

Farklı defitinizasyon yöntemleriyle işlenmiş buğday kepeğinin genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalık üretiminde kullanımı ve ürün kalitesi üzerine etkileri

Öznur EYMİR

Cite this article as:

Eymir, Ö. (2026). Farklı defitinizasyon yöntemleriyle işlenmiş buğday kepeğinin genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalık üretiminde kullanımı ve ürün kalitesi üzerine etkileri. *Food and Health*, 12(2), 110-122. <https://doi.org/10.3153/FH26010>

Necmettin Erbakan University Meram
Vocational School Food Processing
Department of Flour and Flour Products
Technology Program, Konya, Türkiye

ORCID IDs of the authors:

Ö.E. 0000-0001-8023-4250

Submitted: 30.09.2025

Revision requested: 10.11.2025

Last revision received: 16.11.2025

Accepted: 26.11.2025

Published online: 23.02.2026

Correspondence:

Öznur EYMİR

E-mail: oznureymir@gmail.com



© 2026 The Author(s)

Available online at
<http://jfh.scientificwebjournals.com>

ÖZ

Bu çalışmada, farklı defitinizasyon yöntemlerinin (otoklavlama, fermentasyon ve enzimatik) buğday kepeği üzerinde yarattığı etkiler ve bu kepeklerin genleştirilmiş tahıl bazlı ürünlerin kalitesi üzerine yansımaları araştırılmıştır. Defitimize edilmiş kepekler formülasyona %0–15 oranlarında ikame edilmiş ve renk parametreleri, fiziksel özellikler (çap ve yayılma oranı), fitik asit içeriği ve duyu özellikleri açısından değerlendirilmiştir. 121 °C’de 30 dakika otoklavlanmasıyla elde edilen modifiye kepeğin artan oranı, ürün çapını belirgin şekilde azaltmış, genleşme kapasitesini düşürmüştü ve daha koyu yüzey rengine yol açmıştır. *Saccharomyces cerevisiae* ile 37 °C’de 24 saat fermente edilerek elde edilen modifiye kepek, özellikle gevreklik ve genel beğeni skorlarını artırarak duyu kalite açısından en olumlu sonucu sağlamıştır. Fitaz ile 37 °C’de 24 saat enzimatik olarak modifiye edilen kepek ise özellikle %5 ikame düzeyinde yayılma oranının 4.12’ye kadar yükselmesiyle yapısal özelliklerde iyileşme sağlamıştır. Fitik asit içeriği açısından değerlendirildiğinde, hammaddelerde 655–773 mg/100 g aralığında bulunan başlangıç değerleri genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalık ürünlerinde farklı seviyelere ulaşmıştır. İşlem görmemiş kepek katkılı genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalıklarda fitik asit miktarı ~900 mg/100 g ile en yüksek seviyeye çıkarken, fitaz uygulamasıyla üretilen örneklerde bu değer 600 mg/100 g seviyelerine kadar düşmüştür. Fermentasyon ve otoklavlama gruplarında ise fitik asit düzeyleri orta seviyelerde kalmıştır (650–750 mg/100 g). En yüksek tüketici kabulü fermente kepek katkılı örneklerde elde edilmiştir. Bulgular, özellikle fermentasyonun fonksiyonel atıştırmalıkların tüketici kabulünü artırmada, fitazın ise besinsel değerini geliştirmede umut vadeden yaklaşımlar olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Buğday kepeği, Defitinizasyon, Fitaz, Fermentasyon, Otoklavlama, Genleştirilmiş tahıl ürünü

ABSTRACT

Use of wheat bran processed with different dephytinization methods in the production of expanded cereal-based snacks and their effects on product quality

This study investigated the effects of different dephytinization methods (autoclaving, fermentation, and enzymatic phytase treatment) on wheat bran and the subsequent impact of the modified brans on the quality of expanded cereal-based snacks. Dephytinized brans were incorporated into formulations at substitution levels of 0–15% and evaluated in terms of color parameters, physical properties (diameter and spread ratio), phytic acid content, and sensory attributes. Bran modified by autoclaving at 121 °C for 30 minutes led to a significant reduction in product diameter, decreased expansion capacity, and darker surface color as the substitution level increased. Bran fermented with *Saccharomyces cerevisiae* at 37 °C for 24 hours produced the most favorable sensory outcomes, particularly improving crispiness and overall acceptability. Enzymatically modified bran obtained by phytase treatment at 37 °C for 24 hours improved structural properties, especially at the 5% substitution level, achieving a spread ratio as high as 4.12. Regarding phytic acid content, initial values of 655–773 mg/100 g in raw materials shifted considerably in the snack products. The highest phytic acid level (~900 mg/100 g) was observed in snacks enriched with untreated bran, whereas phytase-treated samples exhibited markedly lower levels (~600 mg/100 g). Fermented and autoclaved groups presented intermediate phytic acid contents (650–750 mg/100 g). The greatest consumer acceptance was obtained in snacks containing fermented bran. Overall, the findings highlight fermentation as a promising approach to enhance consumer acceptance, while phytase treatment effectively improves the nutritional quality of functional expanded snacks.

Keywords: Wheat bran, Dephytinization, Expanded cereal product, Phytase, Fermentation, Autoclaving

Giriş

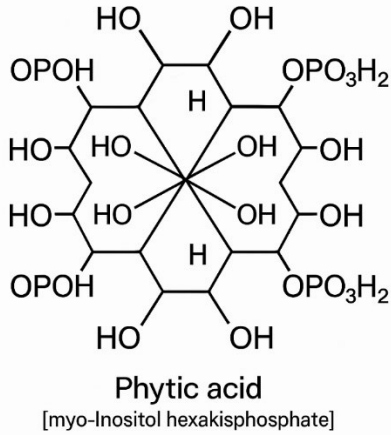
İnsan sağlığının korunması ve yaşam kalitesinin artırılması, modern beslenme anlayışının temel öncelikleri arasında yer almakta; bu kapsamda güvenilir, sürdürülebilir ve besleyici gıdaların geliştirilmesi her zamankinden daha fazla önem taşımaktadır. Artan kentleşme, düzensiz beslenme alışkanlıkları ve lifçe yetersiz diyetler, obezite, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve gastrointestinal bozukluklar gibi sağlık sorunlarının dünya genelinde hızla yayılmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, tam tahıllar ve özellikle diyet lifi açısından zengin ürünlerin düzenli tüketiminin, kronik hastalık riskini azaltmada önemli bir role sahip olduğu birçok çalışma tarafından ortaya konmuştur (Aarestrup ve ark., 2012; Ye ve ark., 2012; Reicks ve ark., 2014; Cankurtaran, 2022). Tahıl ürünlerinde özellikle diyet lifi, gastrointestinal sistem sağlığını koruyarak kolon kanseri riskini düşürmekte, ayrıca kolesterol düzeylerini dengeleyerek koroner kalp rahatsızlıklarının önlenmesinde rol oynamaktadır (Anderson ve Chen, 1979). Bununla birlikte, yetersiz lif alımı günümüzde medeniyet hastalıkları olarak tanımlanan kolon kanseri, divertiküloz, kabızlık, obezite ve diyabet gibi sağlık sorunlarının artışında önemli bir etken olarak görülmektedir.

Buğday kepeği, öğütme endüstrisinin önemli bir yan ürünü olup yüksek diyet lifi, fenolik bileşikler, vitaminler ve antioksidanlar içermektedir (Beta ve ark., 2005). Ayrıca kolay temin edilebilir, ekonomik ve birçok gıda formülasyonuna katılabilir niteliktedir. Bununla birlikte, kepeğin doğrudan unlu mameullere ilavesi; gluten ağ yapısının zayıflaması, hamurun gaz tutma kapasitesinin azalması ve ürünlerin hacim, tekstür ve duyu özelliklerinde bozulmaya yol açmaktadır (Barros ve ark., 2010; Schmiele ve ark., 2012; Sozer ve ark., 2014). Bu nedenle, kepeğin işlevsel bileşenlerinden yararlanmayı kolaylaştıracak ön işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Kepeğin besinsel değerini artıran bileşenlerinin yanında, ürün teknolojisi ve mineral biyoyararlılığını sınırlayabilen antibesinsel faktörler de bulunmaktadır. Bu faktörlerin başında fitik asit gelmektedir. Buğday kepeğinin önemli antibesinsel bileşenlerinden biri olan fitik asit [myo-inositol heksakis(dihidrojen fosfat), IP6] (Şekil 1), tahıl tanelerinin aleuron tabakası ve kepek fraksiyonunda fosforun başlıca depo formudur (Graf, 1986).

