



Fermente edilmiş pseudo-tahılların glutensiz ekmek üretiminde kullanımı: Fiziksel ve tekstürel özellikler üzerine etkileri

Use of fermented pseudo-cereals in gluten-free bread production: Effects on physical and textural properties

Saliha YEŞİL¹ , Hacer LEVENT^{2*} 

¹Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 70100, Karaman, Turkey.

²Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, 70100, Karaman, Turkey.

¹<https://orcid.org/0000-0003-1806-7097>; ²<https://orcid.org/0000-0002-7321-5577>

To cite this article:

Yeşil, S. & Levent, H. (2022). Fermente edilmiş pseudo-tahılların glutensiz ekmek üretiminde kullanımı: Fiziksel ve tekstürel özellikler üzerine etkileri. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 26(3): 316-326.
DOI:10.29050/harranziraat.1105873

***Address for Correspondence:**
Hacer LEVENT
e-mail:
hacerlevent@hotmail.com

Received Date:

19.04.2022

Accepted Date:

30.06.2022

© Copyright 2018 by Harran University Faculty of Agriculture. Available on-line at www.dergipark.gov.tr/harranziraat



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Öz

Bu çalışmada karabuğday, kinoa ve amarant 2 farklı yöntemle (spontan ve maya kullanılarak) fermente edilmiş ve hazırlanan hamurlar, mısır nişastası ile pirinç unu kombinasyonunu içeren glutensiz ekmek formülasyonunda farklı oranlarda (%0, 15, 30 ve 45) kullanılmıştır. Fermente edilmiş pseudo-tahılların, glutensiz ekmeklerin fiziksel ve tekstürel özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Karabuğday fermente hamuru içeren ekmeklerde kabuk ve iç parlaklık (L^*) değeri, kinoa ve amarant katkılı ekmeklerden daha düşük bulunmuştur. Formülasyonda pseudo-tahıl fermente hamuru (PFH) oranının artması ekmeklerde kabuk parlaklık değerinin azalmasına, kırmızılık (a^*) değerinin ise artmasına neden olmuştur. Ekmeklerde en yüksek hacim değeri kinoa katkılı örneklerde belirlenmiştir. Maya kullanılarak fermente edilen pseudo-tahılları içeren ekmeklerde, spontan fermentasyona kıyasla daha yüksek hacim, spesifik hacim ve daha düşük sertlik değerleri elde edilmiştir. Artan PFH oranı ile 2. 24. 48. ve 72. saat sertlik değerleri önemli artış göstermiştir ($p<0.05$). Karabuğday katkılı ekmekler 72. saatte en yüksek ekmek içi sertlik değerini verirken, en düşük sertlik değeri ise kinoa içeren ekmeklerde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karabuğday, Kinoa, Amarant, Ekmek, Glutensiz, Fermantasyon

ABSTRACT

In this study, buckwheat, quinoa and amaranth were fermented by 2 different methods (spontaneous and using yeast) and used at different ratios (0, 15, 30 and 45%) in gluten-free bread formulation consisting of corn starch and rice flour combination. The effects of fermented pseudocereals on the physical and textural properties of gluten-free breads were evaluated. Crust and crumb brightness (L^*) values of breads containing buckwheat fermented dough were lower than breads containing quinoa and amaranth. The increase in the pseudocereal fermented dough (PFH) ratio in the formulation caused a decrease in the crust brightness value and an increase in the redness (a^*) value in breads. The highest volume value in breads was determined in the samples containing quinoa. Higher volume, specific volume and lower firmness values were obtained in breads containing pseudocereals fermented using yeast, compared to spontaneous fermentation. Hardness values at the 2nd, 24th, 48th and 72nd hours showed a significant increase with increasing PFH ratio ($p<0.05$). While buckwheat added breads gave the highest crumb hardness value at 72 hours, the lowest hardness value was determined in breads containing quinoa.

