

CHLORELLA VULGARIS İLAVESİNİN EKMEK KALİTE KRİTERLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

**Fatma DEMİRCİOĞLU¹, Ayşe Neslihan DÜNDAR^{*1},
Oya Irmak ŞAHİN², Furkan Türker SARICAOĞLU¹**

¹ Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

² Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye

Geliş / Received 12.12.2024; Kabul / Accepted: 18.04.2025; Online baskı / Published online: 25.04.2025

Demircioğlu, F., Dündar, A. N., Şahin, O. I., Sarıcaoğlu, F. T. (2025). *Chlorella vulgaris* ilavesinin ekmek kalite kriterleri üzerine etkisi. GIDA (2025) 50 (3) 342-360 doi: 10.15237/ gida.GD24115

Demircioğlu, F., Dündar, A. N., Şahin, O. I., Sarıcaoğlu, F. T. (2025). *The effect of Chlorella vulgaris addition on bread quality criteria. GIDA (2025) 50 (3) 342-360 doi: 10.15237/ gida.GD24115*

ÖZ

Mikroalgler, protein, yağ asitleri, mineral, vitamin, fenolik ve antioksidan gibi besinsel bileşenleri sayesinde düşük besin değerine sahip glutensiz ekmek gibi yeni ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesinde bir besin kaynağı olarak kullanılabilir. Bu çalışmada, mısır ununa %1, 3, 6 ve 10 oranlarında *Chlorella vulgaris* ilave edilerek üretilen mısır ekmeklerinin (CME) fizikokimyasal, fonksiyonel ve duyuşal özellikleri incelenmiştir. *Chlorella* ilavesi, protein, kül, yağ, su tutma kapasitesi ve antioksidan değerlerinde artışa, nem, hacim ve duyuşal parametrelerde ise azalmaya neden olmuştur. Duyuşal değerlendirilmede kontrol ekmeği en yüksek puanları alırken, *Chlorella*'nın kendine has rengi, kokusu ve tadı tüketici kabul edilebilirliğini düşürmüştür. Besinsel olarak en zengin örnek olan CME-10, yüksek mineral ve protein içeriği ile toplam fenolik madde (ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir) ve antioksidan kapasite (ABTS, CUPRAC ve DPPH) açısından kontrol örneğinden istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikroalg, mısır ekmeği, kalite kriterleri

THE EFFECT OF CHLORELLA VULGARIS ADDITION ON BREAD QUALITY CRITERIA

ABSTRACT

The utilisation of microalgae as a food source in the development of new and functional products, such as gluten-free bread with low nutritional value, is a subject of considerable interest. This is due to the nutritional components of microalgae, which include protein, fatty acids, minerals, vitamins, phenolics and antioxidants. The present study investigates the physicochemical, functional and sensory properties of corn bread (CME) produced by adding *Chlorella vulgaris* to corn flour at 1, 3, 6 and 10% ratios. The findings revealed that *Chlorella* addition led to an enhancement in protein, ash, fat, water holding capacity, and antioxidant values, accompanied by a reduction in moisture, volume, and sensory parameters. In the sensory evaluation, the control bread received the highest scores, while the specific colour, odour and taste of *Chlorella* decreased consumer acceptability. CME-10, the most nutritionally rich sample, was statistically significantly higher than the control

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: ayse.dundar@btu.edu.tr

☎: (+90) 224 300 3501

Fatma Demircioğlu; ORCID no: 0000-0002-2950-1250

Ayşe Neslihan Dündar; ORCID no: 0000-0003-2084-7076

Oya Irmak Şahin; ORCID no: 0000-0003-2225-7993

Furkan Türker Sarıcaoğlu; ORCID no: 0000-0003-1173-5793

sample in terms of total phenolics (extractable, hydrolyzable) and antioxidant capacity (ABTS, CUPRAC and DPPH) with high mineral and protein content.

Keywords: Microalgae, corn bread, quality criteria

GİRİŞ

Çölyak hastalığı, dünya genelinde %1-2 oranında görülen ve gluten intoleransı nedeniyle bağırsakta emilim bozukluğuna yol açan kronik bir hastalıktır (Holtmeier ve Caspary, 2006). Gluten tüketen çölyak hastalarında besin maddelerinin yeterince emilememesi ve sindirim sorunları ortaya çıkmaktadır (Green vd., 2015). En sık görülen belirtiler arasında karın ağrısı, ishal, kilo kaybı, gaz ve şişkinlik, anemi, ödem ile kemik veya eklem ağrısı yer almaktadır (Kelly vd., 2015; Singh vd., 2019; Bledsoe vd., 2019). Günümüzde bilinen tek tedavi yöntemi ise, hastaların yaşam boyu glutensiz diyet uygulamalarıdır; bu sayede klinik ve histolojik iyileşme sağlanabilmektedir (Ludvigsson ve Murray, 2019). Glutensiz diyetin tedavi yöntemi olarak öne çıkması, glutensiz ürünlere olan ilgiyi artırmıştır (Simic vd., 2018; Wandersleben vd., 2018). Glutensiz diyetle özellikle çölyak hastaları için üretilen çeşitli gıdalar arasında ekmek en çok tüketilenlerden biridir. Glutensiz un karışımlarıyla yapılan ekmeklerde, glutenin su ile etkileşime girdiğinde sağladığı karıştırma toleransı, gaz tutma kapasitesi, esneklik ve uzayabilirlik gibi istenilen reolojik özellikler oluşmaz (Deora vd., 2014; Foschia vd., 2016; El Khoury vd., 2018; Demirkesen ve Ozkaya, 2022). Bu nedenle glutensiz ekmekler genellikle ufalanmış bir dokuya, soluk bir kabuk rengine, kısa raf ömrüne sahip olurken, karbonhidrat içeriği yüksek, ancak vitamin, mineral, lipid, diyet lifi ve biyoaktif bileşen açısından daha düşük değerlere sahiptir (Arendt vd., 2008; Matos vd., 2015; Tümer ve Özer, 2018). Bu ekmeklerin zayıf besin değeri, tekstürel ve duyuşal özelliklerini iyileştirmek ve tüketimini artırmak için farklı nişasta kaynakları, baklagil unları, pseudotahıllar, hidrokolloidler, yüzey aktif maddeler, prebiyotikler, enzimler ve bunların kombinasyonlarının kullanımı yaygınlaşmaktadır (Capriles ve Areas, 2014; Tümer ve Özer, 2018).

Mikroalglerin kullanımı, dünya nüfusunun hızla artması ve sınırlı doğal kaynakların giderek daha fazla tüketilmesi nedeniyle oldukça ilgi çekici bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Özellikle

geleneksel tarım ve hayvancılık faaliyetleri su ve arazi kaynakları açısından büyük talepler doğururken, mikroalgler çok daha az kaynak kullanarak besleyici, sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Mikroalglerin tarım ve hayvancılık ürünlerine kıyasla büyük avantajlar sunmasının sebeplerinden biri, hızlı büyüme kapasiteleri ve çeşitli iklim koşullarında kolayca üretilibilmeleridir. Aynı zamanda, mikroalgler zengin bir protein, omega-3 yağ asitleri, vitamin ve mineral kaynağıdır. Bu da onları hem insan beslenmesi hem de hayvan yemi için ideal bir seçenek haline getirmektedir (Lopes vd., 2020). Mikroalglerin tarımsal kaynaklara kıyasla, daha küçük alanlarda daha hızlı üretim gerçekleştirebilmesinin yanı sıra, elde edilen biyokütlesinin besinsel içeriğinin protein, yağ, vitamin ve mineral açısından dikkate değer olması son 20 yıldır giderek artan bir ilgi görmesine sebep olmuştur. Bununla birlikte, katkı maddesi olarak ilave edildikleri gıdaların besinsel ve teknolojik değerini olumlu anlamda değiştirebilmeleri de gıda teknolojisi açısından mikroalgleri önemli kılmaktadır (Hager ve Arendt, 2013).

Chlorella vulgaris, Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından gıdalarda kullanımı onaylanmış yeşil bir tatlı su mikroalgidir (Anonim, 2023). *Chlorella vulgaris* ciddi bir protein kaynağı olarak, özellikle de vegan ve vejetaryen beslenme planlarına dahil edilmesi mümkün bir gıda alternatiftir (Molino vd., 2018; Lopes vd., 2020; Machado vd., 2020).

Bu çalışmanın amacı, *C. vulgaris* mikroalgi ile elde edilecek mısır ekmeği formülasyonunun optimizasyonudur. Mikroalg ilavesinin ekmeklerin fiziksel, kimyasal, bazı fonksiyonel özellikteki kalite kriterleri ve duyuşal parametrelerine etkileri değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmada mısır ekmeği üretiminde kullanılan mısır unu, glutensiz kuru maya (*Saccharomyces cerevisiae*), sofra tuzu, gıda tipi ksantan gam

hammaddeleri piyasadan, biyokütlesi kullanılan *Chlorella vulgaris* Akuatik firmasından temin edilmiştir.

Mısır Ekmeğinin Üretimi

Bu çalışmada farklı oranlarda (%1, 3, 6 ve 10) *Chlorella vulgaris* ilave edilerek üretilen mısır

ekmeği (CME) üretilerek kontrol örneği ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ekmek hamur karışımlarında kullanılan tüm bileşenler mısır unu bazında yüzde ağırlıkça verilmiş ve ekmek üretiminde kullanılan formülasyonlar Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Ekmek formülasyonu

Table 1. Bread formulation

Örnekler	Un (g)	C. vulgaris (g)	Maya (g)	Tuz (g)	Ksantan gam (g)	Su (ml)
Kontrol	100	0	3	2	1.5	107.5
CME-1	99	1	3	2	1.5	107.5
CME-3	97	3	3	2	1.5	107.5
CME-6	94	6	3	2	1.5	107.5
CME-10	90	10	3	2	1.5	107.5

Katı maddeler (mısır unu, glutensiz kuru maya, ksantan gam, tuz), önceden belirlenen miktarda su ile laboratuvar tipi hamur yoğurucuda (Kitchen Aid, Artisan, ABD) 3. kademedeki 5 dakika süreyle karıştırılarak homojen bir hamur elde edilmiştir. Hazırlanan hamurlar, yağlanmış baton tipi ekmek kalıplarına (159 x 109 x 69 mm) aktarılmış ve 35 °C sıcaklıkta 90 dakika boyunca fermente edilmiştir. Fermentasyon sürecini tamamlayan hamurlar önceden ısıtılmış fırında (Venarro/Patisserie Dijital) fan devre dışı bırakılarak 180 °C’de 40 dk pişirilmiştir. Fırından çıkan ekmekler 2 saat boyunca soğutulmaya bırakılarak dinlendirilmiş, ardından kalıptan çıkarılarak 2 saat daha oda sıcaklığında bekletilmiştir. Fiziksel ve kimyasal analizler ile duyuşal değerlendirmeler üretim günü gerçekleştirilmiş olup, diğer analizler için ekmekler numune saklama kaplarında analizlere kadar -18 °C’de muhafaza edilmiştir.

