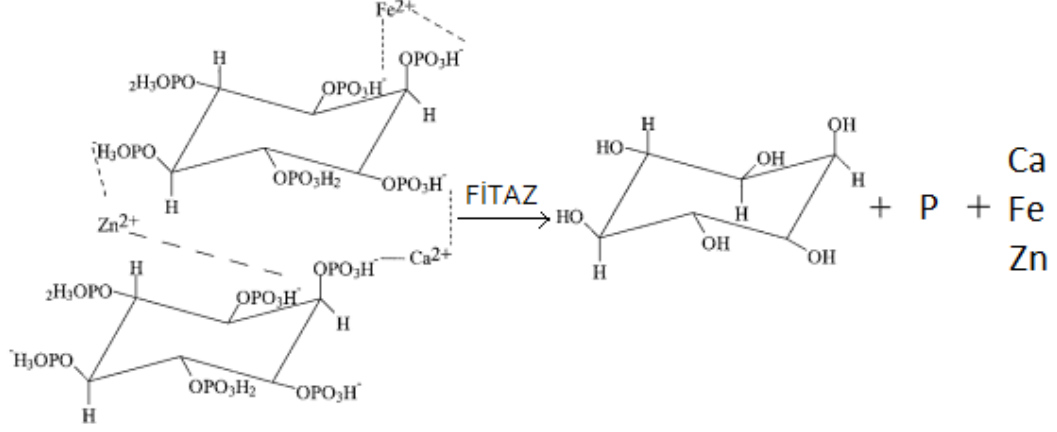
Gıda işleme sırasında gıdalara eksojen fitazlar eklenebilmekte veya bitkisel ya da mikrobiyal fitazlar için uygun koşullar ayarlanması optimize edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, gıda işleme sırasında fitatın enzimatik olmayan hidrolizi nihai gıdalarda fitat seviyelerinin azalmasına neden olabilmektedir. Genel olarak düşük fitat seviyeleri, gerekli yüksek sıcaklıklar tarafından tahrip edilen değerli besin maddelerinin kaybı ile gerçekleşmektedir. Fakat enzimatik fitat bozulması, ılımlı koşullar altında ortaya çıkarak diğer gıda bileşenlerini etkilememektedir (Greiner ve Konietzny, 1999).

Fitaz enzimi; Fitaz enzimi, doğada en bol bulunan inositol fosfat olan fitik asitin aşamalı bir şekilde defosforilasyonunu sağlayan bir fosfataz alt grubudur. Fitik asit, inositol halkası merkez olmak üzere etrafında altı fosfat grubu olan negatif yüklü bir moleküldür ve Şekil 2.1’de görüldüğü gibi pozitif yüklü mineral, protein ve nişasta için yüksek şelatlama özelliğine sahiptir (Kornegay, 2001). Şekil 2.2’de gösterildiği gibi fitazlar kısaca fitik asitten fosforu ayırmaktadır (Greiner ve Konietzny, 2006).



Şekil 2.1. Fitik asitin mineral, protein ve nişasta ile kompleks mekanizması (Kornegay, 2001)

Fitazlar, moleküler monomerik yapıdaki proteinler olarak değerlendirilir ve çoğunlukla 40-100 kDa ağırlığındadır (Pandey ve ark., 2001). Fitaz aktivitesi çoğunlukla belirli bir sıcaklık ve pH değerinde seçilen bir substrattan dakikada salınan inorganik fosfat miktarı ile ölçülür. Fitaz aktivitesi de tıpkı diğer enzimler gibi enzimin doğal özelliklerinden ve ortam şartlarından etkilenebilmektedir (Lei ve Porres, 2003).



Şekil 2.2. Fitaz enzimleriyle fitatın inositol, fosfor ve diğer elementlere hidrolizi (Lei ve Porres, 2003)

Fitazlar, fitat molekülünün hidrolizinin başlatıldığı bölgeye ve pH'ına bağlı olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; fitattaki D-3 pozisyonundaki ortofosfatı uzaklaştıran 3-fitaz (myo-inositol-hekzakisfosfat 3-fosfohidrolaz, EC 3.1.3.8) ve myo-inositol halkasındaki D-4 (L-6) pozisyonundaki defosforilasyonu sağlayan 6-fitaz (myo-inositol-hekzakisfosfat 6-fosfohidrolaz, EC 3.1.3.26)'dır (Sariyska ve ark., 2005; Polaina ve Maccabe, 2007). Fitatın enzimatik hidrolizi, kademeli defosforilasyon reaksiyonlarının ilerlemesi yoluyla bir dizi düşük myo-inositol fosfat esterleri (IP6-IP5-IP4-IP3-IP2-IP1) oluşur ve sonuçta altı inorganik fosfat ile birlikte serbest myo-inositol üretimine yol açar (Selle ve Ravindran, 2007).

Fitazlar ayrıca, optimum pH'larına göre iki ana sınıfa ayrılabilir: histidin asit fosfatazları ve alkali fitazlar. Histidin asit fosfatazları 5.0 civarında pH'da optimum aktiviteyi göstermektedir (Baruah ve ark., 2007). Asidik fitazların, alkali fitazlardan daha geniş substrat özellik göstermesi nedeniyle, gıdalarda kullanımı daha uygun olmaktadır.

Fitaz, günümüzde özellikle beslenme, insan sağlığı ve çevre koruma bakımından oldukça yaygın kullanılan bir enzimdir. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan fitazlara gıda işleme, kağıt yapımı ve yem üretimi gibi birçok endüstri alanında gereksinim olduğu tespit edilmiştir (Pandey ve ark., 2001). Fosfat gruplarının inositol halkasından çıkarılması, fitatın mineral bağlanma gücünü azalttığından fitatın hidrolizi, gıdanın besin değerini artırmak için gereklidir. Böylece temel diyet minerallerinin biyoyararlılığının artması sağlanabilmektedir (Sandberg ve ark., 1999). Çeşitli gıdalardaki fitat miktarını azaltmak için eksojen (hücre dışı) enzimler eklenmektedir.

Fitaz kaynakları; Fitazlar; bitkisel fitaz, mikrobiyal fitaz (fungal ve bakteriyel fitaz), ince bağırsaktan elde edilen mukozal fitaz ve gut mikrofloral fitaz olmak üzere dörde ayrılmaktadır (Kumar ve ark., 2010).

Bitkisel fitazlar: Tahıl ve tahıl kepekleri, en önemli bitkisel fitaz kaynaklarıdır. Fitaz enzimi izole edilen başlıca bitkisel kaynaklar; pirinç, buğday, çavdar, kolza tohumu, mısır ve soya fasulyesidir. Patates, beyaz hardal, turp, zambak poleni de fitaz elde edilebilen bitkisel kaynaklardan bazılarıdır. Fitaz enzimi, çeşitli bitkisel kaynaklardan izole edilmekteyken fitaz aktivitesi çoğu gıdada aktif değildir. Bununla birlikte mayalı hamur, ekşi hamur, çimlenmiş taneler ve malt unu da önemli fitaz enzim kaynakları olmaktadır. Baklagil ve yağlı tohumların fitaz aktivitesinin ise tahıllardan daha düşük olduğu bildirilmiştir (Egli ve ark., 2003).

Mikrobiyal fitazlar: En önemli kaynakları maya ve bakterilerdir. Ticari amaçlı olarak en yaygın kullanılan mikrobiyal fitaz kaynaklarının *Aspergillus niger*, *A. fumigatus* ve *A. ficuum* olduğu bildirilmiştir. Doğal sebze fermentasyonlarından izole edilen laktik asit bakterisi fitazlarının gıdalarda kullanımı uygundur. Özellikle fermentasyon süresince, fitazın aktivitesini sağlayan en önemli mikroorganizma grubu laktik asit bakterileridir. Mikrobiyal fitazlar genellikle 3-fitaz sınıfında yer alırken, bitkisel kökenli fitazlar 6-fitaz sınıfına dahildir (Sariyska ve ark., 2005; Polaina ve Maccabe, 2007).

İnce bağırsaktan elde edilen mukozal fitaz; Hu ve ark. (1996) tarafından domuzlarda tespit edilen bağırsak mukozal fitaz aktivitesi için, orta bağırsak öncü bölgedir. İnsanlar üzerinde yürütülen çalışmalara göre ince bağırsakta çok az seviyede fitaz aktivitesi meydana gelmekte ve fitat parçalama kabiliyeti de sınırlı olmaktadır (Iqbal ve ark., 1994).

Gut mikrofloral fitaz; Ağırlıklı olarak domuzlarda tespit edilen fitaz grubudur. Sandberg ve ark. (1993), tarafından yapılan çalışmada domuzların kalın bağırsağında mikrofloral fitaz enziminin gerçekleştirdiği fitat hidrolizi tespit edilmiştir. Günümüzde bağırsak mikrofloral kaynaklı fitazın bir gıda katkı maddesi olarak kullanılabileceğini belirten çok az çalışma bulunmaktadır (Kumar ve ark., 2010).

Fitaz enziminin gıda ve yem endüstrileri başta olmak üzere pek çok uygulama alanı bulunmaktadır. Bu uygulama alanları aşağıda özetlenmiştir.

Gıda sanayi; Fitaz, gıda sanayinde kullanım açısından geniş bir yer tutmaktadır. Son zamanlarda yoğunlaşılacak konulardan biri gıda işlemede teknik geliştirme olurken bir diğer konu ise bitkisel kökenli gıdaların besleyici değerinin artırılmasıdır. Fitik asit,

mineral madde absorpsiyonunu oldukça azaltmaktadır (Konietzny ve Greiner, 2003). Ayrıca gıdaları işleme esnasında fitatın defosforilasyonu, yalnızca bir kısım fosforilasyona uğramış myo-inositol fosfat esterlerini meydana getirmektedir (Sandberg ve ark., 1999).

Myo-inositol fosfat esterleri, insanlar için önemli fizyolojik özelliklere sahip olduğundan gıda üretiminde fitaz enziminin kullanımıyla fonksiyonel gıda üretiminin mümkün olacağı düşünülmektedir (Greiner ve ark., 2002). Böylece fitaz enzimiyle meydana gelen biyokimyasal olarak aktif myo-inositol fosfat esterleri sayesinde insanlarda mineral maddelerin emilimi gerçekleşecektir. Gıdaların işlenmesi esnasında gıda sanayinde fitaz ilavesi tahıl kepeklerinin defitinizasyonu, ekmek yapımı ve bitkisel protein izolatlarının üretiminde kullanılmaktadır (Quan ve ark., 2002).

Yem katkısı; Tek mideli hayvanlarda fitaz enzimi oldukça az üretildiğinden veya hiç üretilmediğinden fitaz ilavesinin yem katkısı olarak kullanımı son zamanlarda oldukça yaygınlaşmıştır. Özellikle kanatlı ve domuz yemlerinde mikrobiyal fitazların kullanımı giderek artmaktadır. Buna bağlı olarak da yem katkısı için yeni fitaz enzimleri kullanılmaktadır (Yanke ve ark., 1998; Marlida ve ark., 2010). Bu amaçla mikrobiyal fitaz ürünleri birçok farklı kaynaktan elde edilmekte ve ticari olarak kullanıma sunulmaktadır. Bu fitazlar arasında en yaygın kullanılan yem katkıları; *A. niger* (3-fitaz), *E. coli* (6-fitaz) ve *P. lycii* (6-fitaz) fitazlarıdır (Selle ve Ravindran, 2007).

Kanatlı, domuz ve balık yetiştiriciliğinde kullanılan bitkisel kökenli yemlerin içerisindeki fitik asiti parçalayacak fitaz enzimi bulunmadığı için suda fosfor birikimi meydana gelmektedir. Böylece fitaz, sudaki fosforu kabul edilebilir düzeyde tutabilmek amacıyla yemlere ilave edilmektedir. Ayrıca su ürünleri üretiminde ve düşük fiyatlı bitkisel kökenli ürünlerin kullanım oranını artırmak için tercih edilmektedir. Balık yetiştiriciliğinde, bitkisel kökenli yemlere fitaz enziminin ilave edilmesi ile ilgili birçok çalışma yürütülmektedir (Robinson ve ark., 1996; Mwachireya ve ark., 1999; Mullaney ve ark., 2002).

Myo-inositol fosfatların hazırlanması; Son yıllarda transmembran sinyalizasyonunda görev alan ve hücre içi (intraselüler) kaynaklardan kalsiyumun iletimini sağlayan fosfolipid ve inositol fosfatlara olan ilgi artmıştır. Böylece çeşitli inositol fosfatların hazırlanması gündeme gelmiştir (Quan ve ark., 2001). Fitik asitin enzimatik olarak parçalanmasıyla ve *S. cerevisiae* fitazı kullanılarak D-myo-inositol 1,2,5-trifosfat, D-myo-inositol 1,2,6-trifosfat, myo-inositol 1,2,3-trifosfat ve L-myo-inositol 1,3,4-trifosfatlar hazırlanmıştır (Siren, 1986). Buna ek olarak inositol 2,5-

bifosfat, inositol 2,4,5-trifosfat ve inositol 1,2,3,4,5-pentakisfosfat da *E. coli* fitazı kullanılarak hazırlanmaktadır (Greiner ve Konietzny, 1996).

İnositol fosfat türevleri; enzim inhibitörü, enzim stabilizatörü, metabolik ve biyokimyasal araştırmalarda ilaç ve enzim substratı olarak kullanılmaktadır (Laumen ve Ghisalpa, 1994). Ayrıca spesifik inositol trifosfatların ağrı kesici olarak önerildiği, astım gibi bazı solunum hastalıkları ve eklem iltihabına karşı inositol fosfat karışımlarının kullanıldığı da bildirilmiştir (Raghavendra ve ark., 2010). Fitik asitten myo-inositol fosfat türevleri hazırlanmasında, inositol veya inositol fosfatların endüstriyel üretiminde, inorganik fosfat ve serbest myo-inositol eldesinde fitaz enziminin kullanımı tavsiye edilmektedir (Brocades, 1991).

Toprak iyileştirme; Çeşitli alanlarda topraktaki toplam organik fosforun yarısını fitik asit ve türevleri oluşturmaktadır (Rees, 1997). Yapılan bir çalışmada, toprakta bulunan fitik asit fosforunun kullanılabilmesinde mısır bitkisi üzerinde fitazın etkisi incelenmiştir. Toprağa fitaz ilavesi sonrası fitik asitin parçalanma oranı artmış ve böylece büyümenin de uyarıldığı tespit edilmiştir (Findenegg ve Nelemans, 1993). Sonuç olarak bitkilerin köklerindeki fitaz geninin ekspresyonu ve transgenik bitkiler ile toprakta bulunan fosforun kullanılabilceği düşüncesi meydana gelmiştir (Robinson ve ark., 1996).

Kağıt endüstrisi; Kağıt endüstrisinde, bitkilerde bulunan fitik asitin uzaklaştırılması önemli bir aşamadır. Bunun için günümüzde kağıt hamurundan kağıt yapma aşamalarında, fitik asiti parçalayan termostabil fitazlar kullanılmaktadır. Fitik asit enzimatik olarak hidrolize olduğunda toksik maddeler oluşmamaktadır. Bu nedenle fitaz enzimlerinin kağıt endüstrisinde kullanımı, çevre sağlığı açısından oldukça önemlidir (Liu ve ark., 1998).

Baye ve ark. (2013) çeşitli un paçallarından (teff-beyaz sorgum, buğday-kırmızı sorgum, arpa-buğday) hazırlanan ekşi hamura fitaz enzimi ilave ederek injera üretimi gerçekleştirmişlerdir. Endojen malt ve mikrobiyal fitazların sinerjik etkisine bağlı olarak, buğday-kırmızı sorgum ve arpa-buğday unu karışımlarından yapılan injerada fitik asit tamamen hidrolize olmuştur. Teff-beyaz sorgum unundan yapılan injerada ise %28 fitik asit hidrolizi tespit edilmiştir.

Fitat oranını azaltarak mineral erişilebilirliğini artırmak amacıyla yapılan bir çalışmada; kinoa, kaniwa ve amarant gibi yalancı tahıllar fermente edilmiştir. Çalışma sonucunda fitat miktarının büyük oranda azalmasındaki en büyük etkenin

fermantasyondan ziyade endojen fitazların olduğu tespit edilmiştir. Mineral erişilebilirliği 1.7-4.6 kat artırılmıştır (Castro-Alba ve ark., 2019).

Akhter ve ark. (2012) farklı buğday çeşitlerindeki fitik asit miktarı ve minerallerin biyoyararlılığı üzerine fitaz enzimi defitinizasyonunun etkisini incelemişlerdir. 12 buğday çeşidine eksojen fitaz enzimi ilavesi ile, buğday çeşitlerinin bazılarında minerallerin biyoyararlılığı 1.5-2 kat artmıştır. Bu çalışma sonucunda enzimatik defitinizasyonun, fitik asiti azaltmak ve günlük diyetlerde minerallerin biyoyararlılığını arttırmak için uygulanabilecek bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Bilgiçli ve ark. (2006) farklı fitaz kaynaklarının tarhananın fitik asit miktarı, mineral ekstrakte edilebilirliği ve protein sindirilebilirliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Maya, malt ve mikrobiyal fitaz ilavesinden sonra tarhananın fitik asit miktarının önemli ölçüde azaldığını ve tarhanada bulunan mineral ve proteinlerin biyoyararlılığının arttığını tespit etmişlerdir.

Bindu ve Varadaraj (2005) önemli miktarda fitik asit içeren buğday unundan yapılan chapathi (roti)'de fitik asit seviyesinin azaltılması için araştırma yapmışlardır. Fitaz kaynağı olarak *Candida versatilis*'in mutasyona uğramış bir suşunun ilavesinin, fitik asit seviyesini %10-45 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.

Porres ve ark. (2001) defitinizasyonun demir seviyeleri üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada çeşitli seviyelerde sitrik asit, askorbik asit ve üç farklı fitaz kaynağı (*A.niger*, *A. fumigatus* ve *E. coli*) kullanılmıştır. Sadece fitaz-sitrik asit kombinasyonu, toplam demir emilimini 12-15 kat artırırken, fitaz-sitrik asit-askorbik asit kombinasyonu, karışımdaki toplam demir emilimini 24 kat artırmıştır.

Brnic ve ark. (2014) çinko sülfat ($ZnSO_4$) ve çinko oksit (ZnO) ilave edilmiş mısır ve sorgum lapalarında; fitaz, EDTA ve polifenollerin çinko emilimine etkisini incelemişlerdir. Çinko takviyeli tahıllara fitaz ilavesi çinko emilimini %80 oranında artırmıştır.

Hurrell ve ark. (2003) çeşitli tahıllardan (pirinç, buğday, mısır, yulaf, sorgum ve buğday-soya karışımı) yapılan kurutulmuş lapalara fitik asiti tamamen azaltmak için eksojen fitaz (*A. niger*) ilave etmişlerdir. Fitaz enzimi ile buğday-soya karışımı hariç bütün tahıllı lapalarda fitik asit oranı %0.3'ten %0.002'ye düşürülmüştür.

Theodoropoulos ve ark. (2018) soya içeceğine ticari fitaz enzimi ilavesinin demir, çinko ve kalsiyumun sindirilebilirliğini artırarak myo-inositol fosfat içeriğini azalttığını ve besin değerini iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

Frontela ve ark. (2008) bebek mamalarında kullanılan tahıllardaki demir, çinko ve kalsiyumun içeriğini incelemişler ve bebek mamalarına uyguladıkları eksojen fitaz ilavesi mineraller üzerinde büyük oranda etkili olduğunu belirlemişlerdir. Fitaz enzimi ilavesi ile demir sindirilebilirliğinde artış meydana gelmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bisküvi üretiminde kullanılan bisküvilik buğday (*Triticum compactum*) unu ve şortening Karaman'da faaliyet gösteren bir bisküvi fabrikasından, pudra şekeri, yağsız süt tozu, tuz, kabartma tozu ve vanilya Konya (Türkiye) piyasasından temin edilmiştir. Yaş maya Pakmaya, Kocaeli'den ve fitaz enzimi Novozymes (Bagsvaerd, Danimarka) firmasından temin edilmiştir. Teff tohumları (Duru, Karaman, Türkiye) laboratuvar tipi bir öğütücüde (Arçelik K3104, İstanbul, Türkiye) öğütülerek un haline getirilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme planı

Teffin defitinize edilmesi amacıyla üç farklı defitinizasyon metodu (fermantasyon, otoklavlama ve fitaz enzimi uygulaması) kullanılmıştır. İşlem uygulanmamış teff unu ve üç farklı defitinizasyon metodu kullanılarak elde edilen teff unu %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında bisküvi üretiminde kullanılmıştır. Bisküvi denemeleri (4x5)x2 deneme desenine göre yürütülmüştür. Üretilen bisküvilerin bazı fiziksel, kimyasal ve duyuşsal özellikleri belirlenmiştir.

3.2.2. Teff unlarının defitinizasyonu

Teff ununu defitinize etmek amacıyla üç farklı yöntem (fermantasyon, otoklavlama ve fitaz enzimi ilavesi) uygulanmıştır.

Fermantasyon

Fermantasyon işlemi için; 1:15 (a/h) oranında teff unu:saf su karışımına %6 oranında yaş maya eklenmiş ve 8 saat süre ile 30°C'deki su banyosunda (Daihan Wisebath WSB-30, Gangwon, Güney Kore) inkübasyona bırakılmıştır. Fermantasyon işlemi tamamlandıktan sonra, teff:su karışımı filtre kağıdı yardımıyla süzölmüş, kalıntı 50°C'deki kurutma fırınında (Nüve KD-200, Ankara, Türkiye) nem içeriği %10'un altına düşene kadar kurutulmuştur (Baumgartner ve ark., 2018).

Otoklavlama

Otoklavlama yönteminde teff unu 1:3 (a/h) oranında saf su ile karıştırılmış ve karışımın pH'ı asetik asit ile 4.5'e ayarlanmıştır. Hazırlanan karışım, 121°C'de 1 saat süre ile otoklavlanmıştır. Otoklavlama işleminin ardından, elde edilen örnek 50°C'deki kurutma fırınında nem içeriği %10'un altına düşene kadar kurutulmuştur (Özkaya ve ark., 2017a).

Fitaz enzimi ilavesi

100 g teff ununa 100 ml 0.1 N asetik asit-sodyum hidroksit tampon çözeltisi (pH 5.5) ve fitaz enzimi (%0.5) ilave edilerek saf su ile karışımın hacmi 1000 ml'ye tamamlanmış ve pH'ı 5.5'e ayarlanmıştır. Daha sonra, karışım 37°C'deki su banyosunda 2 saat boyunca çalkalanmıştır. Su banyosundan çıkan örnekler 5°C'de 10000 rpm'de 10 dk santrifüjlenmiştir. Süpernatant uzaklaştırıldıktan sonra kalan katı kısım 50°C'deki kurutma fırınında nem içeriği %10'un altına düşene kadar kurutulmuştur (Frias ve ark., 2003).

Defitinize edilmiş teff unu örnekleri laboratuvar tipi öğütücü kullanılarak un haline getirilmiştir.

3.2.3. Bisküvi üretimi

Kontrol bisküvi örneğinin üretiminde AACC 10-54 metodu modifiye edilerek kullanılmıştır (AACC, 2010). Kontrol bisküvi formülasyonunda 100 g buğday unu esasına göre; 45 g pudra şekeri, 40 g şortening, 1 g yağsız süt tozu, 1.25 g tuz, 2 g kabartma tozu, 0.5 g vanilya ve 15 ml su kullanılmıştır. Bisküvi ingredientleri mikserde (Hobart N50, Kanada) homojen hamur elde edilene kadar yoğrulmuştur. Yoğurma sonrası elde edilen hamur oklava yardımıyla 5 mm kalınlığında açılıp ve 50 mm çapında dairesel şekil verilerek 175°C'ye ısıtılmış fırında (Vestel SF8401, Manisa, Türkiye) pişirilmiştir.

Teff unu içeren bisküvilerde, buğday unu %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında işlem görmemiş ve defitinize edilmiş teff unları ile yer değiştirilmiştir. Pudra şekeri, şortening, yağsız süt tozu, tuz, kabartma tozu ve vanilya yukarıda belirtilen oranlarda kullanılmıştır. İlave edilen su miktarı 14-18 ml arasında değişmiştir.

3.2.4. Hammadde analizleri

Bisküvi üretiminde hammadde olarak kullanılan buğday unu ve teff unlarında fiziksel ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.1. Renk ölçümü

Bisküvi örneklerinin üretiminde kullanılan hammaddelerden buğday unu ve teff unlarında renk değerleri (L^* değeri [(0) siyah-(100) beyaz], a^* değeri [(+) kırmızı-(-) yeşil] ve b^* değeri [(+) sarı-(-) mavi]) Minolta CR-400 (Konica Minolta, Osaka, Japonya) cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Toplam renk farkı (ΔE), aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Romankiewicz ve ark., 2017):

$$\Delta E = \sqrt{(L_{\text{Örnek}}^* - L_{\text{Kontrol}}^*)^2 + (a_{\text{Örnek}}^* - a_{\text{Kontrol}}^*)^2 + (b_{\text{Örnek}}^* - b_{\text{Kontrol}}^*)^2}$$

3.2.4.2. Kimyasal analizler

3.2.4.2.1. Nem

Buğday unu ve teff unlarının nem içeriklerinin tespiti için, AACC 44-19 metoduna göre 135°C'de 2 saat normu uygulanmıştır (AACC, 2010).

3.2.4.2.2. Kül

Buğday unu ve teff unlarının rengi beyaz-griye dönene dek 550°C'deki kül fırınında (Daihan Wisetherm F-12, Gangwon, Güney Kore) yakılmış, AACC 08-01'e göre kül miktarları belirlenmiştir (AACC, 2010).

3.2.4.2.3. Ham protein

Örneklerin protein miktarı AACC 46-30 metoduna göre Dumas metodu ile tespit edilmiştir (AACC, 2010).

3.2.4.2.4. Ham yağ

Buğday unu ve teff unlarındaki yağ miktarı soxhelet cihazı kullanılarak AACC 30-25'e göre belirlenmiştir. Hammaddelerde bulunan yağ miktarı, örneklerin hekzan ile ekstrakte edilmesi ve ardından hekzanın uzaklaştırılması, kalıntının sabit tartıma gelinceye kadar kurutulup tartılması ile belirlenmiş ve sonuç % olarak bildirilmiştir (AACC, 2010).

3.2.4.2.5. Fitik asit

Hammaddelerde bulunan fitik asit, 0.2 N HCl çözeltisi ile ekstrakte edildikten sonra amonyum demir (III) sülfat çözeltisi ile 30 dk kaynar su banyosunda tutulmuştur. Daha sonra 15 dk buz banyosunda bekletilerek oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Serum kısmında serbest halde bulunan demir miktarı, bipiridin çözeltisi ile renklendirilip spektrofotometrik yöntemle 519 nm dalga boyunda absorbansı okunarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, örneklerin fitik asit miktarı hesaplanmış ve sonuçlar mg/100 g cinsinden verilmiştir (Haug ve Lantzsch, 1983).

3.2.4.2.6. Toplam fenolik madde

Hammaddelerin toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu metoduna göre kolorimetrik olarak belirlenmiştir. Örnekler (2 g), 20 ml solvent (metanol/su/hidroklorik asit, 80:10:1, h/h/h) ile oda sıcaklığında 2 saat boyunca ekstrakte edilmiştir. Daha sonra ekstrakt, 3000 rpm'de 10 dk süre ile santrifüj edilmiştir (Beta ve ark., 2005). Elde edilen süpernatanttan 0.1 ml alınarak deney tüpüne koyulmuş, üzerine 0.5 ml Folin-Ciocalteu reaktifi (%10'luk, h/h, suda) ve 1.5 ml sodyum karbonat çözeltisi (%20'lik, h/h, suda) eklenmiş ve saf su ile 10 ml'ye tamamlanarak karıştırılmıştır. Deney tüpleri 2.5 saat oda sıcaklığında ve ışık görmeyen bir yerde inkübe edilmiş ve spektrofotometrede 760 nm dalgaboyunda absorbans değerleri okunmuştur. Toplam fenolik madde miktarı 100 g ekstrede mg gallik aside (mg GAE/100 g) eşdeğer olacak şekilde hesaplanmıştır (Gamez-Meza ve ark., 1999).

3.2.4.2.7. Antioksidan aktivite

Örneklerin antioksidan aktivitesi 2-2-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) metodu kullanılarak belirlenmiştir (Gyamfi ve ark., 1999). Analiz sırasında örnekler toplam fenolik madde analizindeki gibi ekstrakte edilmiştir (Beta ve ark., 2005). Analizde; 0.1 ml süpernatant üzerine 0.9 ml Tris-HCl tampon çözeltisi ve 2 ml DPPH çözeltisi eklenerek ışık görmeyen bir ortamda ve oda sıcaklığında 30 dk süre boyunca inkübe edilmiştir. Örneklerin absorbans ölçümleri 30 dk süre sonunda spektrofotometrede 517 nm dalgaboyunda yapılmış ve antioksidan aktivite (% inhibisyon) aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir:

$$\text{Antioksidan aktivite (\% inhibisyon)} = [(Abs_{\text{skör}} - Abs_{\text{örnek}}) / Abs_{\text{skör}}] \times 100$$

3.2.4.2.8. Mineral madde

Örneklerdeki mineral madde (Ca, Fe, K, Mg, P ve Zn) miktarı, ICP-AES (indüktif eşlenmiş plazma - atomik emisyon spektrofotometresi) cihazı (Varian Vista Series, Zug, İsviçre) ile belirlenmiştir. 1 g örnek üzerine 10 ml sülfürik asit + nitrik asit karışımı eklenmiş ve mikrodalga yakma sisteminde (Cem 41 Mars 5, North Carolina, ABD) yakılmıştır. Elde edilen filtratlardaki mineral madde miktarı ICP-AES cihazı kullanılarak tespit edilmiştir (Skujins, 1998).

3.2.5. Bisküvi analizleri

3.2.5.1. Renk ölçümü

Bisküvi örneklerinin renk değerleri, bisküvi yüzeyinde 5 ayrı noktadan ölçülerek 3.2.4.1 başlığı altında verilen metoda göre belirlenmiştir.

3.2.5.2. Fiziksel analizler

Bisküvi örnekleri oda sıcaklığına kadar soğutulup 5 adet bisküvi örneğinin 5 ayrı noktasından çap (mm) ve kalınlık (mm) değerleri kumpas yardımı ile ölçüldükten sonra yayılma oranı, bisküvi çaplarının, kalınlıklarına bölünmesi ile hesaplanmıştır.

Bisküvilerin sertliğinin belirlenmesi için tekstür analiz cihazı (Stable Microsystems TA-XT.Plus, Surrey, Birleşik Krallık) kullanılarak 3 nokta kırılma testi tekniğine göre kırılma kuvveti değeri (F, g) tespit edilmiştir (load cell: 5 kg, ön-test hızı: 1.0 mm/sn, test hızı: 3.0 mm/sn, son-test hızı: 10.0 mm/sn, uzaklık: 5 mm, trigger kuvveti: 50 g)(AACC, 2010).

3.2.5.3. Kimyasal analizler

Bisküvi örneklerinin nem, kül, protein, yağ, fitik asit, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve mineral madde analizleri 3.2.4.2. başlığı altında verilen metotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.4. Duyusal analizler

Bisküvilerin duyusal özellikleri (renk, tat, koku, görünüş ve genel beğeni), Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünde bulunan 12 panelist (23-52 yaş) tarafından gerçekleştirilmiştir. Duyusal özellikler, 1-7 arasındaki skala (1: aşırı kötü, 2: çok kötü, 3: kötü, 4: orta, 5: iyi, 6: çok iyi ve 7: aşırı iyi) kullanılarak değerlendirilmiştir.

3.2.6. İstatistiksel analizler

Elde edilen veriler TARİST 4.01 (Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye) istatistik programı ile istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Ana varyasyon kaynaklarının ortalamaları Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır ($p < 0.05$). Analiz sonuçları çizelgeler halinde özetlemiş, önemli ve anlamlı bulunan etkileşimler şekiller üzerinde gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Hammadde Analiz Sonuçları

4.1.1. Buğday ununa ait sonuçlar

Bisküvi üretiminde hammadde olarak kullanılan buğday ununa ait bazı kimyasal analiz sonuçları ve renk değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Buğday ununda %11.61 nem, %0.68 kül, %10.14 protein ve %1.08 yağ bulunduğu belirlenmiştir. Buğday ununun fitik asit, antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarı sırasıyla 203 mg/100 g, %27.13 ve 121.73 mg GAE/100 g olarak bulunmuştur. L^* , a^* ve b^* değerleri ise sırasıyla 94.25, -0.45 ve 11.04 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Bisküvi üretiminde kullanılan buğday ununa ait bazı kimyasal analiz sonuçları ve renk değerleri¹

	Nem (%)	Kül (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Fitik asit (mg/100g)	AA ² (%)	TFM ³ (mg GAE/100g)
Buğday unu	11.61±0.03	0.68±0.01	10.14±0.09	1.08±0.07	203±1.58	27.13±0.81	121.73±1.64
	L^*	a^*	b^*				
Buğday unu	94.25±0.08	-0.45±0.04	11.04±0.06				

¹Kimyasal analiz sonuçları kuru madde üzerinden verilmiştir. ²Antioksidan aktivite ³Toplam fenolik madde

Çiftçi (2018) yaptığı bir çalışmada bisküvilik buğday ununda nem, protein, kül ve yağ miktarlarını sırasıyla; %13.9, 8.5, 0.55 ve 1.02 olarak tespit etmiştir. Tetik (2018) ise bisküvilik buğday ununda nem, kül ve protein miktarlarını sırasıyla %13.08, 0.67 ve 12.14 olarak bulmuştur.

Demir (2015) bisküvilik undaki fitik asit miktarını 308.26 mg/100 g olarak tespit etmiştir. Türksoy (2005), 6 farklı buğday çeşidinden elde edilen unlarda fitik asit miktarlarının 71.8-1054.9 mg/100 g arasında değiştiğini bildirmiştir. Çay (2008) ise iki farklı buğday unundaki fitik asit miktarını 100.4 ve 108.5 mg/100 g olarak belirlemiştir.

Kolett ve ark. (2014) buğday ununun toplam fenolik madde miktarını 62.1 mg GAE/100 g olarak tespit etmişlerdir. Demir (2015) yaptığı çalışmada bisküvilik undaki toplam fenolik madde miktarını 817.58 µg GAE/g olarak bulmuştur. Han ve Koh (2011) buğday ununda yaptıkları analizlere göre antioksidan aktivite değerini %28 olarak belirlemişlerdir.

Bilgiçli (2009), buğday ununun L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 94.26, -0.80 ve 9.20 olarak belirlemiştir. Öncel (2017) ise yaptığı bir çalışmada buğday ununun L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 93.72, -0.38 ve 10.19 olarak tespit etmiştir. Tetik (2018) bisküvilik buğday ununda L^* , a^* ve b^* renk değerlerini sırasıyla 89.68, 0.09 ve 9.20 olarak bildirmiştir.

4.1.2. Farklı defitinizasyon işlemlerine tabi tutulan teff unlarına ait sonuçlar

Bisküvi üretiminde hammadde olarak kullanılan işlem görmemiş ve farklı defitinizasyon işlemlerine tabi tutulmuş teff unlarına ait bazı kimyasal analiz sonuçları ve renk değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Kullanılan hammaddeler nem miktarı açısından değerlendirildiğinde; en yüksek nem miktarı işlem görmemiş teff ununda (%11.27), en düşük nem miktarı ise fitaz uygulanmış teff ununda (%8.95) tespit edilmiştir. Gıdaların nem miktarı, gıda stabilitesi ve raf ömrü açısından çok önemli bir özelliktir (Smith, 2007). Gıdaların nem miktarı gıdaya uygulanan işlemlerden ve özellikle kurutma prosesinden önemli oranda etkilenmektedir (Hassan ve ark., 2008). Ayrıca gıdanın depolandığı ortam koşulları, gıdanın nem miktarı üzerinde etkili olan diğer bir önemli faktördür.

Fermente edilmiş teff ununda belirlenen kül miktarı (%1.72), işlem görmemiş teff unu (%1.99), otoklavlanmış teff unu (%1.96) ve fitaz uygulanmış teff unundan (%1.89) daha düşük bulunmuştur. Fermente teff ununun kül miktarındaki bu azalma, çözünür minerallerin fermentasyon ortamına sızmasına ve fermente edici mikroorganizmaların genel aktivitelerine atfedilmiştir (Igbabul ve ark., 2014).

Teff unlarının protein miktarı %10.87-11.56 arasında değişmiştir. İşlem görmemiş (%11.46), fermente edilmiş (%11.56) ve otoklavlanmış (%11.34) teff unlarının protein miktarı aynı grupta yer almış olup, fitaz uygulanmış teff ununda belirlenen protein miktarından (%10.87) yüksek bulunmuştur. Ayrıca buğday ununun protein miktarı (%10.14) tüm teff unlarından daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.1 ve 4.2). Birçok çalışmada, teffin protein miktarının buğday ve diğer tahıl unlarının çoğundan daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Hager ve ark., 2012; Mancebo ve ark., 2015).