Key Words: Buckwheat, quinoa, amaranth, bread, gluten-free, fermentation

Giriş

Çölyak hastalığı (ÇH), genetik olarak duyarlı bireylerde gluten içeren tahılların (buğday, arpa, çavdar, muhtemelen yulaf) tüketimi ile tetiklenen immün mekanizma ile oluşan enteropatidir (Fasano ve Catassi, 2001; Aydoğdu ve Tümgör, 2005). ÇH ince bağırsaklarda karakteristik lezyonlar yapmakta ve genellikle malabsorbsiyonla seyretmekte ve glutensiz diyetle klinik düzelme göstermektedir (Yönel ve Özdiş, 2014). ÇH günümüz dünya nüfusunun %0.5-1'ini etkilemektedir. Ülkemizde 2-18 yaş grubunda yapılan çalışmada ÇH prevalansı %0.9 (1:111) olarak belirlenmiştir (Demirçeken ve ark., 2008). Dalgıç ve ark. (2011) tarafından 6-17 yaş aralığında okul çocukları ile yapılan bir diğer çalışmada biyopsi ile kanıtlanmış tahmini prevalans değerinin %0.47 (1:212) olduğu bildirilmiştir.

Günümüzde çölyak hastalığının tek tedavisi glutensiz diyet uygulamasıdır ve hastalar ömür boyu bu diyeti uygulamak zorundadır. Ancak glutensiz diyetin uygulanmasında, ürünlerin kolay temin edilememesi, besin değerinin düşük olması, lezzetsiz olması, çapraz bulaşma riski taşıması ve pahalı olması gibi bazı güçlükler yaşanmaktadır (Serin ve Akbulut, 2017; Yıldırım, 2020). Çölyak hastalarının besinsel kalitesi düşük gıdalarla uzun süreli beslenmesi, yetersiz ve dengesiz beslenmeye bağlı büyüme ve gelişmede duraklama, osteoporoz, anemi gibi önemli bazı sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Aydoğdu ve Tümgör, 2005; Demirkesen ve Özkaya, 2020). Yapılan çalışmalarda glutensiz diyetlerin yüksek yağ ve tuz içerdiği, protein, diyet lifi, vitamin ve mineral açısından ise yetersiz olduğu bildirilmektedir (Kupper, 2005; Niland ve Cash, 2018; Melini ve Melini, 2019).

Pseudo-tahıllar, karabuğday, kinoa ve amarant diğer tahıllara kıyasla üstün besinsel profile sahiptir. Önemli bir enerji kaynağı olmalarının yanında iyi kalite protein, besinsel lif, vitamin, mineral ve biyoaktif bileşenleri (fitosteroller, polifenoller, saponin, squalen ve fagopritoller) içermektedir. Ayrıca pseudo-tahıllar doğal olarak

gluten içermemekte ve glutensiz diyetle, gluten içeren tahıllara sağlıklı alternatifler olarak değerlendirilmektedir (Kupper, 2005; Alvarez-Jubete ve ark., 2010a). Zengin içerikleri ile glutensiz ürünlerin besinsel özelliklerini geliştirmekte, çölyak hastalarının yetersiz beslenme problemlerinin ortadan kalkmasına yardımcı olmaktadır. Yeterli miktarda tüketildiklerinde antikanser, antikoolesterol, antidiyabetik ve antiinflamatuvar etkiler göstermektedir (Yaver ve Bilgiçli, 2020).

Ekşi hamur fermantasyonu, geçmiş dönemlerde kullanılan ve halen günümüzde fırıncılık ürünlerinde kullanımı devam eden geleneksel bir fermantasyon yöntemidir. Ekşi hamur fermantasyonu, bakteriler ve mayalar tarafından kendiliğinden gelişen spontan bir fermantasyon çeşididir. Bu yöntem, tahıl unlarının su ile karıştırıldıktan sonra havadan, sudan ve undan gelen doğal mayaların, laktik, asetik ve sitrik asit bakterileri ile etkileşim göstermesi sonucunda elde edilen hamurun bir kısmının sonraki hamurda maya görevinde kullanılması temeline dayanmaktadır (Elgün ve Ertugay, 2002). Ekşi hamur fermantasyonunun, unlu mamullerin lezzet, doku, besinsel ve raf ömrü özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli rol oynadığı bildirilmektedir (Carnevali ve ark., 2007; Vogel ve ark., 2011).