Hammadde ve Ekmek Örneklerinde Yapılan Fizikokimyasal Analizler

Ekmek üretiminde hammadde olarak kullanılan mısır unu, *Chlorella vulgaris* ve CME örneklerinin nem, kül, protein ve yağ miktarları sırasıyla AACC metot no. 44-15.02, 08-01, 46-30, 30-25.01’e göre belirlenmiştir (AACC, 2012). Karbonhidrat miktarı ise FAO (2003)’e göre Atwater genel

faktör sistemi kullanılarak hesaplanmıştır (Anonim, 2003).

$$\% \text{Karbonhidrat} = 100 - (\% \text{Nem} + \% \text{Kül} + \% \text{Protein} + \% \text{Yağ})$$

Su Tutma Kapasitesi Analizi

Örneklerin su tutma kapasiteleri, Sit vd. (2013)’nin yöntemine uygun olarak belirlenmiştir. Bu yöntem doğrultusunda her bir örnekten 2 g tartılarak 50 ml’lik falkon tüplerine alınmış ve üzerine 24 ml distile su eklenmiştir. Örnekler, 60 dakika boyunca çalkalayıcı cihazında (Mipro, MLS3535) karıştırılmıştır. Çalkalama işleminin ardından, 25°C’de 3460 g kuvvetinde 10 dakika boyunca santrifüj (Hettich, Universal 320 R) yapılmıştır. Santrifüj işlemi sonrasında üst faz dikkatlice uzaklaştırılmış ve tüp ağırlığı kaydedilmiştir. Su tutma kapasitesi, örneklerin gramı başına tutulan suyun ml cinsinden miktarı olarak ifade edilmiştir.

Ekstrakte, Hidrolize ve Toplam Fenolik Madde Miktarı Analizi

Örneklerde fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için Vitali vd., (2009)’nin kullandığı yöntemde minör modifikasyonlar uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için örnek (2 g) üzerine 20 mL HCl, metanol ve su çözeltisi (1:80:10, v/v/v) ilave edilmiş, çalkalayıcıda (Mipro, MLS3535) oda sıcaklığında 150 rpm’de 2

saat boyunca çalkalanmıştır. Sonra 4°C’de ve 4000 rpm’de 10 dk santrifüj edilmiş, elde edilen süpernatant analiz zamanına kadar -18°C’de muhafaza edilmiştir. Hidrolize edilebilir fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için ise serbest fenolik ekstraksiyonu sonrası kalan katı kısma 20 mL sülfürik asit ve metanol karışımı (1:10, v/v) ilave edilmiş ve bu karışım 85 °C sıcaklıktaki çalkalamalı su banyosunda (Nuve, ST30) 20 saat inkübe edilmiştir. Ardından örnekler 4°C’de 3500 rpm’de 10 dk santrifüjlenmiş ve süpernatant kısmı -18°C’de analize kadar depolanmıştır.

Örneklerdeki ekstrakte ve hidrolize fenolik madde miktarı, Naczki ve Shahidi (2004) tarafından verilen Folin-Ciocalteu kolorimetrik yöntemine göre belirlenmiştir. Toplam fenolik madde (TFM) miktarı, ekstrakte edilen ve hidroliz sonucu elde edilen fenolik bileşik miktarlarının toplamı olarak hesaplanmıştır. Analizlerde kalibrasyon eğrisi oluşturmak amacıyla standart fenolik bileşik olarak galik asit kullanılmıştır.

Toplam Antioksidan Kapasitesi Analizleri

Antioksidan kapasitesi analizinde DPPH, ABTS ve CUPRAC olmak üzere 3 farklı metod kullanılmış, örneklerdeki toplam antioksidan kapasite sonuçları g / µmol trolox eşdeğeri (TE) olarak verilmiştir (Apak vd., 2004; Vitali vd., 2009). 1 gr örnek metanol/su (70:30, v/v) oranında hazırlanmış %70’lik metanol içeren ekstraksiyon çözeltisi ile 10 mL hacminde karıştırılmıştır. Karışım, oda sıcaklığında 2 saat süreyle çalkalamalı su banyosunda ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyonun ardından numuneler 3000 rpm’de 10 dakika süreyle santrifüjlenmiş, elde edilen süpernatantlar filtrelenerek analizlerde kullanılmak üzere ayrılmıştır.

CUPRAC metodu ile toplam antioksidan kapasite analizi; CUPRAC (Bakır (II) İyonu İndirgeme Esaslı Antioksidan Kapasite) metodu ile antioksidan kapasite tayininde Apak vd., (2008)’nın metodu kullanılmıştır. $1,0 \times 10^{-2}$ M Bakır (II) klorür çözeltisi, 1M NH₄AC (amonyum asetat tamponu, pH:7) ve 7.5×10^{-3} M neokuproin çözeltisinden 1’er ml eklenmiş ve üzerine x mL örnek ekstraktı ve (4-x) mL damıtık su, bir deney tüpüne konulmuştur. Karanlık ortamda oda

sıcaklığında 30 dakika bekletildikten sonra, spektrofotometrede 450 nm’de kör örneğe karşı absorbans değerleri okunmuştur.

Toplam antioksidan kapasite tayini, Vitali vd. (2009) tarafından geliştirilen DPPH (2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil) yönteminde bazı modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz için, 100 µL ekstrakt üzerine 3.9 mL 6×10^{-5} M konsantrasyonundaki DPPH çözeltisi eklenmiş ve karışım karanlık ortamda 30 dakika bekletilmiştir. Ardından, absorbans değerleri 515 nm dalga boyunda, kör örneğe karşı spektrofotometre (Thermo Scientific Evolution 201) kullanılarak ölçülmüştür. ABTS metodunda 100 µl ekstrakt, 3.9 ml etanol ve 1 ml 7 mM ABTS (2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) çözeltisi karıştırılarak örneklerin absorbans değerleri, kör numuneye karşı 734 nm dalga boyunda spektrofotometre cihazında (Thermoscientific Evolution 201) okunarak belirlenmiştir (Apak vd., 2008).

Mineral Madde Analizi

Mineral madde miktarı analizi, Adal (2018) tarafından uygulanan yöntemle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada CME örneklerinde bulunan magnezyum (Mg), potasyum (K), kalsiyum (Ca), mangan (Mn), demir (Fe), çinko (Zn), ve fosfor (P) elementlerinin miktarları analiz edilmiştir. Analiz için 0.7 g örneğe 10 ml HNO₃ eklenerek mikrodalgada (CEM Mars 6) yakma işlemi uygulanmıştır. Mikrodalga işlem parametreleri şu şekildedir; rampa süresi 10 dk, tutma süresi 15 dk, sıcaklık 200 °C ve güç 400-1800 W. Mineral madde analizinde ICP-MS (Agilent 7900) (İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi) cihazı kullanılmıştır. Cihaz 1550 W güç ve 45 sn örnek tutulma süresi ile çalıştırılmıştır. Kalibrasyon için 0.1–10 mg/L konsantrasyon aralığında hazırlanmış çok elementli standart çözeltiler kullanılmış olup, her elemente ait kalibrasyon eğrilerinin korelasyon katsayıları ≥ 0.999 olarak belirlenmiştir. Örneklerdeki mineral içerikleri, cihaz tarafından kalibrasyon eğrileri yardımıyla hesaplanmıştır.

Ağırlık, Hacim, Spesifik Hacim ve Pişme Kaybı Analizi

Oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ekmek örneklerinin hacim değerleri (ml) AACC metot 10–05.01'e uygun olarak kolza tohumu yer değiştirme yöntemiyle belirlenmiştir. Spesifik hacim ise, elde edilen hacim değerlerinin ilgili örneklerin ağırlıklarına oranlanmasıyla (ml/g) hesaplanmıştır (AACC, 2015).

Hamurların başlangıç ağırlıkları ve pişirme sonrasında oda sıcaklığında 2-3 saat bekletilerek soğutulan ekmeklerin son ağırlıkları ölçülmüş; bu veriler kullanılarak pişme kaybı oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Safavi ve Gharekhani, 2019).

$$\text{Pişme kaybı (\%)} = \left(X - \frac{Y}{X} \right) \times 100$$

X: Hamur ağırlığı Y: Pişikten sonraki ekmek ağırlığı

Renk Analizi

Ekmek kabuk ve iç kısımlarının renk değerleri, L* (0 siyah; 100 beyaz), a* (- yeşil; + kırmızı), b* (+ sarı; - mavi) değerleri kolorimetre (PCE-CSM3) cihazı ile belirlenmiş, toplam renk farkı (ΔE) ise aşağıdaki formül 3.5'e göre hesaplanmıştır (Diprat vd., 2020).

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

ΔE : Toplam renk farkı, ΔL^* : Kontrol ve örnekteki L parametreleri farkı, Δa^* : Kontrol ve örnekteki a parametreleri farkı ve Δb^* : Kontrol ve örnekteki b parametreleri farkı

Tekstür Analizi

Ekmek içi doku özelliklerini değerlendirmek amacıyla tekstür profili analizi (TPA) analizi, Stable Micro System marka TA-HD Plus model tekstür cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler, üretim sonrası 1. gününde (24. saat) yapılmış ve 2.5 x 2.5 x 2.5 cm boyutlarında kesilen ekmek dilimleri kullanılmıştır. Ölçümler sırasında P/36 silindir disk prob tercih edilmiş; ön test hızı: 1 mm/s, test hızı: 2 mm/s, son test hızı: 5 mm/s olarak ayarlanmış ve problama işlemi 10 mm derinliğe (%40 deformasyon) kadar ve 5 g algılama kuvveti eşliğinde uygulanmıştır. İki ardışık sıkıştırma döngüsüyle elde edilen grafik üzerinden sertlik, esneklik, yapışkanlık,

sakızimsılık ve çiğnenebilirlik özellikleri değerlendirilmiştir. Hesaplamalar AACC Metot 74-09.01 temel alınarak bazı modifikasyonlarla gerçekleştirilmiştir (AACC, 2015).