Molekül, myo-inositol çekirdeğine bağlı altı adet fosfat grubundan oluşmakta olup, bu yapı sayesinde divalent ve trivalent mineraller (Ca^{2+} , $Fe^{2+/3+}$, Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} ve Mg^{2+}) ile güçlü şelat kompleksleri oluşturur. Bu kompleksleşme minerallerin biyoyararlılığını belirgin şekilde azaltmakta, ayrıca proteinlerdeki pozitif yüklü aminoasit rezidüleriyle elektros-

tatik etkileşimlere girerek sindirilebilirliği olumsuz etkilemektedir. Fitik asidin bu kimyasal özellikleri, onu tam tahıl ürünlerinde en önemli antibesinsel faktörlerden biri haline getirmektedir (Oberleas, 1973; Cheryan, 1980; O'Dell, 2012). Benzer şekilde firik ve siyez bulgurda da fitik asit gibi antibesinsel faktörlerin düzeyi ürünlerin besinsel değerini sınırlayıcı bulunmuştur (Pekkirişçi ve ark., 2023). Bu nedenle, gıdalarda “antibesinsel faktör” olarak tanımlanır. Özellikle gelişme çağındaki çocuklarda, emziren kadınlarda ve aneminin yaygın olduğu toplumlarda fitik asidin yüksek düzeyde tüketimi önemli bir beslenme sorununu oluşturmaktadır. Fitik asidin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler geliştirilmiştir. Isıl işlemler (ör. otoklavlama), enzimatik uygulamalar (fitaz ilavesi) ve mikrobiyal fermentasyon (maya ve laktik asit bakterileri) en yaygın kullanılan yöntemler arasındadır. Bu yöntemler yalnızca fitik asidin parçalanmasını sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda kepeğin çözünür lif, arabinoksilan ve fenolik bileşik gibi fonksiyonel bileşenlerinin biyoyararlılığını da artırabilmektedir (Katina ve ark., 2007; Coda ve ark., 2012). Dolayısıyla kepeğin uygun ön işlemlerden geçirilmesi hem besinsel değerini artırmakta hem de farklı gıda ürünlerinde kullanımını mümkün kılmaktadır. Buğday kepeğinin fonksiyonel özelliklerinden yararlanmanın yollarından biri de atıştırma ürünlerine ilavesidir. Günümüzde tüketici eğilimleri, lifçe zengin ve sağlıklı atıştırma ürünlerine yönelmiştir. Pirinç ve mısır karışımlarına kepek ilavesiyle üretilen “gong” tipi atıştırma ürünleri, bu anlamda uygun bir model oluşturmaktadır. Ancak kepeğin yüksek fitik asit içeriği, bu ürünlerde besinsel açıdan sınırlayıcı bir faktör olabilmektedir. Bu nedenle geliştirilmiş tahıl bazlı atıştırma üretiminde kullanılacak kepeğin ön işlemlerle modifiye edilmesi, fitik asit düzeyinin düşürülmesi ve ürünün fonksiyonel değerinin artırılması açısından önemlidir.

Bu çalışmada, buğday kepeğine üç farklı defitinizasyon yöntemi (otoklavlama, fitaz ve maya uygulamaları) uygulanarak geliştirilmiş tahıl bazlı atıştırma ürünlerinde fitik asit miktarındaki değişimler araştırılmıştır. Böylece farklı işlemlerin fitik asidi düşürmedeki etkinliği değerlendirilmiş ve buğday kepeğinin fonksiyonel atıştırma üretiminde kullanım olanakları tartışılmıştır.



Şekil 1. Fitik asidin kimyasal yapısı (IP6) (Graf, 1986)

Figure 1. Chemical structure of phytic acid (IP6) (Graf, 1986)

Materyal ve Metot

Materyal

Genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalık üretiminde temel hammaddeler olarak mısır (Altın Yıldız, Konya), pirinç (Altın Yıldız, Konya), buğday kepeği ve tuz (Billur tuz, İzmir) kullanılmıştır. Piyasadan temin edilen cin mısır öğütülerek 1 mm'lik elekten geçirilmiş, kırık pirinç ise doğrudan değerlendirilmiştir. Buğday kepeği, Konya'da faaliyet gösteren Onel Un Fabrikası'ndan sağlanmıştır. Defitinitizasyon işlemlerinde kullanılmak üzere aktif kuru maya (Pakmaya, Türkiye) ve fitaz enzimi Ronozyme® HiPhos (DSM, Danimarka) kullanılmıştır. Ürün spesifikasyonuna göre enzim aktivitesi en az 20.000 FYT/g olup, bu çalışmada 100 g kepeğe 0,5 g enzim ilave edilerek yaklaşık 10.000 FYT/100 g kepek düzeyinde fitaz aktivitesi sağlanmıştır. Tüm hammaddeler Konya piyasasından temin edilmiştir. Kullanıma hazır formdaki boyutları küçültülmüş mısır ve pirinç örnekleri ile buğday kepeği Şekil 2'de verilmiştir. Çalışmada model ürün

olarak, Türkiye'de "Gong®" ticari adıyla satılan mısır-pirinç karışımı genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalıklar temel alınmış, makale boyunca bu ürünler "genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalık" olarak anılmıştır.

Metot

Defitinitizasyon işlemleri

Bu çalışmada kepeğin fitik asit içeriğini azaltmak için literatürde en yaygın bildirilen üç temel yöntem olan fiziksel (otoklavlama), mikrobiyal (maya fermentasyonu) ve enzimatik (fitaz uygulaması) uygulamalar kullanılmıştır.

Maya fermentasyonu: Maya fermentasyonu (*Saccharomyces cerevisiae*, 37 °C, 24 saat), tahıl sistemlerinde hem endojen fitaz aktivitesini artırması hem de organik asit üretimiyle pH'yı düşürerek fitik asit hidrolizini hızlandırması nedeniyle yaygın olarak önerilmektedir. Bu süre-sıcaklık aralığı, hamurlarda ve tahıl bazlı ürünlerde fitatin önemli ölçüde parçalandığını gösteren çalışmalar (Palacios ve ark., 2008; Servi ve ark., 2008; Lopez ve ark., 2001) referans olarak uygulanmıştır. Bu kapsamda, 100 g ham kepek, 100 mL steril su ile ıslatıldıktan sonra 1.25 g aktif kuru maya (Pakmaya, Türkiye) eklenmiş, homojenize edilmiş ve 37 °C'de 24 saat fermentasyona bırakılmıştır.

Fitaz uygulaması: Fitaz uygulamasında kullanılan süre ve sıcaklık (37 °C, 24 saat) ise, ticari Ronozyme® HiPhos fitazının üretici tarafından bildirilen optimum çalışma sıcaklığı (35–40 °C) ve literatürde tahıl sistemlerinde gerçekleştirilen enzimatik defitinitizasyon çalışmalarında yaygın kullanılan uygulama koşulları dikkate alınarak belirlenmiştir (Greiner & Konietzny, 2006; Sharma ve ark., 2022; Chondrou ve ark., 2024). Kısaca, 100 g ham kepek, 100 mL steril su ile ıslatıldıktan sonra 0.5 g fitaz enzimi (Ronozyme® HiPhos, DSM, Danimarka) ilave edilmiş, karışım 37 °C'de 24 saat fermentasyona tabi tutulmuştur.