Teff unlarının yağ miktarı %1.95-2.12 arasında değişmiş olup, örneklerin yağ miktarları arasında istatistiki olarak bir fark belirlenmemiştir (Çizelge 4.2). Teffin yağ miktarının, buğday ve diğer temel tahıl çeşitlerinden daha yüksek olduğu literatürde

bildirilmiştir (Forsido ve ark., 2013). Bu çalışmada da işlem görmemiş ve farklı yöntemlerle defitimize edilmiş teff unlarının buğday unundan (Çizelge 4.1 ve 4.2) daha yüksek yağ miktarına sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2. Farklı defitinizasyon işlemlerine tabi tutulan teff unlarına ait bazı kimyasal analiz sonuçları ve renk değerleri¹

	İşlem Görmemiş TU ²	Fermente Edilmiş TU	Otoklavlanmış TU	Fitaz Uygulanmış TU
Nem (%)	11.27±0.04 ^a	10.39±0.03 ^b	9.87±0.07 ^c	8.95±0.06 ^d
Kül (%)	1.99±0.01 ^a	1.72±0.04 ^b	1.96±0.03 ^a	1.89±0.03 ^a
Protein (%)	11.46±0.12 ^a	11.56±0.13 ^a	11.34±0.11 ^a	10.87±0.10 ^b
Yağ (%)	2.05±0.08 ^a	2.03±0.10 ^a	1.95±0.11 ^a	2.12±0.06 ^a
Fitik asit (mg/100 g)	1350±5.66 ^a	181±1.41 ^d	419±2.83 ^b	198±1.13 ^c
AA³ (%)	60.63±1.34 ^a	40.25±1.98 ^b	37.53±1.57 ^b	37.08±1.51 ^b
TFM⁴ (mg GAE/100 g)	547.06±7.09 ^a	292.00±3.54 ^b	256.00±2.69 ^c	236.73±2.04 ^d
Renk				
L*	63.71±0.07 ^c	66.57±0.10 ^b	56.75±0.06 ^d	71.77±0.07 ^a
a*	5.85±0.03 ^b	4.45±0.02 ^c	6.92±0.03 ^a	3.40±0.05 ^d
b*	13.33±0.05 ^b	10.04±0.08 ^c	14.17±0.06 ^a	9.00±0.07 ^d

¹Farklı harfle işaretlenmiş, aynı satırdaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). Kimyasal analiz sonuçları kuru madde üzerinden verilmiştir. ²Teff unu. ³Antioksidan aktivite. ⁴Toplam fenolik madde.

Seyhan (2020) kahverengi teff ununun nem, protein, yağ ve kül miktarlarını sırasıyla %10.8, 13.8, 2.4 ve 1.9 olarak bulurken, bisküvilik unda bu değerler sırasıyla %13.5, 7.3, 1.1 ve 0.7 olarak belirlenmiştir. Baye ve ark. (2014)'nın derlediği verilere göre teffte protein, yağ ve kül miktarı sırasıyla %11, 2.5 ve 2.8'dir. Bekabil (2011) ise teffteki nem, protein, yağ ve kül miktarlarını sırasıyla %11.1, 10.5, 2.7 ve 3.1 olarak bildirmiştir.

Marti ve ark. (2017) işlem görmemiş teff ununda protein ve yağ miktarlarını sırasıyla %8.41 ve 3.32, fermente edilmiş teff ununda ise aynı özellikleri sırasıyla %9.03 ve 2.82 olarak bulmuşlardır. Ekşi hamur ile gerçekleştirilen fermentasyon işleminin, teff unundaki protein ve yağ miktarlarında büyük farklılığa neden olmadığı tespit edilmiştir.

Park ve Kim (2014) teff ununu 22°C'de 30 saat boyunca fermentasyon işlemine tabi tutarak üç farklı yöntemle kurutmuşlardır. Teff ununun fermentasyon öncesi nem miktarı %11.31 iken, fermentasyon ve kurutma işlemlerinden sonra nem miktarı %4.86 ile 10.97 arasında değişmiştir. Fermente teff ununda yapılan analizler sonucu ham protein miktarı %9.80-10.44, yağ miktarı %2.91-3.06 ve kül miktarı %2.03-2.50 arasında bulunmuştur.

Hassan ve ark. (2008) maya ile fermentasyonun, buğday kepeğinin farklı fraksiyonları ve ekmek kalitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Buğday kepeğinin üç fraksiyonunda (kaba, orta, ince) sırasıyla %9.78, 9.70 ve 9.77 bulunan nem miktarı, fermentasyon sonrası sırasıyla %5.07, 6.80 ve 7.70'e düşmüştür. Nem miktarındaki düşüş, buğday kepeğinin fermentasyonundan sonra yapılan kurutma işlemine bağlanmıştır. Öte yandan buğday kepeğinin fermentasyonu ile protein miktarı %20.35, 18.36 ve 21.07'den; %21.65, 20.79 ve 22.40'a yükselmiştir. Protein miktarındaki bu artışın fermentasyon sırasında mayanın çoğalmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Buğday kepeğinin yağ miktarı sırasıyla %3.28, 3.26 ve 4.26'dan; %1.73, 2.78 ve 3.77'ye düşmüştür. Kaba buğday kepeğinin kül miktarı %5.82'den 5.49'a düşmüş, orta ve ince kepek yağ miktarında ise hafif bir artış gözlemlenmiştir.

Khalil ve Mansour (1995) ham baklada protein, yağ ve kül miktarını sırasıyla %29.2, 1.1 ve 4.2 olarak bulurken, otoklavlanmış baklada bu özellikleri %27.5, 1.0 ve 4.0 olarak belirlemişlerdir. İşlem görmemiş ve otoklavlama yoluyla ısıl işlem görmüş bakla arasında protein, yağ ve kül miktarlarında önemli farklılıkların olmadığı tespit edilmiştir.

Hefnawy (2011) işlem görmemiş mercimekte nem, protein, kül ve yağ miktarlarını sırasıyla %8.51, 26.6, 3.4 ve 1.0 olarak bulurken, otoklavlanmış mercimekte ise bu özellikler %8.55, 26.1, 3.3 ve 0.9 olarak tespit edilmiştir. İşlem görmüş ve görmemiş mercimeklerin protein ve nem miktarları arasında önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Otoklavlama işleminin kül ve yağ miktarını azaltması, pişirme suyunda meydana gelen difüzyonlara bağlanmıştır.

Takahashi ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, pirinç ununda %12.4 olarak belirledikleri nem miktarını 120°C'de 60 dk otoklavlanmış pirinç ununda %10 olarak bulmuşlardır.

Babaoğlu (2021) buğday kepeğinin defitinizasyon işleminden (121°C'de 30 dk otoklavlama) sonra nem miktarının %11.39'dan 5.77'e düşmesinin sebebinin defitinizasyon sırasında uygulanan kurutma işleminden kaynaklanmış olabileceğini bildirmiştir. Defitinizasyon işlemi buğday kepeğinin ham yağ, kül ve protein miktarları üzerinde de etkili olmuştur. Defitinizasyon işlemi sonucunda buğday kepeğinin ham yağ (%3.76'dan 3.98'e) ve kül miktarı (%6.14'ten 6.22'ye) artarken, protein miktarı (%15.53'ten 14.60'a) azalmıştır.

Urbano ve ark. (2007) bezelye ununa ıslatma işleminden sonra eksojen mikrobiyal fitaz uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucu kül miktarı

ham bezelye ununda 3.01 g/100 g, ıslatılmış ve fitaz uygulanmamış bezelye ununda 1.36 g/100 g, ıslatılmış ve fitaz uygulanmış bezelye ununda ise 1.34 g/100 g bulunmuştur. Bezelye ununa uygulanan fitaz ilavesi işlemi kül miktarında önemli bir farklılığa sebep olmamıştır.

Luo ve Xie (2012) yaptıkları çalışmada baklada optimum koşullar altında (pH 5.5, 37°C) eksojen fitaz uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Fitaz uygulanmış bakladaki (1.55 g/100 g) kül miktarı, ham baklaya (4.12 g/100 g) göre oldukça düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.2’de bisküvi yapımında kullanılan işlem görmemiş ve farklı defitinizasyon yöntemlerine tabi tutulmuş teff unlarına ait fitik asit, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite analizi sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre kullanılan hammaddelerin fitik asit miktarı 181-1350 mg/100 g arasında değişmiştir. En yüksek fitik asit miktarı işlem görmemiş teff ununda (1350 mg/100 g) elde edilmiştir. Bu çalışmada teff ununun fitik asit miktarının azaltılmasında en çok fermantasyon işlemi (181 mg/100 g), sonrasında ise fitaz uygulaması (198 mg/100 g) etkili olmuştur. İşlem görmemiş teff ununun (1350 mg/100 g), buğday ununa (203 mg/100 g) göre 6.7 kat daha fazla fitik asit içerdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.1 ve 4.2).

Teff unları fenolik madde miktarı bakımından değerlendirildiğinde; en yüksek toplam fenolik madde miktarı işlem görmemiş teff ununda (547.06 mg GAE/100 g), en düşük değer ise fitaz uygulanmış teff ununda (236.73 mg GAE/100 g) belirlenmiştir. Teff unlarının antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde ise; en yüksek antioksidan aktivite değeri işlem görmemiş teff ununda (%60.63) bulunmuş ve bunu fermente edilmiş (%40.25), otoklavlanmış (%37.53) ve fitaz uygulanmış (%37.08) teff unları takip etmiştir.

Seyhan (2020) teff örneklerinde (iran teffi, beyaz teff ve kahverengi teff) fitik asit içeriğinin %1.1 ile 1.2 arasında değiştiğini bulmuştur. İstatistiksel olarak karşılaştırıldığında; teff unu örneklerinin fitik asit miktarı ile buğday unlarının fitik asit miktarı arasında önemli bir fark belirlenmiştir. Bu farklılık teffin tam tahıl olarak kullanılmasına ve kepekte yüksek oranda fitik asit bulundurmasına bağlanmıştır.

Urga ve Narasimha (1997) teff ununa farklı sürelerde (0, 24, 48, 75 ve 96 saat) fermantasyon (doğal laktik asit) işlemi uygulamışlardır. Fermantasyon işlem süresinin artmasıyla birlikte, fitik asit miktarının 707 mg/100 g’dan 198 mg/100 g’a düştüğü gözlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada fermentasyon işlemi, teff ve sorgumdan hazırlanan injeranın fitat miktarını 3-4 kat azaltmıştır. Tefften hazırlanan injerada fitat miktarı 389 mg/100 g'dan 126 mg/100 g'a düşerken, sorgumdan hazırlanan injerada ise 325 mg/100 g'dan 75 mg/100 g'a düşmüştür (Umeta ve ark., 2005).

Antony ve Chandra (1998) fermente edilen parmak darıdaki fitik asitin fermentasyonun ilk 12 saatinde önemli ölçüde azaldığını belirlemişlerdir. 48 saatte ise fitatın %39'u hidrolize edilmiştir.

Nasser ve Hammood (2019) farklı değirmenlerden elde edilen buğday unlarındaki fitik asitin azaltılması için buğday ununa uygulanan fermentasyon, doğal fitaz uygulaması ve pişirme işlemlerinin etkisini incelemek amacıyla ekmek üretimi gerçekleştirmişlerdir. Üç farklı değirmenden elde edilen unlardaki fitik asit miktarları sırasıyla 850.32, 802.14 ve 531.84 mg/100 g olarak bulunmuştur. Fermentasyon işlemi sonunda bu üç farklı değirmenden elde edilen unlardan üretilen ekmeklerde fitik asit miktarındaki azalma sırasıyla %47.06, 26.98 ve 40.00 olmuştur. Bu azalışın diğer önemli nedeninin ise hamurdaki fitaz enziminin aktivitesi olduğu bildirilmiştir.

Steve (2011) buğday ununa uyguladığı fermentasyon işleminden sonra fitik asit miktarının 597 mg/100 g'dan 474 mg/100 g'a düştüğünü tespit etmiştir.

Özkaya (2004) kaba ve ince buğday kepeğine farklı oranlarda (%3, 6 ve 9) maya ilave ederek farklı sürelerde (2, 4, 6 ve 8 saat) fermentasyon işlemi uygulamıştır. Artan fermentasyon süreleriyle birlikte kaba ve ince kepekte fitik asit miktarı azalmıştır. Ayrıca yapılan bu çalışmada kaba ve ince buğday kepeğine asetik asit ve sitrik asit eklenerek farklı pH değerlerinde (3.5, 4.0, 4.5, 5.0), farklı sürelerde (0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 saat) ve 121°C'de otoklavlama işlemi uygulanmıştır. Artan otoklavlama süresi ve azalan pH değeriyle birlikte fitik asit miktarı da azalmıştır.

Singh ve ark. (2015) farklı nohut çeşitleri üzerinde ıslatma, çimlenme, kaynatma ve basınçlı pişirme gibi bazı geleneksel işlemlerin antibesinsel bileşenlere etkisini araştırmışlardır. Tohumların 20 dk süreyle otoklavlanması, fitik asit miktarını önemli ölçüde azaltmıştır. 20 dk süreyle otoklavlama, nohut çeşitlerinden birisinin fitik asit içeriğinde %76.06 oranında azalma sağlamıştır.

Urbano ve ark. (2007) bezelye ununa ıslatma işleminden sonra uygulanan mikrobiyal fitaz ilavesinin demir biyoyararlılığı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucu fitik asit değeri ham bezelye ununda 339 mg/100 g, ıslatılmış ve fitaz uygulanmamış bezelye ununda 75 mg/100 g, ıslatılmış ve fitaz uygulanmış bezelye ununda ise 25 mg/100 g bulunmuştur.

Salawu ve ark. (2014) kahverengi ve beyaz teff tanelerinin toplam fenolik madde miktarlarını 600-700 mg CE/g aralığında tespit etmişlerdir. Kotaskova ve ark. (2016) ise 5 çeşit teff üzerinde yaptıkları çalışma sonucu teff tanelerinin toplam fenolik madde miktarlarını 1.41-2.19 mg GAE/g aralığında bulmuşlardır. Aynı çalışmada teff ununun toplam fenolik madde miktarı ise 1.77 mg GAE/g olarak bulunmuştur. Başka bir çalışmada teff ununda yapılan analizlere göre toplam fenolik madde miktarı 333.6 mg/100 g olarak bulunmuştur (Mohammed, 2007).

Shumoy ve Raes (2016) yaptıkları çalışmada 7 farklı teff çeşidindeki toplam fenolik madde miktarının 273-448 mg GAE/100 g arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Çeşitlerin toplam fenolik miktarları arasındaki fark, genetik yapıdaki farklılık ve ekstraksiyon yöntemlerinin çeşidi ile ilişkilendirilmiştir (Adom ve Liu, 2002; Gonzales ve ark., 2014).

Park ve Kim (2014) teff ununun toplam fenolik madde miktarını 86.16 mg GAE/100 g bulurken, fermente edilmiş ve kurutulmuş teff unlarının toplam fenolik madde miktarını ise 78.34-92.14 mg GAE/100 g arasındaki değerlerde tespit etmişlerdir.

Forsido ve ark. (2013) teff unu dahil 9 Etiyopya bazlı tahıl ürününde (amicho, kocho, fermente kocho, bulla, fermente bulla, buğday, mısır, tapyoka ve teff) yaptıkları analizler sonucu toplam fenolik madde miktarındaki en yüksek değeri (123.6 mg GAE/100 g) teff ununda elde etmişlerdir. Buğday ununun toplam fenolik madde miktarı ise 37.0 mg GAE/100 g olarak bulunmuştur. Bununla birlikte kochonun (*Ensete ventricosum* bitkisinin toz halindeki posasıyla elde edilen nişastalı bir gıda) fermente edilmeden önce fenolik madde miktarı 55.9 mg GAE/100 g bulunurken fermentasyon işleminden sonra bu miktar 47.2 mg GAE/100 g'a düşmüştür (Karssa ve ark., 2014).

Ravisankar ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada farklı tahıl tanelerindeki polifenol profillerinin, ekşi hamur fermentasyonu sırasında mikrobiyal metabolizmaya verdiği tepkileri araştırmışlardır. Tam tahıllı buğday (beyaz ve kırmızı), sorgum (beyaz ve limon sarısı) ve teff (beyaz ve kahverengi) unları, 48-96 saat boyunca doğal ekşi hamur fermentasyonuna tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda fermente edilmiş örneklerde, ekstrakte edilebilir fenol miktarı ve antioksidan kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Kontrol, 48 saat ve 96 saat fermentasyona tabi tutulmuş örneklerde fenol miktarı beyaz teffte sırasıyla 1.06, 2.26 ve 2.5 mg GAE/g; kahverengi teffte ise sırasıyla 1.76, 2.97 ve 4.1 mg GAE/g olarak belirlenmiştir.

Antony ve Chandra (1998) parmak darıdaki 48 saatlik fermentasyon ile birlikte toplam fenolik madde miktarının %26-29 azaldığını tespit etmişler ve bunun liflere bağlı formda bulunan tanenlerin salınımından ve polifenol oksidaz aktivitesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir (Dhankher ve Chauhan, 1987).

Torres ve ark. (2006) fermente edilmiş bezelye ilaveli makarnadaki antioksidan kapasitenin, kontrol (irmik) makarna örneğine göre %4'lük bir azalma gösterdiğini bildirmişlerdir.

Özkaya ve ark. (2017b) buğday ve pirinç kepeğine uyguladıkları otoklavlama işlemi sonucu buğday kepeği örneklerinde 90 dk süreden sonra toplam fenolik madde miktarlarının tüm pH seviyelerinde (6.6, 4.5, 4.0, 3.5) kontrol örneğe göre arttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, sadece 4.0 ve 3.5 pH'da 90 dk süreden sonra pirinç kepeği örneklerinde toplam fenolik madde miktarının arttığı rapor edilmiştir.

Jambrec ve ark. (2015) karabuğdayın otoklavlanması ile toplam fenolik madde miktarının işlem görmemiş karabuğdaya göre 396.5 mg/kg'dan 388.5 mg/kg'a düştüğünü tespit etmişlerdir.

Oomah ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada; otoklavlama işlemi fasulyenin fenolik miktarı ve antioksidan aktivitesinde kayıplara neden olmuştur.

Matuschek ve ark. (2001) sorgum ve darı çeşitlerini fitaz ve polifenoloksidaz enzimi ile inkübe etmişlerdir. Farklı sorgum ve darı örneklerinin hem fitaz hem de polifenoloksidaz enzimi ile inkübasyonu, toplam fenol miktarında oldukça fazla düşüşe neden olmuştur.

Towo ve ark. (2006) fermentasyon ve enzim (buğday fitazı ve fungal polifenol oksidaz) ilavesinin, sorgum lapasının toplam fenolik madde, fitik asit ve *in vitro* erişilebilir demir miktarı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Enzim ilavesi ve fermentasyonun toplam fenolik madde miktarını %57, katekol gruplarını %59 ve galloil gruplarını %70 oranında azalttığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.2'de verilen sonuçlara göre, en yüksek L^* değeri fitaz uygulanmış teff ununda (71.77), en düşük değer ise otoklavlanmış teff ununda (56.75) bulunmuştur. Teff unları arasında en yüksek a^* değeri otoklavlanmış teff ununda (6.92) tespit edilmiş, bunu sırasıyla işlem görmemiş teff unu (5.85), fermente edilmiş teff unu (4.45) ve fitaz uygulanmış teff unu (3.40) takip etmiştir. Teff unları b^* değeri açısından karşılaştırıldığında; fitaz uygulanmış teff ununun en düşük (9.00), otoklavlanmış teff ununun (14.17) ise en yüksek b^* değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Gıdaların rengi belirli bileşenlerinin konsantrasyonuna bağlıdır (Bhaduri, 2013). Teff tohumunun fildişi

renginden, kahverengiye kadar değişen rengi (Minarovicova ve ark., 2019) ve teffe uygulanan defitinizasyon işlemleri renk sonuçları üzerinde etkili olmuştur.

Minarovicova ve ark. (2019) teff ununun L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 73.56, 2.09 ve 12.97 olarak tespit etmişlerdir.

Park ve Kim (2014) fermente edilmiş (22°C 'de 30 saat) ve farklı proseslerle kurutma işlemi uygulanmış teff unlarının fermentasyon işleminden sonra L^* , a^* ve b^* değerlerinin azaldığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada da fermentasyon işlemi ile a^* ve b^* değerlerinde azalma belirlenmiştir.

Demir (2010) buğday örneklerinin kepekli fraksiyonlarına bazı stabilizasyon (otoklav, mikrodalga ve infrared) işlemleri uygulamış ve tam buğday unlarına mikrodalga ve infrared işlemleri uygulanan kepekli fraksiyonların ilave edilmesiyle L^* değerlerinin düştüğünü, tüm stabilizasyon işlemlerinin uygulandığı kepekli fraksiyonların ilavesiyle ise a^* değerlerinin arttığını tespit etmiştir. Sonuç olarak daha koyu renkte ürünler elde edilirken örneklerin renk değerleri üzerindeki en fazla etkiyi otoklavlama işlemi yapmıştır. Örneklerin L^* değerlerindeki düşüşün otoklavlama işleminin, diğer stabilizasyon yöntemlerine göre daha fazla ısıtma etkisine sahip olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. a^* değerlerindeki artış ise otoklavlama işlemi ile meydana gelen esmerleşme reaksiyonlarının ürün renginin daha kırmızı olmasına yol açması ile ilişkilendirilmiştir (Chamani ve ark., 2009). Bu çalışmada da otoklavlama ile elde edilen teff unları tüm örnekler içinde en düşük L^* ve en yüksek a^* ve b^* değerlerine sahip örnekler olmuştur.

Takahashi ve ark. (2005) otoklavlama işleminin (120°C 'de 60 dk) pirinç ununun L^* değerinde (93.2'den 88.8'e) azalmaya, a^* değeri (-2.91'den -0.8'e) ve b^* değerinde ise (5.2'den 11.2'ye) artışa sebep olduğunu bildirmişlerdir.

4.2. Bisküvi Örneklerine Ait Analiz Sonuçları

4.2.1. Bisküvi örneklerine ait renk değerleri

Farklı defitinizasyon işlemleri uygulanarak elde edilmiş teff unlarının farklı oranlarda bisküvi formülasyonunda kullanılması ile elde edilen ürünlerin renk değerleri (L^* , a^* , b^* ve ΔE) Çizelge 4.3'te verilmiştir. L^* , a^* ve b^* değerlerinin Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.4'te özetlenmiştir.

4.2.1.1. L^* değeri

Bisküvi örneklerinin ortalama L^* değerleri 46.87 ile 74.25 arasında değişmiş olup ortalama 58.51 ± 9.50 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Bisküvi örneklerine ait renk değerleri¹

TUDİ ²	TUO ³ (%)	L^*	a^*	b^*	ΔE
İşlem görmemiş	0	74.15 $\pm$ 0.15	0.61 $\pm$ 0.01	23.92 $\pm$ 0.07	-
	10	62.14 $\pm$ 0.21	4.51 $\pm$ 0.04	20.51 $\pm$ 0.11	13.08 $\pm$ 0.30
	20	55.42 $\pm$ 0.19	6.22 $\pm$ 0.03	18.41 $\pm$ 0.06	20.31 $\pm$ 0.28
	30	51.73 $\pm$ 0.09	6.54 $\pm$ 0.01	16.25 $\pm$ 0.13	24.42 $\pm$ 0.05
	40	48.84 $\pm$ 0.05	6.86 $\pm$ 0.05	14.83 $\pm$ 0.03	27.61 $\pm$ 0.07
Fermente edilmiş	0	74.04 $\pm$ 0.09	0.62 $\pm$ 0.01	23.87 $\pm$ 0.02	-
	10	62.47 $\pm$ 0.15	3.86 $\pm$ 0.06	18.24 $\pm$ 0.01	13.27 $\pm$ 0.20
	20	54.06 $\pm$ 0.38	5.76 $\pm$ 0.06	16.02 $\pm$ 0.07	22.07 $\pm$ 0.43
	30	49.73 $\pm$ 0.12	6.60 $\pm$ 0.03	15.04 $\pm$ 0.08	26.55 $\pm$ 0.19
	40	46.87 $\pm$ 0.08	6.45 $\pm$ 0.01	13.05 $\pm$ 0.08	29.82 $\pm$ 0.14
Otoklavlanmış	0	74.25 $\pm$ 0.04	0.60 $\pm$ 0.00	23.84 $\pm$ 0.02	-
	10	62.42 $\pm$ 0.12	4.20 $\pm$ 0.03	17.99 $\pm$ 0.21	13.68 $\pm$ 0.01
	20	57.22 $\pm$ 0.20	5.28 $\pm$ 0.07	15.65 $\pm$ 0.10	19.47 $\pm$ 0.20
	30	51.29 $\pm$ 0.10	6.05 $\pm$ 0.04	13.85 $\pm$ 0.07	25.62 $\pm$ 0.07
	40	48.26 $\pm$ 0.23	6.65 $\pm$ 0.05	14.53 $\pm$ 0.08	28.26 $\pm$ 0.32
Fitaz uygulanmış	0	74.18 $\pm$ 0.12	0.59 $\pm$ 0.00	23.96 $\pm$ 0.10	-
	10	63.72 $\pm$ 0.19	3.93 $\pm$ 0.06	17.63 $\pm$ 0.06	12.67 $\pm$ 0.24
	20	57.89 $\pm$ 0.24	5.19 $\pm$ 0.06	14.91 $\pm$ 0.11	19.19 $\pm$ 0.38
	30	52.45 $\pm$ 0.22	5.81 $\pm$ 0.04	13.87 $\pm$ 0.16	24.51 $\pm$ 0.16
	40	49.09 $\pm$ 0.16	6.31 $\pm$ 0.01	13.25 $\pm$ 0.13	27.87 $\pm$ 0.14
Minimum-Maksimum		46.87-74.25	0.59-6.86	13.05-23.96	12.67-29.82
Ortalama		58.51 $\pm$ 9.50	4.63 $\pm$ 2.26	17.48 $\pm$ 3.80	21.77 $\pm$ 6.00

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; fitaz uygulanmış teff unu örneklerinin bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla en yüksek L^* değerlerinin elde edildiği, bunu otoklavlanmış ve işlem görmemiş teff unu ile hazırlanan örneklerin takip ettiği ve fermente edilmiş teff unlarının kullanıldığı bisküvilerin en düşük L^* değerini verdiği Çizelge 4.4'ten anlaşılmaktadır. Bisküvide gerçekleşen renk değişimleri genellikle kullanılan hammaddelerin rengine, pişirme sırasında gerçekleşen Maillard ve karamelizasyon reaksiyonlarına atfedilmektedir (Park ve ark., 2005; Asselman ve ark., 2007; Ameer ve ark., 2007; Bhaduri, 2013). Bisküvi pH'sı Maillard reaksiyonunun oluşumu için oldukça uygundur. Martins ve ark. (2000) tarafından, esmerleşme reaksiyonunun optimum pH'sının 6.1-8.2 olduğu ve karamelizasyonun en iyi asidik ortamda gerçekleştiği bildirilmiştir. Bu nedenle, bisküvinin pişirilmesi sırasında yüksek

miktarda kahverengi renk pigmenti oluşmasında, bisküvi pH'sının (6.04-6.42) etkisinin olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.4. Bisküvi örneklerinin renk değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucu¹

Faktör	n	L*	a*	b*
TUDI²				
İşlem görmemiş	10	58.45±9.51 ^b	4.95±2.44 ^a	18.79±3.39 ^a
Fermente edilmiş	10	57.43±10.37 ^c	4.66±2.36 ^b	17.24±3.91 ^b
Otoklavlanmış	10	58.69±9.68 ^b	4.56±2.26 ^c	17.17±3.81 ^b
Fitaz uygulanmış	10	59.47±9.36 ^a	4.37±2.16 ^d	16.72±4.13 ^c
TUO³ (%)				
0	8	74.15±0.14 ^a	0.60±0.01 ^e	23.90±0.08 ^a
10	8	62.68±0.68 ^b	4.12±0.28 ^d	18.59±1.22 ^b
20	8	56.15±1.64 ^c	5.62±0.45 ^c	16.25±1.41 ^c
30	8	51.30±1.08 ^d	6.25±0.35 ^b	14.75±1.07 ^d
40	8	48.26±0.93 ^e	6.57±0.23 ^a	13.91±0.84 ^e

¹Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

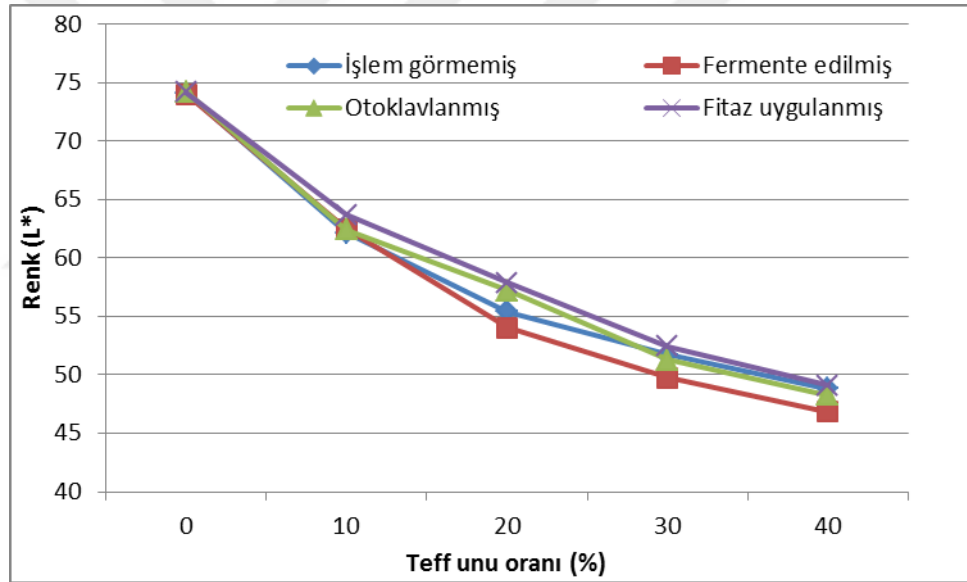
²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

Bisküvi örnekleri arasında en düşük L^* değeri fermente edilmiş teff unu kullanılanlarda belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Teff ununun fermantasyonu esnasında artan serbest aminoasit miktarı (Lee ve ark., 2020) Maillard reaksiyonunu artırarak, fermente teff unu kullanılan bisküvi örneklerinin en düşük L^* değerine sahip olmasına neden olmuş olabilir. Fitaz uygulanmış teff unundan hazırlanan bisküvi örneğinde ise en yüksek L^* değeri belirlenmiştir. Bu durumun aksine, Bilgiçli ve Elgün (2005) tarhana yapımında kullanılan fitaz enzimi aktivitesi sonucu üretilen serbest minerallerle katalize edilen bazı enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarından dolayı rengin koyulaştığını ifade etmişlerdir. Otoklavlanmış teff unlarında, otoklavlama esnasında lizin aminoasitinin bozunması (Fontaine ve ark., 2007), Maillard reaksiyonuna girme hızını azaltmış ve bu durumda otoklavlanmış teff unundan üretilen bisküvilerin L^* değerinin, işlem görmemiş teff unundan üretilen bisküvilerin L^* değerine eşdeğer bulunmasına neden olmuş olabilir.

Sonuçlar teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; bisküvi formülasyonunda teff unu oranı arttıkça bisküvilerin L^* değerinin azaldığı belirlenmiştir. %0, 10, 20, 30 ve 40 teff unu kullanılan bisküvilerde ortalama L^* değerleri sırasıyla 74.15, 62.68, 56.15, 51.30 ve 48.26 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.4). Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilen hammadde sonuçları incelendiğinde tüm teff unlarının L^* değerinin buğday unundan daha düşük olduğu görülmektedir. Teff unu ilaveli örneklerde L^* değerinin düşmesinde etkili faktörlerden biri teff ununun tam un şeklinde öğütülmüş olması, doğal renginin buğday unundan daha koyu olması ve bu durumun son ürüne yansımış olması

olabilir. Diğer taraftan teff unu buğday unundan daha zengin lizin içeriğine sahiptir (Baye ve ark., 2014). Bisküvi formülasyonunda lizince zengin teff ununun buğday unu ile yer değiştirmesi, bisküvinin pişirilmesi esnasında Maillard reaksiyonuna ve dolayısıyla bisküvi renginin koyulaşmasına neden olmuş olabilir.

Bisküvi örneklerinin L^* değeri üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.1’de verilmiştir. Farklı defitinizasyon işlemleri uygulanarak hazırlanmış unlar kullanılarak üretilen bisküvi örneklerinin L^* değerleri %10 kullanım oranında birbirine yakınken, teff unu ilave oranı arttığında farkın açıldığı görülmektedir. Tüm teff unu ilave oranları için fermente edilmiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvi örneklerinin en düşük, fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan örneklerin ise en yüksek L^* değeri verdiği görülmektedir.



Şekil 4.1. Bisküvi örneklerinin L^* değeri üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

4.2.1.2. a^* değeri

Farklı defitinizasyon uygulamaları ile hazırlanan teff unlarının, farklı oranlarda, bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla üretilen bisküvilerin ortalama a^* değeri 4.63 ± 2.26 olarak belirlenmiştir. Bisküvilerde en düşük ve en yüksek a^* değerleri sırasıyla 0.59 ve 6.86 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Sonuçlar teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; en yüksek a^* değerinin işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvide elde edildiği, bunu sırasıyla fermente edilmiş ve otoklavlanmış teff unları ile hazırlanan bisküvilerin takip ettiği, en düşük değerin ise fitaz uygulanmış teff unundan hazırlanan bisküvi örneğinde elde edildiği belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Lee ve ark. (2020) farklı ön işlemlerle (kurutma, otoklavlama ve fermentasyon) hazırladıkları okaraları bisküvi formülasyonunda kullandıkları çalışmalarında, işlem görmüş okara kullanımı ile bisküvide artan kırmızılık değerini, renkli polifenol-protein (kırmızı amin-kinon bileşikler gibi) bileşiklerinin oluşumuna bağlamışlardır (Li ve ark., 2016).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre bisküvi formülasyonunda kullanılan teff unu oranı arttıkça a^* değeri de yükselmiştir. Hiç teff unu kullanılmayan bisküvi örneğinde 0.60 olan a^* değeri, %40 teff unu kullanımı ile 6.57'e yükselmiştir (Çizelge 4.4). Bisküvi formülasyonunda teff unu ilavesi ile birlikte 4.2.1.1. başlığı altında detaylı olarak açıklanan Maillard reaksiyonunu artıran faktörler kırmızılığın da yükselmesine neden olmuştur.

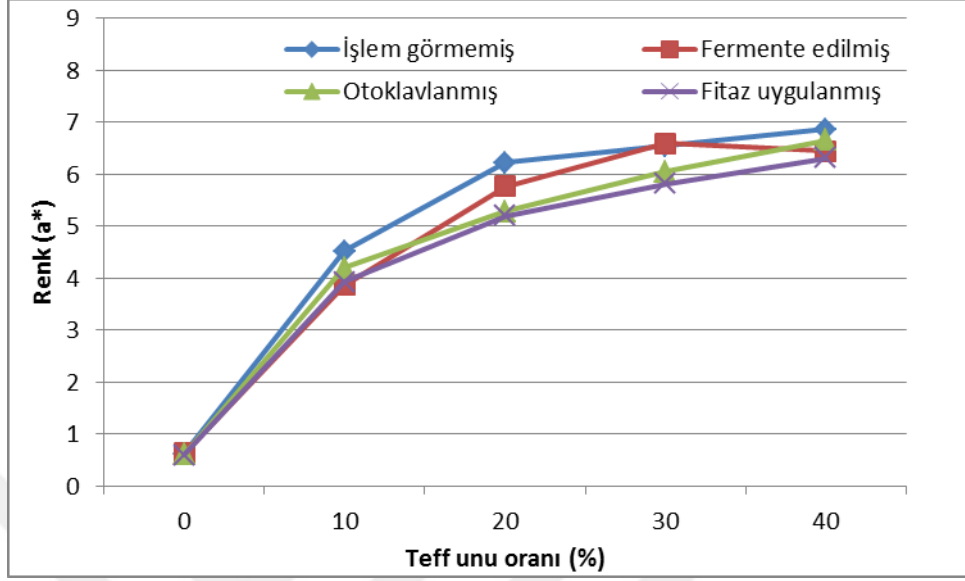
Bisküvi örneklerinin a^* değeri üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi $\times$ teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.2’de verilmiştir. Farklı defitinizasyon işlemleri uygulanarak hazırlanan teff unları %10 kullanım oranında bisküvilerin a^* değerinde hızlı bir artışa neden olmuştur. %30 oranından %40 oranına geçerken ise artış hızı düşmüştür. Tüm teff unu ilave oranlarında fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvi örneklerinin en düşük, işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan örneklerin ise en yüksek a^* değeri verdiği görülmektedir.

4.2.1.3. b^* değeri

Bisküvi örneklerinin b^* değerleri 13.05 ile 23.96 arasında değişmiş olup ortalama 17.48 ± 3.80 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; en yüksek b^* değerinin (18.79) işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvide belirlendiği görülmektedir (Çizelge 4.4). Fermente edilmiş teff unu (17.24) ve otoklavlanmış teff unu (17.17) kullanılarak hazırlanan bisküvilerin b^* değerleri birbirine eşdeğer ve işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvinin b^* değerinden düşük çıkmıştır. En düşük b^* değeri

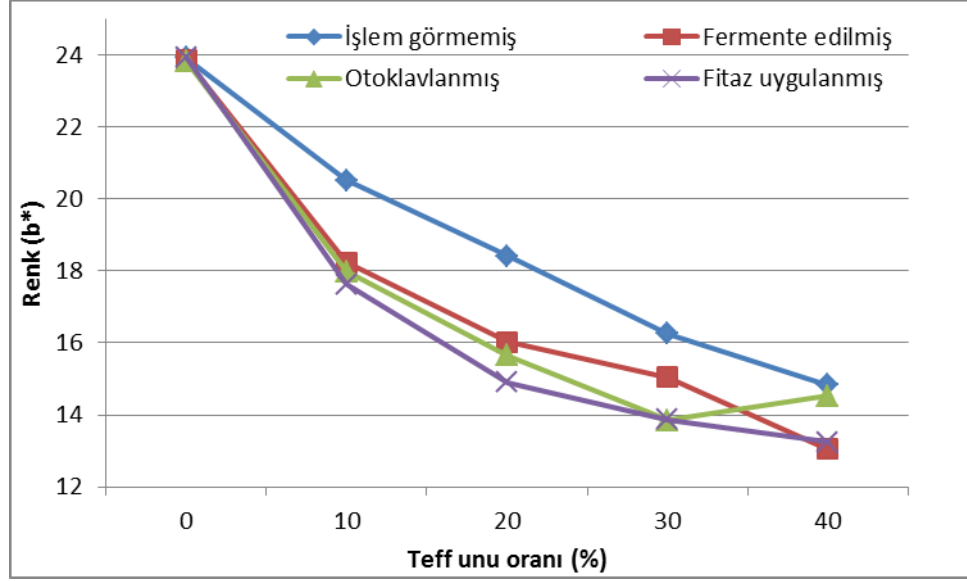
(16.72) ise, a^* değerinde olduğu gibi fitaz uygulaması ile hazırlanan un kullanılarak üretilen bisküvide belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Bisküvi örneklerinin a^* değeri üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

Bisküvi formülasyonunda artan oranda teff unu kullanımı b^* değerinin düşmesine neden olmuştur. %0, 10, 20, 30 ve 40 teff unu kullanım oranlarında bisküvilerin ortalama b^* değerleri sırasıyla 23.90, 18.59, 16.25, 14.75 ve 13.91 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Bisküvi örneklerinin b^* değeri üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.3’de verilmiştir. Bisküvi formülasyonunda artan oranda işlem görmemiş teff unu kullanımı bisküvilerin b^* değerini doğrusal olarak düşürmüştür. Farklı defitinize teff unu örnekleri içinde ve tüm ilave oranlarında işlem görmemiş teff unu örnekleri en yüksek b^* değerinin elde edilmesini sağlamıştır. Fermente edilmiş, otoklavlanmış ve fitaz uygulanmış teff unu ile hazırlanan bisküvi örneklerinde %10 ilave oranı ile b^* değerinde hızlı bir azalma meydana gelmiştir. %30 teff unu ilave oranından sonra otoklavlanmış ve fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan örneklerde b^* değerindeki düşüşün hızı azalmıştır.