Duyusal Değerlendirme

Pişmiş ekmekler, yaşları 10 ile 58 arasında değişen 50 panelist (27 kadın, 23 erkek) tarafından duyuşal olarak değerlendirilmiştir. Panelistler, deneyimli uzmanlar, yarı eğitilmiş ve eğitimsiz katılımcılardan oluşmaktadır. Ekmek numuneleri, tüketiciler tarafından kabul edilebilirlik açısından incelenmiş ve duyuşal özellikler 9 puanlı hedonik skala kullanılarak değerlendirilmiştir (Kahraman, 2016). Panelistler, ekmekleri şekil ve simetri, koku, tat, çiğnenebilirlik, gözenek yapısı ve homojenlik, renk ve genel değerlendirme kriterlerine göre puanlamıştır.

İstatistiksel Analiz

Kontrol ve CME örneklerine ait fiziksel, kimyasal özellikler ve duyuşal değerlendirmeler arasındaki farklılıklar SPSS (SPSS 22.0) istatistik yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Veriler %95 güven aralığına tek yönlü varyans analizine (ANOVA) göre değerlendirilmiştir. Farklı formülasyonların istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturduğu durumlarda ($P < 0.05$) örnekler arasındaki farklılıkların belirlenmesi için Duncan (çoklu karşılaştırma) testi uygulanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Fizikokimyasal Analiz Değerleri

Ham madde ve ekmeklerin fizikokimyasal analiz sonucunda belirlenen değerleri Çizelge 2 ve 3'te verilmiştir.

Literatürde mısır ununun protein içeriği %4.90 ile %8.21, yağ içeriği %1.91 ile %3.90 ve kül içeriği %0.57 ile %1.50 arasında değiştiği bildirilmiştir (Gwirtz ve Garcia-Casal, 2014; Hager ve Arendt, 2013; Kılınççeker ve Hepsağ, 2010; Köten ve Ünsal, 2021; Yılmaz, 2017). Çalışmada kullanılan mısır ununun protein oranı %6.85, yağ oranı %3.22 ve kül oranı %0.75 olarak saptanmış olup, bu değerlerin daha önce literatürde bildirilen aralıklarla uyumlu olduğu görülmüştür. *C. vulgaris* türüne ait kimyasal kompozisyonunun rapor edildiği çalışmalarda protein %38.00 ile %58.10;

yağ %3.13 ile %15.70 ve kül %6.70 ile %24.20 değişen oranlarda tespit edilmiştir (Fradique vd., 2010; Batista vd., 2013; Molino vd., 2018; Qazi vd., 2021). Bu çalışmada kullanılan *C. vulgaris*

örneğinde belirlenen protein, yağ ve kül oranları sırasıyla %56.95, %6.18 ve %5.51 olup, bu değerler de literatürde bildirilen aralıklarla örtüşmektedir.

Çizelge 2. Hammaddelerin fizikokimyasal özellikleri
Table 2. Physicochemical properties of raw materials

	Mısır unu	<i>C. vulgaris</i>				
Nem(%)	11.36±0.03	6.57±0.25				
Kül (%)	0.75±0.07	5.51±0.30				
Protein (%)	6.85±0.03	56.95±0.30				
Yağ (%)	3.22±0.04	6.18±0.61				
Karbonhidrat(%)	77.78±0.74	24.81±0.72				
TPC (mg GAE/100 g)	Ekstrakte edilebilir	84.83±0.14	117.08±1.94			
	Hidrolize edilebilir	119.11±9.57	244.58±1.11			
	Toplam	203.94±9.71	361.67±3.0			
Antioksidan kapasite (µmol TE/g)	CUPRAC	13.68±4.51	312.33±10.48			
	DPPH	13.29±0.94	193.90±10.09			
	ABTS	4.35±0.93	161.89±11.40			
Su tutma kapasitesi (mg/L)	1.25±0.15 ^b	2.11±0.47 ^a	CME-1 1.28±0.13 ^b	CME-3 1.34±0.10 ^b	CME-6 1.38±0.09 ^b	CME-10 1.47±0.04 ^b

Kontrol: %0 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeği, CME-1: %1 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeği, CME-3: %3 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeği, CME-6: %6 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeği, CME-10: %10 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeğidir. Değerler, ortalama ± standart sapmadır (n=3). Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($P<0.05$).

Mısır unu ve *C. vulgaris* kullanılarak üretilen ekmek örneklerinde protein, yağ, kül ve nem içerikleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir ($P<0.05$). Yapılan analizler sonucunda, kontrol grubuna kıyasla ekmeklerin nem oranlarında anlamlı bir azalma ($P<0.05$) tespit edilirken, protein, yağ ve kül içeriklerinde istatistiksel olarak anlamlı artışlar belirlenmiştir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi'nin (EFSA) tanımına göre, bir ürünün "arttırılmış protein içeriğine sahip" olarak nitelendirilebilmesi için, benzer zenginleştirilmemiş ürüne kıyasla en az %30 daha fazla protein içermesi gerekmektedir (Qazi vd., 2021). Bu bağlamda, protein miktarında %44.92 oranında artış gösteren CME-3 ekmek örneği, bu kriteri karşılamakta ve "protein yönünden zenginleştirilmiş ürün" olarak değerlendirilebilmektedir.

Güdük (2016), katkı maddesi içermeyen ve tamamen mısır unu kullanılarak üretilen ekmek

örneklerinde iç nem oranını %42.10 ile %43.90 arasında belirlemiştir. Benzer şekilde Wazed ve İslam (2021) çalışmalarında mısır ekmeğinin nem oranını %41.06 olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen kontrol grubuna ait (yalnızca mısır unu içeren) ekmekte ise nem oranı %42.81 olarak ölçülmüştür.

Köten ve Ünsal (2021), buğday unu ile farklı oranlarda mısır unu karıştırılarak (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 ve 50:50) hazırlanan pandispanya kek örneklerinde, en yüksek kül (%1.59) ve yağ (%7.00) içeriklerinin %50 mısır unu içeren formülasyonda gözlemlendiğini rapor etmişlerdir.

Qazi ve arkadaşları (2021), *Tetraselmis chuii* (TcR), *Chlorella vulgaris* (CvR) ve *Nannochloropsis gaditana* (NgR) türlerine ait ham mikroalg biyokütelleri ile etanol ile işlem görmüş varyantları olan TcT, CvT ve NgT'nin, glutensiz un karışımından (karabuğday:pirinç unu:patates nişastası; 46:31:23)

elde edilen ekmek formülasyonlarına %4 oranında ikame edilerek besinsel, duyuşsal ve reolojik özellikler üzerine etkilerini incelemişlerdir. Söz konusu çalışmada, kontrol glutensiz ekmeklerin nispeten düşük besin içeriğine sahip olduğu, mikroalg katkısı ile ise protein, yağ, kül, mineral

maddeler ve antioksidan kapasite bakımından anlamlı artışlar sağlandığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, bu çalışmada da mikroalg içeriği sayesinde besin öğelerinde dikkat çekici düzeyde artışlar gözlemlenmiştir.

Çizelge 3. Ekmeklerin fizikokimyasal özellikleri
Table 3. Physicochemical properties of bread

		Kontrol	CME-1	CME-3	CME-6	CME-10
Nem(%)		42.81±0.25 ^a	42.49±0.47 ^{ab}	41.89±0.21 ^b	40.45±0.69 ^c	38.96±0.34 ^d
Kül (%)		1.13±0.01 ^d	1.17±0.01 ^{cd}	1.23±0.03 ^c	1.44±0.02 ^b	1.55±0.03 ^a
Protein (%)		4.63±0.05 ^c	5.09±0.31 ^d	5.83±0.02 ^c	6.71±0.09 ^b	7.71±0.04 ^a
Yağ (%)		1.39±0.02 ^d	1.58±0.06 ^d	1.79±0.03 ^c	2.22±0.06 ^b	2.71±0.15 ^a
TPC (mg GAE/100g)	Ekstrakte edilebilir	34.97±0.81 ^d	41.97±0.61 ^c	48.26±1.82 ^b	52.55±1.01 ^a	54.40±0.81 ^a
	Hidrolize edilebilir	88.40±1.22 ^d	92.55±0.21 ^c	104.40±3.24 ^b	112.12±1.62 ^a	116.97±3.63 ^a
	Toplam	123.38±0.40 ^c	134.52±0.40 ^d	152.66±1.41 ^c	164.66±2.62 ^b	171.37±2.83 ^a
Antioksidan kapasite (µmol TE/g)	CUPRAC	16.91±0.45 ^c	19.96±0.81 ^d	22.03±0.25 ^c	26.50±0.62 ^b	30.23±1.47 ^a
	DPPH	13.52±0.04 ^{cd}	13.76±0.14 ^c	14.09±0.06 ^b	14.40±0.05 ^a	14.55±0.07 ^a
	ABTS	10.14±0.09 ^c	10.93±0.49 ^{bc}	12.30±1.09 ^b	14.19±0.49 ^a	15.34±0.88 ^a
Hacim (ml)		492.91±5.15 ^a	423.67±1.05 ^b	413.23±7.30 ^b	392.09±3.90 ^c	385.15±2.17 ^c
Ağırlık (g)		325.81±0.23 ^d	326.64±0.24 ^d	335.32±0.86 ^c	345.49±3.02 ^b	350.14±1.97 ^a
Spesifik hacim (ml/g)		1.51±0.01 ^a	1.30±0.01 ^b	1.23±0.03 ^c	1.14±0.02 ^d	1.10±0.01 ^d
Pişme kaybı (%)		14.40±0.57 ^a	11.92±1.09 ^b	11.00±0.87 ^{bc}	10.38±0.49 ^{bc}	9.46±0.56 ^c
Mineral madde içeriği	Mg (mg/kg)	166.93±1.30 ^d	248.86±1.19 ^c	276.5±1.29 ^{bc}	284.98±1.12 ^{bc}	330.16±1.11 ^a
	K (mg/kg)	713.12±1.23 ^c	951.91±1.17 ^b	1047.51±1.56 ^a	1067.18±1.32 ^a	1095.81±0.75 ^a
	Ca (mg/kg)	44.15±5.08 ^d	44.36±6.41 ^d	53.35±5.71 ^c	62.07±5.04 ^b	158.75±0.92 ^a
	Mn(mg/kg)	0.94±7.42 ^d	1.23±1.72 ^c	1.38±2.65 ^b	1.39±6.48 ^b	1.48±0.82 ^a
	Fe (mg/kg)	17.94±1.68 ^c	18.94±2.01 ^d	20.24±0.25 ^{bc}	20.65±0.44 ^b	22.74±0.97 ^a
	Zn (mg/kg)	7.96±7.66 ^d	20.28±2.00 ^{bc}	22.06±3.30 ^{bc}	25.16±1.15 ^b	34.93±0.88 ^a
	P (mg/kg)	536.37±11.67 ^d	872.11±3.81 ^c	1036.25±4.00 ^b	1092.89±8.29 ^b	1236.03±1.98 ^a
Ekmek İçi Renk	L*	70.38±1.60 ^a	50.76±1.96 ^b	40.40±1.97 ^c	35.46±3.39 ^c	18.45±4.56 ^d
	a*	4.71±0.42 ^a	-4.31±0.38 ^b	-5.83±0.29 ^c	-6.50±0.52 ^c	-9.89±0.75 ^d
	b*	43.17±4.10 ^a	22.84±0.99 ^b	17.20±1.00 ^c	11.86±0.61 ^d	5.73±1.04 ^c
	ΔE	-	29.66	41.04	48.22	65.66
Ekmek Kabuğu Renk	L*	75.07±2.57 ^a	60.10±5.60 ^b	50.63±2.35 ^c	42.63±1.38 ^d	33.38±1.16 ^e
	a*	6.08±0.34 ^a	-0.70±0.30 ^b	-1.15±0.19 ^b	-2.02±0.08 ^c	-2.61±0.31 ^d
	b*	36.35±5.23 ^a	26.45±4.27 ^b	20.70±0.77 ^{bc}	16.58±2.35 ^{cd}	9.71±4.55 ^d
	ΔE	-	19.19	29.91	38.84	50.23
Tekstür Profili	Sertlik (N)	40.10±2.21 ^d	46.23±2.26 ^c	50.76±1.67 ^b	57.39±0.72 ^a	61.31±3.43 ^a
	Esneklik	0.84±0.00 ^a	0.83±0.01 ^{ab}	0.82±0.01 ^{bc}	0.81±0.01 ^c	0.79±0.01 ^d
	İç yapışkanlık	0.35±0.02 ^d	0.38±0.01 ^d	0.48±0.02 ^c	0.53±0.01 ^b	0.60±0.02 ^a
	Sakızimsılık	15.60±0.68 ^c	16.64±0.24 ^c	28.39±2.76 ^b	32.73±3.18 ^{ab}	36.55±0.35 ^a
	Çiğnenebilirlik	12.11±0.41 ^c	13.52±0.23 ^c	23.09±1.08 ^b	27.18±3.42 ^{ab}	30.51±0.10 ^a