Şekil 2. Genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalık üretiminde kullanılan hammaddeler

Figure 2. Raw materials used in the production of expanded cereal-based snacks

Otoklavlama: Otoklavlama (121 °C, 30 dk), fitat–mineral komplekslerini parçalayarak fitik asitin hidrolizini hızlandırdığı ve kepek/tahıl ürünlerinde fitat miktarını azalttığı için seçilmiştir. Bu uygulama buğday kepeği, pirinç kepeği ve mercimek gibi matrislerde daha önce başarıyla kullanılmıştır (Yaghoubi, 2023; Karaçoban ve ark., 2023). Bu kapsamda, 100 g ham kepek, 100 mL steril su ile karıştırıldıktan sonra 121 °C’de 30 dakika otoklavlanmıştır (WiseClave Wac-60).

Tüm işlemler sonrasında elde edilen kepek örnekleri, 60 °C’de 24 saat etüvde (Nüve KD-200) kurutulmuş, ardından laboratuvar tipi öğütücü (Besa ARS-B12) ile öğütülmüş ve 1 mm’lik elekten geçirilerek analizlerde kullanılmıştır.

Tüm defitinizasyon işlemlerinde kepek–su karışımının başlangıç pH’sı ölçülmüş, herhangi bir kimyasal ile pH ayarlanması yapılmamıştır. Başlangıç pH değerleri ham, otoklavlanmış, fermente ve fitaz uygulanan kepek gruplarında sırasıyla yaklaşık 6,1–6,4 aralığında bulunmuştur. Maya fermentasyonu sonrasında pH 4,2–4,5; fitaz uygulaması sonrasında ise 5,0–5,3 aralığına düşmüştür. Bu yaklaşım ile, kepeğin doğal tampon kapasitesi koranarak, ev tipi ve endüstriyel uygulamalara daha yakın koşullarda defitinizasyon etkisi değerlendirilmiştir.

Genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma üretimi

Kontrol örneklerinde pirinç ve mısır irmikleri 70:30 oranında karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımların nemi %18’e ayarlanmış ve genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma makinesinin (Pop Machine SFM-600 Korea) sıcaklığı 240 °C’ye getirilmiştir. Belirlenen koşullarda hazneye yerleştirilen karışımlar patlatılarak genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma örnekleri üretilmiştir. Ayrıca maya ile fermente edilmiş, otoklavlanmış, enzim uygulaması yapılmış ve işlem uygulanmamış kepek örnekleri %5, %10 ve %15 oranlarında karışıma ilave edilerek ayrı ayrı genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma üretiminde kullanılmıştır. Üretilen genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma örneklerine ait görseller Şekil 3’de verilmiştir.

Renk analizi

Hammadde ve genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma örneklerinin renk özellikleri, Minolta Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Sensing Inc., Osaka, Japonya) cihazı kullanılarak CIE Lab* renk uzayını tanımlayan ISO 11664-4:2008 standardı esas alınarak belirlenmiştir. Ölçümlerde L* (açıklık/koyuluk), a* (yeşil/kırmızı) ve b* (mavi/sarı) değerleri kaydedilmiştir. Cihaz, analizlerden önce beyaz standart plaka (L* = 98.45, a* = -0.10, b* = -0.13) ile kalibre edilmiştir (Francis, 1998).

Fiziksel ölçümler

Elde edilen genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma örneklerinin çap ve kalınlık değerleri, her bir örnekten beş tekrar alınarak dijital kumpas (Mitutoyo, 0.001 mm hassasiyet, Japonya) ile AACC Method 10-54 (AACC, 2010) esas alınarak ölçülmüştür. Yayılma değeri ise aynı metodun prensiplerine uygun olarak çap/kalınlık oranı şeklinde hesaplanmıştır. Bisküvi ve kraker ürünlerinde kullanılan standardize yöntem esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Fitik asit analizi

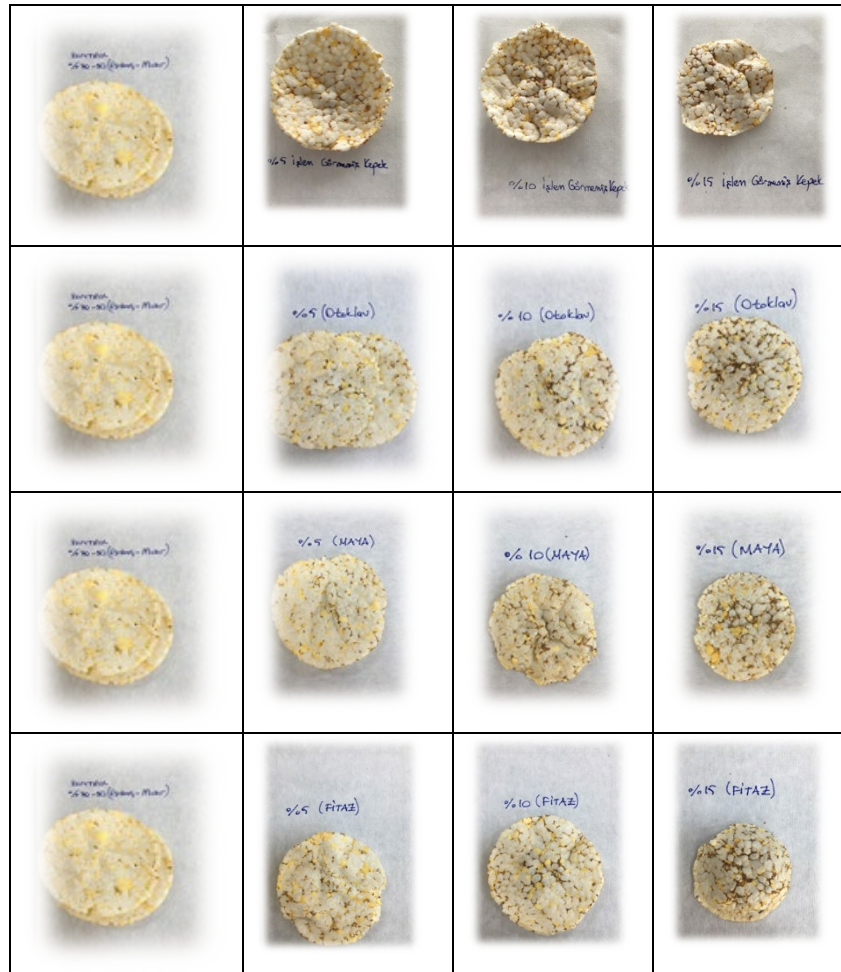
Fitik asit tayini, Haug ve Lantzsch (1983) tarafından tanımlanan kolorimetrik yöntemle göre gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, örneklerden 1 g alınarak 50 mL 0.2 N HCl çözeltisi ile oda sıcaklığında üç saat süreyle ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon sonrasında karışım süzülümüş ve filtreden 1 mL alınarak üzerine 0.5 mL Fe(III) çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım kaynar su banyosunda 30 dakika tutulmuş, soğutulduktan sonra 2 mL bipiridin eklenmiştir. Renk gelişimi sonucu oluşan kompleksin absorbanası spektrofotometre (Shimadzu UV-Vis, Japonya) ile 519 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Fitik asit miktarı, sodyum fitat standart eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar mg/100 g örnek (kuru bazda) olarak ifade edilmiştir.

Duyusal analiz

Genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma örneklerinin duyusal özellikleri, eğitimli panelistler tarafından ISO 4121:2003 standartında tanımlanan 7-puanlık hedonik skala kullanılarak değerlendirilmiştir (1 = çok kötü, 7 = çok iyi). Panelde toplam 20 panelist görev almış ve her panelist, numuneleri rastgele kodlanmış kaplarda tatmıştır. Duyusal değerlendirmede renk, tat, koku, gevreklik ve genel beğeni parametreleri dikkate alınmıştır. Numuneler aynı ortam koşullarında (22 ± 2 °C, gün ışığı lambası altında) sunulmuş, her panelist arasında su ve tuzsuz kraker ile ağız temizliği sağlanmıştır.