Şekil 4.3. Bisküvi örneklerinin b^* değeri üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

4.2.1.4. ΔE değeri

Bisküvi örneklerinin ΔE değerleri Çizelge 4.3’te verilmiş olup 12.67 ile 29.82 arasında değişim göstermiştir. Teff unu ilavesiz (%0) bisküvi örneğinde ΔE değerleri hesaplanamadığı için bisküvi örneklerinin ΔE değerlerine Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmamıştır. Ham sayılar üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Tüm defitinize teff unları için geçerli olmak üzere, bisküvi formülasyonunda artan teff unu oranı bisküvilerde ΔE değerlerini yükseltmiştir. En yüksek ΔE değerleri (29.82) %40 oranında fermente teff unu ilavesi ile belirlenirken, en düşük ΔE değerleri (12.67) %10 oranında fitaz uygulanmış teff unu kullanılan bisküvi örneğinde bulunmuştur.

Renk, tüketicinin ürünün kabul edilebilirliği konusundaki algısını etkilediği için pişmiş gıda ürünlerinin önemli bir özelliğidir (Kırbaş ve ark., 2019). Bisküvilerin rengi, kullanılan unun rengine ve bazı bileşenlere bağlı olarak değişebilmektedir (Ameur ve ark., 2007; Bhaduri, 2013). Diğer taraftan bisküvilerin rengi Maillard reaksiyonu ve karamelizasyondan etkilenmektedir (Park ve ark., 2005). Maillard reaksiyonunda, indirgen şekerler proteinlerin serbest aminoasit yan zincirleri ile özellikle de lisin ile reaksiyona girmektedir. Bu da kahverengi pigmentlerin oluşmasına sebep olmaktadır (Hallen ve ark., 2004).

Joung ve ark. (2017a) yaptıkları çalışmada teff ununu %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında bisküvi formülasyonuna dahil etmişlerdir. Bisküvi fomülasyonuna eklenen

teff unu miktarı arttıkça L^* ve a^* değerleri sırasıyla 72.87'den 36.00'a, 25.21'den 6.95'e düşerken a^* değeri ise -1.02'den 4.81'e yükselmiştir.

Coleman ve ark. (2013) teff ununu farklı oranlarda (%0, 10, 20, 30, 40 ve 100) ekmek, kek, kurabiye ve bisküvi formülasyonunda kullanarak elde edilen ürünlerin özelliklerini araştırmıştır. Bisküvi üzerinde gerçekleştirilen renk analizi sonucuna göre; katılan teff oranı arttıkça bisküvi yüzeyinin L^* değeri 4.32'den 3.81'e düşmüş ve daha koyu renkli bisküviler elde edilmiştir.

Ranasalva ve Visvanathan (2014) pişirilmiş ve fermente edilmiş darıyı %50 ve 100 oranında bisküvi formülasyonuna dahil etmişlerdir. Fermente edilmiş darıdan elde edilen bisküvi örneklerinin kontrol örneklerinden daha koyu, daha kırmızı ve daha kahverengi olduğu tespit edilmiştir. Artan fermente edilmiş darı unu oranları ile a^* değeri 2.74'den 8.19'a yükselmiş, b^* değeri ise 25.51'den 11.25'e düşmüştür.

Lee ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada okarayı kurutma, otoklavlama ve fermentasyon işlemlerine tabi tutarak %20 ve 40 oranlarında bisküvi formülasyonunda kullanmışlardır. İşlenmiş okara katkılı bisküvilerin, kontrolden daha düşük L^* ve daha yüksek a^* ve b^* değerine sahip oldukları belirlenmiştir. Bisküvilerde parlaklık değeri en düşük fermente okara ile yapılan örnekte tespit edilirken en yüksek değer otoklavlama uygulanan okara ile üretilen bisküvide tespit edilmiştir. Maillard reaksiyonu ürünlerinin (melanoidin gibi) oluşumunun, fermente (24 saat 30°C'de) okara ile yapılan bisküvilerde daha yüksek olduğu ve bu bisküvilerin renginin daha koyu olmasına sebep olduğu ifade edilmiştir. %40 oranında fermente okara kullanılan bisküvilerin %20 oranında fermente okara kullanılan bisküvilere göre daha koyu olmasının sebebinin Maillard reaksiyonunda rol oynayan serbest aminoasitlerdeki artıştan kaynaklandığı belirtilmiştir.

Ertaş (2015) sıcak hava fırını, mikrodalga ve otoklavlama işlemleri ile stabilize edilmiş buğday kepeğini %10, 20 ve 30 oranlarında bisküvi formülasyonuna dahil etmiştir. Bisküvilerde yapılan renk analizleri sonucu en düşük L^* ve b^* değerleri otoklavlama yöntemiyle hazırlanan bisküvilerde elde edilmiştir. Stabilize edilmiş buğday kepeğinin bisküviye ilave oranı arttıkça parlaklık, sarılık, ton açısı ve doygunluk indeksi değerleri azalmış ancak kırmızılık artmıştır. L^* değerindeki azalma ve a^* değerindeki artış, eklenen buğday kepeği rengi ve lif içeriği ile ilişkilendirilmiştir (Gomez ve ark., 2010).

Minarovicova ve ark. (2019) teff ununu %0, 25, 50 ve 75 oranında pirinç unu ile ikame ederek kek formülasyonunda kullanmışlardır. Kahverengi renge sahip olması

sebebiyle teff ununun keklere katılma oranı artıkça bisküvilerin rengi koyulaşmış yani L^* değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Teff ununun %50 oranında keke dahil edilmesi a^* ve b^* değerlerini artırırken %75 oranı bu parametrelerde düşüşe sebep olmuştur.

Marti ve ark. (2017) işlem görmemiş ve fermente edilmiş teff ununu %25 oranında glutensiz ekmek formülasyonunda kullanmışlardır. Genel olarak teff unu ile yapılan glutensiz ekmeklerin, kontrol örnekten daha koyu bir renge sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ekmek formülasyonuna teff unu ilavesiyle L^* ve b^* değerleri sırasıyla 62.06'dan 43.57'ye ve 11.20'den 3.50'ye düşerken, a^* değeri ise -5.56'dan 8.36'ya yükselmiştir. Teff ilavesi, ekmeklerin daha koyu, daha kırmızı ve daha az sarı renge sahip olmasına sebep olmuştur. Fermente teff unu kullanılması, elde edilen ürünün sarılığını önemli ölçüde azaltsa da, parlaklık ve kırmızılıkta önemli bir farklılık belirlenmemiştir.

Hager ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada farklı unlardan (buğday, teff ve yulaf) %100 oranında kullanarak makarna üretimi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan renk analizi sonucunda, teff makarnasının önemli ölçüde daha koyu renkte olduğu gözlemlenmiştir. Makarna formülasyonunda kullanılan teff unu, kontrol örneğine göre L^* ve b^* değerlerini sırasıyla 74.59'dan 62.32'ye ve 16.43'ten 15.62'ye düşürmüş, a^* değerini ise -1.05'ten 1.63'e yükseltmiştir. Genel olarak makarna örneklerinde, renk kullanılan hammaddeden önemli ölçüde etkilenmektedir. Teff makarnasında oluşan yoğun kahverengi pigmentasyonun sebeplerinden birisi de teffin tam un şeklinde kullanılması olarak belirtilmiştir.

Mancebo ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, çeşitli glutensiz unlardan bisküvi üretimi gerçekleştirmişlerdir. %100 teff unundan hazırlanan bisküvi örneklerinin rengi kontrol örnekle (buğday unu) karşılaştırıldığında L^* ve b^* değerlerinde sırasıyla 72.36'dan 55.27'ye ve 24.55'ten 22.63'e düşüş, a^* değerinde ise -3.94'ten 8.59'a önemli derecede yükseliş gerçekleşmiştir. Bu çalışmada kullanılan teff ununun yüksek protein miktarına sahip olmasının Maillard reaksiyon ürünleri oluşumunu artırarak bisküvilerin rengini koyulaştırdığı belirtilmiştir.

Joung ve ark. (2017b) tarafından yapılan çalışmada %0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında teff unu ilavesiyle yapılan keklerin kalite özellikleri araştırılmıştır. Keklere katılan teff unu miktarı artıkça L^* ve b^* değeri sırasıyla 67.50'den 46.99'a ve 22.61'den 14.45'e önemli derecede düşmüş, a^* değeri ise -3.87'den 0.89'a önemli derecede yükselmiştir. Bunun nedeni, pişirme işlemi sırasında gerçekleşen esmerleşme reaksiyonu ve pH'nın etkisi olarak açıklanmıştır (Lee ve Jin, 2015).

Bilgiçli ve Elgün (2005) tarhana üretiminde farklı oranlarda ekmek mayası, arpa maltı unu ve mikrobiyal fitaz ilavesinin tarhananın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında tarhanaya ilave edilen fitazın, tarhananın parlaklık değerlerinde düşüşe neden olduğunu belirlemişlerdir.

Yapılan bir çalışmada fermente edilmiş ve çimlendirilmiş börülce unu %5, 10, 15 ve 20 oranlarında buğday ununa ikame edilerek ekmek üretimi gerçekleştirilmiştir. Artan oranda fermente edilmiş börülce unu ilavesi ekmeklerin L^* değerlerinde düşüşe, b^* değerlerinde ise artışa sebep olmuştur. Hazırlanan ekmeklerde elde edilen daha koyu rengin sebebi, börülcelerin yüksek lisin miktarı nedeniyle ekmeklerin pişirilmesi sırasında meydana gelen Maillard reaksiyonu olarak açıklanmıştır (Hallen ve ark., 2004).

Rico ve ark. (2020) tarafından buğday kepeğinde yapılan otoklavlama işlemi bu tez çalışmasına benzer şekilde L^* değerinde azalmaya sebep olmuştur. Diğer taraftan bu çalışmanın aksine a^* değeri azalmış, b^* değeri artmıştır. b^* değerlerinin, otoklavlama işleminin yüksek sıcaklıkta (100, 115 ve 130°C) gerçekleşmesi nedeniyle Maillard reaksiyonu sonucu arttığı ifade edilmiştir.

4.2.2. Bisküvi örneklerine ait çap, kalınlık ve yayılma oranı değerleri

Farklı defitinizasyon uygulamaları ile hazırlanan teff unlarının farklı oranlarda bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla üretilen bisküvi örneklerinin çap, kalınlık ve yayılma oranı değerleri Çizelge 4.5'te, bu değerlere ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.6'da verilmiştir.

4.2.2.1. Çap

Bisküvi örneklerinin ortalama çap değeri 59.01 ± 0.93 mm olarak belirlenmiştir. Bisküvilerde en düşük ve en yüksek çap değerleri sırasıyla 58.07 mm ve 61.64 mm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Bisküvi formülasyonunda işlem görmemiş teff unu kullanımı ile en yüksek, otoklavlanmış teff unu kullanımı ile en düşük çap değeri elde edilmiştir. Çap değerleri arasında istatistiki olarak farklılık oluşmasına rağmen, sayısal olarak değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.5. Bisküvi örneklerine ait çap, kalınlık, yayılma oranı ve sertlik değerleri¹

TUDİ ²	TUO ² (%)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Yayılma oranı	Sertlik (g)
İşlem görmemiş	0	58.15±0.15	6.60±0.05	8.81±0.10	3571.0±14.0
	10	58.88±0.28	6.27±0.02	9.40±0.16	2910.5±8.5
	20	60.12±0.12	5.71±0.06	10.53±0.11	2585.0±5.0
	30	60.48±0.07	5.65±0.04	10.70±0.09	2622.4±22.4
	40	61.14±0.14	5.25±0.13	11.65±0.14	2158.5±18.5
Fermente edilmiş	0	58.07±0.07	6.67±0.06	8.71±0.25	3565.0±5.0
	10	58.29±0.29	6.68±0.03	8.72±0.12	3359.7±19.7
	20	58.50±0.30	6.34±0.09	9.22±0.10	3116.4±3.6
	30	59.39±0.09	5.73±0.08	10.36±0.13	2655±10.0
	40	60.64±0.14	5.63±0.12	10.76±0.11	2502±13.0
Otoklavlanmış	0	58.21±0.21	6.59±0.16	8.83±0.06	3559.0±6.0
	10	58.44±0.14	6.18±0.21	9.45±0.07	2510.6±8.4
	20	58.50±0.20	5.86±0.08	9.99±0.15	2373.6±6.4
	30	58.89±0.06	5.83±0.14	10.11±0.14	2148.0±11.0
	40	58.80±0.10	5.75±0.27	10.23±0.16	2062.0±13.0
Fitaz uygulanmış	0	58.19±0.19	6.62±0.07	8.79±0.10	3608±10.0
	10	58.26±0.26	6.23±0.36	9.35±0.30	3515.0±5.0
	20	58.48±0.08	6.20±0.19	9.43±0.12	3094.3±14.3
	30	59.27±0.07	6.05±0.07	9.80±0.09	2429.0±21.0
	40	59.53±0.13	5.95±0.04	10.00±0.23	2355±14.0
Minimum-Maksimum		58.07-61.64	5.25-6.68	8.71-11.65	2062.0-3608.0
Ortalama		59.01±0.93	6.09±0.41	9.74±0.81	2835.0±541.8

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

Bisküvilerin çap değerleri teff unu oranı faktörü açısından değerlendirildiğinde; formülasyonda artan teff unu oranına bağlı olarak çap değerinin de arttığı görülmektedir (Çizelge 4.6). Teff unu kullanılmadan (%0) hazırlanan bisküvide 58.16 mm olan çap değeri, %40 teff unu kullanımı ile 60.03 mm'ye yükselmiştir.

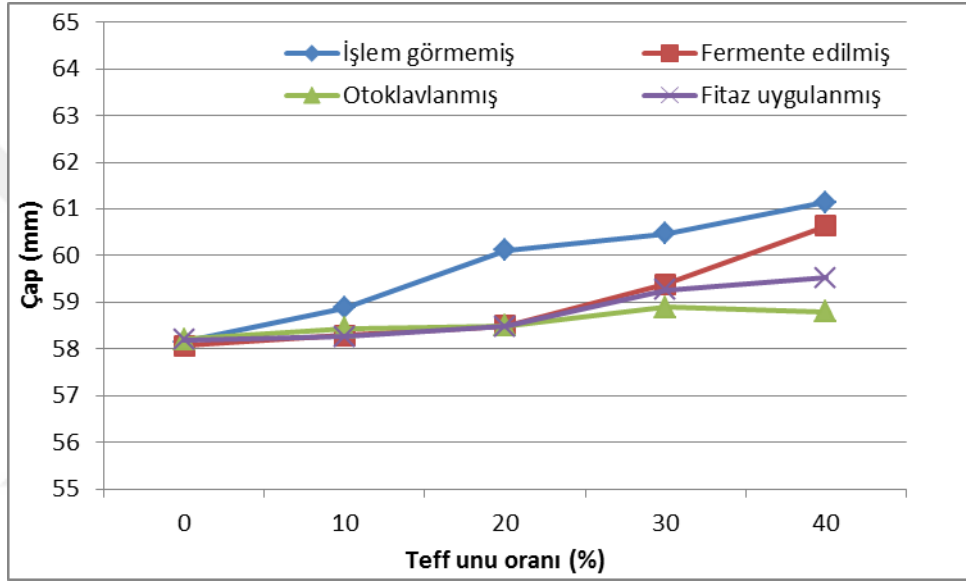
Çizelge 4.6. Bisküvi örneklerinin çap, kalınlık, yayılma oranı ve sertlik değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	N	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Yayılma oranı	Sertlik (g)
TUDİ²					
İşlem görmemiş	10	59.75±1.16 ^a	5.90±0.51 ^b	10.22±1.07 ^a	2769.5±492.7 ^c
Fermente edilmiş	10	58.98±1.02 ^b	6.21±0.48 ^a	9.56±0.91 ^b	3039.6±427.4 ^a
Otoklavlanmış	10	58.57±0.31 ^d	6.04±0.38 ^{ab}	9.72±0.56 ^b	2530.6±567.5 ^d
Fitaz uygulanmış	10	58.75±0.60 ^c	6.21±0.31 ^a	9.47±0.48 ^b	3000.3±555.1 ^b
TUO² (%)					
0	8	58.16±0.18 ^e	6.62±0.11 ^a	8.78±0.17 ^e	3575.8±22.78 ^a
10	8	58.47±0.37 ^d	6.34±0.31 ^a	9.23±0.37 ^d	3074.0±421.2 ^b
20	8	58.90±0.78 ^c	6.03±0.30 ^b	9.79±0.56 ^c	2792.3±344.3 ^c
30	8	59.51±0.63 ^b	5.81±0.19 ^{bc}	10.24±0.38 ^b	2463.6±216.4 ^d
40	8	60.03±0.99 ^a	5.65±0.32 ^c	10.66±0.70 ^a	2269.4±183.3 ^e

¹Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

Bisküvi örneklerinin çap değeri üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.4’te verilmiştir. İşlem görmemiş teff unundan hazırlanan bisküvilerin çap değerleri, diğer defitinizasyon yöntemleri ile hazırlanan teff unlarından üretilen bisküvilerin çap değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Otoklavlanmış, fermente edilmiş ve fitaz uygulanarak defitinize edilmiş teff unları kullanılarak hazırlanan bisküvilerin çap değerleri %10-20 kullanım oranlarında birbirine çok yakın çıkarken, %30-40 kullanım oranlarında aralarındaki fark açılmıştır.



Şekil 4.4. Bisküvi örneklerinin çap değeri üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

4.2.2.2. Kalınlık

Farklı defitinizasyon uygulamaları ile hazırlanan teff unlarının farklı oranlarda bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla üretilen bisküvi örneklerinin kalınlık değeri 5.25 mm ile 6.68 mm arasında değişmiş olup, ortalama 6.09 ± 0.41 mm olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; fermente edilmiş ve fitaz uygulanmış teff unu örnekleri ile hazırlanan bisküvilerin kalınlık değerlerinin, işlem görmemiş teff unundan hazırlanan bisküvinin kalınlık değerinden yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6).

Sonuçlar teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; %0, 10, 20, 30 ve 40 teff unu kullanılan bisküvilerde ortalama kalınlık değerleri sırasıyla 6.62, 6.34, 6.03, 5.81 ve 5.65 mm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6). %0-10 teff unu ilaveli bisküvi örnekleri en yüksek, %30-40 teff unu ilaveli örnekler ise en düşük kalınlık değerlerini vermiştir. Yüksek teff unu kullanım oranı tahmin edildiği gibi çapı artırırken kalınlığı düşürmüştür.

4.2.2.3. Yayılma oranı

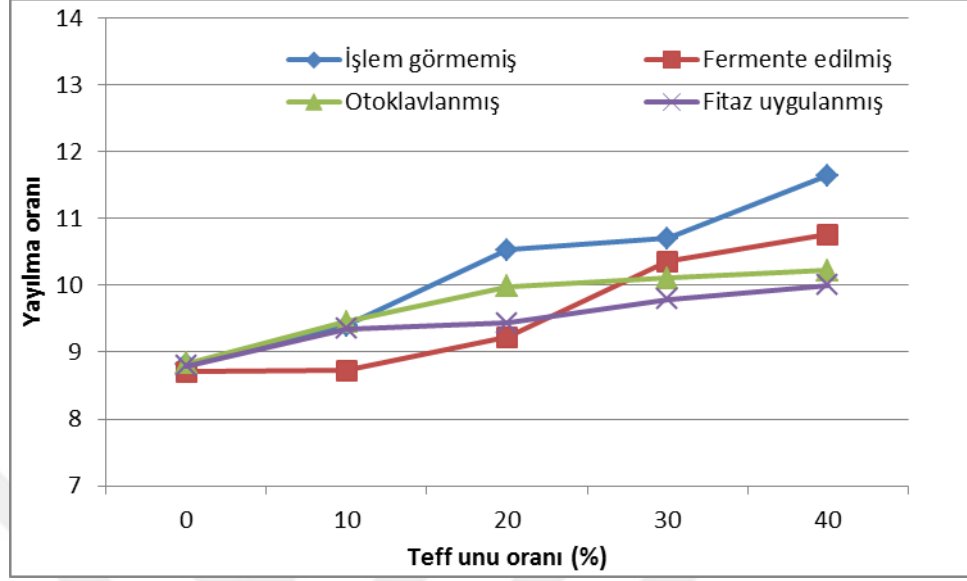
Bisküvi örneklerinin yayılma oranı değeri 8.71 ile 11.65 arasında değişmiş olup, ortalama 9.74 ± 0.81 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Bisküvilerin yayılma oranı sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; otoklavlanmış, fermente edilmiş ve fitaz enzimi uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvilerin yayılma oranı değerlerinin aynı grupta yer aldığı ve işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvilerin yayılma oranı değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6).

Bisküvi formülasyonunda artan teff unu oranı çap değerlerinde olduğu gibi, yayılma oranı değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Teff unu ilave edilmemiş olan bisküvide 8.78 olan yayılma oranı değeri, %40 teff unu kullanımı ile 10.66'ya yükselmiştir (Çizelge 4.6). Bisküvilerin yayılmasının, kullanılan hamurun özelliklerine ve viskozitesine bağlı olduğu bildirilmiştir (Miller ve Hosney, 1997). Cho ve Kim (2013), teff ununun gluten içermemesi sebebiyle tefften elde edilen hamurun bağlanma kuvvetinin daha az olduğunu ve viskozitesinin etkilendiğini rapor etmişlerdir. Bu nedenle teff ununun bisküvi örneklerinde kullanılması ile yüksek yayılma elde edilmiştir. Yüksek yayılma oranı, bisküviler için arzu edilen bir kalite özelliği olarak kabul edilmektedir (Miller ve Hosney, 1997). Gluten içermeyen teff ununun bisküvi formülasyonunda gluten içeren buğday unu ile yer değiştirme esasına göre kullanılması bisküvinin çapını artırıp, kalınlığını düşürmüş ve dolayısıyla yayılma oranında önemli bir artışa neden olmuştur.

Bisküvi örneklerinin yayılma oranı değeri üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.5'te verilmiştir. İşlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvilerin yayılma oranı değerleri teff ilave oranındaki artışa bağlı olarak, hızlı bir yükseliş gösterirken, otoklavlanmış ve

fitaz uygulanmış teff unları ile hazırlanan bisküvi örneklerinin yayılma oranlarındaki artış sınırlı kalmıştır.



Şekil 4.5. Bisküvi örneklerinin yayılma oranı değeri üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

Bisküvi üretiminde kullanılacak un, son ürüne ideal renk ile gevrek bir yapı kazandırmalı, hamura kolay şekil verilebilmeli ve bisküvide şekil bozukluğuna sebep olmadan optimum yayılma sağlayabilmelidir (Faridi ve ark., 2000).

Seyhan (2020) tarafından yapılan çalışmada farklı oranlarda (%10, 25, 50 ve 100) İran teffi, kahverengi ve beyaz teff unu kullanılarak üretilen bisküvilerde, genel olarak ilave edilen teff oranı arttıkça yayılma oranının arttığı tespit edilmiştir. Özellikle kahverengi ve beyaz teff örneklerinde yayılma oranı düzenli artış gösterirken, İran teffinde düzenli bir artış gözlemlenmemiştir. Teff oranı arttıkça İran teffi kullanılan bisküvi hamur viskozitesinin fazlasıyla arttığı ve şekil verilemeyen, yapışkan bir hamur elde edildiği ifade edilmiştir.

Coleman ve ark. (2013) teff ununu farklı oranlarda (%0, 10, 20, 30, 40 ve 100) ekmek, kek, bisküvi ve kurabiye formülasyonunda kullanarak elde ettikleri örneklerde, kullanılan teff unu oranı arttıkça kurabiye örneklerinin kalınlığının azaldığını ve çapının önemli ölçüde değişmediğini tespit etmişlerdir. %0, 10, 20, 40 ve 100 oranlarındaki teff unu ilaveli kurabiyelerde teff unu oranı arttıkça yayılma oranı da (sırasıyla 59.81, 65.17, 74.13, 78.04 ve 75.70) artmıştır. Yayılma oranındaki artış, teff ununun su emme kapasitesinin düşük olması ile ilişkilendirilmiştir.

Inglett ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada buğday unu, teff unu, teff unu-nutrim (%15 β -glukanlı yulaf hidrokolloidi), teff unu-yulaf kepeği konsantresi, teff unu-tam yulaf unu karışımlarını (4:1 a/a) kullanarak bisküvi üretimi gerçekleştirmişlerdir. %100 teff unundan yapılan bisküvilerin yayılma oranı 5.21 bulunurken, %100 buğday unundan yapılan bisküvilerin yayılma oranı 5.23 olarak tespit edilmiştir.

Joung ve ark. (2017a) yaptıkları çalışmada, teff ununu %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında bisküvi formülasyonuna dahil etmişler ve genel olarak bisküvilere ilave edilen teff unu miktarı arttıkça yayılma oranının arttığını tespit etmişlerdir. Elde edilen bisküvilerde yayılma oranları sırasıyla 8.1, 8.3, 8.5, 8.5 ve 8.3 olarak bulunmuştur.

Mancebo ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, çeşitli glutensiz unlardan bisküvi üretimi gerçekleştirmişlerdir. Bisküvide kullanılan %100 teff unu, bisküvinin çapını kontrol bisküviye (buğday unu) göre 54.47'den 45.09'a düşürmüştür.

Baumgartner ve ark. (2018) iki farklı yöntemle (fermantasyon ve hidrotermal) defitinize edilen yulaf kepeği (%0, 7, 14 ve 21) ile hazırlanmış bisküvilerde yapılan bazı fiziksel analizler sonucunda; fermente edilmiş yulaf kepeğinin %14 oranında bisküviye ilave edilmesi ile işlem görmemiş buğday kepeğine göre bisküvi kalınlığının 9.89 mm'den 10.02 mm'ye yükseldiğini, diğer oranlarda ilave edilmesi ile kalınlığın azaldığını belirlemişlerdir. Bisküvi örneklerinde %14 ve 21 oranlarında fermente buğday kepeğinin kullanılması işlem görmemiş buğday kepeğine göre yayılma oranını (sırasıyla 7.49 mm'den 7.38 mm'ye ve 7.64 mm'den 7.57 mm'ye) bu tez çalışmasına benzer şekilde azaltmıştır.

Oyeyinka ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada 24, 48, 72 ve 96 saat fermente edilmiş %100 manyok kökünden elde edilen bisküvilerin bazı özelliklerini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmayla benzer şekilde fermente edilmemiş manyok unundan elde edilen bisküvilerin yayılma oranı, fermente edilmiş manyoktan ve buğday unundan üretilen kontrol bisküvilerden önemli derecede yüksek bulunmuştur. Bu durumun yüksek protein içeren unların, bisküvilerde yayılma oranını düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Gurjal ve ark., 2003). Diğer taraftan fermentasyon işlemi bisküvilerde kalınlığı artırmıştır.

de Oliveira Silva ve ark. (2018) işlem görmemiş soya küspesi ve *Saccharomyces cerevisiae* ile fermente edilmiş soya küspesini bisküvi üretiminde %95 oranında kullanmışlardır. Soya küspesi ilaveli bisküvilerin, fermente edilmiş soya küspesi ilaveli bisküvilere göre daha sert olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte yayılma oranlarında

önemli bir farklılık gözlemlenmemiştir. Bu durum pişirme sırasındaki hamur davranışlarının kontrole benzer olması ile ilişkilendirilmiştir.

4.2.3. Bisküvi örneklerine ait sertlik değerleri

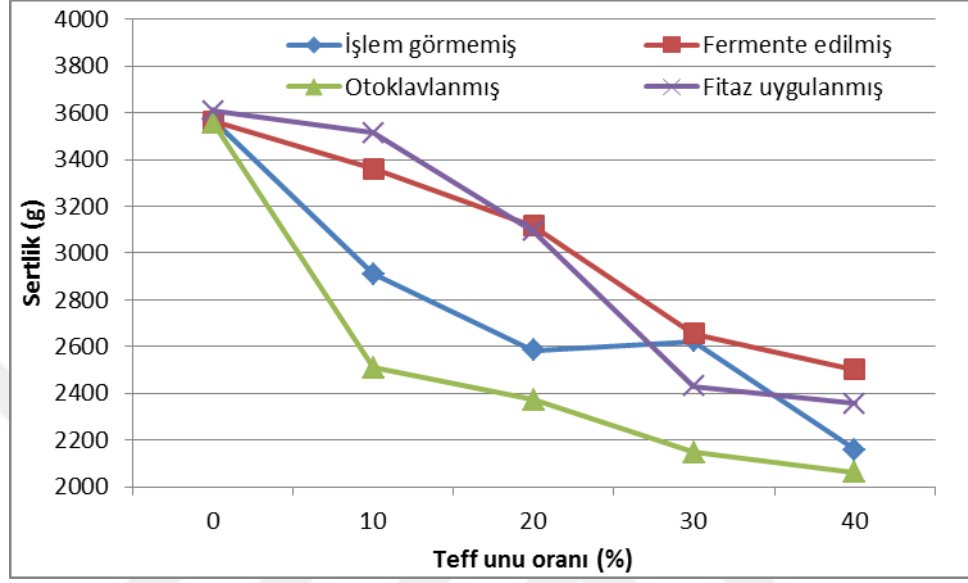
Farklı defitinizasyon uygulamaları ile hazırlanan teff unlarının farklı oranlarda bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla üretilen bisküvi örneklerinin sertlik değerleri Çizelge 4.5'te, bu değerlere ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.6'da verilmiştir. Bisküvi örneklerinin sertlik değerleri 2062 g ile 3608 g arasında değişmiş olup, ortalama 2835 ± 541.8 g olarak bulunmuştur.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; sertlik değeri en yüksek fermente edilmiş teff unu örnekleri ile hazırlanan bisküvilerde (3039.6 g) elde edilmiştir. Otoklavlanmış teff unundan hazırlanan bisküvilerin sertliğinin ise en düşük (2530.6 g) değere sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6). Otoklavlanmış teff unu içeren bisküvilerde azalan sertlik, özellikle lif varlığında, nişasta ve protein arasında gerçekleşen kuvvetlerin zayıflaması (adezyon kuvvetlerinin azalması) ile ilişkilendirilmiştir (Ertaş, 2015).

Bisküvi formülasyonunda artan oranda teff unu kullanımı sertlik değerlerini de düşürmüştür. %0, 10, 20, 30 ve 40 oranında teff unu kullanılan bisküvilerde ortalama sertlik değerleri sırasıyla 3575.8, 3074.0, 2792.3, 2463.6 ve 2269.4 g olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6). Bisküvi üretiminde gluten matrisinin oluşumu ekmekteki kadar önemli olmadığı için teffin bisküvilerde kullanımı oldukça uygundur. Diğer taraftan bisküvi hamuru hazırlama sırasında aşırı gluten gelişimi, bisküvilerin daha sert olmasına yol açarak bisküvi kalitesini bozmaktadır (Hoseney, 1994). Bisküvilerin sertliği; gözeneklerin gelişimi, gluten oluşumu ve lif miktarı ile ilişkilendirilmiştir. Gluten olmadan gözeneklerin gelişimi zorlaşır, doku genişlemesi baskılanır, bisküvilerdeki nem tutularak yumuşama meydana gelir ve böylece sertlik azalır (Kim ve Lee, 2015; Shin, 2015). Bununla birlikte Gebremariam ve ark. (2014) lif miktarının buğdayda 2 g/100 g ve teffte 3 g/100 g olduğunu bildirmişlerdir. Teff ununun daha yüksek lif miktarına sahip olması sebebiyle teff unu ilavesi arttıkça sertliğin azaldığı düşünülmektedir (Joung ve ark., 2017a).

Bisküvi örneklerinin sertlik değeri üzerinde önemli bulunan *“teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı”* interaksyonu Şekil 4.6'da verilmiştir. Otoklavlanmış teff unu kullanılarak üretilen bisküvi örneğinin tüm teff unu kullanım

oranları için en düşük sertlik değerini verdiği görülmektedir. %10 teff unu kullanım oranında, otoklavlanmış ve fitaz uygulanmış unlar kullanılarak hazırlanan bisküvi örneklerinin sertlik değerleri arasındaki fark çok yüksek iken, %40 teff unu kullanım oranında bu fark oldukça azalmıştır.



Şekil 4.6. Bisküvi örneklerinin sertlik değeri üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” etkileşimi

Teff ununun %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında bisküvi formülasyonuna dahil edildiği bir çalışmada, bisküvilere ilave edilen teff unu miktarı arttıkça sertliğin azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen bisküvilerde sertlik değerleri sırasıyla 42.04, 32.26, 33.75, 27.82 ve 20.10 (N) olarak bulunmuştur. Sertliğin azalması teff ununun buğdaydan daha yüksek lif miktarına sahip olmasıyla ilişkilendirilmiştir (Joung ve ark., 2017a).

Kenney ve ark (2011) teff ununu %25 ve 50 oranlarında glutensiz şekerli ve fıstık ezmesi bisküvi formülasyonlarına dahil ettikleri çalışmada, teff ilaveli bisküvilerin, kontrol bisküvilere kıyasla daha kırılabilir ve daha az sert olduğunu tespit etmişlerdir.

Seyhan (2020) yaptığı çalışmada farklı oranlarda (%10, 25, 50 ve 100) İran teffi, kahverengi ve beyaz teff unu kullanılarak ürettiği bisküvi örnekleri arasında sertlik değerlerinde düzenli bir değişimin gözlemlenmediğini bildirmiştir. Diğer taraftan %100 teff unu kullanılan bisküvi örneklerinde yayılma oranının artması ve sertlik değerinin aniden azalmasıyla birlikte bisküvi örneklerinin tekstür analizi esnasında hemen kırıldığı, bu sebeple de sertlik değerlerinin hatalı çıktığı ifade edilmiştir.

Mancebo ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, çeşitli glutensiz unlardan bisküvi üretimi gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın aksine glutensiz unlar arasında en yüksek sertlik değerlerinden birinin %100 teff unundan yapılan bisküvilerden elde edildiği bildirilmiştir. Bu durum teff ununun yüksek protein miktarı ile ilişkilendirilmiştir (Maache-Rezzoug ve ark., 1998). Buğday unu yerine glutensiz unlara yer verilmiş olması bu farklı sonuçların elde edilmesine neden olmuş olabilir.

Coleman ve ark. (2013) farklı oranlarda (%0, 10, 20, 30, 40 ve 100) teff unu kullanarak elde ettikleri ekmek, kek, kurabiye ve bisküvi örneklerinde yapılan analiz sonuçlarına göre kurabiye örneklerine ilave edilen teff ununun artması ile sertlik değerlerinde düzenli bir değişim gözlenmediğini bildirmişlerdir.

Ertaş (2015) sıcak hava fırını, mikrodalga ve otoklavlama işlemleri ile stabilize edilmiş buğday kepeğini üç farklı oranda (%10, 20 ve 30) bisküvi formülasyonuna dahil etmiştir. Kontrol örneği, stabilize edilmiş buğday kepeği içeren tüm bisküvilerden daha sert bulunmuştur. Stabilizasyon yöntemlerinden biri olan otoklavlama işlemi, bisküvilerin sertliğinin azalmasına neden olmuştur.

Lee ve ark. (2020) okarayı kurutma, otoklavlama ve fermantasyon işlemlerine tabi tutarak %20 ve 40 oranlarında bisküvi formülasyonunda kullanmışlardır. Fermente okara ile yapılan bisküviler, kontrol bisküvilere göre daha sert bulunmuştur. Diğer taraftan otoklavlanmış okara ile yapılan bisküviler önemli derecede daha sert bulunmuştur. Bu durum daha büyük lif partikülleri ve fermente edilmemiş okaranın yüksek su emme kapasitesi ile ilişkilendirilmiştir (Laguna ve ark., 2014).

Baumgartner ve ark. (2018) tarafından iki farklı yöntemle (fermantasyon ve hidrotermal) defitine edilen yulaf kepeği ilavesi ile hazırlanmış bisküvilerde yapılan analizlere göre; fermente edilmiş yulaf kepeği ilavesi, işlenmemiş yulaf kepeği ilavesine göre daha yüksek bisküvi sertliğine yol açmıştır.

Ranasalva ve Visvanathan (2014) pişirilmiş ve fermente edilmiş darıyı %50 ve 100 oranında bisküvide kullandıkları çalışmada, bisküvilerin sertlik değeri fermente darı ilavesiyle birlikte artmıştır. Kontrol, %50 ve 100 fermente darı unlu bisküvilerin sertlikleri sırasıyla 19.24, 24.13 ve 28.91 N olarak belirlenmiştir.