Kontrol: %0 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeği. CME-1: %1 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeği. CME-3: %3 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeği. CME-6: %6 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeği. CME-10: %10 *C. vulgaris* ilaveli mısır ekmeğidir. Değerler ortalama ± standart sapmadır (n=3). Aynı satırda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($P<0.05$).

Su Tutma Kapasitesi

Su tutma kapasitesi, yüksek protein içeriğine sahip *C. vulgaris*'in ilave miktarıyla paralel olarak artmıştır. Bu duruma mikroalglerin hidrokoloid yapıda olmalarının etkisi olduğu düşünülmektedir. Hammaddeler ve karışımlarında su tutma kapasite değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Martínez ve Gómez (2017), mısır ununun su bağlama kapasitesini 1.42 ml/g olarak rapor etmiş, Culetu vd. (2021) ise bu değeri 1.40 ml/g olarak bildirmiştir. Garzon vd. (2021), yedi farklı mısır ununda su bağlama kapasitesinin 1.30-1.51 ml/g aralığında değiştiğini ifade etmiştir. Bu çalışmada kullanılan mısır ununun su tutma kapasitesi 1.25 ml/g olarak belirlenmiş olup, bu değer literatürde rapor edilen değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun, mısırın yetiştirme koşulları, besin bileşenleri veya unun granül boyutuna bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Ahmed ve Kumar (2022), *C. vulgaris*'in su tutma kapasitesini 25 °C ve 70 °C sıcaklıklarda sırasıyla 2.54 ml/g ve 2.61 ml/g olarak ölçmüşlerdir. Bu çalışmada kullanılan *C. vulgaris*'in 25 °C'de yapılan su tutma kapasitesi ise 2.11 ml/g olarak tespit edilmiştir ve bu değer, literatürde belirtilen sonuçlara yakınlık göstermektedir. Çizelge 2'de de görüldüğü üzere, mısır ununa eklenen *C. vulgaris* oranının artması, CME örneklerinin su tutma kapasitelerinde bir artışa neden olmuş ve bu durum örneklerin ağırlıklarının artışıyla sonuçlanmıştır.

Benzer şekilde, Garzon vd. (2021), ekmek formülasyonlarına mikroalg tozu eklenmesiyle su absorpsiyonunun sürekli olarak arttığını ve bu artışın, mikroalglerin ekmek üretiminde su absorpsiyonunu artırıcı özelliklere sahip bir hidrokoloid kaynağı olmasıyla ilişkili olduğunu belirtmiştir. Sahni vd. (2018), yağı uzaklaştırılmış *Chlorella* sp. mikroalginden metanol ekstraksiyonu yoluyla klorofil pigmentini uzaklaştırarak elde ettikleri mikroalg küspesini bisküvi formülasyonlarına dahil etmiş ve mikroalg küspesi ilavesiyle bisküvi ağırlığının kademeli olarak 23.62 g'den 23.68 g'ye yükseldiğini rapor etmiştir. Bu ağırlık artışının, mikroalg küspesinin yüksek su

tutma kapasitesine ve nem içeriğine bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Hammaddelerin ve Ekmeklerin Toplam Fenolik Madde Miktarı

Tahıllarda fenolik bileşikler serbest, çözünür konjuge ve bağlı formlar halinde bulunur ve bu formlardan bağlı olanlar, fenolik asitlerin büyük bir kısmını oluşturur (Karabulut ve Yemiş, 2019). Gıdalarda bulunan fenolik bileşiklerin serbest ve konjuge formları, metanol, etanol veya aseton:su gibi sulu organik çözücülerle gerçekleştirilen klasik ekstraksiyon yöntemleriyle tespit edilebilmektedir. Ancak bu yöntemler, ekstraksiyon sonrası kalıntılarda kalan ve toplam fenolik bileşiklerin önemli bir kısmını teşkil eden bağlı formları genellikle göz ardı etmektedir (Pérez-Jiménez ve Saura-Calixto, 2015). Meyve, sebze, tahıl ve baklagiller gibi çeşitli gıdalarda yaygın olarak bulunan bağlı ve konjuge fenolik bileşikler, toplam fenolik içeriğin daha doğru bir şekilde belirlenebilmesi için hidrolize yöntemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmıştır (Bourvellec ve Renard, 2012). Bu çalışmada ekmek örneklerinin üretiminde kullanılan hammaddeler olan mısır unu, *C. vulgaris* ve ekmeklerin ekstrakte ve hidrolize fenolik madde miktarları belirlenmiş ve Çizelge 2 ve 3'te verilmiştir.

Mısırın toplam fenolik madde içeriği üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, Deng vd. (2012) tarafından 24 tahıl türü üzerinde yapılan çalışmada, mısırın lipofilik ve hidrofilik bileşikler açısından toplam fenolik içeriği 197 mg GAE/100 g olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, Argun (2016), at dişi ve sert mısır türlerinde bu değeri 130-252 mg GAE/100 g arasında rapor ederken, Köten ve Ünsal (2021) bu değeri 106 mg GAE/100 g olarak bildirmiştir. Glutensiz unlar üzerine yapılan bir çalışmada Culetu vd. (2021), karabuğday, mısır ve kinoa unlarının sırasıyla 375, 151 ve 136 mg GAE/100 g toplam fenolik içeriğe sahip olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada kullanılan mısır ununun toplam fenolik içeriği ise 203.94 mg GAE/100 g olarak ölçülmüş ve literatürle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca, *Chlorella vulgaris* mikroalgine ilişkin literatürde toplam fenolik içeriğin, Batista vd. (2017) tarafından 640 mg GAE/100 g olarak rapor edildiği, farklı çözücülerle yapılan ekstraksiyon çalışmalarında ise 65-317 mg GAE/100 g arasında değiştiği (Abdel-Karim vd., 2019) belirtilmiştir. Qazi vd. (2022), ham ve etanol ön işlemleri *C. vulgaris* için bu değerleri sırasıyla 438 mg GAE/100 g ve 377 mg GAE/100 g olarak bildirmiştir. Bu çalışmada kullanılan *C. vulgaris*'in toplam fenolik içeriği ise 361.67 mg GAE/100 g olarak belirlenmiş ve literatüre uyum göstermiştir. Trehan vd. (2018), sarı mısır unuyla üretilen glutensiz çöreklerde toplam fenolik içeriği 83.16-97.82 mg GAE/100 g arasında, Köten ve Ünsal (2021) ise mısır unu ve buğday unu karışımlarından elde edilen pandispanya keklerinde toplam fenolik madde miktarının en yüksek olduğu örneklerin %50 mısır unu içeren gruplarda (%12.63 mg/100 g) olduğunu bildirmiştir. Qazi vd. (2022), *T. chuii*, *C. vulgaris* ve *N. gaditana* mikroalg biyokütlelerini içeren glutensiz ekmeklerde, ham mikroalg kullanılan örneklerin etanol ön işlemlere göre daha yüksek toplam fenolik içeriğe sahip olduğunu göstermiştir. Kontrol ekmeğinde bu değer 430 mg GAE/100 g iken, %4 ham *C. vulgaris* içeren ekmekte 438 mg GAE/100 g, ön işlemleri mikroalg içeren ekmekte ise 377 mg GAE/100 g olarak ölçülmüştür.

Yukarıdaki çalışmalarda hidrolize edilebilir fenolik madde değeri belirlenmemiş, ekstrakte edilebilir değerler belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen hidrolize edilebilir değerlerin ekstrakte edilebilir oranlara kıyasla yaklaşık 2 kat daha fazla ve fenolik madde içeriği en yüksek olan örneğin CME-10 (%171.37±2.83 mg GAE/100 g) olduğu belirlenmiştir. Kontrol ekmeği ile diğer CME örnekleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Hammaddelerin ve Ekmeklerin Antioksidan Kapasitesi

Yapılan araştırmalar, doğal ürünlerin antioksidan potansiyelinin yalnızca tek bir analiz yöntemi ile değerlendirilmesinin yetersiz olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, bir gıdanın antioksidan kapasitesini daha bütüncül şekilde

değerlendirebilmek adına birden fazla analiz yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, ekmek örneklerinin antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde hızlı, uygulanması kolay, tekrarlanabilirliği yüksek ve maliyeti düşük yöntemler olan DPPH, ABTS ve CUPRAC olmak üzere üç farklı analiz protokolü kullanılmıştır. Hammaddeler ve ekmeklerin toplam antioksidan kapasite sonuçları Çizelge 2 ve 3'te sunulmaktadır.