İstatistiksel analiz

İstatistiksel analiz, JMP istatistik programı, sürüm 10.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler üç bağımsız tekerrür olarak yürütülmüş ve sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde raporlanmıştır. Gruplar arasındaki farklılıklar tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiş ve fark bulunan durumlarda Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır (p<0.05).



Şekil 3. İşlem görmemiş (A), otoklavlanmış (B), fermente edilmiş (C) ve fitaz enzimi ile muamele edilmiş (D) buğday kepeği içeren genişletilmiş tahıl bazlı atıştırmalık örnekleri

Figure 3. Examples of expanded cereal-based snacks containing untreated (A), autoclaved (B), fermented (C), and phytase enzyme-treated (D) wheat bran

Bulgular ve Tartışma

Genleştirilmiş Tahıl Bazlı Atıştırmalıkların Renk Özellikleri

Renk, tüketici tarafından ilk fark edilen ve ürünün görsel kalitesini doğrudan etkileyen en önemli özelliklerden biridir. Bu nedenle farklı işlem koşulları ve katkı maddelerinin ürünün renk parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Çalışmada elde edilen örnekler için renk değerleri Tablo 1’de sunulmuştur. Tablo 1’de, farklı işlem yöntemleri (otoklavlama, fitaz, maya ve işlem görmemiş kepek) uygulanarak elde edilen ürünlerin renk parametreleri

(L*, a*, b*, Hue, SI) hem işlem çeşitlerine ait ortalama değerler hem de defitinize buğday kepeği ilave oranları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Böylece hem uygulanan işlem türlerinin hem de kepek katkı oranlarının ürünlerin renk özellikleri üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde ortaya konmuştur. Defitinizasyon amacıyla uygulanan otoklavlama, fitaz ve maya işlemleri, kepeğin renk özellikleri üzerinde belirgin etkiler göstermiştir ve bu işlem görmüş kepekler artan oranlarda genişletilmiş tahıl bazlı atıştırmalık formülasyonuna dahil edilmiştir. Otoklavlama ile L* değerlerinin 80.23’ten 58.09’a düşmesi, kepek oranı arttıkça rengin koyulaştığını açıkça ortaya koyarken, a* değerlerinin nega-

tife kıyasla pozitif yönde artması kırmızı tonunun güçlendiğini göstermiştir. Bu bulgular, ısı işlem sırasında Maillard reaksiyonları ve karamelizasyonun etkisine bağlanabilir (Wang ve ark., 2015; Fellows, 2017). Fitaz uygulamasında da L* değerlerinde düşüş gözlenmiş, özellikle %15 ikame oranında en düşük değere (60.59) ulaşılmıştır. Aynı zamanda a* değerlerinin artması, fitazın fitatları parçalayıp serbest bıraktığı minerallerin fenolik bileşiklerle etkileşime girerek renk değişimlerini hızlandırdığını düşündürmektedir (Brejnolt ve ark., 2011; Iglesias-Puig ve ark., 2015). Maya işlemiyle de L* değerleri azalmış, a* değerleri ise sürekli artış göstermiş ve %10 ikame oranında en yüksek kırmızılık elde edilmiştir. Bu durum, mayaların fermentatif metabolizmasının pigment bozunmaları ve organik asit üretimiyle ilişkili olabileceğini göstermektedir. Ayrıca maya grubunda b* ve SI değerlerinin daha yüksek olması, sarı tonların fermentasyon süresince daha iyi korunduğuna işaret etmektedir (Katina ve ark., 2005; Arendt ve ark., 2007). Kontrol grubu olan işlem görmemiş kepekte ise L* değerlerinde kısmi azalmalar olsa da a* değerlerinin düşük kalması, kırmızılık etkisinin sınırlı olduğunu ortaya koymuş ve doğal pigment yapısının ısı/enzimatik işlem görmediğinde daha stabil kaldığını göstermiştir (Călinoiu ve ark., 2018).

İşlem çeşitlerinin ortalama değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek L* değeri işlem görmemiş kepek grubunda (73.98) elde edilmiş ve bu durum rengin daha açık kaldığını göstermiştir. Buna karşın, defitinizasyon amacıyla uygulanan işlemlerden otoklavlama en düşük L* değerine sahip olmuştur (68.51). a* değerleri açısından en yüksek kırmızılık maya uygulamasında (2.18) gözlenirken, en düşük değer işlem görmemiş kepekte bulunmuştur (0.40). b* ve SI değerlerinin maya grubunda daha yüksek seyretmesi, fermentasyonun ürün renginde sarımsı tonları güçlendirdiğini düşündürmektedir. Hue açısının ise en yüksek işlem görmemiş kepekte bulunması, bu örneklerin renginin daha az kırmızıya kaydığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, defitinizasyon işlemleri (otoklavlama, fitaz ve maya) ile muamele edilen kepeklerin artan oranlarda geliştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalık formülasyonuna katılmasıyla ürünlerin renk parametrelerinde meydana gelen değişimleri yansıtmaktadır. Literatürde de farklı tahıl işlemlerinin renk parametrelerini farklı yönlerde değiştirdiği benzer şekilde rapor edilmiştir (Foschia ve ark., 2013; Hemdane ve ark., 2016).

Defitinize buğday kepeği oranına göre değerlendirme yapıldığında, kepek ikame oranı arttıkça L* değerleri anlamlı şekilde azalmış (80.23 → 62.89), a* değerleri ise artmıştır (-0.59 → 3.11). Bu bulgu, kepek oranı arttıkça ürünlerin koyulaştığını ve kırmızı tonun belirginleştiğini ortaya koymaktadır. Özellikle %5 ikame oranında b* ve SI değerlerinin en

yüksek seviyelere ulaşması, orta düzey kepek katkısının ürünlere daha sarımsı ton kazandırdığını göstermektedir. Hue değerleri ise kepek miktarı arttıkça düzenli olarak azalmıştır. Bu eğilim, tam tahıl ve yüksek kepek katkılı ürünlerde literatürde yaygın olarak bildirilen bir bulgudur (Călinoiu ve ark., 2018; Ficco ve ark., 2018). Dolayısıyla defitinize kepeğin artan düzeyde katkısı ürünlerin görsel özelliklerinde daha koyu ve kırmızımsı bir profile yol açmaktadır.