Oyeyinka ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada 24, 48, 72 ve 96 saat fermente edilmiş manyok kökünden elde edilen unların bisküvilerinde manyok köküne uygulanan fermantasyon süresi arttıkça bisküvilerin sertliğinin azaldığını belirlemişlerdir. Araştırmacılara göre buğday unu içeren bisküvilerin manyok kökü unu içeren bisküvilere göre daha yüksek sertliğe sahip olması, buğday ununun manyok kökü

unundan daha yüksek protein (gluten) bileşiminden kaynaklanmaktadır. McWatters ve ark. (2003), benzer şekilde b r lce eklenmiş bisküvilerin daha sert olmasını artan protein miktarına ve bunun hamur gelişimi sırasındaki etkileşimine bağlamışlardır. Ayrıca proteinin yanı sıra, nişasta gıdanın tekstürel yapısına katkıda bulunan önemli bir bileşendir. Fermantasyon sırasında nişasta, daha k    k şeker moleküllerine ve daha d ş  k moleküler ağırlığa sahip dekstrine depolimerize olmaktadır. Bu nedenle, fermantasyona bağlı nişasta içeriğindeki değişimin, fermente manyok k  klerinden elde edilen bisküvilerin sertliğinin azalmasında etkili olduğu ifade edilmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen işlem görmemiş ve defitimize edilmiş teff unu ilaveli bisküvi örneklerinin fiziksel özelliklerine ( ap, kalınlık, yayılma ve sertlik) ait sonuçlar pek çok literatür çalışması ile paralellik gösterse de farklı sonuçların elde edildiği çalışmaların da olduğu görülmektedir. Bisküvi formülasyonlarının farklı olması, buğday ununa ikame edilen hububat unu ya da lif e zengin hammaddelerin bileşimlerinin (nişasta, gluten miktarı, çözünür ve çözünmez lif içerikleri vb.) farklı olması ve bu ikame maddelerinin kullanım oranlarının bu tez çalışmasına göre farklılık göstermesi farklı sonuçların elde edilmesinde etkili olmuştur.

4.2.4. Bisküvi örneklerine ait bazı kimyasal analiz sonuçları

Farklı defitinizasyon uygulamaları ile elde edilen teff unlarının farklı oranlarda bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla hazırlanan bisküvi örneklerinin nem, kül, protein ve yağ miktarı sonuçları  izelge 4.7’de verilmiştir. Bu değerlere ait Duncan  oklu karşılaştırma testi sonuçları ise  izelge 4.8’de verilmiştir.

4.2.4.1. Nem

Bisküvi  rneklerinin ortalama nem miktarı 3.47 ± 0.54 olarak bulunmuş olup 2.58 ile 4.71 arasında değişmiştir ( izelge 4.7).

Sonuçlar teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; bisküvi formülasyonunda işlem görmemiş teff unu kullanımı ile en yüksek nem miktarı elde edilirken, bunu fermente edilmiş teff ununun kullanıldığı bisküvi örnekleri takip etmiştir. Çizelge 4.8’de otoklavlanmış ve fitaz uygulanmış teff unu örneklerinden hazırlanan bisküvilerin en d ş  k nem miktarlarını verdiği ve bu örneklerin nem miktarlarının aynı grupta yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 4.7. Bisküvi örneklerine ait bazı kimyasal analiz sonuçları¹

TUDİ ²	TUO ³ (%)	Nem (%)	Kül (%)	Protein (%)	Yağ (%)
İşlem görmemiş	0	4.09±0.03	1.55±0.03	5.56±0.16	20.79±0.13
	10	4.71±0.10	1.62±0.04	5.55±0.07	20.98±0.25
	20	3.45±0.07	1.67±0.03	5.62±0.11	21.20±0.28
	30	3.74±0.03	1.73±0.04	5.68±0.10	21.61±0.16
	40	3.13±0.07	1.79±0.01	5.79±0.24	21.84±0.20
Fermente edilmiş	0	3.95±0.18	1.51±0.00	5.58±0.08	20.71±0.16
	10	3.61±0.06	1.55±0.06	5.58±0.07	20.89±0.34
	20	3.41±0.13	1.58±0.01	5.74±0.06	21.06±0.08
	30	3.36±0.08	1.63±0.04	5.79±0.14	21.15±0.21
	40	3.41±0.06	1.66±0.01	5.80±0.07	21.41±0.30
Otoklavlanmış	0	4.05±0.10	1.53±0.03	5.56±0.10	20.82±0.25
	10	3.37±0.08	1.59±0.06	5.63±0.04	20.97±0.45
	20	3.25±0.07	1.65±0.07	5.66±0.08	21.25±0.21
	30	2.97±0.03	1.78±0.04	5.71±0.10	21.25±0.28
	40	2.58±0.03	1.79±0.01	5.76±0.08	21.31±0.40
Fitaz uygulanmış	0	4.10±0.08	1.52±0.04	5.57±0.10	20.76±1.06
	10	3.09±0.11	1.57±0.01	5.58±0.11	20.85±0.33
	20	3.59±0.08	1.61±0.06	5.63±0.04	20.99±0.16
	30	2.67±0.03	1.68±0.00	5.65±0.07	21.14±0.20
	40	2.78±0.16	1.74±0.01	5.69±0.13	21.50±0.25
Minimum-Maksimum		2.58-4.71	1.51-1.79	5.55-5.80	20.71-21.84
Ortalama		3.47±0.54	1.64±0.09	5.66±0.08	21.12±0.30

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

Bisküvilerin nem miktarı teff unu oranı faktörü açısından değerlendirildiğinde; kullanılan teff unu miktarı arttıkça nem miktarının azaldığı görülmektedir (Çizelge 4.8). Teff ununun %0, 10, 20, 30 ve 40 oranında kullanıldığı bisküvilerde ortalama nem miktarları sırasıyla %4.05, 3.70, 3.43, 3.19 ve 2.98 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Bisküvi örneklerinin bazı kimyasal değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucu¹

Faktör	n	Nem (%)	Kül (%)	Protein (%)	Yağ (%)
TUDİ²					
İşlem görmemiş	10	3.82±0.58 ^a	1.67±0.09 ^a	5.64±0.14 ^a	21.28±0.44 ^a
Fermente edilmiş	10	3.55±0.25 ^b	1.59±0.06 ^c	5.70±0.12 ^a	21.04±0.31 ^a
Otoklavlanmış	10	3.24±0.51 ^c	1.67±0.11 ^{ab}	5.66±0.10 ^a	21.12±0.32 ^a
Fitaz uygulanmış	10	3.25±0.57 ^c	1.62±0.09 ^{bc}	5.62±0.09 ^a	21.05±0.48 ^a
TUO³ (%)					
0	8	4.05±1.11 ^a	1.53±0.03 ^c	5.57±0.09 ^b	20.77±0.42 ^c
10	8	3.70±0.66 ^b	1.58±0.04 ^b	5.59±0.07 ^b	20.92±0.27 ^{bc}
20	8	3.43±0.15 ^c	1.63±0.05 ^b	5.66±0.08 ^{ab}	21.13±0.19 ^{abc}
30	8	3.19±0.43 ^d	1.71±0.07 ^a	5.71±0.10 ^{ab}	21.29±0.26 ^{ab}
40	8	2.98±0.35 ^e	1.75±0.06 ^a	5.76±0.12 ^a	21.52±0.31 ^a

¹Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

4.2.4.2. Kül

Bisküvi örneklerinin ortalama kül miktarı 1.64 ± 0.09 olarak bulunmuştur. Bisküvilerde en düşük ve en yüksek kül miktarları sırasıyla 1.51 ve 1.79 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; işlem görmemiş ve otoklavlanmış teff unu ile hazırlanan örneklerin en yüksek kül miktarını verdiği ve bu örneklerin aynı grupta yer aldığı anlaşılmaktadır. Fermente edilmiş ve fitaz uygulanmış teff unlarından hazırlanan örnekler ise daha düşük kül değerleri vermiştir (Çizelge 4.8). Fermente teff ununun kül miktarındaki azalma, fermentasyon ortamına çözünür minerallerin sızmasına bağlanabilir. Aynı zamanda fermentasyonda görev alan mikroorganizmaların enzimatik aktivitelerinin, gıda bileşenlerinin absorbe edilebilir formlara parçalanmasına yol açması sebebiyle de kül miktarında oransal bir azalma görülebilmektedir (Igbabul ve ark., 2014). Fermente teff ununun kül miktarındaki azalmanın son ürün olan bisküviye de yansıdığı düşünülmektedir.

Sonuçlar teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; formülasyonda teff unu kullanım oranı arttıkça bisküvilerin kül miktarının da arttığı görülmektedir. Teff unu kullanılmadan hazırlanan bisküvide 1.53 olan kül miktarı, 40% teff unu kullanımı ile 1.75 'e yükselmiştir (Çizelge 4.8). Zeleny (1971), kül miktarının doğrudan tahıl tanelerindeki kepek miktarı ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Özellikle beyaz un ile elde edilen ürünler düşük kül miktarına sahipken, tam unlardan elde edilen ürünler daha yüksek kül miktarına sahiptir (Mohammed, 2007). Bu çalışmada artan teff kullanımı ile kül miktarının artması tam un olarak kullanılan teff unlarının yüksek kül miktarı ($1.72-1.99$) ile ilişkilendirilmiştir (Çizelge 4.2).

4.2.4.3. Protein

Farklı defitinizasyon yöntemleri ile elde edilen teff unlarının farklı oranlarda bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla üretilen bisküvi örneklerinin protein miktarları Çizelge 4.7'de verilirken bu değerlere ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.8'de özetlenmiştir. Bisküvi örneklerinin protein miktarları ortalama 5.66 ± 0.08 olarak bulunmuş ve 5.55 ile 5.80 arasında değişmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; işlem görmemiş ve defitinizasyon işlemi uygulanarak elde edilmiş teff unlarından hazırlanan bisküvilerin protein miktarlarının aynı grupta yer aldığı ve teff ununa uygulanan defitinizasyon işleminin protein miktarı üzerinde önemli ($p>0.05$) olmadığı anlaşılmaktadır (Çizelge 4.8). Bu çalışmanın aksine Babaoğlu (2021) buğday kepeğinin defitinizasyon işleminden (121°C 'de 30 dk süre ile otoklavlama) sonra protein miktarının yüksek sıcaklık (Khatun ve ark., 2007) ve otoklavlama işlemi sonrası uygulanan süzme işlemi sebebiyle %15.53'ten 14.60'a azaldığını bildirmiştir. Bununla birlikte Obadina ve ark. (2013), fermente edilmiş ürünlerin protein miktarında, polimer birikmesine yol açan bazı anabolik süreçlere ve mikrobiyal hücre çoğalmasına bağlı olarak artma olabileceğini bildirmiştir.

Sonuçlar teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; %0, 10, 20, 30 ve 40 teff unu kullanılan bisküvilerde ortalama protein miktarları sırasıyla %5.57, 5.59, 5.66, 5.71 ve 5.76 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8). %40 teff unu kullanımı ile üretilen bisküvilerin protein miktarı %0-10 teff unu kullanılarak üretilenlerden yüksek bulunmuştur. Bu artışın sebebi teffin diğer tahıllara kıyasla daha yüksek protein miktarına (Hager ve ark., 2012; Mancebo ve ark., 2015) bağlanmış ve bu çalışmada teff unlarının ve buğday ununun protein miktarları sırasıyla %10.87-11.46 ve %10.14 (Çizelge 4.1) olarak bulunmuştur. Seyhan (2020) da yaptığı çalışmada teff ununun (%13.8) bisküvilik undan (%7.3) daha yüksek protein miktarına sahip olduğunu tespit etmiştir.

4.2.4.4. Yağ

Bisküvi örneklerinin yağ miktarı %20.71 ile 21.84 arasında değişmiş olup, ortalama 21.12 ± 0.30 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7).

Bisküvilerin yağ miktarı sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; teff ununa uygulanan defitinizasyon işleminin yağ miktarı üzerinde önemli olmadığı ($p>0.05$), işlem görmemiş ve defitinizasyon işlemi uygulanarak elde edilen teff unlarından üretilen bisküvilerin yağ miktarlarının aynı grupta yer aldığı Çizelge 4.8'de görülmektedir. Lee ve ark. (2020) okarayı kurutma, otoklavlama ve fermentasyon işlemlerine tabi tutarak %20 ve 40 oranlarında bisküvi formülasyonunda kullandıkları çalışmada fermentasyon ve otoklavlama işlemi uygulanan okara katkılı bisküvilerin, yağ miktarı bakımından diğer bisküviler ile

farklılık göstermediğini bildirmişlerdir. Böylece bu çalışmada olduğu gibi fermantasyonun yağ miktarını etkilemediği tespit edilmiştir.

Sonuçlar teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; teff unu kullanılmamış olan bisküvide %20.77 olan yağ miktarı %40 teff unu kullanımı ile %21.52'ye yükselmiştir. Bisküvi örneklerinin yağ miktarı kullanılan teff ununun miktarından etkilenmiş olup, teff unu ilavesiz bisküvi örnekleri en düşük, %40 teff unu ilaveli örnekler ise en yüksek yağ miktarlarını vermiştir (Çizelge 4.8). Bu artışın nedeni teff ununun yağ miktarının yüksek olmasına bağlanabilir (Çizelge 4.2). Bu çalışmada da yağ miktarları, buğday unu için %1.08 (Çizelge 4.1) ve teff unları için %1.95-2.12 (Çizelge 4.2) olarak belirlenmiştir.

Mohammed (2007) teff ununu, buğday unu ile %0, 25, 50, 75 ve 100 seviyelerinde ikame ederek hazırladığı bisküvilerin bazı özelliklerini incelemiştir. Kontrol ve %25, 50, 75 ve 100 teff unu katkılı bisküvilerde nem miktarları sırasıyla %10.04, 8.39, 8.83, 9.03 ve 8.7 olarak belirlenmiştir. Bisküvilerin protein miktarları sırasıyla %11.87, 11.50, 10.77, 10.10 ve 10.03 olarak bulunmuştur. Kontrol bisküvi en yüksek protein miktarını verirken, %100 teff unu katkılı bisküvilerin en düşük değeri verdiği tespit edilmiştir. Bisküvilerin kül miktarlarına bakıldığında ise kontrol bisküvi %0.71 ile en düşük değeri verirken diğer örnekler sırasıyla %1.34, 1.85, 2.54 ve 2.57 olarak bulunmuştur. %100 teff unu katkılı bisküvinin en yüksek kül miktarını vermesinin nedeni, teff ununun yüksek kül miktarı ile ilişkilendirilmiştir.

Inglett ve ark. (2016) buğday unu, teff unu, teff unu-nutrim (%15 β -glukanlı yulaf hidrokolloidi), teff unu-yulaf kepeği konsantresi, teff unu-tam yulaf unu karışımlarını (4:1, a/a) kullanarak bisküvi üretimi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucu bisküvilerin nem miktarları %3.55-3.99 arasında bulunmuştur. %100 teff unu katkılı bisküviler (%3.69), kontrol bisküvilerle (%3.55) karşılaştırıldığında daha yüksek nem miktarına sahip bulunurken teff unu-tam yulaf unu karışımı katkılı bisküvilere göre daha düşük nem miktarına sahip olmuşlardır.

Haas ve ark. (2021) %100 teff unu; “%75 teff unu, %12.5 pirinç unu, %12.5 manyok nişastası”; “%50 teff unu, %25 pirinç unu, %25 manyok nişastası” ve “%25 teff unu, %37.5 pirinç unu, %37.5 manyok nişastası” kullanarak glutensiz kek üretimi gerçekleştirmişlerdir. Teff ununun kullanım oranının azalmasıyla kül miktarı (sırasıyla %4.23, 3.94, 3.88 ve 3.72) ve protein miktarı (sırasıyla %8.64, 8.54, 8.33 ve 7.92) azalırken, yağ miktarı (sırasıyla %7.74, 7.76, 7.80 ve 7.84) artmıştır.

Giuberti ve ark. (2016) teff ununa fasulye ununu %0, 20 ve 40 oranlarında ilave ederek makarna üretimi gerçekleştirmişlerdir. Ham protein miktarı %100 teff unu katkılı makarnada %9.9 bulunurken, bu değer %20 ve 40 fasulye unu katkılı makarnada ise sırasıyla %13.3 ve 16.5 olarak bulunmuştur. Kül miktarları da sırasıyla %2.6, 3.0 ve 3.4 olarak protein miktarlarına benzer şekilde artmış, ham yağ miktarı ise (%2.0, 2.0 ve 1.9) azalmıştır. Tespit edilen bu değişiklikler eklenen fasulye unu miktarı ile ilişkilendirilmiştir (Gallegos-Infante ve ark., 2010).

Köten (2021) teff unu, mısır unu ve patates nişastasını farklı oranlarda kullanarak glutensiz tarhana üretimi gerçekleştirmiştir. %20, 40 ve 60 teff unu içeren tarhana örneklerinin nem miktarının kontrolden daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Tarhana örneklerinde kullanılan teff ununun artmasıyla birlikte örneklerin kül, protein ve yağ miktarlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla en yüksek kül, protein ve yağ miktarının %100 teff unundan üretilen tarhana örneğinde olduğu ifade edilmiştir.

Urga ve Narasimha (1997) işlem görmemiş ve fermente teff ile hazırlanan hamurda yaptıkları kimyasal analizlere göre, fermentasyon süresi arttıkça fermente teff hamurunun toplam protein miktarının azaldığını tespit etmişlerdir. Hamurun toplam protein miktarı 96 saatlik fermentasyondan sonra yaklaşık %12 azalmıştır. Bu azalma fermentasyondan sonra teff karışımının süzülmesi ve süzüntüyle meydana gelen kayıp ile ilişkilendirilmiştir.

Christ-Ribeiro ve ark. (2020) *Saccharomyces cerevisiae* ile fermente edilen pirinç kepeğini farklı oranlarda (%7.08, 14.16 ve 28.33) pirinç unu ile ikame ederek glutensiz bisküvi formülasyonunda kullanmışlardır. Artan oranlarda fermente edilmiş pirinç ununun bisküviye ilavesi, örneklerdeki protein, yağ ve kül miktarlarının artmasına yol açmıştır. Kontrol bisküvide protein, yağ ve kül miktarı sırasıyla %10.5, 33.5 ve 6.3 bulunurken, fermente edilmiş pirinç kepeğinin %28.33 oranında ilave edildiği bisküvide ise %16.9, 36.7 ve 6.5 olarak tespit edilmiştir. Bu artışın *S. cerevisiae*'nin pirinç kepeğindeki fermentasyonunun neden olduğu besinsel katkı nedeniyle olduğu bildirilmiştir. Besin düzeylerindeki bu değişiklikler, kullanılan mayaya ek olarak biyokütlede bulunan çeşitli enzimler ve diğer bileşiklere bağlanmıştır (Feddern ve ark., 2007; Christ-Ribeiro ve ark., 2017).

Adeyeye ve ark. (2019) fermente edilmiş soya fasulyesini %0, 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında fermente edilmiş sorgum unu ile ikame ederek hazırlanan bisküvilerin besinsel özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucu sorgum ve soya fasulyesinde fermentasyon süresi arttıkça bisküvilerin kül miktarları azalmıştır.

Bisküvilerin kül miktarları fermentasyon başlangıcında %3.26-3.81 iken, 24 saat fermentasyon sonunda %3.07-3.60, 48 saat fermentasyon sonunda %2.76-3.20 ve 72 saat fermentasyon sonunda %2.41-2.93 arasında değişmiştir. Fermente edilmemiş un karışımı örneklerinde soya fasulyesi unu miktarı arttıkça bisküvilerin kül miktarında olduğu gibi nem miktarlarında da azalma olduğu görülmüştür. Nem miktarları fermentasyon başlangıcında %9.65-8.34 iken, 24 saat fermentasyon sonunda %10.59-10.21, 48 saat fermentasyon sonunda %10.46-10.13 ve 72 saat fermentasyon sonunda %10.28-9.41 aralığında bulunmuştur. Fermente sorgum ve soya fasulyesi unu karışımlarından elde edilen bisküvilerin protein ve yağ miktarlarında ise artış gözlenmiştir. Protein miktarı fermentasyon başlangıcında %10.98-18.72 iken, 24 saat fermentasyon sonunda %11.26-20.42, 48 saat fermentasyon sonunda %12.01-21.48 ve 72 saat fermentasyon sonunda %12.41-21.49 arasında değişirken, yağ miktarı fermentasyon başlangıcında %9.73-11.51 iken, 24, 48, 72 saat fermentasyon süreleri sonunda sırasıyla %8.84-11.42, %8.69-10.56 ve %8.31-10.11 arasında bulunmuştur.

Lorusso ve ark. (2017) makarna yapımında fermente kinoa ununun kullanımını ve besinsel özellikler üzerine etkilerini araştırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre protein, yağ ve kül oranları durum buğdayı irmiği ile yapılan makarnada sırasıyla %10.27, 0.60, 0.81, irmiğin %20 oranında kinoa unu ile ikame edildiği makarnada %12.4, 2.64, 1.08, fermente kinoa ilaveli makarnada ise %12.3, 2.62, 1.05 olarak tespit edilmiştir.

Lee ve ark. (2020) okarayı kurutma, otoklavlama ve fermentasyon işlemlerine tabi tutmuş ve %20 ve 40 oranlarında bisküvi formülasyonunda kullanmışlardır. Yapılan kimyasal analizlere göre işlenmiş okara katkılı bisküvilerin (7.97-9.88 g/100 g) ham protein miktarı, kontrol örneğe (7.30 g/100 g) göre önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. %20 oranında işlenmiş okara katkılı bisküviler incelendiğinde; kurutma işlemi uygulanan okara katkılı bisküvilerin protein miktarı, fermentasyon ve otoklavlama işlemi uygulanan okara katkılı bisküvilerden daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, hücre duvarının parçalanması ile çözünür diyet lifi oluşumuna bağlı olarak otoklavlama işlemi sırasında göreceli olarak protein miktarının azalmasına bağlanmıştır (Li ve ark., 2019). Okara ununun yüksek yağ miktarına (%5-6) bağlı olarak bisküvilerde okara ilavesi arttıkça beklenenden önemli ölçüde daha yüksek yağ miktarı tespit edilmiştir. İşlenmiş okara katkılı bisküviler birbirlerine benzer yağ miktarına (18.33-19.85 g/100 g) sahip olmasına ve kontrol bisküviden (17.42 g/100 g) daha yüksek olmalarına rağmen, kurutma işlemi uygulanan okara katkılı bisküviler, fermentasyon ve

otoklavlama uygulanan okara katkılı bisküvilerden önemli ölçüde daha fazla yağ miktarına sahip bulunmuştur.

Haros ve ark. (2001) lif içeren dört farklı ekmek formülasyonuna eksojen fitaz ilavesinin ekmek yapım süreci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Tam buğday unundan hazırlanan ekmeklerde nem miktarı %36.9 olarak tespit edilirken fitaz ilavesinden sonra bu oran %36.3'e düşmüştür. Beyaz buğday unu-buğday kepeği karışımından hazırlanan ekmeklerde de benzer şekilde fitaz ilavesinden sonra nem miktarının %33.1'den 31.8'e düştüğü tespit edilmiştir.

4.2.5. Bisküvi örneklerine ait fitik asit, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite sonuçları

Farklı defitinizasyon yöntemleri uygulanarak elde edilmiş teff unlarının farklı oranlarda bisküvi formülasyonunda kullanılması ile hazırlanan bisküvilere ait fitik asit, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerleri Çizelge 4.9'da, bu değerlere ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.10'da verilmiştir.

4.2.5.1. Fitik asit

Bisküvi örneklerinin fitik asit miktarı ortalama 126.06 ± 97.08 mg/100 g bulunmuştur. Bisküvilerde en düşük ve en yüksek fitik asit miktarı 69.00 mg/100 g ile 413.80 mg/100 g arasında değişmektedir (Çizelge 4.9).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından incelendiğinde; işlem görmemiş teff unu örneklerinin bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla en yüksek fitik asit miktarının elde edildiği ve bu örnekleri, otoklavlama ile elde edilen teff unu içeren örneklerin takip etmekte olduğu Çizelge 4.10'dan görülmektedir. Fitik asit komplekslerinin ısıtılma işlemlerinde stabil olmadığı birçok çalışmada bildirilmiştir (Zielinski ve ark., 2001; Kaur ve ark., 2012; Yang ve ark., 2014; Kaur ve ark., 2015). Bununla birlikte fitik asit-katyon komplekslerinin çözünürlüğünün artması nedeniyle düşük pH ve yüksek basınç altında fitik asitin termal koşullarda hidrolize olduğu da tespit edilmiştir (Servi ve ark., 2008).

Çizelge 4.9. Bisküvi örneklerine ait fitik asit, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerleri¹

TUDİ ²	TUO ³ (%)	Fitik asit (mg/100 g)	Toplam fenolik madde (mg GAE/100 g)	Antioksidan aktivite (% inhibisyon)
İşlem görmemiş	0	72.30±1.84	88.73±1.03	26.12±2.04
	10	156.70±2.40	100.20±3.96	28.12±3.00
	20	249.10±5.80	129.07±5.75	31.34±1.90
	30	334.60±6.22	152.70±3.82	32.41±2.25
	40	413.80±5.94	169.40±11.9	35.27±2.50
Fermente edilmiş	0	73.20±3.11	88.40±3.39	26.00±1.41
	10	72.60±3.68	92.40±4.81	27.934±0.09
	20	73.90±5.52	99.733±6.69	29.54±0.65
	30	70.10±4.10	121.73±2.45	31.415±2.24
	40	71.40±5.09	138.45±2.05	32.485±2.14
Otoklavlanmış	0	71.90±1.56	88.00±5.66	26.32±1.87
	10	92.80±3.11	103.40±4.81	29.183±2.57
	20	118.00±4.24	114.40±6.22	30.79±0.30
	30	137.30±3.82	118.07±4.34	32.173±1.17
	40	151.70±4.67	134.55±3.46	32.798±1.70
Fitaz uygulanmış	0	73.00±2.83	89.01±5.64	27.01±1.40
	10	73.20±2.55	96.067±7.17	29.317±1.86
	20	71.90±4.38	103.40±4.81	30.388±2.28
	30	74.60±0.57	114.40±3.68	31.013±1.40
	40	69.00±5.66	132.73±3.87	32.575±2.23
Minimum-Maksimum		69.00-413.80	88.00-169.40	26.00-35.27
Ortalama		126.06±97.08	113.74±23.22	30.11±2.59

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

Fermente edilmiş ve fitaz uygulanmış teff unlarının kullanıldığı bisküvilerin birbirine eşdeğer ve en düşük fitik asit değerini verdiği Çizelge 4.10'dan anlaşılmaktadır. Fitik asit miktarında fermentasyon işlemi sonucunda gerçekleşen düşüş, mayanın fitaz aktivitesine atfedilmiştir (Özkaya ve ark., 2017a). Bununla birlikte fermentasyon sırasında karbondioksit ve organik asitlerin salınması sonucu oluşan pH'daki düşüşün fitaz aktivitesini ve fitik asit çözünürlüğünü artırdığı bildirilmiştir (Han ve ark., 2007; Anson ve ark., 2008). Diğer taraftan fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvinin fitik asit miktarı, işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküviden düşük bulunmuş ve bunun sebebi tahıl ve baklagillerde bulunan fitik asitin, doğrudan fitaz enzimi ilavesi ile önemli ölçüde azalmasına atfedilmiştir (Stahl ve ark., 1999; Porres ve ark., 2001; Hurrell, 2004; Porres ve ark., 2005). Fitaz enzimi, fitik asitin myo-inositol ve inorganik fosfata hidrolizini katalize ederek antibesinsel etkisini azaltmakta (Gobbetti ve ark., 2005) ve minerallerin biyoyararlılığını da artırmaktadır (Harland ve Frolich, 1989).

Çizelge 4.10. Bisküvi örneklerinin fitik asit, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucu¹

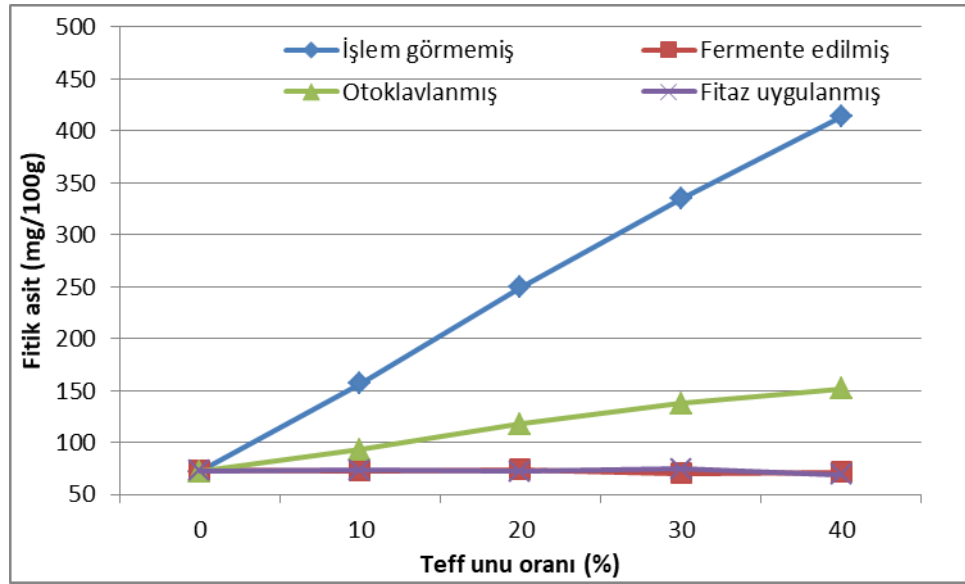
Faktör	n	Fitik asit (mg/100 g)	Toplam fenolik madde (mg GAE/100 g)	Antioksidan aktivite (% inhibisyon)
TUDI²				
İşlem görmemiş	10	245.30±128.43 ^a	128.02±32.47 ^a	30.65±3.83 ^a
Fermente edilmiş	10	72.24±3.57 ^c	108.14±20.31 ^b	29.47± 2.72 ^a
Otoklavlanmış	10	114.34±30.68 ^b	111.68±16.75 ^b	30.25±2.76 ^a
Fitaz uygulanmış	10	72.34±3.35 ^c	107.12±16.60 ^b	30.06±2.40 ^a
TUO³ (%)				
0	8	72.60±1.92 ^e	88.54± 3.33 ^e	26.36±1.35 ^c
10	8	98.83± 36.83 ^d	98.02± 5.99 ^d	28.64± 1.78 ^{bc}
20	8	128.23± 77.26 ^c	111.65±12.99 ^c	30.51± 1.35 ^{ab}
30	8	154.15± 114.98 ^b	126.73±16.50 ^b	31.75±1.51 ^a
40	8	176.48±150.79 ^a	143.78±16.72 ^a	33.28± 2.05 ^a

¹Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

Teff unu oranı açısından sonuçlar değerlendirildiğinde; bisküvi formülasyonunda kullanılan teff unu oranı arttıkça bisküvilerin fitik asit miktarının da arttığı belirlenmiştir. Teff unu kullanılmayan bisküvi örneğinde 72.60 mg/100 g olan fitik asit miktarı, %40 teff unu kullanımı ile 176.48 mg/100 g'a yükselmiştir (Çizelge 4.10). Teff, çeşit ve yetiştirme koşullarından kaynaklanan farklılıklar nedeniyle farklı oranlarda ve yüksek miktarlarda fitik asit içermektedir (Baye ve ark., 2014). Bu çalışmada da ham teff ununun fitik asit miktarı 1350 mg/100 g olarak bulunmuştur. İşlem görmemiş ve otoklavlanmış teff unlarının, buğday unundan daha yüksek oranda fitik asit içermesi nedeniyle teff ununun bisküvi formülasyonunda kullanım oranı arttıkça fitik asit miktarı da artmıştır (Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.10).

Bisküvi örneklerinin fitik asit miktarı üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.7’de verilmiştir. %10 teff unu ilave oranında fermente edilerek, otoklavlanarak ve fitaz uygulanarak hazırlanmış unlarla üretilen bisküvi örneklerinin fitik asit miktarları birbirine yakın bulunmuş ve teff unu ilave oranı arttığında bisküvilerin fitik asit miktarları arasındaki fark açılmıştır. Tüm teff unu ilave oranları birlikte değerlendirildiğinde; işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvi örneklerinin büyük farkla en yüksek fitik asit miktarını verdiği görülmektedir. Duncan testi sonuçlarında da belirlendiği gibi işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan örneklerin fitik asit miktarını otoklavlanmış teff unu ile hazırlanan örnekler takip etmiş, fermente edilmiş ve fitaz uygulanmış teff unu ile hazırlanan örnekler en düşük fitik asit miktarını vermiştir.



Şekil 4.7. Bisküvi örneklerinin fitik asit miktarı üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

Antibesinsel bileşenlerden biri olan fitik asit, minerallerin biyoyararlılığını azaltan önemli bir bileşendir. Baye (2014)’nin derlediği verilere göre kahverengi teffte fitik asit miktarı 682-1374 mg/100 g arasında bulunmuştur. Bu nedenle teffin fitik asit miktarı, minerallerin biyoyararlılığını da etkileyebilmektedir. Çeşitli yöntemler ile teffteki fitik asit miktarı azaltılabilmektedir.

Dingeo ve ark. (2020) teff unundan hazırladıkları tip I ekşi hamuru (*L. plantarum*, *L. fermentum* ve *S. cerevisiae* suşları) %0, 5, 10 ve 15 oranlarında glutensiz muffin üretiminde kullanmışlardır. Laktik asit bakterileri tarafından asitliğin düşürülmesi yoluyla aktive edilen endojen fitazlar ve mikrobiyal aktivitenin (Handa ve ark., 2020), ekşi hamurlu muffinlerdeki fitik asit miktarında önemli düşümlere (yaklaşık %50) yol açtığı ifade edilmiştir.

Baye ve ark. (2015) fermente krep yapımında kullanılmak üzere buğday-kırmızı sorgum ve teff-beyaz sorgum un karışımlarına eksojen fitaz enzimi uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucu unların fitik asit miktarı çok yüksek bulunsa da fitaz uygulanmış unlarda, işlenmemiş una kıyasla fitik asit miktarı %90’dan fazla azalmıştır.

Garcia-Mantrana ve ark. (2014) buğday unu, amarant + buğday unu paçalı ve tam buğday ununa farklı fitaz enzimleri (fungal fitaz, *B. pseudocatenulatum* ve *B. longum* spp. *infantis* fitaz) ilave ederek bu unları ekmek yapımında kullanmışlardır.

Hazırlanan ekmeklerdeki fitik asitin %87-89'u bifidobakteriyel fitazlar, %28-74'ü fungal fitazlar tarafından hidrolize etmiştir.

Köten (2021) teff unu, mısır unu ve patates nişastasını farklı oranlarda glutensiz tarhana üretiminde kullanmıştır. Tarhanada örneklerindeki teff ununun miktarı arttıkça fitik asit miktarının da arttığı tespit edilmiştir. En yüksek fitik asit miktarı (2.98 mg/g) %100 teff unu ile üretilen tarhanada, en düşük fitik asit miktarı (0.08 mg/g) ise kontrolde belirlenmiştir.

Babaoğlu (2021) buğday kepeği ve defitinize buğday kepeğini dört farklı şekilde fermente ederek elde edilen ekşi hamurları farklı oranlarda (%0, 5, 10 ve 15) ekmek üretiminde kullanmıştır. Buğday kepeğinin defitinizasyonu için 121°C'de 30 dk otoklavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ekşi hamurlu ekmeklerde kullanılan defitinize buğday kepeği ilave oranı arttıkça fitik asit miktarının azaldığı belirlenmiştir.

Majzoobi ve ark. (2014b) hidrotermal uygulama ve fermentasyon yöntemleri ile defitinize edilen buğday kepeğini %0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında kek formülasyonunda kullanmışlardır. Buğday kepeğinin fitik asit miktarı hidrotermal uygulama ve fermentasyondan sonra sırasıyla 29.0 mg/g'dan 15.8 mg/g'a ve 21.5 mg/g'a düşmüş ve defitinizasyon işlemleri ile fitik asit miktarı önemli oranda azalmıştır. En düşük fitik asit miktarının ise %10 oranında hidrotermal yöntem uygulanan buğday kepeği içeren kek formülasyonunda olduğu bildirilmiştir.

Lee ve ark. (2020) okarayı kurutma, otoklavlama ve fermentasyon işlemlerine tabi tutarak bisküvi formülasyonunda kullanmışlardır. Fermentasyon işlemi uygulanan %20 ve 40 oranlarında okara katkılı bisküvilerdeki fitik asit miktarı (sırasıyla 0.81 ve 0.78 g/100 g) kontrol bisküviye benzer oranda (0.80 g/100 g) fakat %20 ve 40 oranlarında kurutma (sırasıyla 1.01 ve 1.11 g/100 g) ve otoklavlama (sırasıyla 1.00 ve 1.11 g/100 g) işlemi uygulanan okara katkılı bisküvilerden önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur.

Ertaş (2015) buğday kepeğini üç farklı yöntemle (sıcak hava fırını, mikrodalga ve otoklavlama) stabilize ederek %10, 20 ve 30 oranlarında bisküvi üretiminde kullanmıştır. Stabilize edilmiş buğday kepeği katkılı bisküvilerdeki fitik asit içerikleri 758.92 ile 968.11 mg/100 g arasında değişmiştir. Otoklavlanmış buğday kepeği katkılı bisküvilerde en düşük fitik asit miktarı tespit edilmiştir. Bisküvilere ilave edilen stabilize edilmiş buğday kepeği oranındaki artışın, fitik asit miktarında da orantılı artışlara sebep olduğu görülmüştür.

Demir ve Elgün (2014) otoklav, mikrodalga, kızılötesi ve ultraviyole-C yöntemleri ile stabilize edilen kepek fraksiyonlarını %35 oranında buğday unu ile ikame ederek tam buğday ekmeği üretiminde kullanmışlardır. Tam buğday ekmeği örneklerinin fitik asit miktarı 454.8 ile 566.5 mg/100 g arasında değişmiştir. Fitik asit içeriği stabilize edilmiş kepek fraksiyonlarını içeren tam buğday ekmeklerinde (otoklavlama 454.8 mg/100 g, mikrodalga 461.0 mg/100 g, kızılötesi 504.8 mg/100 g, ultraviyole-C 536.8 mg /100 g), kontrol (566.5 mg/100 g) grubuna göre daha düşük bulunmuştur. En iyi sonuçların otoklav ve mikrodalga stabilizasyon yöntemleriyle elde edildiği tespit edilmiştir. Yapılan birçok araştırmada, termal uygulama ve radyasyon işlemlerinin gıdanın fitik asit miktarını azalttığı bildirilmiştir (Ahn ve ark., 2003; Al-Kaisey ve ark., 2003; Masud ve ark., 2007; Krishnamurthy ve ark., 2008).