Deng vd. (2012), 24 farklı tahıl türünün lipofilik bileşikler için tetrahidrofuran ve suda çözünür bileşikler için metanol-asetik asit-su karışımı kullanılarak ABTS toplam antioksidan kapasitesini değerlendirmiş ve mısır tahılının bu değeri 4.52 µmol/g olarak rapor etmiştir. Çelik ve Gökmen (2018), tam tahıllı mısır ununun ABTS antioksidan kapasitesini 4.4 µmol Trolox/g olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada ise ABTS antioksidan kapasitesi 4.35 µmol TE/g olarak ölçülmüş ve literatürdeki sonuçlarla uyumlu bulunmuştur.

Batista vd. (2017), *P. tricornutum*, *C. vulgaris* ve *T. suecica* türlerine ait mikroalg biyokütlelerinin TEAC değerlerini sırasıyla 248 µmol TEAC/g, 193 µmol TEAC/g ve 160 µmol TEAC/g olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada kullanılan *C. vulgaris*'in DPPH antioksidan kapasitesi 193.90 µmol TE/g olarak belirlenmiştir.

Çelik ve Gökmen (2018), tam tahıllı mısır ununun DPPH antioksidan kapasitesini 2,0 µmol Trolox/g olarak rapor ederken, bu değer bu çalışmada 13.29 µmol TE/g olarak ölçülmüş ve literatür sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmüştür.

Capocchi vd. (2017), farklı renklerdeki İtalya'ya özgü mısır unu türleriyle ticari sarı mısır unu antioksidan kapasitelerini karşılaştırmış ve sarı mısır ununda CUPRAC yöntemiyle 9.10 µmol TE/g değerini tespit etmiştir. Bu çalışmada CUPRAC yöntemiyle ölçülen 13.68 µmol TE/g değerinin daha yüksek olması, tahılların yetiştirme koşulları ve genetik farklılıklara bağlanabilir.

Ekmek örneklerinin toplam antioksidan kapasitesi değerleri incelendiğinde ise Çelik ve Gökmen (2018) tam tahıllı mısır ekmeğinin kabuğunda, 200

°C'de 30 dakika pişirme sonrası ABTS ve DPPH antioksidan kapasitelerini sırasıyla 10.80 µmol Trolox/g ve 16.90 µmol Trolox/g olarak rapor etmiştir. Trehan vd. (2018), glutensiz çöreklerde kullanılan sarı mısır ununun DPPH ve ABTS inhibisyonunu sırasıyla 0.73-0.81 µM Trolox/mg ve 3.81-4.92 µM Trolox/mg arasında tespit etmiş ve antioksidan aktivitenin fenolik içerikle ilişkili olduğunu gözlemlemiştir. Qazi vd. (2022), glutensiz ekmek formülasyonlarında kontrol ekmeğinin DPPH antioksidan kapasitesini 2.22 mg Vit.C/g, %4 ham *C. vulgaris* biyokütlesi içeren ekmekte 2.59 mg Vit.C/g ve ön işlemlili *C. vulgaris* içeren ekmekte 1.86 mg Vit.C/g olarak belirlemiştir. Bu çalışmada, ekmek örneklerinin toplam antioksidan kapasitesi *C. vulgaris* ilavesiyle artmış ve en yüksek antioksidan kapasite CUPRAC yöntemiyle CME-10 örneğinde 30.23 ± 1.47 µmol TE/g olarak ölçülmüştür. Tüm ekmek örnekleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($P < 0.05$).

Ekmeklerin Mineral Madde Değerleri

Mineraller, insan sağlığı için vazgeçilmez bileşenler olup yapısal, düzenleyici ve katalitik görevleriyle vücutta önemli roller üstlenir. İnsan beslenmesinde temel gereksinimlerden biri olan bu besin öğeleri, genellikle ekmek gibi tahıl bazlı ürünler aracılığıyla alınmaktadır. Ancak, tahıl bazlı ürünlerde bulunan fitatlar gibi inhibitörler, minerallerin biyoyararlılığını sınırlandırabilmektedir. Özellikle fitik asidin yüksek şelatlama kapasitesi, Fe, Zn ve Ca gibi minerallerin emilimini olumsuz yönde etkileyerek biyoyararlanımlarını düşürmektedir (Dewettinck vd., 2008; Torrinha vd., 2019). Bu durum, tahıl ürünlerinin mineral katkılarının etkinliğini sınırlandıran önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Ekmeklerin mineral madde içeriği Çizelge 3'te verilmiştir.

Genel olarak, glutensiz ürünlerde ve özellikle mısır unu gibi tahıl kaynaklarında kalsiyum (Ca) gibi makro minerallerin yanı sıra demir (Fe), çinko (Zn) ve mangan (Mn) gibi iz elementlerin miktarlarının düşük seviyelerde olduğu bildirilmektedir (Culetu vd., 2021; Yılmaz, 2017). Literatürde yer alan çalışmalara göre, mısır ununda yer alan bazı temel minerallerin aralıkları

şu şekildedir: Ca: 33.2–193 mg/kg, Mg: 294–930 mg/kg, P: 813.7–2720 mg/kg, K: 1487–3150 mg/kg, Fe: 9.1–24.0 mg/kg, Zn: 5.1–17.3 mg/kg ve Mn: 1.5–5.0 mg/kg (Hager vd., 2012a; Nuss ve Tanumihardjo, 2010; Rybicka ve Świgło, 2017; Suri ve Tanumihardjo, 2016; Yılmaz, 2017). Mısır unu kullanılarak hazırlanan ekmeklerde ise mineral içerikleri şu aralıklarda rapor edilmiştir: Ca: 140–225 mg/kg, Mg: 170.33–370.0 mg/kg, K: 1136–1780 mg/kg, P: 750.67–1090.0 mg/kg, Fe: 11.58–13.0 mg/kg, Zn: 4.0–7.78 mg/kg (Yılmaz, 2017; Torrinha vd., 2019). Öte yandan *Chlorella vulgaris*, toplam mineral içeriği bakımından oldukça zengin bir mikroalg türü olup, özellikle eser elementler açısından önemli bir besin kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bu türün mineral madde oranları ile ilgili yapılan çalışmalarda; Ca: 2700–4730 mg/kg, Mg: 1100–4100 mg/kg, P: 1530–9600 mg/kg, K: 980–21500 mg/kg, Fe: 166.3–6800 mg/kg, Mn: 34.6–4000 mg/kg ve Zn: 17.5–5500 mg/kg aralıklarında değerler bildirilmektedir (Batista vd., 2013; Panahi vd., 2016; Tibbetts vd., 2016). Bu bulgular, *C. vulgaris*'in mineral madde yönünden mısır ununa göre çok daha yüksek düzeylerde içerik sunduğunu ortaya koymaktadır. Kontrol ekmeğindeki magnezyum miktarı 166.93 mg/kg iken, *C. vulgaris* oranının artışıyla bu değer kademeli olarak artmış ve CME-10 örneğinde 330.16 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Literatürde, *C. vulgaris*'in yüksek magnezyum içeriğine sahip olduğu (Batista vd., 2013), bu mineralin besin profiline önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir. Çalışmamızda magnezyum miktarındaki bu artış, mikroalg ilavesinin mineral zenginleştirmede etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Potasyum miktarı kontrol örneğinde 713.12 mg/kg olarak ölçülmüş ve *C. vulgaris* ilavesiyle artarak CME-10 örneğinde 1095.81 mg/kg seviyesine ulaşmıştır. Potasyumun, tahıllar ve mikroalgler için doğal bir mineral olduğu ve mikroalglerin özellikle yüksek potasyum içeriğiyle öne çıktığı bildirilmiştir (Deng vd., 2012). Bu çalışmadaki artış, mikroalglerin beslenme açısından potasyum kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Kontrol örneğinde oldukça düşük bir değer olan 44.15 mg/kg kalsiyum miktarı, *C. vulgaris* oranının artışıyla belirgin şekilde yükselmiş ve CME-10

örneğinde 158.75 mg/kg olarak ölçülmüştür. Literatürde, mikroalglerin kalsiyum açısından zengin bir kaynak olduğu ve bu mineralin gıdalarda fortifikasyon amacıyla kullanılabileceği rapor edilmiştir (Safar vd., 2015). Bu artış, mikroalg ilavesinin ürünlerin kalsiyum profiline olumlu etkisini desteklemektedir.

Manganez miktarı kontrol örneğinde 0.94 mg/kg iken, *C. vulgaris* ilavesiyle artarak CME-10 örneğinde 1.48 mg/kg seviyesine çıkmıştır. Qazi vd. (2021) çalışmalarında, mikroalg ilavesinin iz minerallerden manganez gibi elementlerin miktarını artırdığı belirtilmiştir. Bu sonuç, mikroalglerin mineral zenginleştirmedeki etkinliğini doğrulamaktadır.

Demir içeriği kontrol ekmeğinde 17.94 mg/kg olarak belirlenmiş ve *C. vulgaris* oranına bağlı olarak artarak CME-10 örneğinde 22.74 mg/kg seviyesine ulaşmıştır. Batista vd. (2013), mikroalglerin demir açısından zengin bir bileşim sunduğunu bildirmiştir. Elde edilen sonuçlar, *C. vulgaris*'in ekmeklerde demir içeriğini artırma potansiyelini göstermektedir.

Çinko miktarı incelendiğinde ise kontrol ekmeğinde 7.96 mg/kg iken, CME-10 örneğinde bu değer yaklaşık dört kat artarak 34.93 mg/kg seviyesine ulaşmıştır. Literatürde mikroalglerin çinko içeriğini artırdığı ve özellikle gluten içermeyen ürünlerin çinko miktarını dengelediği belirtilmiştir (Safar vd., 2015). Bu çalışmada da benzer bir sonuç elde edilmiştir.

Bir diğer makro mineral olan fosfor incelendiğinde kontrol örneğinde 536.37 mg/kg olarak ölçülmüş ve *C. vulgaris* ilavesiyle artış göstererek CME-10 örneğinde 1236.03 mg/kg seviyesine ulaşmıştır. Deng vd. (2012), mikroalglerin yüksek fosfor içeriğiyle tahıllara kıyasla daha fazla mineral katkısı sağladığını belirtmiştir. Çalışmamızdaki sonuçlar bu literatür bulgusuyla uyumludur.