Genleştirilmiş Tahıl Bazlı Atıştırmalıkların Çap, Kalınlık ve Yayılma Değerleri

Defitinizasyon amacıyla uygulanan otoklavlama, fitaz ve maya işlemlerinin kepeğin fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri Tablo 2’de verilmiştir. Otoklavlama ile çap değerleri %0 ikamede 105.08 mm’den %15 ikamede 70.64 mm’ye düşmüş, bu durum kepek oranı arttıkça ürünlerin genleşme kapasitesinin azaldığını açıkça ortaya koymuştur. Bu sonuç, kepeğin lifli yapısının nişasta şişmesi ve gaz tutulumu kapasitesini sınırlandırarak genleşmeyi olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bu bulgu, kepek ilavesinin genleşmiş ürünlerin yapısal bütünlüğünü zayıflattığını bildiren çalışmalarla tutarlıdır (Robin ve ark., 2011). Ayrıca yüksek sıcaklık ve basınç altında uygulanan otoklavlama, nişasta-protein matrisinin esnekliğini düşürerek genişleme kabiliyetini sınırlamaktadır (Wang ve ark., 2015). Fitaz uygulamasında da çap değerleri ikame oranına bağlı olarak azalmış, ancak yayılma oranları diğer işlem gruplarına kıyasla nispeten daha yüksek bulunmuştur (örneğin %5 ikamede 4.12). Bu bulgu, fitazın kepek matriksini kısmen parçalayarak genleşmeyi destekleyici bir rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Literatürde de fitazın kepekli ürünlere yapısal değişimlere yol açarak ürün kalitesini iyileştirebildiği belirtilmektedir (Brejnolt ve ark., 2011; Iglesias-Puig ve ark., 2015). Maya işlemiyle birlikte çap değerleri azalmış ve %10 ikamede 71.76 mm’ye kadar gerilemiştir. Yayılma oranlarında ise anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum, maya fermentasyonunun ürünlere genleşmeyi sınırlı ölçüde etkilediğini, ancak yapısal farklılıkların daha çok fermentasyon sürecinden kaynaklanabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde ekşi maya fermentasyonunun ürünlerin hacim ve tekstür özelliklerini değiştirdiği, ancak genleşme kapasitesinde sınırlı etkili olduğu daha önce de rapor edilmiştir (Katina ve ark., 2005; Arendt ve ark., 2007). Kontrol grubu olan işlem görmemiş kepekte ise çap değerleri artan kepek oranıyla birlikte azalmış, %0 ikamede 105.08 mm iken %15 ikamede 71.68 mm’ye kadar düşmüştür. Yayılma oranları ise küçük dalgalanmalar göstermiştir. Bu durum, işlem görmemiş kepeğin yapısal olarak genleşmeyi sınırlandırdığı ancak enzimatik veya ısı işlem görmüş kepeğe kıyasla daha stabil kaldığını göstermektedir (Hemdane ve ark., 2016; Călinoiu ve ark., 2018).

Tablo 1. Genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma malıklarının renk özellikleri¹**Table 1.** Colour characteristics of expanded cereal-based snacks¹

		<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	Hue	SI
<i>Otoklav</i>	0	80.23±1.78a	-0.59±0.44d	15.34±6.75a	92.67±2.44a	15.36±6.74a
	5	72.75±2.08b	0.90±0.66c	14.91±3.27a	86.74±2.35b	14.95±3.28a
	10	62.98±2.54c	2.76±0.60b	15.18±2.83a	79.40±2.97c	15.45±2.77a
	15	58.09±1.93d	4.18±1.06a	14.14±2.05a	73.73±2.07d	14.75±2.25a
Fitaz	0	80.23±1.78a	-0.59±0.44c	15.34±6.75a	92.67±2.44a	15.36±6.74a
	5	69.74±1.30b	2.51±0.75ab	17.67±3.13a	81.98±1.61b	17.85±3.17a
	10	66.00±3.66b	2.36±1.19b	14.93±2.27a	81.13±3.65b	15.14±2.36a
	15	60.59±3.58c	3.41±0.62a	12.85±1.73a	75.20±0.81c	13.30±1.83a
Maya	0	80.23±1.78a	-0.59±0.44c	15.34±6.75a	92.67±2.44a	15.36±6.74a
	5	71.78±1.51b	2.01±0.56b	20.39±3.99a	84.29±1.62b	20.49±3.99a
	10	61.58±0.97c	3.72±0.95a	17.34±3.03a	77.98±1.52c	17.74±3.15a
	15	63.84±3.53c	3.58±1.11a	17.10±0.67a	78.21±3.62c	17.50±0.70a
Ham	0	80.23±1.78a	-0.59±0.44c	15.34±6.75a	92.67±2.44a	15.36±6.74a
	5	73.21±1.54b	0.86±0.26ab	20.54±4.97a	87.40±1.36bc	20.56±4.96a
	10	73.44±1.75b	0.08±0.96bc	16.69±2.18a	89.44±3.19ab	16.71±2.18a
	15	69.03±3.94c	1.26±0.66a	14.92±2.01a	85.26±2.03c	14.98±2.04a
<i>Defitinizasyon Yöntemi</i>	N	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	Hue	SI
Otoklav	8	68.51±9.01b	1.81±1.97a	14.89±3.83b	83.14±7.71b	15.13±3.82b
Fitaz uygulaması	8	69.14±7.80b	1.92±1.71a	15.20±4.06ab	82.75±6.82b	15.41±4.04ab
Fermantasyon	8	69.36±7.78b	2.18±1.93a	17.54±4.30a	83.29±6.53b	17.77±4.31a
İşlem görmemiş	8	73.98±4.69a	0.40±0.94b	16.87±4.67ab	88.69±3.54a	16.90±4.66ab
<i>DBKİO² (%)</i>						
0	8	80.23±1.63a	-0.59±0.40d	15.34±6.20b	92.67±2.24a	15.36±6.19b
5	8	71.87±2.03b	1.57±0.91c	18.38±4.29a	85.10±2.74b	18.46±4.30a
10	8	66.00±5.21c	2.23±1.63b	16.03±2.60ab	81.99±5.30c	16.26±2.65ab
15	8	62.89±5.19d	3.11±1.40a	14.75±2.23b	78.10±5.04d	15.13±2.27b

¹Sonuçlar üç bağımsız tekrerrün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$).²Defitinize buğday kepeği ikame oranı

İşlem çeşitlerinin ortalama değerleri karşılaştırıldığında, otoklavlama grubunda ortalama çap değeri en yüksek bulunmuştur (90.36 mm), bunu fitaz (85.57 mm), işlem görmemiş kepek (85.56 mm) ve maya (85.18 mm) grupları izlemiştir. Yayılma oranları açısından ise gruplar arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Bu bulgular, defitinizasyon amacıyla uygulanan otoklav, fitaz ve maya işlemleriyle muamele edilen kepeklerin genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma malık formülasyonunda kullanılmasıyla ürünlerin genleşme özelliklerinde işlem türüne bağlı farklılıklar oluştuğunu göstermektedir.

Defitinize buğday kepeği oranına göre değerlendirildiğinde, kepek düzeyi arttıkça çap değerleri düzenli olarak azalmış (105.08 → 72.38 mm), yayılma oranları ise yaklaşık 3.5–3.7 arasında sabit kalmıştır. Bu sonuçlar, artan kepek katkısının ürünlerin fiziksel özellikleri üzerinde özellikle çap bakımından güçlü bir etkiye sahip olduğunu, yayılma oranı üzerinde

ise sınırlı değişiklik yarattığını ortaya koymaktadır. Literatürde de kepek katkısının tahıl ürünlerinde genleşme kabiliyetini sınırladığı benzer şekilde rapor edilmiştir (Foschia ve ark., 2013; Ficco ve ark., 2018).

Genleştirilmiş Tahıl Bazlı Atıştırma Malıklarının Fitik Asit Miktarları

Çalışmada kullanılan hammaddelerin başlangıç fitik asit miktarları incelendiğinde, otoklavlanmış kepekte 697.0 mg/100 g, ham kepekte 772.8 mg/100 g, fermente edilmiş kepekte 690.9 mg/100 g ve fitaz ile muamele edilmiş kepekte 655.2 mg/100 g düzeyinde fitik asit belirlenmiştir. Bu değerler, literatürde buğday kepeği için bildirilen tipik aralıklarla (600–1200 mg/100 g) uyumlu olup (Brejnholt ve ark., 2011; Iglesias-Puig ve ark., 2015), fitik asidin bu hammaddelerde önemli bir “antibesinsel faktör” olarak bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma malıklarının fiziksel özellikleri¹**Table 2.** Physical properties of expanded cereal-based snacks¹