4.2.5.2. Toplam fenolik madde

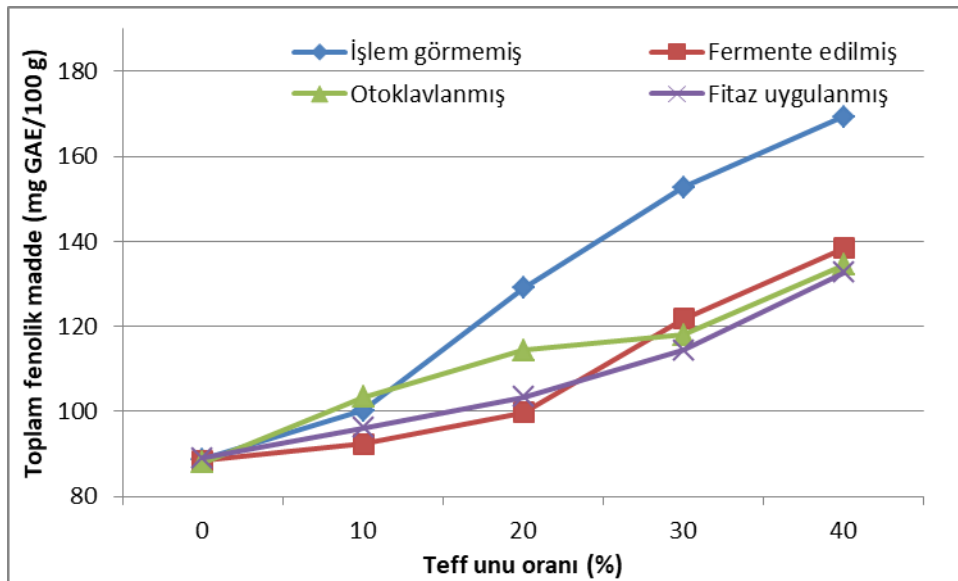
Farklı defitinizasyon uygulamaları ile hazırlanan teff unlarının, farklı oranlarda, bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla elde edilen bisküvilerin ortalama toplam fenolik madde miktarı 113.74 ± 23.22 mg GAE/100 g olarak bulunmuştur. Bisküvilerde en düşük ve en yüksek fenolik madde miktarı 88.00 mg GAE/100 g ve 169.40 mg GAE/100 g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9).

Sonuçlar teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; en yüksek toplam fenolik madde miktarının işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvide elde edildiği görülmektedir. Farklı defitinizasyon işlemleri uygulanarak hazırlanan teff unlarından üretilen bisküvilerin toplam fenolik madde miktarları aynı grupta yer almış olup, işlem görmemiş teff unu ile üretilen bisküvilerin toplam fenolik madde miktarından düşük bulunmuştur (Çizelge 4.10). Otoklavlanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvinin toplam fenolik madde miktarı, işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküviden düşük bulunmuştur. Otoklavlanmış teff unu ilavesi ile hazırlanan bisküvilerde tespit edilen toplam fenolik madde miktarındaki düşüşün, termal işlem sonucu fenolik maddelerin bozunmasına bağlı olabileceği bildirilmiştir (Xu ve Chang, 2008). Diğer taraftan otoklavlanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküviler ile aynı grupta yer alan fermente edilmiş teff unları ile hazırlanan bisküvilerin de toplam fenolik madde miktarı işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküviden düşük bulunmuştur. Literatürde fermentasyon işlemi sonucu toplam fenolik madde miktarında görülen

azalmanın tanedeki liflere bağlı formda bulunan tanenlerin salınımından, polifenol oksidaz aktivitesinden ve fermentasyondaki mikrofloradan kaynaklandığı bildirilmiştir (Dhankher ve Chauhan, 1987).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre bisküvi formülasyonunda teff unu oranı arttıkça toplam fenolik madde miktarı da artmıştır. %0, 10, 20, 30 ve 40 teff unu kullanılan bisküvilerde ortalama toplam fenolik madde miktarları sırasıyla 88.54, 98.02, 111.65, 126.73 ve 143.78 mg GAE/100 g olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10). Teff, diğer tahıllar gibi önemli miktarlarda fenolik madde içermektedir (Dykes ve Rooney, 2007). Teff unu ilavesiyle bisküvilerde meydana gelen artış, teff ununun yüksek fenolik miktarına ve Maillard reaksiyonu ile pişirme sırasında meydana gelen karamelizasyon reaksiyonlarına bağlanmıştır (Sulieman ve ark., 2019).

Bisküvi örneklerinin toplam fenolik madde miktarı üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.8’de verilmiştir. %10 teff unu ilave oranında tüm bisküvi örneklerinin toplam fenolik madde miktarları birbirine yakın çıkmıştır. %20 oranından sonra işlem görmemiş teff unu ile hazırlanan örnekteki toplam fenolik madde miktarı belirgin bir şekilde artmıştır. %10 ve 20 oranlarında otoklavlanmış teff unu ile hazırlanan bisküvi örneklerinde hızlı artış gösteren toplam fenolik madde miktarı, %30 ve 40 oranlarına ulaşıldığında ise fermente edilerek ve fitaz ilavesi ile hazırlanan teff unundan üretilen bisküvi örneklerinin toplam fenolik madde miktarına yaklaşmıştır.



Şekil 4.8. Bisküvi örneklerinin toplam fenolik madde miktarı üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

Epidemiyolojik araştırmalar; kanser, diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar gibi birçok kronik hastalığın riskinin azaltılmasında, tam tahıl tüketiminin büyük oranda faydalı olduğunu ortaya koymaktadır (Wu ve ark., 2015; Aune ve ark., 2016). Tam tahılların özellikle diyet lifi ve polifenoller gibi bileşiklerinin oldukça faydalı olduğu bildirilmiştir. Bu önemli bileşiklerden polifenoller ve bileşenleri; tam tahıllı ürünlerin duyuşal özellikleri (renk, tat vb.) ve bu ürünlerin tüketici tercihleri üzerinde büyük etkiye sahiptir (Awika ve Duodu, 2017). Teffin sağığına faydalı en önemli özelliklerinden biri önemli miktarlarda fenolik madde içermesidir (Dykes ve Rooney, 2007). Fenolik maddeler belirtildiğı gibi kardiyovasküler hastalıkların ve kanserin önlenmesi açısından oldukça faydalı olmasının yanı sıra (Awika ve Rooney, 2004) gıda endüstrisi için doğal antioksidan görevi görür. Diğer taraftan, sindirim enzimlerini inhibe edebilir ve besinlerin sindirilebilirliğini azaltabilir (Qiang ve ark., 2006; Maheshu ve ark., 2011). Teftteki fenolik asitler, galloil ve katekol fonksiyonel gruplarına sahip olmaması sebebiyle demir emilimini inhibe etmeye daha az eğilimlidir. Bu da teffin antioksidatif özelliklerinden yararlanmanın mümkün olabileceğini göstermektedir. Kısaca, teffin polifenol miktarı demir biyoyararlılığını engellemektedir (Alaunyte ve ark., 2012).

Ronda ve ark. (2015) üç farklı teff çeşidinden (kahverengi teff, beyaz teff ve kunço) elde edilen unu %10, 20, 30 ve 40 oranlarında buğday unu ile ikame ederek ekmek üretiminde kullanmışlardır. Bu üç farklı teff çeşidinde yapılan analizlere göre toplam polifenol miktarları kahverengi teff, beyaz teff ve kunçoda sırasıyla 2879, 2657 ve 2510 mg GAE/100 g olarak bulunmuştur. Teff ile zenginleştirilmiş ekmeklerin toplam polifenol miktarı teff çeşidi ve kullanılan teff oranına bakılmaksızın kontrolden daha yüksek bulunmuştur. Özellikle kahverengi teff (2700'den 2893 mg GAE/100 g'a) ve kunçonun (2481'den 2527 mg GAE/100 g'a) ekmeğe katılma oranı arttıkça toplam fenolik madde miktarı da artmıştır.

Joung ve ark. (2017a) buğday ununu %0, 25, 50, 75 ve 100 oranında teff unu ile ikame ederek hazırladıkları bisküvilerde yapılan analizler sonucu toplam polifenol miktarının, eklenen teff unu oranı arttıkça arttığını tespit etmişlerdir. %100 teff unu ilaveli bisküvide en yüksek değıer 3.37 µg GAE/mg olarak elde edilirken, en düşük toplam polifenol değıeri 1.32 µg GAE/mg ile kontrol grubunda tespit edilmiştir.

Baye ve ark. (2015) buğday-kırmızı sorgum ve teff-beyaz sorgum un karışımlarına eksojen fitaz enzimi ilave ederek fermente krep üretimi gerçekleştirmişlerdir. Fitaz enzimi ile muamele, her iki un karışımında da demir bağlayıcı fenoliklerin miktarını azaltmıştır.

Dordevic ve ark. (2010) fermantasyonun bazı tahılların (arpa, çavdar, buğday ve karabuğday) fenolik madde özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. İşlem görmemiş karabuğday, arpa, buğday ve çavdarda toplam fenolik madde miktarı sırasıyla 50.7, 16.4, 16.2 ve 13.2 mg GAE/g bulunurken, *S. cerevisiae* ile fermente edilmiş karabuğday, arpa, buğday ve çavdarda bu değerler sırasıyla 53.2, 18.5, 18.4 ve 16.2 mg GAE/g'a yükselmiştir. Sonuç olarak fermantasyon işleminin kullanılan bütün tahıllarda fenolik madde miktarını artırdığını tespit etmişlerdir. Bu tez çalışmasının aksine bu durum fermantasyon sırasında mikroorganizmaların metabolik aktivitesi sonucu biyoaktif bileşik miktarının değişmesiyle ilişkilendirilmiştir.

Lorusso ve ark. (2017) işlem görmemiş ve fermente edilmiş kinoa ununu %20 oranında buğday irmiği ile ikame ederek makarna formülasyonunda kullanmışlardır. Yapılan analizler sonucu fermente edilmiş kinoa unu ilaveli makarnadaki (4.06 $\mu\text{mol/kg}$) toplam fenolik madde miktarı, işlem görmemiş (3.02 $\mu\text{mol/kg}$) ve kontrol (2.21 $\mu\text{mol/kg}$) makarnaya göre daha yüksek bulunmuştur.

Christ-Ribeiro ve ark. (2020) *S. cerevisiae* ile fermente edilen pirinç kepeğini farklı oranlarda (%7.08, 14.16 ve 28.33) pirinç unu ile ikame ederek glutensiz bisküvi formülasyonunda kullanmışlardır. Artan oranlarda fermente edilmiş pirinç kepeğinin bisküviye ilavesi örneklerde toplam fenolik madde miktarlarında düşüşe sebep olmuştur. Kontrol bisküvide fenolik madde miktarı 7.04 mg/g bulunurken; %7.08, 14.16 ve 28.33 oranlarında pirinç kepeği ilave edilmiş glutensiz bisküvilerde bu değerler sırasıyla 7.46, 6.84 ve 6.34 mg/g olarak tespit edilmiştir.

Demir ve Elgün (2014) tarafından %35 oranında stabilize buğday kepek fraksiyonu ve %65 buğday unu karışımları ile üretilen tam buğday ekmeklerinde yapılan analizler sonucunda, toplam fenolik madde miktarlarının 1.2-1.4 mg GAE/g arasında değiştiği bulunmuştur. Tüm stabilizasyon uygulamalarının, tam buğday ekmeği örneklerinin toplam fenolik madde miktarını artırdığı tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde miktarındaki bu artış, hücrel bileşenlerin ve hücre duvarlarının ısı ile işleme parçalanması sonucu bağlı fenolik maddelerin salınımı ile ilişkilendirilmiştir.

Lee ve ark. (2020) tarafından yapılan analizler sonucu; %40 oranında işlenmiş okara ilaveli bisküvilerde toplam fenolik madde miktarı, %20 oranında işlenmiş okara ilaveli bisküvilere göre daha yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte en yüksek toplam fenolik madde miktarını fermente edilmiş okara ilaveli bisküviler verirken, en düşük toplam fenolik madde miktarı otoklavlanmış okara ilaveli bisküvilerde tespit edilmiştir. Fermente edilmiş okara ilaveli bisküvilerdeki yüksek toplam fenolik madde miktarı,

selülozu metabolize eden ve çözünür fenolik maddeleri daha yüksek oranda serbest bırakan β -glukosidaz ve β -glukuronidaz enzimlerinin aktivitesine atfedilmiştir (McCue ve ark., 2003).

4.2.5.3. Antioksidan aktivite

Bisküvi örneklerinin antioksidan aktivite değeri %26.00 ve 35.27 arasında değişmiş olup, ortalama 30.11 ± 2.59 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9).

Sonuçlar teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; teff ununa uygulanan defitinizasyon işleminin antioksidan aktivite üzerinde önemli ($p > 0.05$) olmadığı, işlem görmemiş ve defitinize edilmiş teff unlarından üretilen bisküvilerin antioksidan aktivite değerlerinin aynı grupta yer aldığı görülmektedir (Çizelge 4.10). Bunun aksine Yang ve ark. (2014) bazı termal işlemlerin antioksidan özellikleri iyileştirdiğini ve antioksidan aktiviteye sahip yeni bileşiklerin oluşturulması için uygun olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Manzocco ve ark. (2001), Maillard reaksiyonu ürünleri gibi antioksidan aktiviteye sahip yeni bileşiklerin oluşumu sonucunda termal işlemin antioksidan potansiyeli artırdığını da bildirmişlerdir.

Fermente edilmiş teff unu kullanımı ile bisküvilerde sayısal olarak daha düşük antioksidan aktivite değeri elde edilmiştir (Çizelge 4.10). Moore ve ark., (2007) maya ile fermantasyon sonucu antioksidan aktivitenin azaldığını ve bunun kullanılan farklı maya preparatlarının farklı DPPH süpürme kapasitelerine sahip olabileceğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Bisküvilerin antioksidan aktivite değerleri teff unu oranı faktörü açısından değerlendirildiğinde; bisküvi formülasyonunda %20 teff unu kullanım oranına kadar artan teff unu oranına bağlı olarak antioksidan aktivite değeri artmıştır (Çizelge 4.10). %0, 10, 20, 30 ve 40 teff unu kullanılan bisküvilerde ortalama antioksidan aktivite değerleri sırasıyla %26.36, 28.64, 30.51, 31.75 ve 33.28 olarak bulunmuştur. Antioksidan aktivite değerindeki artışın, hammadde olarak kullanılan teffin buğday unundan daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olmasının yanı sıra, bisküvinin pişirilmesi esnasında gerçekleşen Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon ürünlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Randhir ve ark., 2008). Gıda ürünlerine uygulanan ısı işlemlerin, Maillard reaksiyonlarından sonra antioksidan bileşiklerin salınmasına bağlı olarak antioksidan kapasiteyi artırdığı ve ürünlerin antioksidan profilinin değişmesi

sonucunda yeni antioksidanların oluşumunu sağladığı bildirilmiştir (Dewanto ve ark., 2002; Randhir ve ark., 2008).

Tahıllarda ve tahıl bazlı ürünlerde önemli seviyelerde bulunan antioksidanların özelliklerinin esas olarak fenolik bileşiklere, özellikle de bağlı formdaki fenoliklere bağlı olduğu bildirilmiştir (Emmons ve ark., 1999; Baublis ve ark., 2000; Özkaya ve ark., 2017b). Tahıllarda bulunan antioksidanların, kalp hastalıkları ve bazı kanser türleri dahil kronik hastalıkların görülme sıklığını azaltarak sağlığa faydalı oldukları öne sürülmüştür (Miller ve ark., 2000).

Minarovicova ve ark. (2019) teff ununun antioksidan aktivitesini (%28.32) pirinç ununa (%9.51) göre yaklaşık 3 kat daha yüksek olarak tespit etmişlerdir. Bunun üzerine teff unu ile zenginleştirilmiş keklerin de pirinç unundan elde edilen kontrol keke göre daha yüksek antioksidan aktiviteye (%7.22-10.91) sahip olduğu belirlenmiştir.

Alaunyte ve ark. (2012)'nin buğday ununa %0, 10, 20 ve 30 oranlarında teff unu ilave ederek direk hamur ve ekşi hamur fermantasyon yöntemleri ile ekmek üretimi gerçekleştirdikleri çalışmada; teff unu içeren ekmekleri, kontrol buğday ekmeğine (1.39 μm TEAC/100 g) kıyasla önemli derecede daha yüksek toplam antioksidan kapasiteye sahip bulmuşlardır. Bununla birlikte ekmeklere ilave edilen teff unu oranı arttıkça antioksidan kapasiteleri de (sırasıyla 2.03, 2.14 ve 2.41 μm TEAC/100 g) artmıştır.

Ronda ve ark. (2015) kahverengi teff, beyaz teff ve kuңçodan elde edilen unu %10, 20, 30 ve 40 oranlarında buğday unu ile ikame ederek ekmek üretiminde kullandıkları çalışmada antioksidan aktivite değerleri kahverengi teffte %32, beyaz teffte %27 ve kuңçoda %27.1 bulmuşlardır. Kahverengi teff ununun, beyaz teff unu ve kuңçoya kıyasla üstün antioksidan aktiviteye sahip olmasının, moleküldeki polihidroksil gruplarının varlığı nedeniyle iyi radikal süpürücü olmasından ve daha yüksek flavonoid miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte ekmekte kullanılan teff unu, oranı ve çeşidine bakılmaksızın kontrole göre antioksidan aktiviteyi artırmıştır.

Köten (2021) farklı oranlarda (20:40:40, 40:30:30, 60:20:20, 80:10:10 ve 100:0:0) teff unu, mısır unu ve patates nişastası kullanarak tarhana üretimi gerçekleştirdiği çalışmada, teff unu oranı arttıkça örneklerin antioksidan aktivite değerlerinin de arttığını tespit etmiştir. Dolayısıyla en yüksek antioksidan aktivite değeri (%9.34) %100 teff unu ile üretilen tarhana örneğinde belirlenirken, en düşük antioksidan aktivite değeri (%3.18) %20 teff unu ile üretilen tarhanada tespit edilmiştir.

Baumgartner ve ark. (2018) iki farklı yöntemle (fermantasyon ve hidrotermal) defitimize edilmiş yulaf kepeğini %7, 14 ve 21 oranlarında bisküvi üretiminde

kullanmışlardır. Fermente edilmiş yulaf kepeği ilaveli bisküvi örneklerinde antioksidan aktivite değerleri sırasıyla 93.6, 114.7 ve 135.0 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ olarak bulunmuş ve işlem görmemiş bisküvilere göre (91.5, 112.1 ve 131.0 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$) daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bisküvi örneklerinin antioksidan aktivitesi, defitinize yulaf kepeği ilavesiyle hücre duvarının bozulması ve yeni fenolik bileşiklerin oluşması nedeniyle artmıştır (Dordevic ve ark., 2010).

Dordevic ve ark. (2010) iki farklı tür mikroorganizma (*L. rhamnosus* ve *S. cerevisiae*) fermentasyonunun karabuğday, buğday, arpa ve çavdar olmak üzere dört tahıldaki antioksidan aktivite üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Karabuğdaya uygulanan *L. rhamnosus* ile fermentasyon işlemi antioksidan aktivite değerini 76.7 $\mu\text{g/ml}$ 'den 63.4 $\mu\text{g/ml}$ 'e düşürürken, *S. cerevisiae* ile uygulanan fermentasyon işlemi ise 66.3 $\mu\text{g/ml}$ 'e düşürmüştür. *L. rhamnosus* ile yapılan fermentasyon işlemi, kullanılan her tahıl türünde antioksidan aktivite üzerinde pozitif bir etkiye sahip iken, *S. cerevisiae* ile yapılan fermentasyon tahıllar üzerinde önemli bir etkiye sahip bulunmamıştır.

Christ-Ribeiro ve ark. (2020) *S. cerevisiae* ile fermente edilen pirinç kepeğini farklı oranlarda (%7.08, 14.16 ve 28.33) pirinç unu ile ikame ederek glutensiz bisküvi formülasyonunda kullandıkları çalışmada; artan oranlarda fermente edilmiş pirinç ununun bisküviye ilavesinin örneklerdeki antioksidan aktivite miktarlarında düşüşe neden olduğu belirlenmiştir.

4.2.6. Bisküvi örneklerine ait mineral madde sonuçları

Bisküvi örneklerinin mineral madde değerleri Çizelge 4.11'de, bu değerlere ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Farklı yöntemler ile defitinize edilmiş teff unu katkılı bisküvi örneklerinin Ca miktarı ortalama $43.81 \pm 5.20\text{ mg}/100\text{ g}$ bulunmuştur. Bisküvilerde en düşük Ca miktarı 36.20 $\text{mg}/100\text{ g}$ olarak bulunurken, en yüksek Ca miktarı 52.40 $\text{mg}/100\text{ g}$ olarak tespit edilmiştir. (Çizelge 4.11).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; fermente edilmiş ve otoklavlanmış teff unu ile hazırlanmış örneklerin Ca miktarının aynı grupta yer aldığı ve en yüksek Ca değerini verdiği, bu örnekleri işlem görmemiş teff unu ile hazırlanan örneklerin takip ettiği ve en düşük Ca miktarının fitaz uygulanan teff unu ile hazırlanan örneklerden elde edildiği belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.11. Bisküvi örneklerine ait mineral madde miktarları (mg/100 g)¹

TUDİ ²	TUO ³ (%)	Ca	Fe	K	Mg	P	Zn
İşlem görmemiş	0	36.4±0.57	1.3±0.07	99.2±1.98	27.6±0.85	230.2±2.55	0.4±0.07
	10	40.8±1.13	1.4±0.03	115.3±1.84	30.5±0.71	250.4±1.56	0.5±0.07
	20	42.6±0.85	1.7±0.03	137.9±1.98	38.9±0.85	275.6±2.26	0.5±0.03
	30	47.2±0.28	2.0±0.14	149.6±0.85	45.6±0.85	294.8±2.55	0.7±0.08
	40	52.4±0.57	2.2±0.28	157.2±1.70	50.8±1.13	309.2±1.70	0.9±0.21
Fermente edilmiş	0	37.6±0.85	1.2±0.07	103.2±0.99	28.3±0.42	232.4±3.39	0.4±0.14
	10	40.5±0.71	1.5±0.00	105.7±0.42	29.1±0.57	240.4±2.26	0.4±0.14
	20	45.6±0.85	1.9±0.07	113.6±1.56	31.4±0.57	245.1±1.56	0.5±0.07
	30	47.8±1.13	2.1±0.14	116.1±1.27	35.6±0.85	258.4±1.98	0.7±0.28
	40	50.7±0.99	2.2±0.14	121.3±0.99	36.3±0.42	265.6±2.26	0.8±0.14
Otoklavlanmış	0	36.2±0.28	1.3±0.14	98.6±1.98	27.3±0.42	229.6±1.56	0.5±0.14
	10	40.3±0.42	1.5±0.14	108.3±1.84	33.9±0.57	251.7±0.42	0.5±0.21
	20	46.7±0.99	1.6±0.14	120.7±0.42	39.2±0.42	264.3±1.84	0.6±0.03
	30	49.6±0.85	1.9±0.07	132.9±1.56	45.6±0.85	288.5±2.12	0.8±0.07
	40	50.9±1.27	2.0±0.28	142.3±0.99	47.9±0.57	307.7±2.83	0.8±0.03
Fitaz uygulanmış	0	37.4±0.57	1.4±0.14	100.8±1.70	27.1±0.57	231.4±2.26	0.4±0.07
	10	39.2±0.28	1.6±0.03	105.1±1.56	30.5±0.71	240.6±1.98	0.5±0.03
	20	41.3±0.42	2.2±0.04	112.4±1.98	34.6±0.85	253.7±2.40	0.6±0.04
	30	45.6±0.85	2.5±0.14	115.7±0.99	36.5±0.71	261.7±1.84	0.8±0.14
	40	47.3±0.42	3.1±0.28	122.6±1.56	37.5±0.71	272.9±2.69	0.9±0.14
Minimum-Maksimum		36.20-52.40	1.20-3.10	98.60-157.20	27.10-50.80	229.60-309.20	0.40-0.90
Ortalama		43.81±5.20	1.83±0.47	118.93±17.00	35.71±7.20	260.21±24.88	0.61±0.17

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

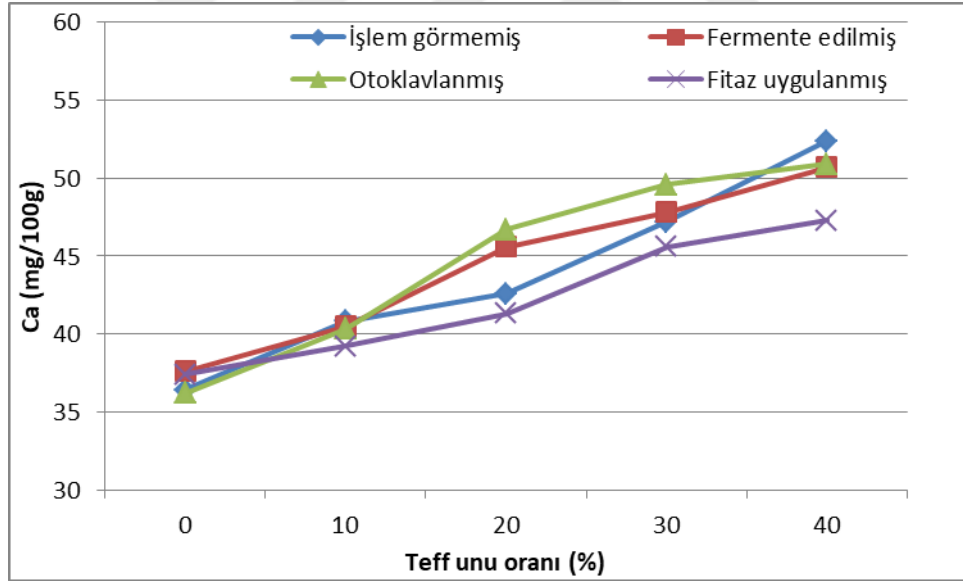
Çizelge 4.12. Bisküvi örneklerinin mineral madde miktarlarına (mg/100g) ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucu¹

Faktör	n	Ca	Fe	K	Mg	P	Zn
TUDI²							
İşlem görmemiş	10	43.88±5.81 ^b	1.72±0.38 ^b	131.84±22.81 ^a	38.68±9.27 ^a	272.04±30.34 ^a	0.60±0.21 ^a
Fermente edilmiş	10	44.44±5.08 ^a	1.78±0.40 ^b	111.98±7.09 ^c	32.14±3.49 ^c	248.38±12.83 ^d	0.56±0.21 ^a
Otoklavlanmış	10	44.74±5.96 ^a	1.66±0.30 ^b	120.56±16.75 ^b	38.78±7.98 ^a	268.36±28.90 ^b	0.64±0.17 ^a
Fitaz uygulanmış	10	42.16±3.98 ^c	2.16±0.66 ^a	111.32±8.21 ^c	33.24±4.14 ^b	252.06±15.64 ^c	0.64±0.21 ^a
TUO³ (%)							
0	8	36.90±0.79 ^e	1.30±0.11 ^d	100.45±2.30 ^e	27.58±0.66 ^e	230.90±2.23 ^e	0.43±0.10 ^b
10	8	40.20±0.84 ^d	1.50±0.09 ^d	108.60±4.48 ^d	31.00±1.95 ^d	245.78±5.81 ^d	0.48±0.11 ^b
20	8	44.05±2.41 ^c	1.85±0.25 ^c	121.15±10.95 ^c	36.03±3.49 ^c	259.68±12.32 ^c	0.55±0.06 ^b
30	8	47.55±1.66 ^b	2.13±0.26 ^b	128.58±14.98 ^b	40.83±5.15 ^b	275.85±17.18 ^b	0.75±0.14 ^a
40	8	50.33±2.10 ^a	2.38±0.49 ^a	135.85±15.93 ^a	43.13±6.78 ^a	288.85±21.22 ^a	0.85±0.12 ^a

¹Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²Teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi ³Teff unu oranı

Sonuçlar teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; bisküvi formülasyonunda teff unu oranı arttıkça bisküvilerin Ca miktarının da arttığı belirlenmiştir. %0, 10, 20, 30 ve 40 teff unu kullanılan bisküvilerde ortalama Ca miktarı sırasıyla 36.90, 40.20, 44.05, 47.55 ve 50.33 mg/100 g olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Bisküvi örneklerinin Ca miktarı üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.9’da verilmiştir. %10 teff unu ilave oranında işlem görmemiş ve defitinize edilmiş unlar kullanılarak üretilen bisküvi örneklerinin Ca miktarı birbirine yakın bulunmuştur. %20 teff unu ilave oranında otoklavlanmış ve fermente edilmiş teff unu kullanılarak hazırlanan örnekler, işlem görmemiş ve fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvi örneklerine göre daha fazla artış göstermiş ve aradaki fark artmıştır. %40 teff unu ilave oranında en yüksek Ca miktarı işlem görmemiş teff unu ile hazırlanan örnekte elde edilirken, fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvi örneklerinin ise tüm oranlarda en düşük Ca miktarını verdiği görülmektedir.



Şekil 4.9. Bisküvi örneklerinin Ca miktarı üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

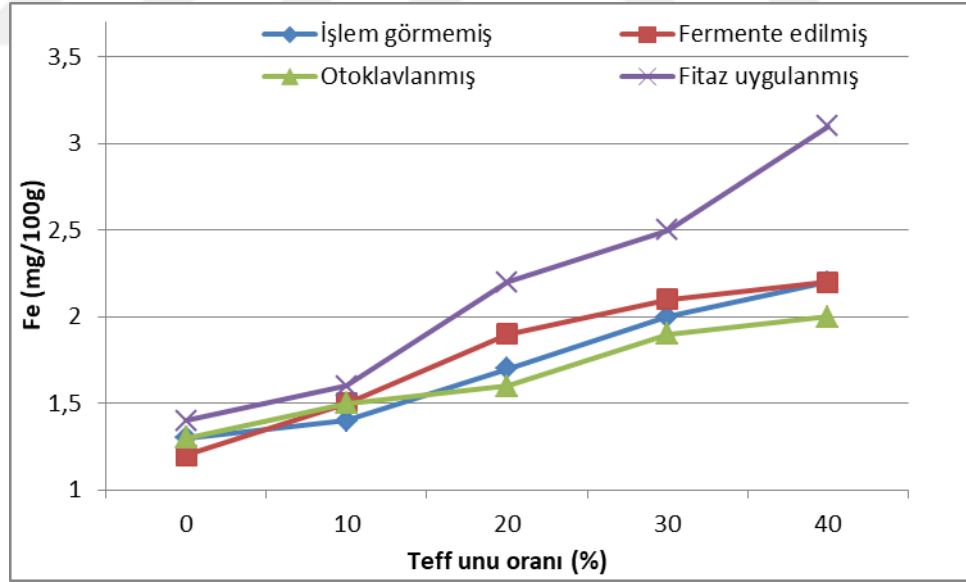
Bisküvi örneklerinin ortalama Fe miktarı 1.83 ± 0.47 mg/100 g olarak bulunmuştur. Bisküvilerde en düşük ve en yüksek Fe miktarları sırasıyla 1.20 mg/100 g ve 3.10 mg/100 g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörüne göre değerlendirildiğinde; fitaz uygulanmış teff unu ile hazırlanan örnekler en yüksek Fe miktarını vermiş ve bu örnekleri aynı grupta yer aldığı görülen

işlem görmemiş, fermente edilmiş ve otoklavlanmış teff unu ile hazırlanan örnekler takip etmiştir (Çizelge 4.12).

Sonuçlar teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; bisküvi formülasyonunda teff unu kullanım oranı arttıkça bisküvilerin Fe miktarının da arttığı Çizelge 4.12’den anlaşılmaktadır. Teff unu kullanılmadan hazırlanan bisküvide 1.30 mg/100 g olan Fe miktarı, %40 teff unu kullanımı ile 2.38 mg/100 g’a yükselmiştir (Çizelge 4.12). Abebe ve ark. (2007), teffin iyi bir Fe kaynağı olduğunu bildirmişlerdir.

Bisküvi örneklerinin Fe miktarı üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.10’da verilmiştir. Teff unu ilave oranı arttığında bisküvilerin Fe miktarları artmış ve farklı defitinizasyon yöntemleri uygulanarak hazırlanan teff unlarından üretilen bisküvilerin Fe miktarları arasındaki fark da açılmıştır. Farklı yöntemlerle defitinize edilmiş teff unu örnekleri içinde fitaz uygulanmış teff unu kullanımı tüm ilave oranlarında diğer örneklerle kıyasla daha fazla Fe artışı göstermiştir. Özellikle fitaz uygulanmış teff unu ile hazırlanan örneklerin %20 ve 30 oranında kullanılması ile hızla artış meydana gelmiş ve %40 oranında kullanılması büyük farkla en yüksek Fe miktarının elde edilmesini sağlamıştır.



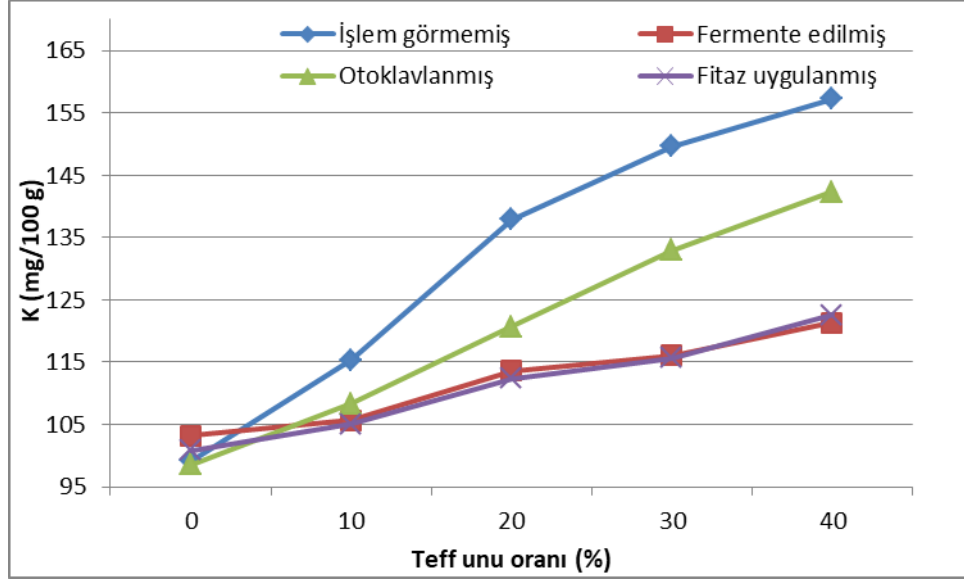
Şekil 4.10. Bisküvi örneklerinin Fe miktarı üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

Bisküvi örneklerinin K miktarı 98.60 mg/100 g ile 157.20 mg/100 g arasında değişmiş olup, ortalama 118.93 ± 17.00 mg/100 g olarak bulunmuştur (Çizelge 4.11).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından incelendiğinde; işlem görmemiş teff unu örneklerinin bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla en yüksek K miktarının elde edildiği ve bu örnekleri otoklavlama ile elde edilen teff unu örneklerinin takip etmekte olduğu Çizelge 4.12’den anlaşılmaktadır. Farklı defitinizasyon yöntemleriyle hazırlanan teff unları ile elde edilen örnekler içinde fermente edilerek ve fitaz uygulanarak hazırlanan teff unları ile elde edilen örnekler aynı grupta yer alarak en düşük K miktarını vermiştir.

Bisküvilerin K miktarları teff unu oranı faktörü açısından değerlendirildiğinde; formülasyonda artan teff unu oranına bağlı olarak bisküvilerin K miktarının da arttığı görülmektedir (Çizelge 4.12). Teff unu kullanılmadan hazırlanan bisküvide 100.45 mg/100 g olan K miktarı, %40 teff unu kullanımı ile 135.85 mg/100 g’a yükselmiştir. Bisküviye ilave edilen teff unu oranı arttıkça K miktarının artması, yapılan çalışmalarda teffin yüksek oranda K (427 mg/100 g) içermesine bağlanmıştır (Zhu, 2018).

Bisküvi örneklerinin K miktarı üzerinde önemli bulunan “*teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı*” interaksyonu Şekil 4.11’de verilmiştir. %10 teff unu ilave oranında fermente edilmiş, otoklavlanmış ve fitaz uygulanmış teff unları kullanılarak elde edilen bisküvi örneklerinin K miktarları birbirine yakın bulunmuştur. Tüm teff unu ilave oranları birlikte değerlendirildiğinde; işlem görmemiş teff unu ile elde edilen bisküvi örneklerinin büyük farkla en yüksek K miktarını verdiği görülmektedir. Teff unu ilave oranı arttıkça bisküvilerin K miktarları arasındaki fark açılmış olup; işlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan örneklerin K miktarını otoklavlanmış teff unu ile hazırlanan örnekler takip etmiştir. Fermente edilmiş ve fitaz uygulanmış teff unu ile hazırlanan örnekler ise tüm teff unu ilave oranlarında birbirlerine en yakın değerleri vererek en düşük K miktarına sahip olmuştur.