Tabloda görüldüğü üzere, mineral içeriklerin tamamında *C. vulgaris* ilavesiyle belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu durum, mikroalglerin ekmeklerin besleyici özelliklerini artırdığı yönündeki literatür

bulgularını destekler niteliktedir. Özellikle magnezyum, potasyum, kalsiyum, demir ve fosfor içeriklerinde belirgin iyileşmeler sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, mikroalglerin gıda ürünlerinde mineral zenginleştirme amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Ekmeklerin Ağırlık, Hacim, Spesifik Hacim ve Pişme Kaybı Değerleri

CME içeren hamurlarda, ksantan gamin yüksek su bağlama kapasitesine ek olarak, *Chlorella vulgaris*'in mısır ununa göre daha fazla su tutabilme özelliği sayesinde, formülasyondaki mikroalg oranı arttıkça hamurun su tutma kapasitesinin de yükseldiği gözlemlenmiştir (Becker, 2007; Graça vd., 2018; Tian vd., 2022). Su tutma kapasitesindeki bu artışın, CME grubundaki örneklerde pişirme sırasında yaşanan kütle kaybını azalttığı ve dolayısıyla pişmiş ürünün ortalama ağırlığını artırdığı düşünülmektedir. Artan ağırlığın ise, ürün hacmi sabit kaldığında spesifik hacim değerinde düşüşe yol açabileceği değerlendirilmektedir. Nitekim, Çizelge 3'te sunulan verilere göre; spesifik hacim, toplam hacim ve pişirme kaybı parametreleri açısından kontrol ve CME grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar belirlenmiştir ($P<0.05$).

Spesifik hacim değerleri, kontrol grubunda en yüksek (1.51 ml/g) iken, ilave oranı arttıkça azalmış ve CME-10 grubunda en düşük değer (1.10 ml/g) ölçülmüştür. Bu düşüş, yüksek su tutma kapasitesinin yanı sıra mikroalglerin protein ve lif içeriğinin ekmek gözenek yapısını olumsuz etkileyerek spesifik hacmi azaltabileceğini bildiren önceki çalışmalarla uyumludur (Kulp ve Ponte, 2000).

Ekmeklerin Renk Değerleri

Ekmeklerin renk parametresi, su aktivitesi, pişirme koşulları, hamura eklenen hidrokoloid ve su miktarı, indirgen şekerler, amino asit içeriği ve pH gibi faktörlere bağlıdır (Sabanis ve Tzia, 2011). Mikroalg biyokütlelerinde bulunan klorofil pigmentinin varlığı, ekmeklerin renklerinde meydana gelen değişikliklerin temel sebebi olarak belirtilmiştir (Khemiri vd., 2020). Ekmek örneklerinde iç ve kabuk kısımlarının renklerini gösteren L^* (0 siyah; 100 beyaz), a^* (- yeşil; +

kırmızı), b^* (+ sarı; - mavi) ve ΔE (toplam renk farkı) parametrelerinin değerlerine ait sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Bu çalışmada yapılan renk analizi, ekmeklerin iç ve kabuk renklerindeki farklılıkların, insan gözü tarafından ayırt edilebilecek seviyede olduğunu Şekil 1

ortaya koymuştur ($\Delta E > 3$) (Garcia-Segovia vd., 2007). *C. vulgaris* ilavesinin artışına paralel olarak ekmek örneklerinin hem kabuk hem de iç renginde, L^* , a^* ve b^* parametre değerleri istatistiksel olarak önemli fark göstermiştir ($P < 0.05$). Ekmek örneklerinin görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. *Chlorella vulgaris* ilaveli ekmek görüntüleri
Figure 1. Images of bread supplemented with *Chlorella vulgaris*

Özellikle, L^* değerinin (açıklık) düştüğü, a^* değerinin (kırmızı-yeşil eksen) negatif yöne kayarak yeşil rengin belirginleştiği ve b^* değerinin (mavi-sarı eksen) değişiklik gösterdiği ortaya konmuştur. Önceki araştırmalar, *Chlorella vulgaris* ilavesinin ekmek ürünlerine yeşil renk tonlarının artmasına neden olduğunu ve bu durumun duyusal kabul edilebilirlik açısından önemli bir etken olabileceğini belirlemiştir (Pereira vd., 2024). Tüketicilerin geleneksel ekmeklerde beklediği altın sarısı veya kahverengi tonlarının yeşil renge dönüşmesi, kabul edilebilirlik üzerinde olumsuz bir etki yaratabilmektedir (Ścieszka ve Klewicka, 2020).

Öte yandan, gastronomik uygulamalarda mikroalg kaynaklı renk değişimlerinin maskelenmesi için bazı stratejilerin uygulanabileceği öne sürülmektedir. Örneğin, Gouveia vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, tereyağlı bisküvilerde *Chlorella vulgaris* kullanımının neden olduğu renk değişimlerinin kakao ve vanilin gibi bileşenlerle dengelenerek duyusal kabulü artırabileceği belirtilmiştir (Schüler vd., 2020). Benzer şekilde, Dündar vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, doğal tatlandırıcı ve baharat eklenmesinin mikroalg kaynaklı istenmeyen renk tonlarını hafifletebileceği ifade

edilmiştir (Qazi vd., 2021; Qazi vd., 2022). Bu stratejilerin, ürünlerin pazarlanabilirliğini artırmaya yönelik önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, mikroalg ilavesinin ekmeklerin renk özellikleri üzerindeki etkinliğinin yanı sıra, uygulayıcıların bu durumu dengelemek için çeşitli bileşenlerden faydalanmaları gerektiği ortadadır. Bu bağlamda, mikroalglerin duyusal kabul edilebilirliğini artırmak amacıyla yapılan çalışmalar, yalnızca renk değişimlerinin üstesinden gelmekle kalmayıp, aynı zamanda ürünlerin genel besin kalitesini de artırmayı hedeflemektedir (Khemiri vd., 2020, Qazi vd., 2022).

Ekmeklerin Tekstür Profili Analizi (TPA) Değerleri

Ekmek örneklerine ait 1. gün (24. saat) tekstür analiz sonuçları Çizelge 3'te sunulmuştur. Sertlik parametresi açısından en yüksek değer, 61.31 ± 3.43 N ile CME-10 örneğinde ölçülürken, en düşük değer 40.10 ± 2.21 N ile kontrol grubunda kaydedilmiştir. Kontrol ve CME grupları arasındaki bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($P < 0.05$).

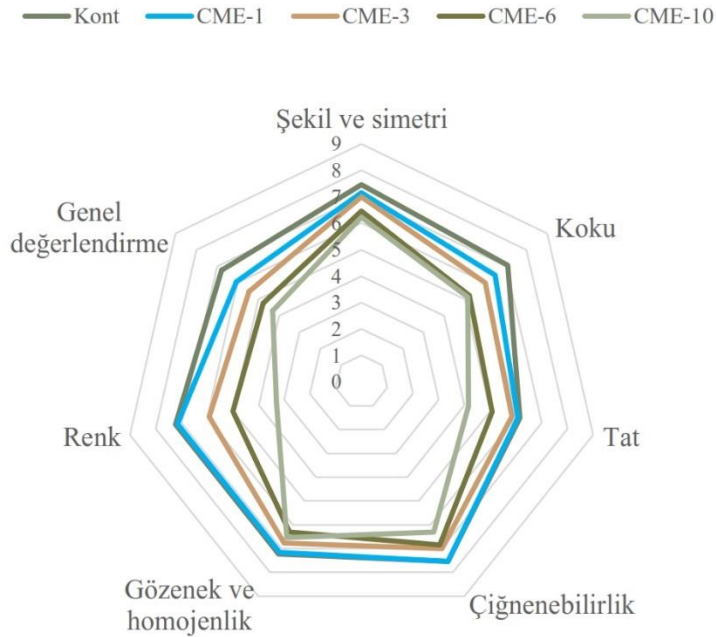
C. vulgaris mikroalglerinin yapısında bulunan protein ve karbonhidratların yanı sıra, doğal hidrokolloid özellikleri, hamur matrisinde yapı dayanımının artırılması ve suyun tutulmasında etkin rol oynamaktadır (Gouveia vd., 2007; Uribe-Wandurraga vd., 2020a). Bu çalışmada, mikroalg konsantrasyonunun artmasıyla birlikte, CME grubunda sertlik, iç yapışkanlık, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinde artış, buna karşılık esneklik değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Esneklik düzeylerindeki bu azalma, spesifik hacimdeki düşüşle ilişkili olabilir. Elde edilen bulgular, literatürde bildirilen verilerle de uyum göstermektedir. Gouveia vd. (2007), geleneksel tereyağlı bisküvilerde %0.5–3.0 arasında değişen *C. vulgaris* ilavesiyle sertlikte artış raporlamışlardır. Benzer şekilde, Batista vd. (2017) buğday unu bazlı bisküvilerde %2–6 oranında farklı mikroalg türleri (*A. platensis*, *C. vulgaris*, *T. suecica*, *P. tricornutum*) ile yapılan formülasyonlarda sertlikte anlamlı artışlar kaydetmişlerdir. Qazi vd. (2021), %4 oranında *C. vulgaris* eklenen glutensiz ekmeklerde; Uribe-Wandurraga vd. (2020b), tahıl unuyla hazırladıkları 3D baskı çerezlerde %1–4 oranında *C. vulgaris* ilavesiyle; yine Qazi vd. (2021),

buğday unu ile üretilen ekmeklerde %12 oranında *T. chui*, *C. vulgaris* ve *M. gaditana* mikroalg biyokütlesi kullanılarak benzer yönde sonuçlar elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Bu çalışmada da sertlikteki artışa paralel olarak çiğnenebilirlik değerlerinde yükseliş gözlemlenmiştir. Çiğnenebilirlik, katı bir gıdayı yutulabilir hale getirmek için gereken toplam enerjinin göstergesi olup, bu parametrede kontrol ile CME-10 örnekleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.05$). Elde edilen sonuçlar, Belorio ve Gómez (2020) tarafından yapılan değerlendirmelerle de örtüşmekte olup, daha düşük spesifik hacme sahip ekmeklerin genel olarak daha yüksek sertlik ve çiğnenebilirlik değerleri sergilediği ifade edilmiştir.

Ekmeklerde Duyusal Değerlendirme

Duyusal değerlendirme sonuçları, 9 puanlı hedonik skala kapsamında görselleştirilmiş olup (9: aşırı derecede beğendim, 5: ne beğendim ne de beğenmedim, 1: aşırı derecede beğenmedim), Şekil 2'de örümcek ağı grafiği şeklinde sunulmuştur.