		<i>Çap (mm)</i>	<i>Kalınlık (mm)</i>	<i>Yayıma oranı</i>
Otoklav	0	105.08±0.49a	3.54±0.43a	30.03±3.57a
	5	101.82±2.55b	3.46±0.50a	29.81±3.34a
	10	83.90±1.77c	3.72±0.32a	22.71±2.30b
	15	70.64±1.88d	3.44±0.44a	20.77±2.28b
Fitaz	0	105.08±0.49a	3.54±0.43a	30.03±3.57a
	5	83.04±1.95b	4.12±0.49a	20.39±2.52b
	10	82.60±1.47b	3.60±0.62a	23.64±5.05b
	15	71.56±2.24c	3.64±0.48a	19.92±2.52b
Maya	0	105.08±0.49a	3.54±0.43a	30.03±3.57a
	5	88.26±1.26b	3.64±0.30a	24.39±2.22b
	10	71.76±0.71d	3.34±0.55a	21.92±3.26b
	15	75.64±1.07c	3.64±0.59a	21.16±3.02b
Ham	0	105.08±0.49a	3.54±0.43a	30.03±3.57a
	5	80.36±0.70c	3.52±0.30a	22.97±2.11b
	10	85.14±0.96b	3.76±0.21a	22.69±1.11b
	15	71.68±1.14d	3.56±0.40a	20.35±2.45b
Definitizasyon yöntemi	N			
Otoklav	8	90.36±14.41a	3.54±0.41a	25.83±5.04a
Fitaz uygulaması	8	85.57±12.58b	3.72±0.52a	23.49±5.28b
Fermentasyon	8	85.18±13.37b	3.54±0.46a	24.38±4.54ab
İşlem görmemiş	8	85.56±12.60b	3.59±0.33a	24.01±4.35ab
DBKİO² (%)				
	0	105.08±0.45a	3.54±0.39a	30.03±3.28a
	5	88.37±8.64b	3.68±0.46a	24.39±4.26b
	10	80.85±5.59c	3.60±0.45a	22.74±3.06b
	15	72.38±2.49d	3.57±0.45a	20.55±2.42c

¹Sonuçlar üç bağımsız tekrerrün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²Definitize buğday kepeği ikame oranı

Genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma malıkları örneklerinin fitik asit içerikleri Şekil 4'te verilmiştir. Hammaddelerin başlangıç düzeyleri dikkate alındığında (ham kepek: 772.8 mg/100 g; otoklavlanmış kepek: 697.0 mg/100 g; fermente kepek: 690.9 mg/100 g; fitaz muamelesi: 655.2 mg/100 g), ürünlerdeki değişimlerin uygulanan işlem türüne bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. İşlem görmemiş kepek katkı genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma malıklarında fitik asit düzeyi %5 ikamede en yüksek seviyeye ulaşmış (~900 mg/100 g) ve diğer ikame oranlarında da nispeten yüksek değerler kaydedilmiştir. Bu durum, fitatların yapısal olarak kararlı formda bulunması nedeniyle işlenmemiş kepek katkısında parçalanmanın sınırlı kaldığını göstermektedir.

Otoklavlanmış kepek katkı genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma malıklarında fitik asit düzeyleri 650–750 mg/100 g aralığında seyretmiş ve ikame oranına bağlı olarak büyük dalgalanmalar gözlenmemiştir. Bu sonuç, otoklavlama işleminin fitatları tamamen parçalayamamakla birlikte kısmi bir indirgeme sağladığını düşündürmektedir. Wang ve ark. (2015) da yük-

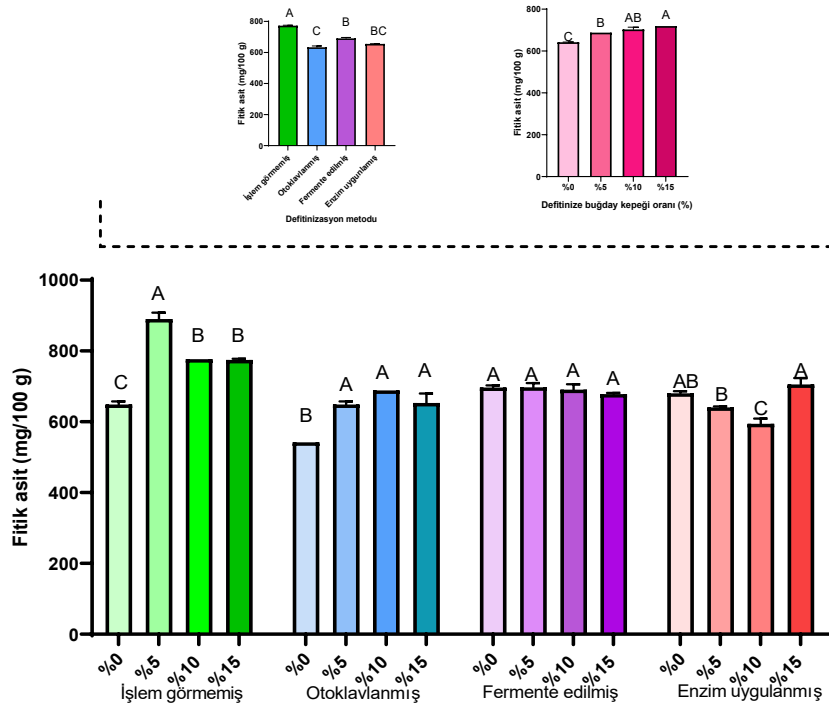
sek sıcaklık ve basınç koşullarının fitat–mineral komplekslerini daha kararlı hale getirebildiğini bildirmiştir. Fermente edilmiş kepek katkı genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma malıklarında fitik asit düzeyleri 650–700 mg/100 g arasında bulunmuş, gruplar arasında istatistiksel olarak belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Bu bulgu, fermentasyonun endojen fitaz aktivitesi ve düşük pH koşullarıyla kısmi yıkımı desteklediğini, ancak tek başına güçlü bir azaltma sağlamadığını ortaya koymaktadır (Katina ve ark., 2007; Coda ve ark., 2012). Fitaz enzimi ile muamele edilmiş kepek katkı genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma malıklarında ise fitik asit değerleri 600–750 mg/100 g aralığında değişmiş ve özellikle %10 ikamede en düşük seviyeye (yaklaşık 600 mg/100 g) ulaşılmıştır. Fitaz enziminin IP6'yı kademeli olarak IP5, IP4 ve daha düşük fosforlu inositol türevlerine parçalama kapasitesi, literatürde de benzer şekilde rapor edilmiştir (Greiner ve ark., 2001; Menezes-Blackburn ve ark., 2022). Bu sonuç, fitazın doğrudan fitat parçalanmasında en etkili yaklaşım olduğunu doğrulamaktadır (Jung ve ark., 2003; Brejnholt ve ark., 2011). Genel olarak değerlendirildiğinde, genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırma malıklarında en yüksek fitik asit miktarı işlem görmemiş

kepek katkılı gruplarda, en düşük ise fitaz enzimi uygulanan gruplarda kaydedilmiştir. Bu bulgular, fitaz kullanımının geliştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalıklarda mineral biyoyararlılığını artırma açısından en etkili yöntem olduğunu, fermentasyon ve otoklavlanmanın ise orta düzeyde etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Genleştirilmiş Tahıl Bazlı Atıştırmalıkların Duyusal Özellikleri