Şekil 4.11. Bisküvi örneklerinin K miktarı üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

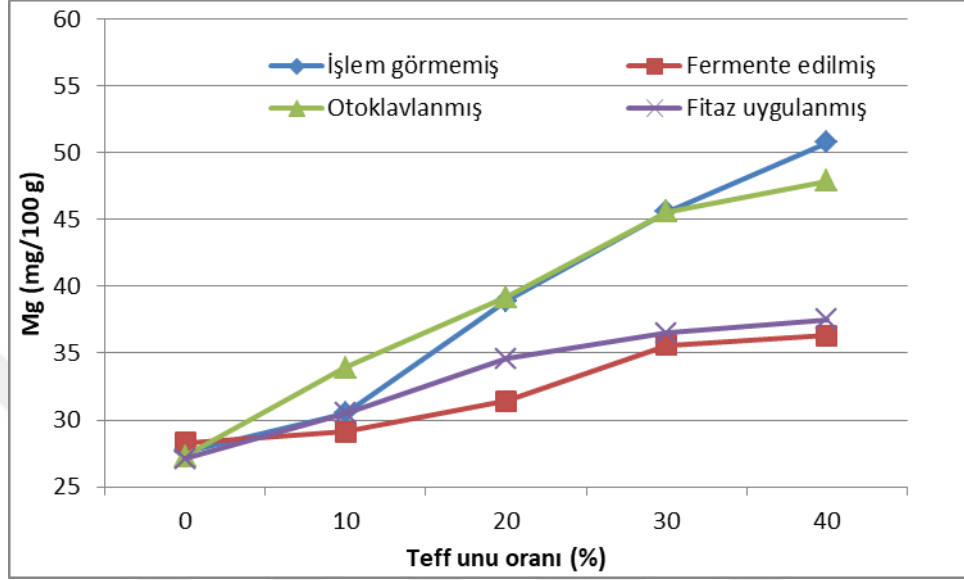
Farklı defitinizasyon uygulamaları ile elde edilen teff unlarının farklı oranlarda bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla hazırlanan bisküvi örneklerinin Mg miktarı 27.10 mg/100 g ile 50.80 mg/100 g arasında değişmiş ve ortalama 35.71 ± 7.20 mg/100 g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; işlem görmemiş ve otoklavlanmış teff unu örnekleri ile üretilen bisküvilerin aynı grupta yer aldığı ve en yüksek Mg miktarını verdiği anlaşılmaktadır (Çizelge 4.12). Bu örnekleri fitaz uygulanmış teff unu örnekleri ile üretilen bisküviler takip ederken, fermente edilmiş teff unu örnekleri ile üretilen bisküviler en düşük Mg miktarını vermiştir.

Sonuçlar teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; %0, 10, 20, 30 ve 40 teff unu kullanılan bisküvilerde ortalama Mg miktarı sırasıyla 27.58, 31.00, 36.03, 40.83 ve 43.13 mg/100 g olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12). Farklı defitimize yöntemleri kullanılarak hazırlanan teff unları kullanılarak üretilen bisküvi örneklerinde teff unu miktarı arttıkça Mg miktarı da artmıştır. Bu durum teff tohumunun yüksek Mg miktarına (184 mg/100 g) atfedilebilir (Zhu, 2018).

Bisküvi örneklerinin Mg miktarı üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.12’de verilmiştir. İşlem uygulanmamış ve otoklavlanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvilerin Mg miktarları teff unu ilave oranındaki artışa bağlı olarak hızlı bir artış gösterirken fitaz

uygulanmış ve fermente edilmiş teff unları ile hazırlanan bisküvi örneklerinin Mg miktarındaki artış sınırlı kalmıştır. Farklı defitinizasyon yöntemleri kullanılarak hazırlanan teff unları ile elde edilen örneklerde en fazla Mg miktarı işlem görmemiş teff ununun %40 oranında bisküvide kullanılmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Bisküvi örneklerinin Mg miktarı üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

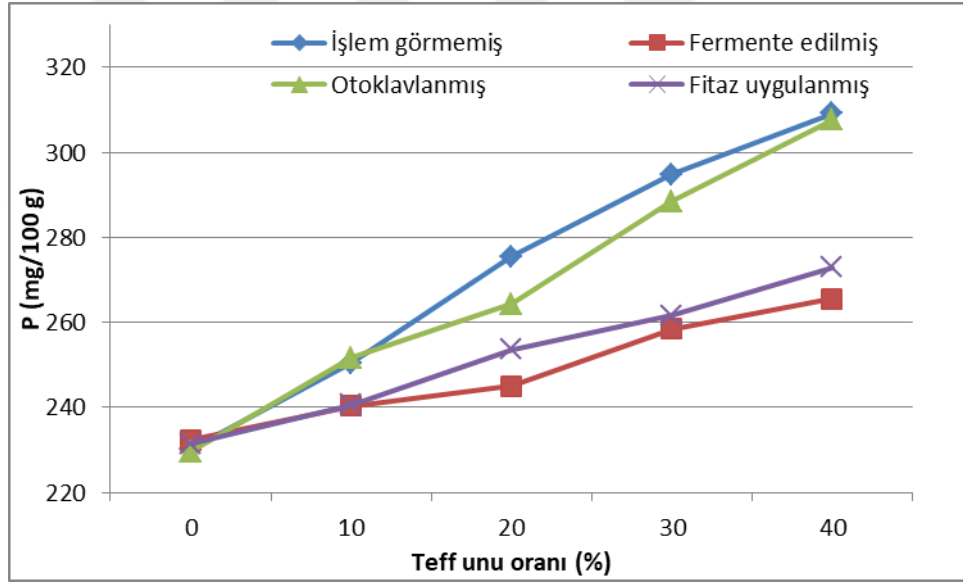
Farklı defitinizasyon yöntemleriyle hazırlanan teff unlarının farklı oranlarda, bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla üretilen bisküvilerin ortalama P miktarı 260.21 ± 24.88 mg/100 g olarak bulunmuştur. Bisküvilerde en düşük ve en yüksek P miktarı 229.60 mg/100 g ve 309.20 mg/100 g olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Sonuçlar teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; en yüksek P miktarı işlem görmemiş teff unu kullanılarak üretilen bisküvide elde edildirken, bunu otoklavlanmış teff unu kullanılarak üretilen bisküvi örnekleri izlemiştir. Fermente edilmiş teff unlarından üretilen bisküvilerin ise en düşük P miktarını verdiği Çizelge 4.12’den görülmektedir. Alemu (2009), yaptığı çalışmada fermantasyon işleminden sonra sorgumdaki P miktarının azaldığını tespit etmiş ve bunun sebebini mikroorganizmaların hidrolize elementlerin bir kısmını metabolik aktiviteleri için kullanmış ve dekantasyon yoluyla kaybedilmiş olabileceğine atfetmiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre bisküvi formülasyonunda kullanılan teff unu oranı arttıkça P miktarı da artmıştır. Teff unu kullanılmadan üretilen

bisküvide ortalama P miktarı 230.90 mg/100 g iken, %40 teff unu ilave oranında bu değer 288.85 mg/100 g olarak bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Bisküvi örneklerinin P miktarı üzerinde önemli bulunan “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu Şekil 4.13’te verilmiştir. %10 teff unu ilave oranında işlem görmemiş ve otoklavlanmış teff unu ile hazırlanan örnekler birbirine oldukça yakın bulunmuş ve aynı şekilde birbirine yakın bulunan fermente edilmiş ve fitaz uygulanmış teff unu içeren örneklerden daha yüksek P miktarı vermiştir. İşlem görmemiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküviler %20, 30 ve 40 ilave oranlarında en fazla artışı gerçekleştirmiş, otoklavlanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküviler ile genel olarak yakın değerler göstermiştir. Fermente edilmiş teff unu kullanılarak hazırlanan bisküviler ise tüm ilave oranlarında en düşük artışı gerçekleştirmiş ve fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküviler ile genel olarak yakın değerler göstermiştir.



Şekil 4.13. Bisküvi örneklerinin P miktarı üzerinde etkili “teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi x teff unu oranı” interaksyonu

Farklı defitinizasyon uygulamaları ile hazırlanan teff unları kullanılarak üretilen bisküvi örneklerinin ortalama Zn miktarı 0.61 ± 0.17 mg/100 g bulunmuş olup, 0.40 mg/100 g ile 0.90 mg/100 g arasında değişmiştir (Çizelge 4.11).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemi faktörü açısından değerlendirildiğinde; işlem görmemiş ve farklı defitinizasyon işlemleri uygulanarak elde edilmiş teff unlarından hazırlanan bisküvilerin Zn miktarları

bakımından aynı grupta yer aldığı ve teff ununa uygulanan defitinizasyon işlemlerinin sonuç olarak Zn miktarı üzerinde önemli ($p>0.05$) olmadığı anlaşılmaktadır (Çizelge 4.12).

Sonuçlar teff unu oranı açısından değerlendirildiğinde; teff unu kullanılmamış olan bisküvide 0.43 mg/100 g olan Zn miktarı, %40 teff unu kullanımı ile 0.85 mg/100 g'a yükselmiştir. %30-40 teff unu ilaveli bisküvilerin Zn miktarı, %0-20 teff unu ilaveli bisküvi örneklerinden daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.12). Bunun sebebi teffin, buğday ve diğer yaygın tahıllardan daha yüksek oranda Zn (2.3-6.7 mg/100 g) içermesine bağlanabilir (Mengesha, 1996; Baye ve ark., 2014).

Teff ununa uygulanan defitinizasyon yöntemlerinin mineral madde miktarlarını farklı şekilde etkilediği görülmektedir. İşlem görmemiş teff unu ilaveli bisküvilere göre fermente edilmiş teff unu ilaveli bisküvilerdeki K (131.84 mg/100 g'dan 111.98 mg/100 g'a), Mg (38.68 mg/100 g'dan 32.14 mg/100 g'a) ve P (272.04 mg/100 g'dan 248.38 mg/100 g'a) miktarlarındaki azalma fermentasyon işlemine ve fermentasyon işlemi sonrası uygulanan süzme işlemi ile kuru maddelerin suya geçmesine bağlanabilir (Nnam, 2001). İşlem görmemiş teff unu ilaveli bisküviye göre; teff ununa uygulanan otoklavlama işlemi ile bisküvilerdeki Ca (43.88 mg/100 g'dan 44.74 mg/100 g'a) miktarı artmış, K (131.84 mg/100 g'dan 120.56 mg/100 g'a) ve P (272.04 mg/100 g'dan 268.36 mg/100 g'a) miktarları ise azalmıştır. Otoklavlama işleminin gıdaların mineral miktarını artırdığı ya da koruduğu literatürde bildirilmiştir (Porres ve ark., 2003; Demir ve Elgün, 2014). Khalil (2001) guar fasulyesi (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) ve baklaya uyguladığı otoklavlama ve pişirme işlemi sonucu, guar fasulyesi ve baklanın mineral miktarlarında hafif bir azalmanın olduğunu bildirmiştir. Demir ve Elgün (2014) ise tam buğday kepeğinin mineral miktarının, otoklavlama işlemi ile arttığını belirlemişlerdir. Fitaz uygulanmış teff unu ilaveli bisküvilerde Fe miktarı (2.16 mg/100 g), işlem görmemiş teff unu ilaveli bisküvilere (1.72 mg/100 g) göre daha yüksek bulunmuştur. Akhter ve ark. (2012) eksojen fitaz ilavesi ile 12 çeşit buğday ununu defitimize etmişler ve defitinizasyon sonucu Fe biyoyararlılığındaki artışı %1.11-1.52 olarak bulmuşlardır.

Genel olarak bisküvilere ilave edilen işlem görmemiş ve defitimize edilmiş teff unu oranı arttıkça bisküvilerdeki mineral madde (Ca, Fe, K, Mg, P ve Zn) miktarlarının da arttığı görülmektedir. Bunun sebebi teff tohumunun doğal olarak yüksek oranlarda içerdiği mineral miktarıdır (Mengesha, 1996; Baye ve ark., 2014).

Sonuç olarak bu tez çalışmasında elde edilen işlem görmemiş ve defitimize edilmiş teff unu ile hazırlanan bisküvi örneklerinin mineral madde miktarlarına ait

sonuçlar literatür çalışmaları ile benzerlik göstermiştir. Fakat farklı sonuçların elde edildiği çalışmalar da bulunmaktadır. Bisküvi formülasyonunda kullanılan buğday unu ve diğer bileşenler, teff unu bileşimi ve oranı, uygulunan farklı defitinizasyon yöntemleri mineral madde miktarlarındaki farklılıklarda etkili olmuştur.

Rybicka ve Gliszczynska-Swiglo (2017) teff ununda yaptıkları analizlere göre 83.7 mg/100 g Ca, 370 mg/100 g K, 137 mg/100 g Mg, 1.3 mg/100 g Na, 0.52 mg/100 g Cu, 9.79 mg/100 g Fe, 4.02 mg/100 g Mn, 2.47 mg/100 g Zn bulmuştur. %31 oranında teff ilave edilen glutensiz mısır makarnasında ise 55.6 mg/100 g Ca, 234 mg/100 g K, 85.7 mg/100 g Mg, <0.01 mg/100 g Na, 0.17 mg/100 g Cu, 7.99 mg/100 g Fe, 2.87 mg/100 g Mn ve 1.33 mg/100 g Zn tespit etmişlerdir.

Hager ve ark. (2013) teff ununda yaptıkları mineral analizlerine göre; 154.30 mg/100 g Ca, 8.53 mg/100 g Fe, 4.15 mg/100 g Zn, 168.97 mg/100 g Mg, 382.77 mg/100 g Na ve 361.70 mg/100 g P tespit etmişlerdir. Hager ve ark. (2012) buğday, yulaf ve teff unundan makarna üretimi için en uygun formülasyonları belirlemek için çalışma yapmışlardır. Bu alışma sonucunda teff makarnasındaki mineral miktarı yulaf ve buğday makarnasına göre önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur.

Callejo ve ark. (2016) zayıf ve kuvvetli buğday unlarına, farklı oranlarda (%15 ve 30) beyaz ve kahverengi teff unu ilave ederek ekmek üretimi gerçekleştirmişlerdir. Ekmeklerde kullanılan teff unu oranı arttıkça Fe ve Zn miktarı da artmıştır.

Tess ve ark. (2015) teff ununu %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında pirinç unu ile yer değiştirerek hazırladıkları keklerde Fe miktarlarını sırasıyla 0.30, 3.49, 6.67, 9.86 ve 13.04 mg/100 g bulmuşlardır. Ca miktarları ise sırasıyla 58.90, 66.31, 73.73, 81.15 ve 88.57 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. Teff ununun pirinç unuyla yer değiştirilerek kullanılmasının Fe (%1047-4190) ve Ca (%30-50) miktarını artırdığı gözlemlenmiştir.

Ronda ve ark. (2015) buğday ekmeklerine kahverengi ve beyaz teff unu ilave etmişlerdir. %40 teff unu içeren ekmeklerin, %100 buğday unu içeren ekmeklere kıyasla 5-10 kat daha fazla Fe, 3 kat daha fazla Mn, 2 kat daha fazla Cu, Zn ve Mg ve 1.5 kat daha fazla Ca, K ve P içerdikleri bulunmuştur. Bu çalışmada buğday ve teff ekmekleri arasında en göze çarpan fark, özellikle beyaz tefften yapılan ekmeklerin önemli ölçüde Fe içermesi olmuştur.

Abebe ve ark. (2007) fermente edilmemiş teff hamurunda Zn, Fe ve Ca miktarlarını sırasıyla 1.38, 6.8 ve 65 mg/100 g; fermente edilmiş kahverengi teff ile hazırlanan injerada Zn, Fe ve Ca miktarlarını sırasıyla 1.75, 70.9 ve 76 mg/100 g olarak

tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın en önemli bulgularından biri, teffin ve fermente edilmiş tefften hazırlanan injeranın yüksek Fe miktarı olmuştur.

Dijkstra ve ark. (2008) fermente edilmemiş injera hamurunda Zn, Fe, Ca ve P miktarlarını sırasıyla 1.41, 30.3, 62.7 ve 179.9 mg/100 g olarak bulmuşlardır. Fermente edilmiş injera hamurunda ise bu miktarlar sırasıyla 1.16, 34.7, 61.4 ve 164 mg/100 g olarak tespit edilmiştir.

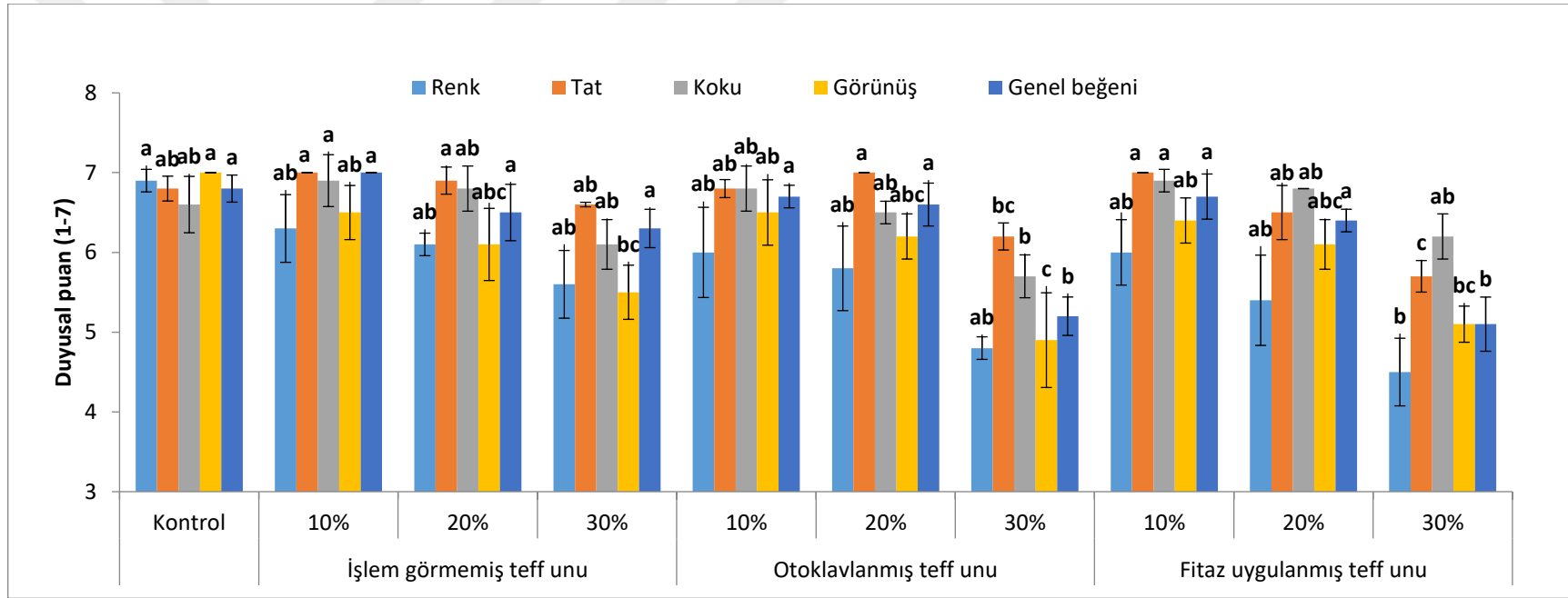
Urga ve Narasimha (1997) 1:16 (a/h) oranında karıştırılmış su ve teff unu karışımını, 220°C’de 96 saat fermentasyona tabi tutmuşlardır. Elde edilen ershoda da yapılan analizlere göre fermentasyon süresi arttıkça (0, 24, 48, 72 ve 96) tüm minerallerin (Ca, Fe ve P) önemli ölçüde ($p<0.05$) azaldığı rapor edilmiştir. Minerallerdeki en yüksek düşüş, 96 saatlik fermentasyondan sonra Fe miktarında (%43) görülmüştür. Ayrıca, 96 saat fermente edilen ershoda P ve Ca miktarlarının sırasıyla %35 ve 41 azaldığı tespit edilmiştir.

Hawa ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada farklı oranlarda teff, okara ve buğday unları kullanılarak 16 farklı bisküvi üretimi gerçekleştirilmiştir. Bisküvi örneklerinin Fe miktarı 6.20-7.30 mg/100 g, Zn miktarı 2.66- 2.88 mg/100 g, Ca miktarı ise 16.60-18.00 mg/100 g arasında değişmiştir. Bisküvilerde belirlenen en yüksek Fe ve Zn miktarının %40 teff unu içeren karışımlardan elde edilen bisküvilerde olduğu belirlenmiştir. Genel olarak bisküvilerde kullanılan teff unu ve okara unu oranına bağlı olarak mineral miktarlarının arttığı düşünülmektedir.

Garcia-Mantrana ve ark. (2014) buğday unu ile tam buğday ununu iki farklı oranda (%25 ve 50) tam amarant unu ile ikame ederek farklı fitaz enzimleri (fungal fitaz, *B. pseudocatenulatum*, ve *B. longum* spp. *infantis* fitaz) ilavesiyle ekmek üretimi gerçekleştirmişlerdir. Ekmek yapımı sırasında kullanılan bifidobakteriyel fitazlar bütün örneklerde fitik asit (inositol hekzafosfat) seviyelerini düşürerek fitik asit seviyelerinin insan beslenmesinde Fe ve Zn için mineral biyoyararlılık inhibisyonu eşiğinin altına düşmesine neden olmuştur.

4.2.7. Bisküvi örneklerine ait duyu analizi sonuçları

Farklı defitinizasyon uygulamaları ile hazırlanan teff unlarının farklı oranlarda bisküvi formülasyonunda kullanılmasıyla üretilen bisküvi örneklerinin duyu analizi sonuçları Şekil 4.14’de verilmiştir. Fermente teff unu kullanılarak üretilen bisküvi örnekleri ve %40 oranında işlem görmemiş, otoklavlanmış ve fitaz enzimi uygulanmış



Şekil 4.14. Bisküvi örneklerine ait duysal analiz sonuçları

teff unu ile hazırlanan bisküvi örnekleri yapılan ön değerlendirme sonucunda düşük puanlar aldıkları için duyuşal analizden çıkarılmıştır. Teknolojik ve duyuşal olarak daha çok kabul gören; işlem görmemiş, otoklavlanmış ve fitaz enzimi uygulanmış teff ununu %10, 20 ve 30 oranlarında içeren bisküviler değerlendirmeye alınmış ve teff unu içermeyen (%0) bisküvi de dahil edilerek duyuşal özellikler bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bisküvi örnekleri renk değerleri açısından karşılaştırıldığında; %30 fitaz uygulaması ile hazırlanmış teff unu içeren bisküvilerin kontrol (%0 teff unu) bisküviden daha düşük renk puanı aldığı görülmektedir. Diğer tüm teff unu oranları kontrol bisküvisi ile aynı grupta yer almıştır. 4.2.1 başlığı altında verilen bisküvi renk ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığında; bisküvi formülasyonunda artan teff unu oranına bağılı olarak L^* ve b^* değerlerindeki azalma ve a^* değerindeki artışın %30 fitaz uygulaması ile hazırlanmış teff unu içeren bisküviler hariç panalistleri olumsuz etkilemediği anlaşılmaktadır.

Sonuçlar tat puanı açısından değerlendirildiğinde; %30 oranlarında otoklavlanmış ya da fitaz uygulaması ile hazırlanmış teff unu içeren bisküvilerin tat puanlarının %10-20 işlem görmemiş teff unu, %20 otoklavlanmış teff unu ve %10 fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvilerin tat puanlarından düşük olduğu Sonuçlar tat puanı açısından değerlendirildiğinde; %30 oranlarında otoklavlanmış ya da fitaz uygulaması ile hazırlanmış teff unu içeren bisküvilerin tat puanlarının %10-20 işlem görmemiş teff unu, %20 otoklavlanmış teff unu ve %10 fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvilerin tat puanlarından düşük olduğu belirlenmiştir. Sadece %30 fitaz uygulaması ile hazırlanmış teff unu içeren bisküviler istatistiki olarak kontrol bisküviden daha düşük puanlarla değerlendirilmiştir. Diğer bisküviler kontrol ile aynı grupta yer almıştır. İstatistiki olarak aynı grupta yer almalarına rağmen, sayısal olarak %10-20 işlem görmemiş teff unu %20 otoklavlanmış teff unu ve %10 fitaz uygulanmış teff unu kullanılarak hazırlanan bisküvilerin tat puanları sayısal olarak kontrol bisküviden daha yüksek bulunmuştur. Düşük teff unu oranlarının tat skorunu olumlu yönde etkilediği anlaşılmaktadır.

Bisküvi örneklerinin koku puanları 5.7-6.9 arasında değişim göstermiştir. İstatistiki değerlendirmede; tüm bisküvi örnekleri koku puanı açısından kontrol bisküvi ile aynı grup içinde yer almışlardır. Bu durum işlem görmemiş ya da defitimize edilmiş teff unlarının tüm kullanım oranlarının koku üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olmadığını göstermektedir. Hatta %10 oranında işlem görmemiş teff unu ve %10 fitaz

uygulanmış teff unu kullanımı kontrol ile istatistiki olarak aynı grupta yer alsa da sayısal olarak daha yüksek puanlar toplayıp, tüketiciler tarafından daha fazla beğenilmiştir.

Farklı defitinizasyon yöntemleri kullanılarak defitinize edilen ve işlem görmemiş olarak kullanılan teff unları bisküvi örneklerinin görünüş puanları üzerinde etkili bulunmuştur. %30 işlem görmemiş, otoklavlanmış ve fitaz uygulanmış teff unları kullanılarak üretilen bisküvilerin görünüş puanları kontrol örnekten düşük bulunmuştur. Bu üç farklı teff ununun %10 ve 20 kullanım oranları ise görünüş puanı açısından kontrolle aynı grupta yer almıştır. Teff unlarının %20 kullanım oranına kadar bisküvilerin görünüş puanı üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmadığı söylenebilir.

Sonuçlar genel beğeni puanı açısından değerlendirildiğinde; %30 oranında otoklavlanmış ve fitaz uygulanmış teff unlarının hem kontrol örnekten hem de diğer bisküvi örneklerinden daha düşük genel beğeni puanlarına sahip olduğu görülmektedir. Ancak istatistiki olarak gerçekleşmiş olan bu düşüş, duyuşal skala açısından değerlendirildiğinde beğeni sınırları içinde kaldığı anlaşılmaktadır.

Daha sağlıklı gıda formülasyonları, yaygın olarak tüketilen gıdalara kıyasla daha zayıf tüketici kabulüne sahip olma eğiliminde olduğundan, özellikle yeni sağlıklı ürünlerin geliştirilmesi için duyuşal değerlendirmeler çok önemlidir (Lee ve ark., 2020).

Joung ve ark. (2017a) yaptıkları çalışmada teff ununu %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında bisküvi formülasyonuna dahil etmişler ve gerçekleştirilen duyuşal analiz sonuçlarına göre bisküvilerin renk/görünüş puanını; kontrol grubu, %75 ve 100 teff unu katkılı bisküvilerde yüksek bulmuşlardır. %25 ve 50 teff unu katkılı bisküvilerde renk/görünüş puanı ise nispeten düşük bulunmuştur. Teff unu katkılı bisküvilerde lezzet puanı artış gösterse de istatikselsel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Bu durum bisküvi yapımında kullanılan tereyağı aromasının, ana bileşenin lezzetinden daha güçlü olmasına bağlanmıştır. Kontrol grubu ile teff unu katkılı bisküviler arasında tatlılık, tuzlu tat, çiğneme ve genel kabul edilebilirlik açısından istatikselsel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmediği bildirilmiştir. Sonuç olarak bisküvilere teff unu ilavesinin renk/görünüş dışındaki diğer parametrelerin genel kabul edilebilirliği etkilemediği tespit edilmiştir.

Inglett ve ark. (2016) tarafından buğday unu, teff unu, teff unu-nutrim (%15 β -glukanlı yulaf hidrokolloidi), teff unu-yulaf kepeği konsantresi, teff unu-tam yulaf unu karışımlarını (4:1, a/a) kullanarak bisküvi üretimi gerçekleştirilen çalışmada duyuşal analiz sonuçlarına bakıldığında; bisküviler arasında doku, lezzet ve genel beğeni

arasında önemli bir farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir. Ancak %100 buğday unu katkılı bisküviler için renk puanları %100 teff unu ve teff unu-tam yulaf unu katkılı bisküvilere göre daha yüksek olarak bulunmuştur. Bu durum teff ve buğday unu arasındaki renk farklılığına bağlanmıştır. Genel olarak bu çalışmada yapılan duyusal değerlendirme, %100 teff unu-tam yulaf unu katkılı bisküvilerin her açıdan kabul edilebilir olduğunu göstermiştir.

Mohammed (2007) teff ununu belirli oranlarda buğday unu ile ikame ederek bisküvi üretiminde kullanmış ve renk puanının bisküvilere katılan teff unu oranı arttıkça (%0, 25, 50, 75 ve 100) azaldığını tespit etmiştir. Aroma ise bisküvilerde kullanılan teff unu yüzdesinin artışı ile yükselmiş ve böylece panelistlerin teff ununun kendine özgü aromasını beğendiği bildirilmiştir. Tat, doku, ağız hissi ve genel beğeni puanlarında en yüksek değerler kontrol bisküvi ve %25 teff unu içeren bisküvide elde edilmiştir. Genel beğeni puanı değerlendirildiğinde; kontrol, %25 ve 50 teff unu katkılı bisküvilerin panelistler tarafından tercih edildiği tespit edilmiştir. Diğer örneklerin kabul edilmemesinin sebebi ise artan teff unu ile bisküvide meydana gelen daha koyu kahverengi renk, alışılmadık tat ve sert dokuya bağlanmıştır.

Kenney ve ark (2011) teff ununu %25 ve 50 oranlarında glutensiz şekerli ve fıstık ezmesi bisküvi formülasyonlarına dahil ettikleri çalışmada duyusal analiz sonuçlarına göre bisküvilerin her iki teff oranında da görünüş, lezzet, aroma ve tat puanında herhangi bir farklılık gözlemlememişlerdir. Panelistler, genel olarak glutensiz şekerli bisküvilerde kontrol, %25 ve 50 teff katkılı bisküvileri tercih etmişlerdir. Bu sonuçlar, oldukça besleyici olan teff ununun iyi bir alternatif olabileceğini ve ayrıca glutensiz bisküvilerin tadını ve aromasını iyileştirebileceğini göstermektedir.

Haas ve ark. (2021) %100 teff unu; “%75 teff unu + %12.5 pirinç unu + %12.5 manyok nişastası”, “%50 teff unu + %25 pirinç unu + %25 manyok nişastası” ve “%25 teff unu + %37.5 pirinç unu + %37.5 manyok nişastası” kullanarak glutensiz kek üretimi gerçekleştirmişlerdir. Duyusal analiz sonuçlarında görünüş, renk ve koku özelliklerinde örnekler arasında önemli bir fark tespit edilememiştir. %100 teff unu içeren kekin en düşük lezzet puanını aldığı ve %100 teff unu içeren kek hariç diğer örneklerin yüksek genel beğeni puanı aldığı rapor edilmiştir. Keklerde teff unu kullanımının glutensiz beslenmede umut verici olduğu bildirilmiştir.

Minarovicova ve ark. (2019) teff ununu %0, 25, 50 ve 75 oranlarında pirinç unu ile ikame ederek kek üretiminde kullanmışlardır. Genel olarak duyusal analiz sonuçları; %25 ve 50 oranında teff ile zenginleştirilmiş keklerin renginin, kontrol örneğe göre

daha kabul edilebilir olduğunu göstermiştir. Keklerin lezzet puanı, %75 oranında teff katkılı kek haricinde, teff ilavesinden önemli derecede etkilenmemiştir. %25 ve 50 teff unu ile zenginleştirilmiş kekler, kontrol örneği ile benzer duysal tat puanına sahip bulunmuştur. Bununla birlikte panelistler teff katkılı kekleri tatlı ve lezzetli olarak tarif etmişlerdir. Panelistler yüksek orandaki teff katkılı keklerin kontrol örneğe göre daha sert ve daha az esnek olduğunu bildirmişlerdir. Yüksek oranlardaki teff ilavesinin, elde edilen keklerin genel beğeni puanının düşmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Pirinç ununun %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında teff unu ile ikame edilmesinin, glutensiz keklerin fiziksel, dokusal ve duysal özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği benzer bir çalışmada genel olarak teff unu ikamesinin %50'nin üzerine çıkması duysal açıdan keklerinin genel beğeni puanını düşürmüştür (Tess ve ark., 2015).

Villanueva ve ark. (2021) üç farklı teff çeşidinin (DZ-Cr-387, DZ-Cr-37 ve DZ-01-99) ve farklı oranlarının (%50, 75 ve 100) glutensiz ekmek özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Duysal analizlerde teff çeşidi ve ilave oranının ekmeğin genel beğeni puanı üzerinde bir etkisi olmadığı ve genel beğeni ile ekmek hacmi arasında pozitif bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Genel olarak ürünlerin duysal olarak kabul edilebilir puanlar aldığı tespit edilmiştir.

Ranasalva ve Visvanathan (2014) yaptıkları çalışmada pişirilmiş ve fermente edilmiş darıyı %50 ve 100 oranında bisküvide kullanmışlar ve elde edilen bisküvilerde duysal analiz gerçekleştirmişlerdir. Pişirilmiş ve fermente edilmiş darı ununun bisküviye katılma oranının artmasıyla bisküvilerin genel kabul edilebilirliğinin azaldığı bildirilmiştir.

Baumgartner ve ark. (2018) iki farklı yöntemle (fermantasyon ve hidrotermal) defitimize edilen yulaf kepeğinin %0, 7, 14 ve 21 oranında ilavesiyle hazırlanan bisküvilerde gerçekleştirilen duysal analiz sonucuna göre; işlenmemiş ve defitimize edilmiş yulaf kepeklerinin renk ve görünüş üzerindeki etkisi oldukça benzer bulunmuştur. Fakat defitimize edilmiş yulaf kepeğinin tadı ve dokuyu ciddi şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Fermente edilmiş yulaf kepeği önemli derecede daha yüksek diyet lifi miktarına sahip olsa da fermente edilmiş yulaf kepeği katkılı bisküvilerin genel kabul edilebilirliği, işlenmemiş yulaf kepeği ile benzer bulunmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada teff tohumunda doğal olarak bulunan fitik asit miktarının azaltılması amacıyla fermentasyon, otoklavlama ve fitaz enzimi uygulaması olmak üzere üç farklı defitinizasyon yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen teff unları ve işlem uygulanmamış teff unu farklı oranlarda (%0, 10, 20, 30 ve 40) bisküvi üretiminde kullanılarak bisküvilerin bazı fiziksel, kimyasal ve duyuşal özellikleri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Bisküvi üretiminde hammadde olarak kullanılan buğday unu ve işlem görmemiş teff unu renk değerleri açısından kıyaslandığında; tahmin edildiği gibi teff ununun buğday unundan daha düşük L^* ve daha yüksek a^* değerine sahip olduğu belirlenmiştir. İşlem görmemiş ve defitinize edilmiş teff unları arasında en düşük L^* ve en yüksek a^* ve b^* değeri otoklavlanmış teff ununda elde edilmiştir. Otoklavlanmış teff unundaki daha koyu ve daha kırmızı renk, ısıtıl işlem sonucu meydana gelen Maillard reaksiyonuna atfedilmiştir. Bununla birlikte fitaz uygulanmış teff unu, tüm teff unlarına göre daha açık renkli bulunmuştur. İşlem görmemiş teff unu; kül, protein, yağ, fitik asit, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değeri açısından buğday ununa göre oldukça yüksek değerler sergilemiştir. İşlem görmemiş ve defitinize edilmiş teff unları kimyasal özellikler açısından kıyaslandığında; üç farklı defitinizasyon yöntemi de unların nem miktarının düşmesine neden olmuştur. Bu düşüşte teff unlarına uygulanan defitinizasyon yöntemlerinden sonra yapılan kurutma işlemi etkili olmuştur. Fermente edilmiş teff ununun kül miktarı işlem görmemiş ve diğer yöntemlerle defitinize edilmiş teff unlarından daha düşük bulunmuştur. Teff unları arasında fitaz uygulanmış un daha düşük protein miktarına sahip bulunmuş, diğer taraftan teff unlarının yağ miktarları arasında bir fark belirlenmemiştir. Tüm teff unları arasında en yüksek fitik asit, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değeri işlem görmemiş teff unundan elde edilirken, fitik asiti düşürmede bütün yöntemlerin etkili olduğu ve bununla birlikte fermentasyon işleminin en etkili yöntem olduğu, bunu fitaz uygulamasının takip ettiği görülmüştür. Uygulanan fermentasyon, otoklavlama ve fitaz uygulaması sonrasında teff unlarında sırasıyla %86.59, 68.96 ve 85.33 oranında fitik asit kaybı meydana gelmiştir.

Bisküvilerin renk değerleri teff ununa uygulanan defitinizasyon yöntemleri açısından karşılaştırıldığında; fitaz uygulanmış teff unu ilaveli bisküviler en yüksek L^* ,

ve en düşük a^* ve b^* değerlerine sahip örnekler olmuştur. En koyu renkli bisküviler fermente edilmiş teff unu ilaveli bisküviler olarak belirlenmiştir. İşlem görmemiş ve defitinize edilmiş teff unu ilaveli bisküvilerdeki renk farklılıklarının sebebi hammadde olarak kullanılan teff unlarının rengi ve bisküvinin pişirilmesi esnasında gerçekleşen Maillard ve karamelizasyon reaksiyonları ile ilişkilendirilmiştir. Bisküvi formülasyonunda artan oranlarda teff unu kullanımı bisküvilerin parlaklığını ve sarılığını düşürmüş, kırmızılığını ise artırmıştır. Sonuç olarak teff ununun baskın rengi bisküvilerin renk değeri üzerinde de etkili olmuştur.

İşlem görmemiş teff unu ilaveli bisküvilerin çap ve yayılma oranı değerleri defitinize edilmiş teff unu ilaveli bisküvilerden daha yüksek, kalınlık değerleri ise daha düşük bulunmuştur. Özellikle otoklavlanmış teff unu ile hazırlanan örnekler en düşük çap değerini vermiştir. Bununla birlikte tüm teff unu ilaveli bisküviler sertlik değeri açısından kıyaslandığında; teff ununa uygulanan fermantasyon ve fitaz uygulaması işlemi bisküvilerin sertliğini işlem uygulanmamış teff unu ilaveli bisküvilerle göre artırmış, otoklavlama işlemi ise bisküvilerin sertliğini azaltmıştır. Otoklavlama işlemi sırasında gerçekleşen nişasta ve protein arasındaki kuvvetlerin lif varlığında zayıflaması sertliğin azalmasında etkili olmuş olabilir. Teff ununun bisküvi formülasyonunda artan oranda kullanılması bisküvinin çapını artırıp, kalınlığını düşürmüş ve bununla bağlantılı olarak yayılma oranını artırmış ve bisküvi sertliğini de düşürmüştür.