Şekil 2. Duyusal değerlendirme grafiği
Figure 2. Sensory evaluation chart

Duyusal değerlendirme sonuçlarına göre, tüm parametrelerde en yüksek puan kontrol örneğine verilmiştir. Buna karşın, gözenek ve homojenlik dışındaki tüm kriterlerde en düşük puanı CME-10 örneği almıştır. *Chlorella vulgaris* ilavesinin ekmekğin besinsel değerini artırmasına rağmen, yüksek oranlarda kullanımı (%6-10), yeşilimsi renk değişimi, balıgımsı koku ve acı tat gibi istenmeyen duysal etkiler oluşturarak tüketici memnuniyetini düşürmektedir (Caporgno ve Mathys, 2018; Schüler vd., 2020).

Belorio ve Gómez (2020), sertlik ve çiğnenabilirlik değerlerinin arttığını rapor etmiş, Graça vd. (2018) ise dokusal özelliklerin duysal kalite açısından önemli olduğunu vurgulamıştır (Qazi vd., 2021). Ancak, düşük seviyelerde (%1-3) kullanımının kabul edilebilirliği koruyabileceği belirtilmektedir. Bazı çalışmalar, mikroalglerin ekmeğe katılmasının duysal profili iyileştirebileceğini göstermektedir (Freitas vd., 2023; Mahmoud vd., 2024). Ayrıca, doğal tatlandırıcılar veya baharatların eklenmesiyle tat ve aroma uyumu artırılabilir (Qazi vd., 2022; Dündar vd., 2023).

Mikroalglerin tat ve kokusu, tüketici kabulünü zorlaştırabilen faktörler arasındadır (Schüler vd., 2020; Dantas vd., 2021). Bu nedenle, ekmek formülasyonlarında mikroalg kullanımı dikkatle değerlendirilmelidir. Düşük seviyelerde ekleme, olumlu etkiler sağlayabilirken, pazarlama stratejileri de göz önünde bulundurulmalıdır (Qazi vd., 2021; Qazi vd., 2022).

SONUÇ

Bu çalışma, sarı mısır unu ve *Chlorella vulgaris* mikroalginin bir arada kullanılarak üretilen ekmeklerin besinsel ve fizikokimyasal özelliklerindeki değişimleri kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir. Çalışma sonuçları, *C. vulgaris* ilavesinin ekmeklerin protein, yağ, kül ve mineral içeriğini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Özellikle magnezyum, potasyum, kalsiyum, demir, çinko ve fosfor gibi minerallerin içeriğinde gözlemlenen artışlar, mikroalglerin mineral zenginleştirme amacıyla kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, *C. vulgaris*'in yüksek su tutma kapasitesinin, ekmeklerin nem içeriğinde azalmaya, pişirme kayıplarının ise azalmasına katkı

sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, mikroalg ilavesiyle spesifik hacim ve gözenek yapısında azalma meydana gelmiş, bu durum yüksek protein ve lif içeriğinin ekmek yapısını olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir.

Duyusal değerlendirme sonuçları, panelistlerin *C. vulgaris* oranı arttıkça ekmeklerde belirgin istenmeyen koku ve acımsı tat algıladıklarını ortaya koymuş, bu durum özellikle CME-10 örneğinde düşük puanlarla sonuçlanmıştır. Ancak, besinsel değerlerin artışıyla birlikte antioksidan kapasitelerdeki iyileşmeler, bu tür mikroalglerin işlenmiş gıdalarda fonksiyonel bir bileşen olarak kullanıma potansiyelini desteklemektedir. Genel olarak bu çalışma, *C. vulgaris* ilavesinin mısır unlu ekmeklerin besin içeriğini zenginleştirdiğini ancak ürün kalitesi ve duysal özellikler üzerindeki etkilerinin optimize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda, mikroalg ilavesine bağlı olarak ekmeklerin besinsel değerlerinde önemli iyileşmeler sağlanırken, duysal özelliklerde bazı olumsuzluklar tespit edilmiştir. Bu durumun giderilmesi için, mikroalg kullanım oranlarının optimize edilmesi ve tat-aroma uyumunu artıracak doğal tatlandırıcılar, baharatlar veya aromatik bileşenlerin eklenmesi önerilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar makale ile ilgili herhangi bir kişi veya kurum ile çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

YAZARLARIN KATKISI

Fatma Demircioğlu; kavramsallaştırma, laboratuvar analizleri, metodoloji, yazma-orişinal taslak, Ayşe Neslihan Dündar; kavramsallaştırma, veri iyileştirme, metodoloji, supervizyon, Oya Irmak Şahin ve Furkan Türker Sarıcaoğlu; biçimsel analiz, doğrulama, görselleştirme aşamalarına katkı sağlamıştır. Tüm yazarlar makalenin yazımına katkıda bulunmuş, son halini okumuş ve onaylamışlardır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, birinci yazarın Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda

Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladığı “*Chlorella vulgaris*’in mısır ekmeğine ilavesinin ekmek kalite kriterleri ve hamur reolojisi üzerine etkisi” başlıklı yüksek lisans tezinden kısmen uyarlanmıştır.

KAYNAKLAR

AACC (2015). Approved methods of American Association of Cereal Chemists International (11th ed.). St. Paul, MN, USA.

Abdel-Karim, O. H., Gheda, S. F., Ismail, G. A., Abo-Shady, A. M. (2019). Phytochemical Screening and antioxidant activity of *Chlorella vulgaris*. Delta Journal of Science, 41(1), 79-91.

Adal, S. (2018). Yumurta kabuğu tozu kullanılarak mineral madde bakımından zenginleştirilen ekmeklerin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi (Yüksek lisans tezi). Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

Ahmed, H., Kumar, P. (2022). Effect of high-pressure treatment on oscillatory rheology, particle size distribution and microstructure of microalgae *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis*. *Algal Research*, 62: 102617.

Anonim, (2003). Danish food composition databank. Erişim: 05 Mayıs 2018. <http://www.foodcomp.d>

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Karademir, S.E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26): 7970–7981.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Esin, M. (2008). Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay. *Microchimica Acta*, 160(4): 413–419.

Arendt, E.K., Dal Bello, F. (Eds.). (2008). Gluten-free cereal products and beverages. London: Academic Press.

Argun, M. Ş. (2016). Ülkemizde yetiştirilen bazı mısır çeşitlerine uygulanan alkali pişirme işleminin

mısır unlarının karakteristik özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması. (Doktora tezi).

Batista, A.P., Gouveia, L., Bandarra, N.M., Franco, J.M., Raymundo, A. (2013). Comparison of microalgal biomass profiles as novel functional ingredient for food products. *Algal Research*, 2(2): 164–173.

Batista, A.P., Niccolai, A., Biondi, N., Rodolfi, L., D’Ottavio, M., Tredici, M.R. (2017). Microalgae as potential sources of high-value compounds for food and feed. *Journal of Applied Phycology*, 29(3): 1357–1372.

Becker, E.W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25(2): 207–210.

Belorio, M., Gómez, M. (2020). Effect of hydration on gluten-free breads made with hydroxypropyl methylcellulose in comparison with psyllium and xanthan gum. *Foods*, 9(11): 1548.

Bledsoe, A.C., King, K.S., Larson, J.J., Snyder, M., Absah, I., Choung, R.S., Murray, J.A. (2019). Micronutrient deficiencies are common in contemporary celiac disease despite lack of overt malabsorption symptoms. *Mayo Clinic Proceedings*, 94(7): 1253–1260.

Bourvellec, L.B., Renard, C.M.G.C. (2012). Interactions between polyphenols and macromolecules: Quantification methods and mechanisms. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(3): 213–248.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.

Capocchi, A., Bottega S, Spanò C, Fontanini D. (2017). Phytochemicals and antioxidant capacity in four Italian traditional maize (*Zea mays* L.) varieties. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 68(5): 515-524.

Caporgno, M. ve Mathys, A. (2018). Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. *Frontiers in Nutrition*, 5.

- Capriles, V.D., Arêas, J.A.G. (2014). Novel approaches in gluten-free breadmaking: Interface between food science, nutrition, and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5): 871–890.
- Culetu, A., Susman, I. E., Duta, D. E., Belc, N. (2021). Nutritional and functional properties of gluten-free flours. *Applied Sciences*, 11(14), 6283.
- Çelik, İ., Gökmen, V. (2018). Impact of thermal processing on total phenolic and antioxidant capacities of whole grain cereals. *Journal of Cereal Science*, 81: 55–60.
- Dantas, D., Cahú, T., Oliveira, C., Abadie-Guedes, R., Roberto, N., Santana, W., Bezerra, R. (2021). *Chlorella vulgaris* functional alcoholic beverage: effect on propagation of cortical spreading depression and functional properties. *Plos One*, 16(8), e0255996.
- Demirkesen, I., Ozkaya, B. (2022). Recent strategies for tackling the problems in gluten-free diet and products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(3): 571–597.
- Deng, G.F., Xu, X.R., Guo, Y.J., Xia, E.Q., Li, S., Wu, S., Chen, F., Ling, W.H., Li, H.B. (2012). Determination of antioxidant property and their lipophilic and hydrophilic phenolic contents in cereal grains. *Journal of Functional Foods*, 4, 906–914.
- Deora, N.S., Deswal, A., Mishra, H.N. (2014). Alternative approaches towards gluten-free dough development: Recent trends. *Food Engineering Reviews*, 6(3): 89–104.
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kuhne, B., Van de Walle, D., Courtens, T.M., Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction, and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48(2): 243–257.
- Diprat, A.B., Silveira Thys, R.C., Rodrigues, E., Rech, R. (2020). *Chlorella sorokiniana*: A new alternative source of carotenoids and proteins for gluten-free bread. *LWT*, 134: 110020.
- Dündar, A., Şahin, O., Sarıcaoğlu, F. (2023). Low-fat cookies with *chlorella vulgaris*: effects on dough rheology, physical, textural and sensory properties of cookies. *Gıda / the Journal of Food*, 48(3), 526–544.
- El Khoury, D., Balfour-Ducharme, S., Joye, I.J. (2018). A review on the gluten-free diet: Technological and nutritional challenges. *Nutrients*, 10(10): 1410.
- Freitas, M., Ferreira, J., Nunes, M., Raymundo, A. (2023). The chemistry and bioactive properties behind microalgae-enriched gluten-free breads. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(2), 872–885.
- Foschia, M., Horstmann, S., Arendt, E.K., Zannini, E. (2016). Nutritional therapy—Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food. *International Journal of Food Microbiology*, 239: 113–124.
- Fradique, M., Batista, A.P., Nunes, M.C., Gouveia, L., Bandarra, N.M., Raymundo, A. (2010). Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(10): 1656–1664.
- Garcia-Segovia, P., Andrés-Bello, A., Martínez-Monzó, J. (2007). Effect of cooking method on mechanical properties, color, and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*, 181: 64–72.
- Garzon, R., Skendi, A., Antonio Lazo-Velez, M., Papageorgiou, M., Rosell, C. M. (2021). Interaction of dough acidity and microalga level on bread quality and antioxidant properties. *Food Chemistry*, 344.
- Gouveia, L., Batista, A.P., Miranda, A., Empis, J., Raymundo, A. (2007). *Chlorella vulgaris* biomass used as colouring source in traditional butter cookies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(3): 433–436.
- Graça, C., Fradinho, P., Sousa, I. Raymundo, A. (2018). Impact of *Chlorella vulgaris* on the rheology of wheat flour dough and bread texture. *LWT-Food Science and Technology*, 89 (November 2017), 466–474.
- Green, P.H., Lebowhl, B., Greywoode, R. (2015). Celiac disease. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 135(5): 1099–1106.
- Güdü, H. (2016). Mısırlı ekmeklerde mısır unu seviyesi ve katkı kullanımının kalite üzerine etkisi.

- Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 104 s.
- Gwartz, J.A., Garcia-Casal, M.N. (2014). Processing maize flour and corn meal food products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1): 66–75.
- Hager, A.S., Arendt, E.K. (2013). Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocolloids*, 32(1): 195–203.
- Holtmeier, W., Caspary, W.F. (2006). Celiac disease. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 1(1): 3.
- Kahraman, G. (2016). Development of gluten-free bread formulations based on chickpea flour: Optimization of formulation, evaluation of dough properties and bread quality. Unpublished doctoral dissertation, İzmir Institute of Technology, İzmir, Turkey
- Karabulut, I., Yemiş, O. (2019). Fenolik Bileşiklerin Bağlı Formları ve Biyoyararlılığı. *Akademik Gıda*, 17 (4): 526-537.
- Kelly, C.P., Bai, J.C., Liu, E., Leffler, D.A. (2015). Advances in diagnosis and management of celiac disease. *Gastroenterology*, 148(6): 1175–1186.
- Khemiri, S., Khelifi, N., Nunes, M. C., Ferreira, A., Gouveia, L., Smaali, I., Raymundo, A. (2020). Microalgae biomass as an additional ingredient of gluten-free bread: Dough rheology, texture quality and nutritional properties. *Algal Research*, 50, 101998.
- Kılınççeker, O., Hepsağ, F. (2010). Kaplama malzemesi olarak mısır unlarının bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2): 20–27.
- Köten, H., Ünsal, A.M. (2021). Mısır unu ilavesinin pandispanya tipi keklerin morfojeometrik, fonksiyonel ve tekstürel özelliklerine etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(2): 172-184.
- Kulp K, Ponte Jr J.G (Eds.), (2000), Handbook of cereal science and technology (2nd Ed.), *Marcel Dekker*, New York, USA, 1-30.
- Lopes, A.P., Santos, F.M., Silva, T.F.C.V., Vilar, V.J.P., Pires, J.C.M. (2020). Outdoor cultivation of the microalga *Chlorella vulgaris* in a new photobioreactor configuration: The effect of ultraviolet and visible radiation. *Energies*, 13(8): 1962.
- Ludvigsson, J.F., Murray, J.A. (2019). Epidemiology of celiac disease. *Gastroenterology Clinics of North America*, 48(1): 1-18.
- Machado, A., Pereira, H., Costa, M., Santos, T., Carvalho, B., Soares, M., Silva, J. (2020). Development of an organic culture medium for autotrophic production of *Chlorella vulgaris* biomass. *Applied Sciences*, 10(6): 2156.
- Mahmoud, N., Ferreira, J., Raymundo, A., Nunes, M. (2024). Enhancing the protein, mineral content, and bioactivity of wheat bread through the utilisation of microalgal biomass: a comparative study of *Chlorella vulgaris*, *Phaeodactylum tricornutum*, and *Tetraselmis chuii*. *Applied Sciences*, 14(6), 2483.
- Martinez, M.M., Gómez, M. (2017). Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. *Journal of Food Engineering*, 197, 78–86.
- Matos, M.E., Rosell, C.M. (2015). Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(4): 653–661.
- Molino, A.M., Miccio, G., Iovine, A., Marino, T., Musmarra, D. (2018). Microalgae characterization for consolidated and new application in human food, animal feed and nutraceuticals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15 (11), 1–21.
- Naczki, M., Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(5): 1523–1542.
- Nuss, E.T., Tanumihardjo, S.A. (2010). Maize: A paramount staple crop in the context of global

- nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(4): 417–436.
- Panahi, Y., Darvishi, B., Sahebkar, A., Jowzi, N., Beiraghdar, F., Tayarani-Najaran, Z. (2016). *Chlorella vulgaris*: A multifunctional dietary supplement with diverse medicinal properties. *Current Pharmaceutical Design*, 22(2): 164–173.
- Pereira, T., Barroso, S., Pinto, F., Silva, F., Teixeira, P., Mendes, S., Gil, M. (2024). Application of microalgae as natural colorant for pastry and confectionary products. *Food Science & Nutrition*, 12(11), 9479–9492.
- Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F. (2015). Macromolecular antioxidants or non-extractable polyphenols in fruit and vegetables: Intake in four European countries. *Food Research International*, 74, 315–323.
- Qazi, W. M., Ballance, S., Kousoulaki, K., Uhlen, A. K., Kleinegris, D. M. M., Skjånes, K., Rieder, A. (2021). Protein enrichment of wheat bread with microalgae: *Microchloropsis Gaditana*, *Tetraselmis Chui* and *Chlorella Vulgaris*. *Foods*, 10 (12).
- Qazi, M. W., de Sousa, I. G., Nunes, M. C., Raymundo, A. (2022). Improving the nutritional, structural, and sensory properties of gluten-free bread with different species of microalgae. *Foods*, 11 (3).
- Rybicka, I., Gliszczy-Swiglio, 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.
- Sabanis, D., Tzia, C. (2011). Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. *Food Science and Technology International*, 17(4): 279–291.
- Safar, H., Van Wagenen, J., Møller, P., Jacobsen, C. (2015). Microalgal carotenoids: A review of production, extraction, stability, and bioaccessibility. *Marine Drugs*, 13(9): 5462–5487.
- Safavi, N., Gharekhani, M. (2019). The effect of sodium caseinate and microbial transglutaminase enzyme on rheological, physical, and sensorial properties of corn-based gluten-free bread. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 7(4): 365–376.
- Sahni, P., Sharma, S., Singh, B. (2019). Evaluation and quality assessment of defatted microalgae meal of *Chlorella* as an alternative food ingredient in cookies. *Nutrition and Food Science*, 49 (2), 221–231.
- Schüler, L., Morais, E., Trovão, M., Machado, A., Carvalho, B., Carneiro, M., ... ve Varela, J. (2020). Isolation and characterization of novel *chlorella vulgaris* mutants with low chlorophyll and improved protein contents for food applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8.
- Scieszka, S. ve Klewicka, E. (2020). Influence of the microalga *chlorella vulgaris* on the growth and metabolic activity of *Lactobacillus* spp. bacteria. *Foods*, 9(7), 959.
- Simić, M., Žilić, S., Šimuruna, O., Filipčev, B., Škrobot, D., Vančetović, J. (2018). Effects of anthocyanin-rich popping maize flour on the phenolic profile and the antioxidant capacity of mix-bread and its physical and sensory properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(4): 299–308.
- Singh, N., Singh, S., Shevkani, K. (2019). Maize: Composition, bioactive constituents, and unleavened bread. *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*, 111–121.
- Sit, N., Misra, S., Deka, S. C. (2013). ‘Physicochemical, functional, textural and colour characteristics of starches isolated from four taro cultivars of north-east India’, *Starch-Stärke*, 65: (11-12), 1011-1021.
- Suri, D.J., Tanumihardjo, S.A. (2016). Effects of different processing methods on the micronutrient and phytochemical contents of maize: from A to Z. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15 (5), 912–926.
- Tian, S., Wang, F., Luo, M., Yan, F., Ke, D., Chen, H., Gao, S. (2022). Effect of *Chlorella pyrenoidosa* powder on rheological properties and fermentation characteristics of dough. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46 (4), 1–10.

- Tibbetts, S. M., MacPherson, T., McGinn, P. J., Fredeen, A. H. (2016). In vitro digestion of microalgal biomass from freshwater species isolated in Alberta, Canada for monogastric and ruminant animal feed applications. *Algal Research*, 19, 324–332.
- Torrinha, Á., Oliveira, M., Marinho, S., Paíga, P., Delerue-Matos, C. Simone, M. (2019). Mineral Content of Various Portuguese Breads: Characterization, Dietary Intake, and Discriminant Analysis. *Molecules*, 24 (2787).
- Trehan, S., Singh, N., Kaur, A. (2018). Characteristics of white, yellow, purple corn accessions: phenolic profile, textural, rheological properties and muffin making potential. *Journal of Food Science and Technology*, 55 (6), 2334–2343.
- Tümer, E., Özer, S. (2018). Bazı fonksiyonel ürünlerin glutensiz ekmek üretiminde ekmek nitelikleri üzerine etkisi. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 36: 6.
- Uribe-Wandurraga, Z. N., Igual, M., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J. (2020a). In vitro bioaccessibility of minerals from microalgae-enriched cookies. *Food and Function*, 11 (3), 2186–2194.
- Uribe-Wandurraga, Z. N., Igual, M., Reino-Moyón, J., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J. (2020b). Effect of microalgae (*Arthrospira platensis* and *Chlorella vulgaris*) addition on 3D printed cookies. *Food Biophysics*, 16 (1), 27–39.
- Vitali, D., Dragojević, I. V., Šebečić, B. (2009). Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chemistry*, 114 (4), 1462–1469.
- Wandersleben, T., Morales, E., Burgos-Diaz, C., Barahona, T., Labra, E., Rubilar, M., Salvo-Garrido, H. (2018). Enhancement of functional and nutritional properties of bread using a mix of natural ingredients from novel varieties of flaxseed and lupine. *LWT – Food Science and Technology*, 91: 48–54.
- Wazed, M. A., Islam, M. R. (2021). Influence of barley, corn and rice flour on physical, chemical and sensory characteristics of gluten-free bread. *Malaysian Journal of Halal Research*, 4 (2), 36–41.
- Yılmaz, V.A. (2017). Hamsi unu ile zenginleştirilen mısır ekmeğinin özellikleri ve raf ömrünün belirlenmesi (Doktora tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.