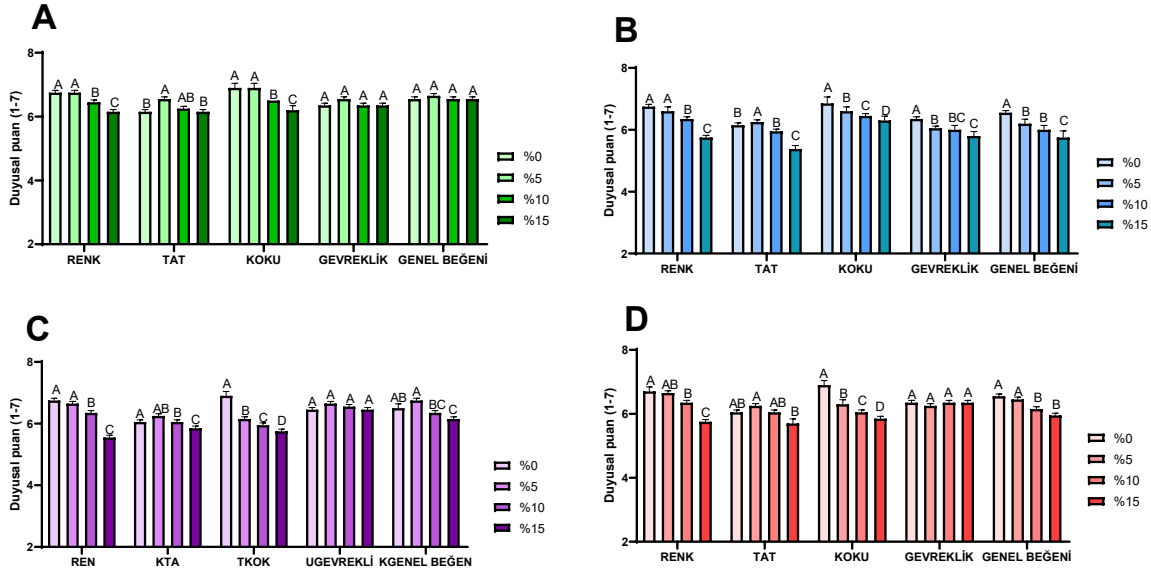
Şekil 5'te görüldüğü üzere, farklı defitinizasyon işlemlerinin (otoklavlama, fermentasyon ve fitaz uygulaması) yanı sıra işlem görmemiş kepek kullanılarak elde edilen geliştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalık örneklerinin duyusal özellikleri değerlendirilmiştir. İşlem görmemiş kepek ikameli ürünlerde renk, tat, koku, gevreklik ve genel beğeni skorlarının birbirine yakın düzeylerde seyretmesi, yüksek kepek katkısına rağmen duyusal kabulün tamamen olumsuz etkilenmediğini göstermektedir. Buna karşın otoklavlanmış kepek ile üretilen örneklerde özellikle renk ve tat parametrelerinde belirgin düşüş gözlenmiş, bu durum yüksek sıcaklık ve basınç uygulamalarının pigment bozulmalarına ve aromatik kayıplara yol açmasıyla ilişkilendirilmiştir (Wang ve ark., 2015; Fellows, 2017).

Fermente edilmiş kepek ikameli örnekler, özellikle gevreklik ve genel beğeni açısından en yüksek puanları almış; fermentasyonun yapısal iyileştirmeler sağlayarak kepekli ürünlerin tekstürel özelliklerini olumlu yönde etkilediği ve tüketici kabulünü artırdığı anlaşılmıştır. Nitekim önceki çalışmalarda da ekşi maya veya maya fermentasyonunun kepekli ürünlerde hacim, gevreklik ve aromatik profil üzerinde iyileştirici etkiler gösterdiği rapor edilmiştir (Katina ve ark., 2023; Arendt ve ark., 2007). Fitaz enzimi ile muamele edilmiş kepek ikameli ürünlerde ise renk, tat ve koku parametreleri genellikle orta-yüksek düzeylerde korunmuş, gevreklik ve genel beğeni skorlarının ise fermentasyon grubundan daha düşük, fakat işlem görmemiş kepekten yüksek bulunması dikkat çekmiştir. Bu bulgu, fitaz uygulamasının kepek yapısını kısmen parçalayarak duyusal özellikleri geliştirebileceğini düşündürmektedir (Jung ve ark., 2003; Brejnholt ve ark., 2011). Genel olarak değerlendirildiğinde, duyusal açıdan en olumlu sonuçların fermentasyon grubunda, en olumsuz sonuçların ise otoklavlama grubunda elde edildiği, fitaz uygulamasının ise ara düzeyde iyileştirici etki gösterdiği sonucuna varılabilir. Bu eğilim, literatürde kepek işlemlerinin ürünlerin renk, tekstür ve tüketici kabulü üzerinde farklı düzeylerde etkiler yarattığını bildiren bulgularla uyumludur (Foschia ve ark., 2013, Hemdane ve ark., 2016).



Şekil 4. Genleştirilmiş tahıl bazlı atıştırmalıkların fitik asit miktarları

Figure 4. Phytic acid content of expanded cereal-based snacks



Şekil 5. İşlem görmemiş (A), otoklavlanmış (B), fermente edilmiş (C) ve fitaz enzimi ile muamele edilmiş (D) buğday kepeği ikameli genişletilmiş tahıl bazlı atıştırmalık örneklerine ait duyu analizi sonuçları

Figure 5. Examples of expanded cereal-based snacks containing untreated (A), autoclaved (B), fermented (C), and phytase enzyme-treated (D) wheat bran

Sonuç

Bu çalışmada, defitinizasyon yöntemleriyle muamele edilen buğday kepeklerinin genişletilmiş tahıl bazlı atıştırmalık üretiminde kullanımının ürün kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bulgular, uygulanan işlemlerin ürünlerin renk, fiziksel ve duyu özelliklerini anlamlı şekilde değiştirdiğini göstermiştir. Otoklavlama, genişleme kapasitesini sınırlayarak ve renk koyulaşmasına yol açarak ürün kalitesini olumsuz etkilemiştir. Fermentasyon, özellikle gevreklik ve genel beğeni parametrelerinde en olumlu sonuçları vermiştir. Fitaz uygulaması ise yayılma oranlarını artırarak yapısal iyileşme sağlamıştır. Fitik asit açısından değerlendirildiğinde, en yüksek değerler işlem görmemiş kepek katkılı genişletilmiş tahıl bazlı atıştırmalıklarda (~900 mg/100 g), en düşük değerler ise fitaz uygulanan gruplarda (~600 mg/100 g) kaydedilmiştir. Fermentasyon ve otoklavlama fitik asidi orta düzeyde azaltmıştır. Bu bulgular, fitazın mineral biyoyararlılığını artırmada en etkili yöntem olduğunu; fermentasyonun ise hem kısmi fitik asit indirgeme hem de duyu kaliteyi iyileştirme açısından güçlü bir potansiyel sunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, defitinizasyon işlemleri buğday kepeği katkılı genişletilmiş tahıl bazlı atıştırmalıklarda fonksiyonel ve teknolojik özelliklerini yönlendirmede kritik rol

oynamaktadır. Fermentasyon tüketici kabulünü artırmada umut vadeden bir yöntem iken, fitaz uygulaması besinsel kaliteyi geliştirmede etkili yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu bulgular, yan ürün olan buğday kepeğinin uygun işlemlerle fonksiyonel atıştırmalık üretiminde değerlendirilebileceğini ve sürdürülebilir gıda üretimine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, defitinizasyon sırasında pH kontrolü, enzim doz optimizasyonu ve farklı tahıl matrisleri üzerinde benzer yaklaşımın doğrulanması üzerine yoğunlaşabilir.

Etik Standartlar ile Uyumluluk

Çıkar çatışması: Yazarlar, bu yazı için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Etik izin: Bu çalışmada insan veya hayvan denekleri üzerinde herhangi bir deney yapılmadığını ve bu nedenle etik kurul onayı gerekmediğini beyan ederim.

Veri erişilebilirliği: Veriler talep üzerine sağlanacaktır.