İşlem görmemiş teff unu ilaveli bisküvilerin nem ve kül miktarı defitinize teff unları ile hazırlanan bisküvilerden daha yüksek bulunmuştur. Bisküvi örneklerinin protein ve yağ miktarları arasında, teff ununa uygulanan defitinizasyon faktörü açısından önemli farklılıklar bulunmamıştır. Kimyasal analiz sonuçları teff unu ilave oranı açısından değerlendirildiğinde; artan teff unu oranına bağlı olarak nem miktarının düştüğü, kül ve yağ miktarının ise genel olarak arttığı görülmüştür.

İşlem görmemiş teff ununun, defitinize edilmiş teff unlarına kıyasla yüksek fitik asit ve toplam fenolik madde miktarı, elde edilen tüm bisküvi örneklerine yansımıştır. Fermente edilmiş, otoklavlanmış ve fitaz ilave edilmiş teff unu ilaveli bisküvilerdeki toplam fenolik madde miktarının daha düşük olması, otoklavlama işlemi sırasında gerçekleşen termal işlem sonucu fenolik maddelerin bozunması ve fermantasyon sonrası süzme işlemi ile ilişkilendirilmiştir. İşlem görmemiş teff unu ilaveli bisküvilerle göre fitik asit miktarındaki en fazla azalma fermente edilmiş (%70.55) ve fitaz uygulanmış (%70.51) teff unu ilaveli bisküvilerde görülmüştür. Bununla birlikte otoklavlama işlemi de fitik asit miktarının azaltılmasında etkili bir yöntem olmuş ve otoklavlanmış teff unu

ilaveli bisküvilerdeki fitik asit miktarı, işlem görmemiş teff unu ilaveli bisküvilere göre %53.39 oranında azalmıştır. Kısaca teff ununa uygulanan üç farklı defitinizasyon yöntemi de oldukça etkili olmuş, defitinizasyon yöntemleri ile işlem görmüş teff unu örneklerinde antibesinsel bir bileşen olan fitik asit miktarında belirgin düşüşler meydana gelmiştir. Tüm bisküvi örneklerinin antioksidan aktivite değerleri arasında ise istatistiki olarak önemli farklılıklar bulunmamıştır. Artan oranlarda teff unlarının bisküvi formülasyonunda kullanımı ile fitik asit, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değeri artmıştır. Teff tohumunun fenolik bileşikler ve özellikle kepeğinin fitik asit yönünden zengin olduğu bilinmektedir. Teff ununun bu özellikleri bisküvi örneklerine de yansımıştır.

Teff ununa uygulanan defitinizasyon yöntemlerinin mineral miktarları üzerindeki etkileri incelendiğinde; farklı defitinizasyon yöntemleri ile üretilen teff unu ilaveli bisküvilerdeki mineral madde miktarlarının farklı yönlerde etkilendiği, işlem görmemiş teff unu ilaveli bisküvilerin diğerlerinden daha yüksek K, Mg ve P içeriğine sahip olduğu, fermente edilmiş ve otoklavlanmış teff unu ilaveli bisküvilerin daha yüksek Ca içerdiği belirlenmiştir. Tüm bisküviler içinde, fermente teff unu ilaveli bisküvilerde en düşük değerlerde bulunan K, M ve P miktarları, fermente teff unu hazırlanırken fermentasyon işleminden sonra uygulanan süzme işlemi ile minarellerin bir kısmının suya geçmesi ile ilişkilendirilmiştir. Bisküvi formülasyonunda artan oranlarda teff unu kullanımı ile bisküvilerin Ca, Fe, K, Mg, P ve Zn miktarları da artmıştır. %40 teff unu kullanılarak üretilen bisküvilerin Ca, Fe, K, Mg, P ve Zn miktarı hiç teff unu kullanılmadan üretilen bisküvilere göre, %36.40, 83.08, 35.24, 56.38, 25.10 ve 97.67 oranında artmıştır. Teff ununun zengin mineral kompozisyonu üretilen bisküvilere yansımıştır.

Duyusal analiz sonuçlarına göre; teff unu kullanımı, fitaz uygulanmış %30 teff unu içeren bisküviler hariç renk üzerinde ve tüm kullanım oranlarında koku üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olmamıştır. İşlem görmemiş ya da defitinize edilmiş teff unlarının %20 kullanım oranına kadar bisküvilerin görünüş puanını etkilemediği görülmüştür. Diğer taraftan düşük teff unu oranlarının tat puanını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Genel beğeni puanı açısından değerlendirildiğinde ise %30 oranında otoklavlanmış ve fitaz uygulanmış teff unu içeren örneklerin, hem kontrol örnekten hem de diğer bisküvi örneklerinden daha düşük genel beğeni puanlarına sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak %20 teff unu kullanım oranına kadar duyusal açıdan genel kabul edilebilirliği yüksek bisküviler elde edilebilmiştir.

5.2. Öneriler

1. Antibesinsel bir bileşen olan ve kalsiyum, demir, magnezyum gibi beslenme açısından öneme sahip mineralleri bağlayarak vücutta sindirilebilirliklerini azaltan, protein emilimine engel olabilen fitik asitin farklı fiziksel veya kimyasal yöntemlerle gıdadan uzaklaştırılması gıdanın besin değerini iyileştirmektedir. Fermentasyon ve fitaz ilavesi teff ununda bulunan fitik asitin uzaklaştırılması açısından en etkili yöntemler olarak bulunmuştur. Bu çalışmada üç farklı defitinizasyon metodu denenmiştir. Teffin defitinizasyonu için ileriki çalışmalarda farklı defitinizasyon metotlarının da uygulanarak, besinsel ve teknolojik kalite üzerindeki etkilerinin araştırılması bilime ve fonksiyonel gıda endüstrisine katkı sağlayacaktır.

2. Ülkemizde teff tohumu ile ilgili yapılan bilimsel çalışma sayısı oldukça azdır. Ticari ürün olarak da gıda endüstrisindeki uygulamaları sınırlıdır. Teff ununun farklı formlarda gıda formülasyonlarında kullanımı fonksiyonel gıda endüstrisine yeni ürün kazandırılması açısından önemli bulunmuştur.

3. Teff tohumunun glutensiz ürün formülasyonlarında kullanılabilecek alternatif bir bileşen olması nedeniyle, glutensiz ürün üzerinde yapılan çalışmalarda değerlendirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AACC, American Association of Cereal Chemists, 2010, Approved Methods of the AACC, 8th ed., St. Paul, MN, USA.
- Abbas, Y. and Ahmad, A., 2018, Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: a review, *Annals. Food Science and Technology*, 19 (2), 195-210.
- Abebe, Y., Bogale, A., Hambidge, K. M., Stoecker, B. J., Bailey, K. and Gibson, R. S., 2007, Phytate, zinc, iron and calcium content of selected raw and prepared foods consumed in rural sidama, Southern Ethiopia, and implications for bioavailability, *Journal of Food Composition and Analysis*, 20 (3-4), 161-168.
- Adebawale, A. A., Emmambux, M. N., Beukes, M. and Taylor, J., 2011, Fractionation and characterization of teff proteins, *Journal of Cereal Science*, 54 (3), 380-386.
- Adeyeye, S. A. O., Adebayo-Oyetoro, A. O., Fayemi, O. E., Tihamiyu, H. K., Oke, E. K. and Soretire, A. A., 2019, Effect of co-fermentation on nutritional composition, anti-nutritional factors and acceptability of cookies from fermented sorghum (*Sorghum bicolor*) and soybeans (*Glycine max*) flour blends, *Journal of Culinary Science & Technology*, 17 (1), 59-74.
- Adom, K. K. and Liu, R. H., 2002, Antioxidant activity of grains, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6182-6187.
- Ahn, H. J., Kim, J. H., Yook, H. S. and Byun, M. W., 2003, Irradiation effects on free radical scavenging and antioxidant activity of phytic acid, *Journal of Food Science*, 68 (7), 2221-2224.
- Akdeniz, V., Kınık, Ö., Yerlikaya, O. ve Akan, E., 2016, İnsan sağlığı ve beslenme fizyolojisi açısından çinkonun önemi, *Akademik Gıda*, 14 (3), 307-314.
- Akhter, S., Saeed, A., Irfan, M. and Malik, K. A., 2012, *In vitro* dephytinization and bioavailability of essential minerals in several wheat varieties, *Journal of Cereal Science*, 56 (3), 741-746.
- Alaunyte, I., Stojceska, V., Plunkett, A., Ainsworth, P. and Derbyshire, E., 2012, Improving the quality of nutrient-rich teff (*Eragrostis tef*) breads by combination of enzymes in straight dough and sourdough breadmaking, *Journal of Cereal Science*, 55 (1), 22-30.
- Alemu, M. K., 2009, The effect of natural fermentation on some antinutritional factors, minerals, proximate composition and sensory characteristics in sorghum based weaning food, *University of Addis Ababa*, Ethiopia.
- Al-Kaisey, M. T., Alwan, A. K. H., Mohammad, M. H. and Saeed, A. H., 2003, Effect of gamma irradiation on antinutritional factors in broad bean, *Radiation Physics and Chemistry*, 67, 493-496.

- Ambaw, A., 2013, Determination of iron fractions of laboratory threshed and field threshed teff injera, *University of Addis Ababa*, Ethiopia.
- Amentae, T., Tura, E., Tura, G., David, G. and David, L., 2016, Exploring value chain and postharvest losses of teff in Bacho and Dawo districts of central Ethiopia, *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 7, 11–28.
- Ameur, L. A., Mathieu, O., Lalanne, V., Trystram, G. and Birlouez-Aragon, I., 2007, Comparison of the effects of sucrose and hexose on furfural formation and browning in cookies baked at different temperatures, *Food Chemistry*, 101 (4), 1407–1416.
- Angin, E., 2016, Osteoporozda fizyoterapi, *Fizyoterapi Rehabilitasyon Genel Fizyoterapi*, Ankara, 435–42.
- Anson, N., M., van den Berg, R., Havenaar, R., Bast, A. and Haenen, G. R. M. M., 2008, Ferulic acid from aleurone determines the antioxidant potency of wheat grain (*Triticum aestivum* L.), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 5589–5594.
- Antony, U. and Chandra, T. S., 1998, Antinutrient reduction and enhancement in protein, starch, and mineral availability in fermented flour of finger millet (*Eleusine coracana*), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (7), 2578–2582.
- Arendt, E. K. and Zannini, E., 2013, Teff. Cereal grains for the food and beverage industries, *Food Science Technology and Nutrition*, 351–368, 369.
- Assefa, K., Cannarozzi, G., Girma, D., Kamies, R., Chanyalew, S. and Plaza-Wüthrich, S., 2015, Genetic diversity in tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter], *Frontiers Plant Science*, 6, 177.
- Assefa, Y., Emire, S., Villanueva, M., Abebe, W. and Ronda, F., 2018, Influence of milling type on tef injera quality, *Food Chemistry*, 266, 155–160.
- Asselman, A., van Straten, G., Boom, R. M., Esveld, D. C. and van Boxtel, A. J. B., 2007, Quality prediction of bakery products in the initial phase of process design, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8 (2), 285–298.
- Aune, D., Keum, N., Giovannucci, E., Fadnes, L. T., Boffetta, P., Greenwood, D. C., ... Norat, T., 2016, Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies, *BMJ*, 353, 1–14.
- Awika, J. M. and Duodu, K. G., 2017, Bioactive polyphenols and peptides in cowpea (*Vigna unguiculata*) and their health promoting properties: a review, *Journal of Functional Foods*, 38, 686–697.
- Awika, J. M. and Rooney, L. W., 2004, Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health: a review, *Phytochemistry*, 65, 1199–1221.

- Babaoğlu, H., 2021, Defitinize buğday ve yulaf kepeği katkılı unlara ekşi hamur ilavesi ile üretilen ekmeklerin kalitesinin ve fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi, Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Baruah, K., Sahu, N. P., Pal, A. K., Jain, K. K., Debnath, D. and Yengkokpam, S., 2007, Interactions of dietary microbial phytase, citric acid and crude protein level on mineral utilization by Rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), Juveniles, *Journal of World Aquaculture Society*, 38 (2), 238–249.
- Bassiri, A. and Nahapetian, A., 1977, Differences in concentrations and interrelationships of phytate phosphorus, magnesium, calcium, zinc and iron in wheat varieties grown under dryland and irrigated conditions, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25, 1118-1130.
- Baublis, A., Decker, E. A. and Clydesdale, F. M., 2000, Antioxidant effects of aqueous extracts from wheat-based ready-to-eat breakfast cereals, *Food Chemistry*, 68, 1–6.
- Baumgartner, B., Özkaya, B., Saka, I. and Özkaya, H., 2018, Functional and physical properties of cookies enriched with dephytinized oat bran, *Journal of Cereal Science*, 80, 24-30.
- Baye, K., Guyot, J. P., Icard-Verniere, C., Rochette, I. and Mouquet-Rivier, C., 2015, Enzymatic degradation of phytate, polyphenols and dietary fibers in ethiopian injera flours: effect on iron bioaccessibility, *Food chemistry*, 174, 60-67.
- Baye, K., Mouquet-Rivier, C., Icard-Verniere, C., Picq, C. and Guyot, J. P., 2014, Changes in mineral absorption inhibitors consequent to fermentation of Ethiopian injera: implications for predicted iron bioavailability and bioaccessibility, *International Journal of Food Science & Technology*, 49 (1), 174-180.
- Baye, K., Mouquet-Rivier, C., Icard-Verniere, C., Rochette, I. and Guyot, J. P., 2013, Influence of flour blend composition on fermentation kinetics and phytate hydrolysis of sourdough used to make injera, *Food chemistry*, 138 (1), 430-436.
- Bedane, G. M., Saukuru, A. M., George, D. L. and Gupta, M. L., 2015, Evaluation of teff (*Eragrostis tef* [Zucc.] Trotter) lines for agronomic traits in Australia, *Australian Journal of Crop Science*, 9 (3), 242.
- Bekabil, F., Befekadu, B., Simons, R. and Tareke, B., 2011, Strengthening the tef value chain in ethiopia, Ethiopian ATA, *Ethiopian Agricultural Transformation Agency*, Table off arm level profitability analysis.
- Bekele, E., Fido, R. J., Tatham, A. S. and Shewry, P. R. 1995, Heterogeneity and polymorphism of seed proteins in teff (*Eragrotis Tef*), *Hereditas*, 122 (1), 67-72.
- Bektaş, M., 2018, Farklı proses koşullarının bazı tahıl ve baklagillerdeki fitik asit düzeyi ve biyoyararlanım üzerindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gümüşhane.

- Belay, G., Tefera, H., Tadesse, B., Metaferia, G., Jarra, D. and Tadesse, T., 2006, Participatory variety selection in the Ethiopian cereal tef (*Eragrostis tef*), *Experimental Agriculture*, 42 (1), 91.
- Beta, T., Nam, S., Dexter, J. E. and Sapirstein, H. D., 2005, Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions, *Cereal Chemistry*, 82, 390-393.
- Bhaduri, S., 2013, A comprehensive study on physical properties of two gluten-free flour fortified muffins, *Journal of Food Processing and Technology*, 4 (8), 1-4.
- Bilgiçli, N. and Elgün, A., 2005, Changes in some physical and nutritional properties of tarhana, a Turkish fermented cereal food, added various phytase sources, *Food Science and Technology International*, 11 (5), 383-389.
- Bilgiçli, N., 2002, Fitik asitin beslenme açısından önemi ve fitik asit miktarı düşürülmüş gıda üretim metotları, *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16 (30), 79-83.
- Bilgiçli, N., 2004, Tarhananın fitik asit miktarı ve bazı besin öğeleri üzerine maya, malt ve fitaz katkılarının etkileri, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Bilgiçli, N., 2009, Effects of cooking and drying processes on physical, chemical and sensory properties of legume based bulgur, *Journal of Food Processing and Preservation*, 33 (5), 590-604.
- Bilgiçli, N., Elgün, A. and Türker, S., 2006, Effects of various phytase sources on phytic acid content, mineral extractability and protein digestibility of tarhana, *Food chemistry*, 98 (2), 329-337.
- Bindu, S. and Varadaraj, M. C., 2005, Process for the preparation of Chapathi dough with reduced phytic acid level, U. S. Patent Application, 10/813,574.
- Blandino, A., Al-Aseeri, M. E., Pandiella, S. S., Cantero, D. and Webb, C., 2003, Cereal-based fermented foods and beverages, *Food Research International*, 36, 527– 543.
- Bokhari, F. E., Derbyshire, W., Brennan, Li, C. S. and Stojceska, V., 2012, A study to establish whether food-based approaches can improve serum iron levels in child-bearing aged women, *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 25 (1), 95-100.
- Brnic, M., Wegmüller, R., Zeder, C., Senti, G. and Hurrell, R. F., 2014, Influence of phytase, EDTA, and polyphenols on zinc absorption in adults from porridges fortified with zinc sulfate or zinc oxide, *The Journal of Nutrition*, 144 (9), 1467-1473.
- Brocades, G., 1991, DNA sequence encoding phytase, Pat. EP, 420, 358.
- Bultosa, G. and Taylor, J. R. N., 2004, Teff. In C. Wrigley, H. Corke, C.E. Walker (Eds.), *Encyclopedia of grain science*, Oxford: Elsevier Academic Press, 281-290.

- Bultosa, G., 2007, Physicochemical characteristics of grain and flour in 13 tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] grain varieties, *Journal of Applied Science Research*, 3 (12), 2042-2051.
- Bultosa, G., 2016, Teff:overview, *Encyclopedia of food grains*, Oxford: Elsevier, 209-220.
- Callejo, M. J., Benavente, E., Ezpeleta, J. I., Laguna, M. J., Carrillo, J. M. and Rodriguez-Quijano, M., 2016, Influence of teff variety and wheat flour strength on breadmaking properties of healthier teff-based breads, *Journal of Cereal Science*, 68, 38-45.
- Campo, E., del Arco, L., Urtasun, L., Oria, R. and Ferrer-Mairal, A., 2016, Impact of sourdough on sensory properties and consumers preference of gluten-free breads enriched with teff flour, *Journal of Cereal Science*, 67, 75-82.
- Castro-Alba, V., Lazarte, C. E., Perez-Rea, D., Carlsson, N. G., Almgren, A., Bergenstahl, B. and Granfeldt, Y., 2019, Fermentation of pseudocereals quinoa, canihua, and amaranth to improve mineral accessibility through degradation of phytate, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (11), 5239-5248.
- Chamani, M., Molaei, M., Foroudy, F., Janmohammadi, H. and Raisali, G., 2009, The effect of autoclave processing and gamma irradiation on apparent ileal digestibility in broiler breeders of amino acids from canola meal, *African Journal of Agricultural Research*, 4 (7), 592-598.
- Chavan, J. K., Kadam, S. S. and Beuchat, L. R., 1989, Nutritional improvement of cereals by fermentation, *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 28 (5), 349-400.
- Cherie, Z., Ziegler, G. R., Gemede, H. F. and Woldegiorgis, A. Z., 2018, Optimization and modeling of teff-maize-rice based formulation by simplex lattice mixture design for the preparation of brighter and acceptable injera, *Cogent Food & Agriculture*, 4 (1), 1443381.
- Cheryan, M., 1980, Phytic acid interactions in food systems, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 13, 297–355.
- Cheryan, M., Anderson, F. W. and Grynspan, F., 1983, Magnesium–phytate complexes – effect of pH and molar ratio on solubility characteristics, *Cereal Chemistry*, 60 (3), 235–237.
- Cho, H. S. and Kim, K. H., 2013, Quality characteristics of cookies prepared with loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) leaf powder, *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42 (11), 1799-1804.
- Christ-Ribeiro, A., Chiattoni, L. M., Mafaldo, C. R., Badiale-Furlong, E. and de Souza-Soares, L. A., 2020, Fermented rice-bran by *Saccharomyces cerevisiae*: nutritious ingredient in the formulation of gluten-free cookies, *Food Bioscience*, 100859.
- Christ-Ribeiro, A., da Silva Graça, C., Chiattoni, L. M., Massarolo, K. C., Duarte, F. A., de Las Sallas Mellado, M. and de Souza Soares, L. A., 2017, Fermentation

- process in the availability of nutrients in rice bran, *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2347-2286.
- Coleman, J., Abaye, A., O., Barbeau, W. and Thomason, W., 2013, The suitability of teff flour in bread, layer cakes, cookies and biscuits, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64 (7), 877-881.
- Cromwell, G. I., Coffey, R. D., Parker, G. R., Monegue, H. J. and Randolph, J. H., 1995, Efficacy of a recombinant-derived phytase in improving the bioavailability of phosphorus in corn-soybean meal diets for pigs, *Journal of Animal Sciences*, 71, 1831-1840.
- Cuadrado, C., Ayet, G., Robredo, L. M., Tabera, J., Villa, R., Pedrosa, M. M., Burbano, C. and Muzquiz, M., 1996, Effect of natural fermentation on the content of inositol phosphates in lentils, *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 203, 268-271.
- Çay, P., 2008, Kepekli ekmeğin fitik asit miktarına prosesin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Çiftçi, S., 2018, Yağı azaltılmış bisküvi üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- D'Souza, S. W., Lakhani, P., Waters, H. M., Boardman, K. M. and Cinkotai, K. I., 1987, Iron deficiency in ethnic minorities: associations with dietary fibre and phytate, *Early Human Development*, 15, 103-111.
- Daelemans, L., Pannecoucke, C., De Bock, P., De Leyn, I., Camerlinck, M. and Bockstae, F.V., 2019, Gluten free cakes and cookies with pseudocereal and teff, Ghent University, Department of Food Technology, *Safety and Health*, Belgium.
- Davidsson, L., Zeder, C., Walczyk, T. and Hurrell, R., 1995, Dephytinisation of a complementary food based on wheat and soy increases zinc, but not copper, apparent absorption in adults, Lab. For Human Nutrition, *Institute of Food Science and Nutrition*, Swiss Federal Institute of Techn. Zurich, 8803 Rüschlikon, Switzerland.
- De Oliveira Silva, F., Miranda, T. G., Justo, T., da Silva Frasao, B., Conte-Junior, C. A., Monteiro, M. and Perrone, D., 2018, Soybean meal and fermented soybean meal as functional ingredients for the production of low-carb, high-protein, high-fiber and high isoflavones biscuits, *LWT*, 90, 224-231.
- De Silva, L. G., Trugo, L. C., Terzi, S. C. and Couri, S., 2005, Low phytate lupin flour based biomass obtained by fermentation with a mutant of *Aspergillus niger*, *Process Biochemistry*, 40, 951-954.
- Delcour, J. A., Bruneel, C., Derde, L. J., Gomand, S. V., Pareyt, B., Putseys, J. A., ... and Lamberts, L., 2010, Fate of starch in food processing: from raw materials to final food products, *Annual Review of Food Science and Technology*, 1, 87-111.

- Demir, M. K. and Elgün, A., 2014, Comparison of autoclave, microwave, IR and UV-C stabilization of whole wheat flour branny fractions upon the nutritional properties of whole wheat bread, *Journal of food science and technology*, 51 (1), 59-66.
- Demir, M. K., 2010, Bazı fiziksel uygulamaların tam buğday ununun depolama stabilitesi, ekmekçilik kalitesi ve besinsel özelliklerine etkisi üzerine araştırmalar, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Demir, M. K., 2015, Bisküvi üretiminde tam buğday unu ve paçallarının kullanımı, *Journal of Agricultural Sciences*, 21 (1), 100-107.
- Devos, P., 1988, Nutritional value of lentils and chickpeas and changes during processing, Lentils for Everyone Symposium, Muğla, 174-196.
- Dewanto, V., Wu, X. and Liu, R. H., 2002, Processed sweet corn has higher antioxidant activity, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50, 4959–4967.
- Dhankher, N. and Chauhan, B. M., 1987, Effect of temperature and fermentation time on phytic acid and polyphenol content of rabadi—a fermented pearl millet food, *Journal of Food Science*, 52 (3), 828-829.
- Dijkstra, A., Polman, J., van Wulfften-Palthe, A., Gamboa, P. A. and van Ekris, L., 2008, Survey on the nutritional and health aspects of teff (*Eragrostis Tef*), *Memorias, Red-Alfa Lagrotech, Omunidad Europea*, Cartagena.
- Dinç, A. and Eryavuz, M., 2002, Osteoporosis and dietary factors, *Turkish Journal of Osteoporosis*, 8:89-93.
- Dingeo, C., Difonzo, G., Paradiso, V. M., Rizzello, C. G. and Pontonio, E., 2020, Teff type-I sourdough to produce gluten-free muffin, *Microorganisms*, 8 (8), 1149.
- Dordevic, T. M., Siler-Marinkovic, S. S. and Dimitrijevic-Brankovic, S. I., 2010, Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals, *Food chemistry*, 119 (3), 957-963.
- Dost, K. ve Tokul, Ö., 2005, Doğal ürünlerde fitik asit (inositol hegza fosforik asit) analizleri, *XIX. Ulusal Kimya Kongresi*, Kuşadası.
- Duenas, M., Sanchez-Acevedo, T., Alcalde-Eon, C. and Escribano-Bailon, M. T., 2021, Effects of different industrial processes on the phenolic composition of white and brown teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter), *Food Chemistry*, 335, 127331.
- Dykes, L. and Rooney L. W., 2007, Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits, *Cereal Foods World*, 52, 105–111.
- EATA (Ethiopian Agricultural Transformation Agency), 2016, Agricultural Transformation Agenda, *Annual Report 2015-2016*, <http://www.ata.gov.et/> [Ziyaret Tarihi: 11.11.2020].
- Egli, I., Davidsson, L., Juillerat, M. A., Barclay, D. and Hurrell, R. F., 2003, Phytic acid degradation in complementary foods using phytases naturally occurring in whole grain cereals, *Journal of Food Science*, 68,5, 1855-1859.

- Egounlety, M. and Aworh, O. C., 2003, Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms), *Journal of Food Engineering*, 56 (2-3), 249-254.
- El-Alfy, T. S., Ezzat, S. M. and Sleem, A. A., 2012, Chemical and biological study of the seeds of *Eragrostis Tef* (Zucc.) Trotter, *Natural Product Research*, 26 (7), 619-629.
- Emmons, C. L., Peterson, D. M. and Paul, G. L., 1999, Antioxidant capacity of oat (*Avena sativa* L.) extracts 2. *in vitro* antioxidant activity and contents of phenolic and tocol antioxidants, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 4894–4898.
- Erduran, E., 2010, Türkiye’de demir eksikliği anemisi ve güncel yaklaşım, *Türk Hematoloji Derneği*.
- Ertaş, N., 2015, Effect of wheat bran stabilization methods on nutritional and physico-mechanical characteristics of cookies, *Journal of Food Quality*, 38 (3), 184-191.
- ESA (Ethiopian Standard Agency), 2012, Teff seed specification; ES 416: 2000, *University of Addis Ababa*, Ethiopia: ESA.
- Faridi, H., Gaines, C. S. and Strouts, B. L., 2000, Soft wheat products, *Handbook of Cereal Science and Technology*, 575-614.
- Feddern, V., Furlong, E. B. and Soares, L. A. D. S., 2007, Efeitos da fermentação nas propriedades físico-químicas e nutricionais do farelo de arroz, *Food Science and Technology*, 27, 800-804.
- Feil, B., 2001, Phytic acid, *Journal of New Seeds*, 3 (3), 1-35.
- Findenegg, G. R. and J. A. Nelemans, 1993, The effect of phytase on the availability of P from myo-inositol hexaphosphate (phytate) for maize roots, *Plant Soil*, 154, 189-196.
- Fischer, M. M., Egli, I. M., Aeberli, I., Hurrell, R. F. and Meile, L., 2014, Phytic acid degrading lactic acid bacteria in tef-injera fermentation, *International Journal of Food Microbiology*, 190, 54-60.
- Fontaine, J., Zimmer, U., Moughan, P. J. and Rutherfurd, S. M., 2007, Effect of heat damage in an autoclave on the reactive lysine contents of soy products and corn distillers dried grains with solubles, Use of the results to check on lysine damage in common qualities of these ingredients, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (26), 10737-10743.
- Forsido, S. F., Rupasinghe, H. V. and Astatkie, T., 2013, Antioxidant capacity, total phenolics and nutritional content in selected ethiopian staple food ingredients, *International Journal of Food Science Technology Nutrition*, 64 (8), 915-920.

- Frias, J., Doblado, R., Antezana, J. R. and Vidal-Valverde, C., 2003, Inositol phosphate degradation by the action of phytase enzyme in legume seeds, *Food Chemistry*, 81, 233-239.
- Frontela, C., Haros, J. F., Ros, G. and Martinez, C., 2008, Effect of dephytinization and follow-on formula addition on *in vitro* iron, calcium, and zinc availability from infant cereals, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (10), 3805-3811.
- Gallegos-Infante, J. A., Bello-Perez, L. A., Rocha-Guzman, N. E., Gonzalez-Laredo, R. F. and Avila-Ontiveros, M., 2010, Effect of the addition of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour on the *in vitro* digestibility of starch and undigestible carbohydrates in spaghetti, *Journal of Food Science*, 75 (5), 151-156.
- Gamez-Meza, N., Noriega-Rodrigues, J. A., Medina-Juarez, L. A., Ortega Garcia, J., Cazarez-Casanova, R. and Angulo-Guerrero, O., 1999, Antioxidant activity in soybean oil of extracts from thompson grape bagasse, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 76, 1445-1447.
- Garcia-Mantrana, I., Monedero, V. and Haros, M., 2014, Application of phytases from bifidobacteria in the development of cereal-based products with amaranth, *European Food Research and Technology*, 238 (5), 853-862.
- Gebremariam, M. M., Zarnkow, M. and Becker, T., 2014, Teff (*Eragrostis tef*) as a raw material for malting, brewing and manufacturing of gluten-free foods and beverages: a review, *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2881-2895.
- Gebbru, Y. A., Sbhatu, D. B. and Kim, K. P., 2020, Nutritional composition and health benefits of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter), *Journal of Food Quality*.
- Girma, D., Assefa, K., Chanyalew, S., Cannarozzi, G., Kuhlemeier, C. and Tadele, Z., 2014, The origins and progress of genomics research on tef (*Eragrostis tef*), *Plant Biotechnology Journal*, 12 (5), 534-540.
- Giuberti, G., Gallo, A., Fiorentini, L., Fortunati, P. and Masoero, F., 2016, *In vitro* starch digestibility and quality attributes of gluten free 'tagliatelle' prepared with teff flour and increasing levels of a new developed bean cultivar, *Starch/Starke*, 68 (3-4), 374-378.
- Gobbetti, M., de Angelis, M., Corsetti, A. and Di Cagno, R., 2005, Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria, *Trends in Food Science & Technology*, 16 (1-3), 57-69.
- Gomez, M., Moraleja, A., Oliete, B., Ruiz, E. and Caballero, P. A., 2010, Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes, *LWT - Food Science and Technology*, 43 (1), 33-38.
- Gonzales, G. B., Smagghe, G., Raes, K. and Van Camp, J., 2014, Com-bined alkaline hydrolysis and ultrasound-assisted extraction for the release of nonextractable phenolics from cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) waste, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 3371-3376.

- Greiner, R. and Konietzny, U., 1999, Improving enzymatic reduction of myo-inositol phosphates with inhibitory effects on mineral absorption in black beans (*Phaseolus vulgaris* var *Preto*), *Journal of Food Processing and Preservation*, 23, 249–261.
- Greiner, R. and Konietzny, U., 2006, Phytase for food application, *Food Technology and Biotechnology*, 44 (2), 125–140.
- Greiner, R., Larsson Alminger, M., Carlsson, N.G., Muzquiz, M., Burbano, C. Cuadrado, C., Pedrosa, M. M. and Goyoaga, C., 2002, Enzymatic phytate degradation-A possibility to design functional foods?, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 21, 50-54.
- Griffith, L. D., Castell-Perez, M. E. and Griffith, M. E., 1998, Effects of blend and processing method on the nutritional quality of weaning foods made from select cereals and legumes, *Cereal chemistry*, 75 (1), 105-112.
- Gupta, R. K., Gangoliya, S. S. and Singh, N. K., 2015, Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains, *Journal of food Science and Technology*, 52 (2), 676-684.
- Gurjal, H. S., Mehta, S., Samra, I. S. and Goyal, P., 2003, Effect of wheat bran, coarse wheat flour, and rice flour on the instrumental texture of cookies, *International Journal of Food Properties*, 6, 329–340.
- Gyamfi, M. A., Yonamine, M. and Aniya, Y., 1999, Free-radical scavenging action of medicinal herbs from Ghana *Thonningia sanguinea* on experimentally-induced liver injuries, *General Pharmacology*, 32, 661–667.
- Haas, R. V., Homem, R. V., Farias, D. V., Schmidt, H. D. O., Rockett, F. C., Venzke, J. G., ... and Oliveira, V. R. D., 2021, Potential of teff (*Eragrostis tef*) flour as an ingredient in gluten-free cakes: chemical, technological and sensory quality, *International Journal of Food Science & Technology*.
- Hager, A. S., Czerny, M., Bez, J., Zannini, E. and Arendt, E. K., 2013, Starch properties, in vitro digestibility and sensory evaluation of fresh egg pasta produced from oat, teff and wheat flour, *Journal of Cereal Science*, 58 (1), 156-163.
- Hager, A. S., Lauck, F., Zannini, E. and Arendt, E. K., 2012, Development of gluten-free fresh egg pasta based on oat and teff flour, *European Food Research and Technology*, 235 (5), 861-871.
- Halaç, E., 2002, Gıda kalitesi ve gıda mevzuatı ile ilgili temel kavramlar ışığında Türk ve AB gıda mevzuatının karşılaştırılması, *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 4, 107-131.
- Hallen, E., İbanoğlu, Ş. and Ainsworth, P., 2004, Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour, *Journal of Food Engineering*, 63 (2), 177-184.

- Han, H. M. and Koh, B. K., 2011, Antioxidant activity of hard wheat flour, dough and bread prepared using various processes with the addition of different phenolic acids, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91 (4), 604-608.
- Han, X., Shen, T. and Lou, H., 2007, Dietary polyphenols and their biological significance, *International Journal of Molecular Sciences*, 8, 950–988.
- Handa, V., Sharma, D., Kaur, A. and Arya, S. K., 2020, Biotechnological applications of microbial phytase and phytic acid in food and feed industries, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25, 101600.
- Harland, B. F. and Frolich, W., 1989, Effects of phytase from three yeasts on phytate reduction in Norwegian whole wheat flour, *Cereal chemistry*, 66 (4), 357-358.
- Harland, B. F. and Narula, G., 1999, Food phytate and its hydrolysis products, *Nutrition Research*, 19 (6), 947-961.
- Haros, M., Rosell, C. M. and Benedito, C., 2001, Fungal phytase as a potential breadmaking additive, *European Food Research and Technology*, 213 (4-5), 317-322.
- Hassan, E. G., Alkareem, A. M. A. and Mustafa, A. M. I., 2008, Effect of fermentation and particle size of wheat bran on the antinutritional factors and bread quality, *Pakistan Journal of Nutrition*, 7 (4), 521-526.
- Haug, W. and Lantzsch, H. J., 1983, Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34 (12), 1423-1426.
- Hawa, A., Satheesh, N. and Kumela, D., 2018, Nutritional and anti-nutritional evaluation of cookies prepared from okara, red teff and wheat flours, *International Food Research Journal*, 25 (5), 2042-2050.
- Hayes, M. and Garcia-Vaquero, M., 2016, Bioactive compounds from fermented food products, *In Novel Food Fermentation Technologies*, 293-310.
- Hefnawy, T. H., 2011, Effect of processing methods on nutritional composition and anti-nutritional factors in lentils (*Lens culinaris*), *Annals of Agricultural Sciences*, 56 (2), 57-61.
- Heiru, M., Bultosa, G. and Busa, N., 2017, Effect of grain teff, finger millet and peanut blending ratio and processing condition on weaning food quality, *Cogent Food & Agriculture*, 5 (1), 1671116.
- Homem, R. V., Proserpio, C., Cattaneo, C., Rockett, F. C., Schmidt, H. D. O., Komerowski, M. R., ... and Oliveira, V. R. D., 2021, New opportunities for gluten-free diet: teff (*Eragrostis tef*) as fibre source in baking products, *International Journal of Food Science & Technology*.
- Hopman, E., Dekking, L. and Wuisman, M., L., 2008, Teff in the diet of celiac patients in the Netherlands, *Scand Journal of Gastroenterol*, 2008, 43 (3), 277-282.

- Hoseney, R. C., 1994, Principles of cereal science and technology, *American Association of Cereal Chemists, Inc.*, St. Paul, 170.
- Hruskova, M., Svec, I. and Jurinova, I., 2012, Chemometrics of wheat composites with hemp, teff, and chia flour: comparison of rheological features, *International Journal of Food Science*, Vol. 2013.
- Hu, H. L., Wise, A. and Henderson, C., 1996, Hydrolysis of phytate and inositol tri-, tetra-, and penta-phosphates by the intestinal mucosa of the pig, *Nutrition Research*, 16, 781–787.
- Hurrell, R. F., 2004, Phytic acid degradation as a means of improving iron absorption, *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 74, 445–452.
- Hurrell, R. F., Reddy, M. B., Juillerat, M. A. and Cook, J. D., 2003, Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects, *The American journal of clinical nutrition*, 77 (5), 1213-1219.
- Igbabul, B. D., Amove, J. and Twadue, I., 2014, Effect of fermentation on the proximate composition, antinutritional factors and functional properties of cocoyam (*Colocasia esculenta*) flour, *African Journal of Food Science and Technology*, 5 (3), 67-74.
- Inglett, G. E., Chen, D. and Liu, S. X., 2016, Physical properties of gluten free sugar cookies containing teff and functional oat products, *Journal of Food Research*, 5 (3), 72.
- Iqbal, T. H., Lewis, K. O. and Cooper, B. T., 1994, Phytase activity in the human and rat small intestine, *Gut*, 35, 1233-1236.
- Jambrec, D., Sakac, M., Misan, A., Mandic, A. and Pestoric, M., 2015, Effect of autoclaving and cooking on phenolic compounds in buckwheat-enriched whole wheat tagliatelle, *Journal of Cereal Science*, 66, 1-9.
- Jenab, M. and Thompson L. U., 2002, Role of phytic acid in cancer and other diseases, CRC Press, Boca Raton, Florida, 225–248.
- Jezierny, D., Mosenthin, R. and Bauer, E., 2010, The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review, *Animal Feed Science and Technology*, 157 (3-4), 111-128.
- Joung, K. Y., Song, K. Y., Zhang, Y., Shin, S. Y. and Kim, Y. S., 2017a, Quality characteristics and antioxidant activities of cookies containing teff (*Eragrostis tef*) flour, *The Korean Journal of Food And Nutrition*, 30 (3), 501-509.
- Joung, K. Y., Song, K. Y., Zhang, Y., Shin, S. Y. and Kim, Y. S., 2017b, Study on the quality characteristics and retarding retrogradation of pound cakes containing teff (*Eragrostis tef*) flour, *Journal of the East Asian Society of Dietary Life*, 27 (1), 41-49.