Finansal destek: -

Teşekkür: -

Açıklama: -

Kaynaklar

- AACC (2010).** Approved Methods of the AACC. St. Paul, MN, USA: Cereals and Grains Association. ISBN: 978-1-891127-68-2
- Aarestrup, J., Gamborg, M., Tilling, K., Ulrich, L.G., Sørensen, T.I., Baker, J.L. (2012).** Childhood body mass index growth trajectories and endometrial cancer risk. *International Journal of Cancer*, 140(2), 310-315.
<https://doi.org/10.1002/ijc.30464>
- Anderson, J.W., & Chen, W.L. (1979).** Plant fiber. Carbohydrate and lipid metabolism. *The American journal of clinical nutrition*, 32(2), 346-363.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/32.2.346>
- Arendt, E.K., Ryan, L.A., & Dal Bello, F. (2007).** Impact of sourdough on the texture of bread. *Food microbiology*, 24(2), 165-174.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.011>
- Barros, F., Awika, J.M., & Rooney, L.W. (2012).** Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(46), 11609-11617.
<https://doi.org/10.1021/jf3034539>
- Beta, T., Nam, S., Dexter, J. E., & Sapirstein, H.D. (2005).** Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Cereal chemistry*, 82(4), 390-393.
<https://doi.org/10.1094/CC-82-0390>
- Brejnholt, S.M., Dionisio, G., Glitsoe, V., Skov, L.K., & Brinch-Pedersen, H. (2011).** The degradation of phytate by microbial and wheat phytases is dependent on the phytate matrix and the phytase origin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(8), 1398-1405.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.4324>
- Călinoiu, L.F., & Vodnar, D.C. (2018).** Whole grains and phenolic acids: A review on bioactivity, functionality, health benefits and bioavailability. *Nutrients*, 10(11), 1615.
<https://doi.org/10.3390/nu10111615>
- Cankurtaran, T. (2022).** Use of ancient wheat (einkorn and emmer) to improve the nutritional and functional properties of gevreks. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1539-1549.
<https://doi.org/10.21597/jist.1087050>
- Cheryan, M., & Rackis, J.J. (1980).** Phytic acid interactions in food systems. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 13(4), 297-335.
<https://doi.org/10.1080/10408398009527293>
- Chondrou, T., Adamidi, N., Lygouras, D., Hirota, S.A., Androutsos, O., & Svolos, V. (2024).** Dietary Phytic Acid, Dephytinization, and Phytase Supplementation Alter Trace Element Bioavailability—A Narrative Review of Human Interventions. *Nutrients*, 16(23), 4069.
<https://doi.org/10.3390/nu16234069>
- Coda, R., Rizzello, C.G., Pinto, D., & Gobbetti, M. (2012).** Selected lactic acid bacteria synthesize antioxidant peptides during sourdough fermentation of cereal flours. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(4), 1087-1096.
<https://doi.org/10.1128/AEM.06837-11>
- Fellows PJ (2017).** Food Processing Technology: Principles and Practice. 4th edn. Woodhead Publishing, Cambridge. ISBN: 978-0-08-101907-8
- Ficco, D.B.M., De Simone, V., De Leonardis, A.M., Giovanniniello, V., Del Nobile, M.A., Padalino, L., ... & De Vita, P. (2016).** Use of purple durum wheat to produce naturally functional fresh and dry pasta. *Food Chemistry*, 205, 187-195.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.014>
- Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A., & Brennan, C.S. (2013).** The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. *Journal of cereal science*, 58(2), 216-227.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.05.010>
- Francis, F. J. (1998).** Colour analysis. In S. S. Nielsen (Ed.), *Food analysis* (pp. 599–612). Aspen Publishers. ISBN: 0-8342-1257-8
- Graf, E. (1986).** Phytic acid: Chemistry and applications. Minneapolis: Pilatus Press. ISBN: 0-9620794-0-0
- Greiner, R. & Konietzny, U. (2006).** Phytase for Food Application. *Food Technology and Biotechnology*, 44(2), 125-140.
- Greiner, R., Alminger, M. L., & Carlsson, N.-G. (2001).** Stereospecificity of myo-inositol hexakisphosphate dephosphorylation by a phytate-degrading enzyme from baker's

yeast. *Journal of Biotechnology*, 84(1), 53–62. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(00\)00331-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(00)00331-X)

Haug, W., & Lantsch, 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. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740341217>

Hemdane, S., Jacobs, P.J., Dornez, E., Verspreet, J., Delcour, J.A., & Courtin, C.M. (2016). Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: A critical review. *Comprehensive reviews in food science and Food Safety*, 15(1), 28-42. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12176>

Iglesias-Puig, E., Monedero, V., & Haros, M. (2015). Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.045>

Jung, S., Rickert, D.A., Deak, N.A., Aldin, E.D., Recknor, J., Johnson, L.A., & Murphy, P.A. (2003). Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(12), 1169-1173. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0837-3>

Karaçoban, İ., Bilgiçli, N., & Yaver, E. (2023). Impact of fermentation, autoclaving and phytase treatment on the antioxidant properties and quality of teff cookies. *Food Technology and Biotechnology*, 61(3), 328-338. <https://doi.org/10.17113/ftb.61.03.23.8145>

Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K.H., Autio, K., Flander, L., & Poutanen, K. (2005). Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1-3), 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.03.008>

Katina, K., Liukkonen, K.H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.M., Lampi, A.M., ... & Poutanen, K. (2007). Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.006>

Katina, K., Poutanen, K., & Gobetti, M. (2023). Nutritional aspects of cereal fermentation with lactic acid bacteria

and yeast. In *Handbook on sourdough biotechnology* (pp. 303-324). Cham: Springer International Publishing. ISBN: 978-3-031-28080-9 https://doi.org/10.1007/978-3-031-23084-4_10

Lopez, H.W., Krespine, V., Guy, C., Messager, A., Demigne, C., & Remesy, C. (2001). Prolonged fermentation of whole wheat sourdough reduces phytate level and increases soluble magnesium. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2657-2662. <https://doi.org/10.1021/jf001255z>

Menezes-Blackburn, D., Greiner, R., & Konietzny, U. (2022). Phytases: biochemistry, enzymology and characteristics relevant to animal feed use. In *Enzymes in farm animal nutrition* (pp. 103-123). GB: CABI. ISBN: 978-1789241556 <https://doi.org/10.1079/9781789241563.0007>

Oberleas, D. (1973). Phytates. *Toxicants Accurring Naturally in Foods*, 363-371.

O'Dell, B.L. (2012). Effect of soy protein on trace mineral availability¹. *Soy Protein and Human Nutrition*, 187. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-751450-5.50016-4>

Palacios, M.C., Haros, M., Sanz, Y., & Rosell, C.M. (2008). Phytate degradation by Bifidobacterium on whole wheat fermentation. *European Food Research and Technology*, 226(4), 825-831. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0602-3>

Pekkirisci, B., Bilgiçli, N., & Cankurtaran-Kömürçü, T. (2023). Determination of the physical, chemical and antinutritional properties of firik and einkorn bulgur. *Cereal Chemistry*, 100(4), 966-973. <https://doi.org/10.1002/cche.10674>

Reicks, M., Jonnalagadda, S., Albertson, A.M., & Joshi, N. (2014). Total dietary fiber intakes in the US population are related to whole grain consumption: results from the National Health and Nutrition Examination Survey 2009 to 2010. *Nutrition Research*, 34(3), 226-234. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2014.01.002>

Robin, F., Dubois, C., Pineau, N., Schuchmann, H.P., & Palzer, S. (2011). Expansion mechanism of extruded foams supplemented with wheat bran. *Journal of Food Engineering*, 107(1), 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.041>

Schmiele, M., Jaekel, L.Z., Patricio, S.M.C., Steel, C.J., & Chang, Y.K. (2012). Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(10), 2141-2150.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03081.x>

Servi, S., Özkaya, H., & 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.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.10.011>

Sharma, S., AnandKumar, L.H.D., Tyagi, A., Muthumilarasan, M., Kumar, K., & Gaikwad, K. (2022). An insight into phytic acid biosynthesis and its reduction strategies to improve mineral bioavailability. *The Nucleus*, 65(2), 255-267.

<https://doi.org/10.1007/s13237-021-00371-2>

Sozer, N., Cicerelli, L., Heiniö, R.L., & Poutanen, K.

(2014). Effect of wheat bran addition on in vitro starch digestibility, physico-mechanical and sensory properties of biscuits. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 105-113.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.022>

Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568-585.

<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>

Yaghoubi, S. (2023). The impact of bran with reduced phytic acid by using a combined mill/autoclave/oven method on the rheological characteristics and cooking variables of Sedani-type pasta. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 20(134), 149-170.

Ye, E. Q., Chacko, S.A., Chou, E.L., Kugizaki, M., & Liu, S. (2012). Greater whole-grain intake is associated with lower risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and weight gain. *The Journal of Nutrition*, 142(7), 1304-1313.

<https://doi.org/10.3945/jn.113.179473>