- Kabak, B. and Dobson, A.D., 2011, An introduction to the traditional fermented foods and beverages of Turkey, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 248-260.
- Kahlon, T. S. and Chiu, M. C. M., 2015, Teff, buckwheat, quinoa and amaranth: ancient whole grain gluten-free egg-free pasta, *Food and Nutrition Sciences*, 6 (15), 1460.
- Karaduman, Y., 2013, Seçilmiş yumuşak ekmeklik buğday hatlarında bisküvilik kalite özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Karssa, T. H., Ali, K. A. and Gobena, E. N., 2014, The microbiology of Kocho: an Ethiopian traditionally fermented food from enset (*Ensete ventricosum*), *International Journal of Life Sciences*, 8 (1), 7-13.
- Kaur, S., Sharma, S., Dar, B. N. and Singh, B., 2012, Optimization of process for reduction of antinutritional factors in edible cereal brans, *Food Science and Technology International*, 18 (5), 445–454.
- Kaur, S., Sharma, S., Singh, B. and Dar, B. N., 2015, Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans, *Journal of Food Science and Technology*, 52 (3), 1670–1676.
- Kenney, E. S., Butler, C., Moore, C., Bhaduri, S., Ghatak, R. and Navder, K. P., 2011, The effect of substituting teff flour in gluten-free sugar cookies and peanut butter cookies, *Journal of the American Dietetic Association*, 111 (9), A63.
- Ketema, S., 1993, Tef (*Eragrostis tef*) breeding, genetic resources, agronomy, utilization and role in Ethiopian agriculture.
- Khalil, A. and Mansour, E., 1995, The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of faba beans, *Food Chemistry*, 54, 177-82.
- Khalil, M. M., 2001, Effect of soaking, germination, autoclaving and cooking on chemical and biological value of guar compared with faba bean, *Food/Nahrung*, 45 (4), 246-250.
- Khattab, R., Arntfield, S. and Nyachoti, C., 2009, Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: Protein quality evaluation, *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1107-12.
- Khatun, M., Sultana, N., Rahman, M. and Ashadusjaman, M., 2007, Effect of blanching time on nutritional quality of bush bean at different pod age stages, *Journal of Soil and Nature*, 1 (1), 15-21.
- Kırbaş, Z., Kumcuoglu, S. and Tavman, S., 2019, Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties, *Journal of Food Science and Technology*, 56 (2), 914-926.
- Kim, S. H. and Lee, M. H., 2015, Quality characteristics of cookies made with Morinda citrifolia powder, *Culinary Science and Hospitality Research*, 21 (3), 130-138.

- Klopfenstein, T. J., Angel, R., Cromwell, G., Erickson, G. E., Fox, D. G., Parsons, C. and Meyer, D., 2002, Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution, *Faculty Papers and Publications in Animal Science*, 518.
- Kockova, M., Dilonova, M. and Hybenova, E., 2013, Evaluation of cereals and pseudocereals suitability for the development of new probiotic foods, *Journal of Chemistry*, 2013.
- Kolettta, P., Irakli, M., Papageorgiou, M. and Skendi, A., 2014, Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours, *Journal of Cereal Science*, 60, 561-568.
- Konietzny, U. and Greiner, R., 2003, Phytic acid: nutritional impact, In: Encyclopedia of Food Science and Nutrition, B. Caballero, L. Trugo, P. Finglas (Eds.), *Elsevier*, London, UK, 4555-4563.
- Kooh, S. W., Fraser, D., Reilly, B. J., Hamilton, J. R., Gall, D. G. and Bell, L., 1977, Rickets due to calcium deficiency, *New England Journal of Medicine*, 297 (23), 1264-1266.
- Kornegay, E.T., 2001, Digestion of phosphorus and other nutrients: the role of phytases and factors influencing their activity, *Enzymes in Farm Animal Nutrition*, CAB International Publishing, UK, 237-272.
- Kotaskova, E., Sumczynski, D., Mlcek, J. and Valasek, P., 2016, Determination of free and bound phenolics using HPLC-DAD, antioxidant activity and in vitro digestibility of *Eragrostis tef*, *Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 15–21.
- Köten, M., 2021, Development of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] based gluten-free tarhana, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45 (1), e15133.
- Kreitschitz, A., Tadele, Z. and Gola, E. M., 2009, Slime cells on the surface of *Eragrostis* seeds maintain a level of moisture around the grain to enhance germination, *Seed Science Research*, 19 (1), 27-35.
- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Jun, S., Irudayaraj, J. and Demirci, A., 2008, Infrared heating in food processing: an overview, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 2–13.
- Kumar, V., Sinha, A. K., Makkar, H. P. S. and Becker, K., 2010, Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: a review, *Food Chemistry*, 120 (4), 945–959.
- Lafiandra, D., Riccardi, G. and Shewry, P. R., 2014, Improving cereal grain carbohydrates for diet and health, *Journal of Cereal Science*, 59 (3), 312–326.
- Laguna, L., Sanz, T., Sahi, S. and Fiszman, S. M., 2014, Role of fibre morphology in some quality features of fibre-enriched biscuits. *International Journal of Food Properties*, 17 (1), 163-178.

- Lasztity, R. and Lasztity, L., 1990, Phytic acid in cereal technology pages, *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. X. (Ed. By Y. Pomeranz).
- Laumen, K. and Ghisalba, O., 1994, Preparative scale chemo enzymatic synthesis of optically pure D-myo-inositol 1-phosphate, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 58, 2046-2049.
- Lee, D. P. S., Gan, A. X. and Kim, J. E., 2020, Incorporation of biovalorised okara in biscuits: Improvements of nutritional, antioxidant, physical, and sensory properties, *LWT*, 134, 109902.
- Lee, E. J. and Jin, S. Y., 2015, Antioxidant activity and quality characteristics of rice cookies added *Kalopanax pictus* leaf powder, *Journal of the East Asian Society of Dietary Life*, 25 (4), 672-680.
- Legesse, S., Worku, S. and Bultosa, G., 2015, Effect of rice variety and blending proportion on the proximate compositions, minerals and phytic acid contents of bread from rice-teff blend, *F1000Research*, 4.
- Lei, X. G. and Porres, J. M., 2003, Phytase enzymology, applications, and biotechnology, *Biotechnology Letters*, 25 (21), 1787–1794.
- Li, S., Chen, G., Qiang, S., Tang, D., Chen, Y., Zhang, Z., ... and Chen, Y., 2019, Intensifying soluble dietary fiber production and properties of soybean curd residue via autoclaving treatment, *Bioresource Technology Reports*, 7, 100203.
- Li, Y., Jongberg, S., Andersen, M. L., Davies, M. J. and Lund, M. N., 2016, Quinone-induced protein modifications: kinetic preference for reaction of 1, 2-benzoquinones with thiol groups in proteins, *Free Radical Biology and Medicine*, 97, 148-157.
- Liang, J., Han, B. Z., Nout, M. R. and Hamer, R. J., 2008, Effects of soaking, germination and fermentation on phytic acid, total and in vitro soluble zinc in brown rice, *Food chemistry*, 110 (4), 821-828.
- Liu, B. L., Rafiq A., Tzeng Y. M. and Rob, A., 1998, The induction and characterization of phytase and beyond, *Enzyme and Microbial Technology*, 22, 415-424.
- Loewus, F. A., 2002, Biosynthesis of phytate in food grains and seeds, *CRC Press*, Boca Raton, Florida, USA.
- Lopez, H. W., Leenhardt, F., Coudray, C. and Remesy, C., 2002, Minerals and phytic acid interactions: Is it a real problem for human nutrition?, *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 727–739.
- Lorusso, A., Verni, M., Montemurro, M., Coda, R., Gobbetti, M. and Rizzello, C. G., 2017, Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features, *LWT*, 78, 215-221.
- Lönnerdal, B., 2000, Dietary factors influencing zinc absorption, *The Journal of Nutrition*, 130, 1378–1383.

- Lönnerdal, B., 2002, Phytic acid-trace element (Zn, Cu, Mn) interactions, *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 749–758.
- Luo, Y. and Xie, W., 2012, Effect of phytase treatment on iron bioavailability in faba bean (*Vicia faba* L.) flour, *Food Chemistry*, 134 (3), 1251–1255.
- Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J. M., Allaf, K. and Patras, C., 1998, Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits, *Journal of Food Engineering*, 35 (1), 23–42.
- Maberly, G. F., Trowbridge, F. L., Yip, R., Sullivan, K. M. and West, C. E., 1994, Programs against micronutrient malnutrition: ending hidden hunger, *Annual Review of Public Health*, 15, 277–301.
- Maffucci, T., Piccolo, E., Cumashi, A., Iezzi, M., Riley, A. M., Saiardi, A., Godage, H. Y., Rossi, C., Broggin, M., Iacobelli, S., Potter, B. V. L., Innocenti, P. and Falasca, M., 2005, Inhibition of the phosphatidylinositol-3-kinase/Akt pathway by inositol pentakisphosphate results in antiangiogenic and antitumor effects, *Cancer Research*, 65, 8339–8349.
- Maheshu, V., Priyadarsini, D. T. and Sasikumar, J. M., 2011, Effects of processing conditions on the stability of polyphenolic contents and antioxidant capacity of *Dolichos lablab* L., *Journal of Food Science and Technology*.
- Majzoobi, M., Pashangeh, S. and Farahnaky, A., 2014b, Effect of wheat bran of reduced phytic acid content on the quality of batter and sponge cake, *Journal of Food Processing and Preservation*, 38 (3), 987–995.
- Majzoobi, M., Pashangeh, S., Farahnaky, A., Eskandari, M. H. and Jamalain, J., 2014a, Effect of particle size reduction, hydrothermal and fermentation treatments on phytic acid content and some physicochemical properties of wheat bran, *Journal of Food Science and Technology*, 51 (10), 2755–2761.
- Mallin, M. A. and Cahoon, L. B., 2003, Industrialized animal production—a major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystems, *Population and Environment*, 24 (5), 369–385.
- Mancebo, C. M., Picon, J. and Gomez, M., 2015, Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies, *LWT - Food Science and Technology*, 64 (1), 264–269.
- Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M. C. and Lerici, C. R., 2001, Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods, *Trends in Food Science and Technology*, 11, 340–346.
- Marlida, Y., Delfita, R., Adnadi, P. and Ciptaan, G., 2010, Isolation, characterization and production of phytase from endophytic fungus its application for feed, *Pakistan Journal of Nutrition*, 9, 471–474.
- Marti, A., Marengo, M., Bonomi, F., Casiraghi, M. C., Franzetti, L., Pagani, M. A. and Iametti, S., 2017, Molecular features of fermented teff flour relate to its suitability for the production of enriched gluten-free bread, *LWT*, 78, 296–302.

- Martin-Cabrejas, M. A., Sanfiz, B., Vidal, A., Molla, E., Esteban, R. and Lopez-Andreu, F. J., 2004, Effect of fermentation and autoclaving on dietary fiber fractions and antinutritional factors of beans (*Phaseolus vulgaris* L.), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (2), 261-266.
- Martins, S. I., Jongen, W. M. and Van Boekel, M. A., 2000, A review of maillard reaction in food and implications to kinetic modelling, *Trends in food science & technology*, 11 (9-10), 364-373.
- Masud, T., Mahmood, T., Latif, A., Sammi, S. and Hameed, T., 2007, Influence of processing and cooking methodologies for reduction of phytic acid content in wheat (*Triticum aestivum*) varieties, *Journal of Food Processing and Preservation*, 31 (5), 583-594.
- Matuschek, E., Towo, E. and Svanberg, U., 2001, Oxidation of polyphenols in phytate-reduced high-tannin cereals: effect on different phenolic groups and on in vitro accessible iron, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (11), 5630-5638.
- McCue, P., Horii, A. and Shetty, K., 2003, Solid-state bioconversion of phenolic antioxidants from phenolic antioxidants from defatted soybean powders by *Rhizopus oligosporus*: Role of carbohydrate-cleaving enzymes, *Journal of Food Biochemistry*, 27 (6), 501-514.
- McWatters, K. H., Ouedraogo, J. B., Resurreccion, A. V., Hung, Y. C. and Phillips, R. D., 2003, Physical and sensory characteristics of sugar cookies containing mixtures of wheat, fonio (*Digitaria exilis*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) flours, *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 403-410.
- Mengesha, M., H., 1996, Chemical composition of teff (*Eragrostis tef*) compared with that of wheat, barley and grain sorghum, *Economic Botany*, 20 (3), 268-273.
- Mezemir, S., 2015, Probiotic potential and nutritional importance of teff (*Eragrostis tef* (Zucc) Trotter) enjerra-a review, *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 15 (2), 9964-9981.
- Miller, D. R., 2007, Management guide for “tiffany teff” forage grass, <https://kingsagriseeds.com/wp-content/uploads/2013/07/TeffGrassManagementGuide.pdf> [Ziyaret Tarihi: 21.08.2019].
- Miller, H. E., Rigelhof, F., Marquart, L., Prakash, A. and Kanter, M., 2000, Antioxidant content of whole grain breakfast cereals, fruits and vegetables, *Journal of the American College of Nutrition*, 19, 312-319.
- Miller, R. A. and Hosney, R., 1997, Factors in hard wheat flour responsible for reduced cookie spread, *Cereal Chemistry*, 74, 330-336.
- Minarovicova, L., Laukova, M., Karovicova, J., Kohajdova, Z. and Kepicova, V., 2019, Gluten-free rice muffins enriched with teff flour, *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13 (1), 187-193.

- Minten, B., Tamru, S., Engida, E. and Kuma, T., 2016, Transforming staple food value chains in Africa: the case of teff in Ethiopia, *The Journal of Development Studies*, 52 (5), 627-645.
- Mohammed, M. I. O., 2007, Physico-chemical properties of teff [*Eragrostis teff* (ZUCC.) Trotter] Grains and their utilization in bread and biscuits making, Doctoral dissertation, *M. Sc. thesis Faculty of Agriculture*, University of Khartoum.
- Mohammed, M. I. O., Mustafa, A. I. and Osman, G. A. M., 2009, Evaluation of wheat breads supplemented with teff (*Eragrostis tef* (ZUCC.) Trotter) grain Flour, *Australian Journal of Crop Science*, 3 (4), 207.
- Moongngarm, A. and Saetung, N., 2010, Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice, *Food chemistry*, 122 (3), 782-788.
- Moore, J., Cheng, Z., Hao, J., Guo, G., Liu, J. G. and Lin, C., 2007, Effects of solidstate yeast treatment on the antioxidant properties and protein and fiber compositions of common hard wheat bran, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 10173–10182.
- Moses, O. K., Yong, K. J., Bagorogoza, K. and Liavoga, A., 2003, Phytase activity in extracts of flour and bran from wheat cultivars: enhanced extractability with β glucanase and endo-xylanase, *Journal of Cereal Science*, 38, 307-315.
- Mullaney, E. J., Daly, C. B., Kim, T., Porres, J. M., Lei, X. G., Sethumadhavan, K. and Ullah, A. H. J., 2002, Site-directed mutagenesis of *Aspergillus niger* NRRL 3135 phytase at residue 300 to enhance catalysis at pH 4.0, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 297, 1016–1020.
- Mullaney, E. J., Ullah, A. H., Turner, B., Richardson, A. and Mullaney, E., 2007, Phytases: attributes, catalytic mechanisms and applications, *Inositol phosphates: Linking Agriculture and The Environment*, 97-110.
- Mwachireya, S. A., Beames, R. M., Higgs D. A. and Dosanjh, B. S., 1999, Digestibility of canola protein products derived from the physical, enzymatic and chemical processing of commercial canola meal in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) held in fresh water, *Aquaculture Nutrition*, 5, 73-82.
- Nasser, J. M. and Hammood, E. K., 2019, Effect of natural phytase, fermentation, and baking processes on phytate degradation in wheat bread manufactured from local mills flour, *Iraqi Journal of Science*, 1920-1927.
- Neela, S. and Fanta, S. W., 2020, Injera (an ethnic, traditional staple food of Ethiopia): a review on traditional practice to scientific developments, *Journal of Ethnic Foods*, 7 (1), 1-15.
- Nnam, N. M., 2001, Chemical, sensory and rheological properties of porridges from processed sorghum (*Sorghum bicolor*), bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc) and sweet potato (*Ipomoea batatas*) flours, *Plant Foods Human Nutrition* 56 (3), 251-264

- O'Connor, A., 2016, Is teff the new super grain?, *The New York Times*.
- Obadina, A. O., Akinola, O. J., Shittu, T. A. and Bakare, H. A., 2013, Effect of natural fermentation on the chemical and nutritional composition of fermented soymilk nono, *Nigerian Food Journal*, 31 (2).
- Oginni, L. M., Sharp, C. A., Worsfold, M., Badru, O. S. and Davie, M. W. J., 1999, Healing of rickets after calcium supplementation, *The lancet*, 353 (9149), 296-297.
- Oomah, B. D., Cardador-Martinez, A. and Loarca-Pina, G., 2005, Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L), *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85 (6), 935–942.
- Oyeyinka, S. A., Ojuko, I. B., Oyeyinka, A. T., Akintayo, O. A., Adebisi, T. T. and Adelaye, A. A., 2018, Physicochemical properties of novel non-gluten cookies from fermented cassava root, *Journal of Food Processing and Preservation*, 42 (11), e13819.
- Öncel, E., 2017, Erişte üretiminde farklı oran ve kombinasyonlarda karabuğday, amarant ve kinoa unlarının kullanım imkanları, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Özkaya, B., Turksoy, S., Özkaya, H. and Duman, B., 2017b, Dephytinization of wheat and rice brans by hydrothermal autoclaving process and the evaluation of consequences for dietary fiber content, antioxidant activity and phenolics, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39, 209-215.
- Özkaya, H., 2004, Buğday kepeğinin defitinizasyonu için uygun yöntemin belirlenmesi, *Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi*.
- Özkaya, H., Özkaya, B., Duman, B. and Turksoy, S., 2017a, Effect of dephytinization by fermentation and hydrothermal autoclaving treatments on the antioxidant activity, dietary fiber, and phenolic content of oat bran, *Journal of agricultural and food chemistry*, 65 (28), 5713-5719.
- Öztürk-Kerimoğlu, B., Kavuşan, H. S., Tabak, D. and Serdaroğlu, M., 2020, Formulating reduced-fat sausages with quinoa or teff flours: effects on emulsion characteristics and product quality, *Food Science of Animal Resources*, 40 (5), 710.
- Pandey, A., Szakacs, G., Soccol, C. R., Rodriguez, L., J., A. and Soccol, V. T., 2001, Production, purification and properties of microbial phytases, *Bioresource Technology*, 7, 203-214.
- Park, H. and Kim, C., 2014, Physicochemical characteristics of teff (*Eragrostis teff*) flour and fermented teff flours, *Department of Food and Nutrition*, Sookmyung Women's University, 22.
- Park, B. H., Cho, H. S. and Park, S. Y., 2005, A study on the antioxidative effect and quality characteristics of cookies made with lycii fructus powder, *Korean Journal of Food Cook Science*, 21, 94-102.

- Pettifor, J. M., 2004, Nutritional rickets: deficiency of vitamin D, calcium, or both?, *The American journal of clinical nutrition*, 80 (6), 1725-1729.
- Polaina, J. and Maccabe, A. P., 2007, Industrial enzymes structure, function and applications, *Springer*, 641, 505-529.
- Porres, J. M., Aranda, P., Lopez-Jurado, M. and Urbano, G., 2005, Nutritional potential of raw and free a-galactosides lupin (*Lupinus albus* var. *multolupa*) seed flours, effect of phytase treatment on nitrogen and mineral dialyzability, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3088–3094.
- Porres, J. M., Etcheverry, P., Miller, D. D. and Lei, X. G., 2001, Phytase and citric acid supplementation in whole-wheat bread improves phytate-phosphorus release and iron dialyzability, *Journal of food science*, 66 (4), 614-619.
- Post, R. E., Mainous, A. G., King, D. E. and Simpson, K. N., 2012, Dietary fiber for the treatment of type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis, *The Journal of the American Board of Family Medicine*, 25 (1), 16-23.
- Qiang, H., Yuanping, L. and Kai, Y., 2006, Effects of tea polyphenols on the activities of α -amylase, pepsin, trypsin and lipase, *Food Chemistry*, 101, 1178–1182.
- Quan, C., Fan, S. D., Zhang, L. H., Wang, Y. J. and Ohta, Y., 2002, Purification and properties of a phytase from *Candida krusei* WZ-001, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 94 (5), 419-425.
- Quan, C., Zhang, L., Wang, Y. and Ohta, Y., 2001, Production of phytase in a low phosphate medium by a novel yeast *Candida krusei*, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92 (2), 154–160.
- Raboy, V., 2020, Low phytic acid crops: observations based on four decades of research, *Plants*, 9 (2), 140.
- Raghavendra, P., Rao, T. S. C. and Halami, P. M., 2010, Evaluation of beneficial attributes for phytate-degrading *Pediococcus pentosaceus* CFR R123, *Beneficial Microbes*, 1, 259-264.
- Ranasalva, N. and Visvanathan, R., 2014, Development of cookies and bread from cooked and fermented pearl millet flour, *African Journal of Food Science*, 8 (6), 330-336.
- Randhir, R., Kwon, Y. I. and Shetty, K., 2008, Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 355–364.
- Ravisankar, S., Abegaz, K. and Awika, J. M., 2018, Structural profile of soluble and bound phenolic compounds in teff (*Eragrostis tef*) reveals abundance of distinctly different flavones in white and brown varieties, *Food chemistry*, 263, 265-274.

- Ravisankar, S., Dizlek, H. and Awika, J. M., 2021, Changes in extractable phenolic profile during natural fermentation of wheat, sorghum and teff, *Food Research International*, 145, 110426.
- Reddy, N. R., 2002, Occurrence, distribution, content, and dietary intake of phytate, Food phytates, Boca Raton, Florida: CRC Press, 25–51.
- Reddy, N. R., Sathe, S. K. and Salunkhe, D. K., 1982, Phytates in legumes and cereals, *Advances in food research*, 28, 1-92.
- Rees, T. J., 1997, The development of a novel antifungal silage inoculant, *Doctoral Research Thesis*, Cranfield University Biotechnology Centre, UK.
- Rehman, Z. and Salariya, A. M., 2005, The effects of hydrothermal processing on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes, *International Journal of Food Science & Technology*, 40 (7), 695-700.
- Rehman, Z. U. and Shah, W. H., 2005, Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes, *Food Chemistry*, 91, 327-331.
- Rickard, S. E. and Thompson, L. U., 1997, Interactions and biological effects of phytic acid, In F. Shaidi (Ed.), *Antinutrients and phytochemicals in food*, DC: American Chemical Society, 294–312
- Rico, D., Villaverde, A., Martinez-Villaluenga, C., Gutierrez, A. L., Caballero, P. A., Ronda, F., Penas, E., Frias, J. and Diana, A. B. M., 2020, Application of autoclave treatment for development of a natural wheat bran antioxidant ingredient, *Foods*, 9 (6), 781.
- Robertson, C., Dovi, P., Smith, L. and Mangoma, K., 2012, Zinc fortified biscuits for children, *Food Review*.
- Robin, F., Theoduloz, C. and Srichuwong, S., 2015, Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours, *International Journal of Food Science & Technology*, 50 (10), 2152-2159.
- Robinson, E. H., Jackson, S. and Li, M. H., 1996, Supplemental phytase in catfish diets, *Aquaculture Magazine*, 22, 80-82.
- Romankiewicz, D., Hassoon, W. H., Cacak-Pietrzak, G., Sobczyk, M., Wirkowska-Wojdyla, M., Ceglinska, A. and Dziki, D., 2017, The effect of chia seeds (*Salvia hispanica L.*) addition on quality and nutritional value of wheat bread, *Journal of Food Quality*, 2017.
- Ronda, F., Abebe, W., Perez-Quirce, S. and Collar, C., 2015, Suitability of tef varieties in mixed wheat flour bread matrices: a physico-chemical and nutritional approach, *Journal of Cereal Science*, 64, 139-146.
- Roosjen, J., 2006, Processing of teff flour, U. S. Patent Application Publication, 10/565,375.

- Rybicka, I. and Gliszczynska-Swiglo, A., 2017, Minerals in grain gluten-free products, The content of calcium, potassium, magnesium, sodium, copper, iron, manganese, and zinc, *Journal of Food Composition and Analysis*, 59, 61-67.
- Sakac, M., Canadanovic-Brunet, J., Misan, A., Tumbas, V. and Medic, D., 2010, Antioxidant activity of phytic acid in lipid model system, *Food Technology and Biotechnology*, 48 (4), 524–529.
- Salawu, S. O., Bester, M. J. and Duodu, K. G., 2014, Phenolic composition and bioactive properties of cell wall preparations and whole grains of selected cereals and legumes, *Journal of Food Biochemistry*, 38 (1), 62–72.
- Sandberg, A. S., Brune, M., Carlsson, N. G., Hallberg, L., Skoglund, E. and RossanderHulthen, L., 1999, Inositol phosphates with different number of phosphate groups influence iron absorption in humans, *American Journal of Clinical Nutrition*, 70, 240–246.
- Sandberg, A. S., Larsen, T. and Sandstrom, B., 1993, High dietary calcium level decreases colonic phytate degradation in pigs fed a rapeseed diet, *Journal of Nutrition*, 123, 559–566.
- Sarı, U. ve Tiryaki, İ., 2018, Alternatif tahıl: eskinin unutulmuş yeni bitkisi tef (*Eragrostis tef* [Zucc.] Trotter), *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21 (3), 447-456.
- Sariyska, M. V., Gargova, S. A., Koleva, A. L. and Angelov, A. I., 2005, *Aspergillus niger* phytase: Purification and characterization, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 19, 98-105.
- Schlemmer, U., Frolich W., Prieto R. M. and Grases, F., 2009, Phytate in foods and significance for humans: food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis, *Molecular Nutrition & Food Research*, 53 (2), S330-S375.
- Selle, P. H. and Ravindran, V., 2007, Microbial phytase in poultry nutrition, *Animal Feed Science and Technology*, 135, 1–41.
- Serna-Saldivar, S. O. and Espinosa-Ramirez, J., 2019, Grain structure and grain chemical composition, *Sorghum and Millets*, AACC International Press, 85-129.
- Servi, S., Özkaya, H. and Colakoglu, A. S., 2008, Dephytinization of wheat bran by fermentation with bakers' yeast, incubation with barley malt flour and autoclaving at different pH levels, *Journal of Cereal Science*, 48 (2), 471–476.
- Seyhan, E. G., 2020, Türkiye koşullarında yetiştirilen teff tahılı (*Eragrostis tef*)'nın kompozisyonunun ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Shin, G. M., 2015, Quality characteristics of lycii fructus powder added sponge cake, *Culinary Science and Hospitality Research*, 21 (6), 63-75.

- Shumoy, H. and Raes, K., 2016, Antioxidant potentials and phenolic composition of tef varieties: an indigenous ethiopian cereal, *Cereal Chemistry*, 93, 465–470.
- Shumoy, H. and Raes, K., 2017, Tef: The rising ancient cereal: what do we know about its nutritional and health benefits? *Plant Foods for Human Nutrition*, 72 (4), 335–344.
- Simons, P., Versteegh, H., Jongbloed, A. W., Kemme, P. A., Slump, P., Bos, K. D., Wolters, M. G. E., Beudeker, R. F. and Verschoor, G. J., 1990, Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs, *British Journal of Nutrition*, 64, 525-540.
- Singh, J., Dartois, A. and Kaur, L., 2010, Starch digestibility in food matrix: a review, *Trends in Food Science and Technology*, 21, 168–180.
- Singh, P. K., Shrivastava, N., Sharma, B. and Bhagyawant, S. S., 2015, Effect of domestic processes on chickpea seeds for antinutritional contents and their divergence, *American Journal of Food Science and Technology*, 3 (4), 111-117.
- Siren, M., 1986, Stabilized pharmaceutical and biological material composition, Pat. SE, 003, 165.
- Skujins, S., 1998, Handbook for ICP-AES (Vartian-Vista), A Short Guide to Vista Series ICP-AES Operation, Variant Int. AG, Zug, version 1.0, Switzerland.
- Small, E., 2015, 47. Teff & Fonio—Africa's sustainable cereals, *Biodiversity*, 16 (1), 27-41.
- Smith, P. G., 2007, Applications of fluidization to food processing introduction, Wiley, Blackwell, 116-117.
- Spaenij-Dekking, L., Kooy-Winkelaar Y. and Koning, F., 2005, The ethiopian cereal teff in celiac disease, *New England Journal of Medicine*, 353 (16), 1748-1749.
- Stahl, C. H., Han, Y. M., Roneker, K. R., House, W. A. and Lei, X. G., 1999, Phytase improves iron bioavailability for hemoglobin synthesis in young pigs, *Journal of Animal Science*, 77, 2135–2142.
- Stallknecht, G. F., Gilbertson, K. M. and Eckhoff, J. L., 1993, Teff: food crop for humans and animals, Wiley, New York, 231-234.
- Steve, I. O., 2011, Influence of germination and fermentation on chemical composition, protein quality and physical properties of wheat flour (*Triticum aestivum*), *Journal of Cereals and Oilseeds*, 3 (3), 35-47.
- Suliman, A. A., Zhu, K. X., Peng, W., Hassan, H. A., Mahdi, A. A. and Zhou, H. M., 2019, Influence of fermented and unfermented *Agaricus bisporus* polysaccharide flours on the antioxidant and structural properties of composite gluten-free cookies, *LWT*, 101, 835-846.
- Svec, I., Hruskova M. and Babiakova, B., 2017, Chia and teff as improvers of wheat-barley dough and cookies, *Czech Journal of Food Science*, 35 (1), 79-88.

- Takahashi, T., Miura, M., Ohisa, N., Mori, K. and Kobayashi, S., 2005, Heat treatments of milled rice and properties of the flours, *Cereal Chemistry*, 82 (2), 228-232.
- Tatham, A. S., Fido, R. J., Moore, C. M., Kasarda, D. D., Kuzmicky, D. D., Keen, J. N. and Shewry, P. R., 1996, Characterisation of the major prolamins of teff (*Eragrostis Tef*) and finger millet (*Eleusine Coracana*), *Journal of Cereal Science*, 24 (1), 65-71.
- Tavajjoh, M., Yasrebi, J., Karimian, N. and Olama, V., 2011, Phytic acid concentration and phytic acid: zinc molar ratio in wheat cultivars and bread flours, Fars Province, Iran, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 743-755.
- Teklehaimanot, W. H., Duodu, K. G. and Emmambux, M. N., 2013, Maize and teff starches modified with stearic acid as potential fat replacer in low calorie mayonnaise-type emulsions, *Starch/Starke*, 65, 773-781.
- Teshome, E., Tola, Y. B. and Mohammed, A., 2017, Optimization of baking temperature, time and thickness for production of gluten free biscuits from keyetena teff (*Eragrostis tef*) variety, *Journal of Food Processing and Technology*, 8 (5).
- Tess, M., Bhaduri, S., Ghatak, R. and Navder, K. P., 2015, Physical, textural and sensory characteristics of gluten free muffins prepared with teff flour (*Eragrostis tef* (ZUCC) trotter), *Journal of Food Processing and Technology*, 6 (9).
- Tetik, S., 2018, Bazı gıda endüstrisi yan ürünlerinin bisküvi üretiminde kullanımı üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Theodoropoulos, V. C. T., Turatti, M. A., Greiner, R., Macedo, G. A. and Pallone, J. A. L., 2018, Effect of enzymatic treatment on phytate content and mineral bioaccessibility in soy drink, *Food Research International*, 108, 68-73.
- Torres, A., Frias, J., Granito, M. and Vidal-Valverde, C., 2006, Fermented pigeon pea (*Cajanus cajan*) ingredients in pasta products, *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 54 (18), 6685-6691.
- Towo, E., Matuschek, E. and Svanberg, U., 2006, Fermentation and enzyme treatment of tannin sorghum gruels: effects on phenolic compounds, phytate and in vitro accessible iron, *Food Chemistry*, 94 (3), 369-376.
- Türksoy, S., 2005, Ekmeğin fitik asit miktarına buğday çeşidi ve un ekstraksiyon oranının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Umeta, M., West, C. E. and Fufa, H., 2005, Content of zinc, iron, calcium and their absorption inhibitors in foods commonly consumed in ethiopia, *Journal of Food Composition and Analysis*, 18 (8), 803-817.
- Urbano, G., Porres, J. M., Frejnagel, S., Lopez-Jurado, M., Gomez-Villalva, E., Vidal-Valverde, C. and Aranda, P., 2007, Improvement of iron availability from phytase-treated *Pisum sativum* L. flour, *Food chemistry*, 103 (2), 389-395.

- Urga, K. and Narasimha, H. V., 1997, Effect of natural fermentation on the HC1-extractability of minerals from tef (*Eragrostis tef*), *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 11 (1), 3-10.
- USDA/ARS (U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service), 2014, USDA National Nutrient Database for Standard Reference, 27, Nutrient Data Laboratory Home Page, <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl> [Ziyaret tarihi: 15.06.2020].
- USDA/ARS (U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service), 2016, USDA National Nutrient Database for Standard Reference, 28, <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/methods-and-application-of-food-composition-laboratory/mafcl-site-pages/sr11-sr28/> [Ziyaret tarihi: 26.12.2021].
- Viell, F. L. G., Tonon, G. C., Perinoto, L. C., Braga, M. L., Fuchs, R. H. B., Gomes, S. T. M., ... and Matsushita, M., 2020, Sensory characterization of gluten-free bread enriched with teff [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) using flash profile and common dimension analysis, *Journal of Food Processing and Preservation*, 44, 1–9.
- Villanueva, M., Abebe, W., Collar, C. and Ronda, F., 2021, Tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] variety determines viscoelastic and thermal properties of gluten-free dough and bread quality, *LWT*, 135, 110065.
- Watson, L. and Dallwitz, M. J., 1992, The grass genera of the world, *CAB international*.
- Woldemariam, F., Mohammed, A., Teferra, T. F. and Gebremedhin, H., 2019, Optimization of amaranths–teff–barley flour blending ratios for better nutritional and sensory acceptability of injera, *Cogent Food & Agriculture*, 5 (1), 1565079.
- Wolter, A., Hager, A. S., Zannini, E. and Arendt, E. K., 2013, *in vitro* Starch digestibility and predicted glycaemic indexes of buckwheat, Oat, quinoa, sorghum, teff and commercial gluten-free bread, *Journal of Cereal Science*, 58 (3), 431-436.
- Wolter, A., Hager, A. S., Zannini, E., Czerny, M. and Arendt, E. K., 2014, Impact of sourdough fermented with *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 on baking and sensory properties of gluten-free breads, *European food research and technology*, 239 (1), 1-12.
- Wood, B. J. B., 2004, Fermentation, In C. Wrigley, H. Corke, C.E. Walker (Eds.), *Encyclopedia of grain science* Oxford: Elsevier Academic Press, 281-290.
- Wu, H., Flint, A. J., Qi, Q., Van Dam, R. M., Sampson, L. A., Rimm, E. B., ... and Sun, Q., 2015, Association between dietary whole grain intake and risk of mortality: two large prospective studies in US men and women, *JAMA Internal Medicine*, 175 (3), 373–384.
- Xavier, E. G., Cromwell, G. L. and Lindemann, M. D., 2003, Phytase additions to conventional orlow-phytate corn-soybean mea diets on phosphorus balance in growing pigs, *Journal of Animal Science*, 81, 258.

- Xu, B. J. and Chang, S. K. C., 2008, Total phenolic content and antioxidant properties of eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods, *Journal of Food Science*, 73 (2), 19-27.
- Yang, H. W., Hsu, C. K. and Yang, Y. F., 2014, Effect of thermal treatments on anti-nutritional factors and antioxidant capabilities in yellow soybeans and green-cotyledon small black soybeans, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94 (9), 1794–1801.
- Yanke, L. J., Bae H. D., Selinger L. B. and Cheng, K. J., 1998, Phytase activity of anaerobic ruminal bacteria, *Microbiology*, 144, 1565-1573.
- Yegrem, L., Abera, S. and Temesgen, M., 2021, Nutritional composition and sensory quality of injera prepared from tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) complemented with lupine (*Lupinus spp.*), *Cogent Food & Agriculture*, 7 (1), 1862469.
- Yetneberk, S., de Kock, H. L., Rooney, L. W. and Taylor, J. R., 2004, Effects of sorghum cultivar on injera quality, *Cereal chemistry*, 81 (3), 314-321.
- Zegeye, A., 1997, Acceptability of injera with stewed chicken, *Food Quality and Preference*, 8 (4), 293-295.
- Zeleny, L., 1971, In Wheat Chemistry and Technology, (Pomeranz, Y. ed), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- Zewdie, H. T. and Muchie, M., 2014, The Significance of whole grain teff for improving nutrition: From injera to ready to eat porridge by using extrusion cooking technology, *International Journal of African Development*, 2 (1), 5.
- Zhu, F., 2018, Chemical composition and food uses of teff (*Eragrostis tef*), *Food Chemistry*, 239, 402-415.
- Zielinski, H., Kozłowska, H. and Lewczuk, B., 2001, Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2, 159–169.

EKLER

EK-1 İşlem görmemiş ve defitimize edilmiş teff unu kullanılarak üretilen bisküvi örnekleri