Gluten, ekmek yapımında kilit rol oynayan hamura viskoelastisite, iyi gaz tutma kabiliyeti sağlayan, ekmeğin görünümünden, dokusundan ve kalitesinden sorumlu olan temel bir yapı geliştirici proteindir (Gallagher ve ark., 2004; Alvarez-Jubete ve ark., 2010b; Capriles ve Areas, 2014). Glutensiz ekmek formülasyonunda gluten yokluğu, buğday unu ile hazırlanan ekmek hamurunun aksine daha az elastik, kek hamuruna benzer akışkan yapıda ve işlenmesi zor bir kıvamda hamur elde edilmesini sağlamaktadır (Foschia ve ark., 2016). Bu hamurdan elde edilen nihai ekmekler zayıf renk, düşük hacim, kuru, ufalanan tekstür, zayıf lezzet ve hızlı bayatlama gibi birçok kalite kusurlarına sahip olmaktadır (Gallagher ve ark., 2004; Capriles ve Arêas, 2014).

Bu nedenle bu çalışmada glutensiz ekmeklerin karabuğday, kinoa ve amarant kullanımı ile besinsel açıdan zenginleştirilmesinin yanısıra pseudo-tahılların önce fermente edilip daha sonra formülasyonda yer alması ile nihai ürün kalitesinin de iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu araştırmada, farklı yöntemlerle fermente edilmiş (spontan ve maya kullanılarak) karabuğday, kinoa ve amarantın ve kullanım oranının glutensiz ekmeklerin fiziksel ve tekstürel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Materyal ve Metot

Materyal

Glutensiz ekmek formülasyonunda kullanılan mısır nişastası, pirinç unu, yaş maya, tuz, toz şeker, kabartma tozu ve sıvı yağ yerel marketlerden, süt tozu Ova Süt Ürünleri A.Ş., Konya'dan, karabuğday, kinoa ve amarant ise Yayla Agro Gıda Sanayi ve Nakliyat A.Ş., Mersin'den temin edilmiştir. Pseudo-tahıllar laboratuvar tipi öğütücüde (Bosch MKM600) öğütülerek (<0.5 mm) tam un haline getirilmiştir.

Metot

Pseudo-tahılların fermente hamurlarının hazırlanması

Karabuğday, kinoa ve amarant fermente hamurlarının üretimi Katina ve ark. (2007) tarafından önerilen yöntemle göre 2 farklı şekilde (spontan ve maya kullanılarak) gerçekleştirilmiştir.

Spontan fermantasyon yöntemi ile üretilen fermente hamurlarda, 420 g un 670 g çeşme suyu ile karıştırıldıktan sonra karışım, 20 saat 30 °C'de fermente edilmiştir. Yaş maya kullanılarak hazırlanan fermente hamurlarda ise karışıma 4.2 g yaş maya ilave edilerek aynı sıcaklık ve sürede fermente edilmiştir.

Ekmek hazırlama

Glutensiz ekmek üretimi, Yarpuz (2011) tarafından önerilen metota göre gerçekleştirilmiştir. Glutensiz kontrol ekmeği, 100 g glutensiz un karışımı (mısır nişastası+pirinç unu, 50:50), 3 g yaş maya, 1.5 g tuz, 6 g şeker, 2 g kabartma tozu, 5 g süt tozu, 5 ml sıvı yağ, 1 g guar gum ve 180 ml su kullanılarak hazırlanmıştır. Ekmek yapımında kullanılan su miktarı hamur özelliklerine göre ön denemelerle belirlenmiştir. PFH katkılı ekmek üretimi için, formülasyonda yer alan glutensiz un karışımı ile karabuğday, kinoa ve amarant fermente hamurları %0, 15, 30, 45 oranında yer değiştirilmiştir (Çizelge 1). Hamur ingredientleri tek seferde, direk yoğurma sistemi kullanılarak akıcı kek kıvamında bir hamur elde edilene kadar laboratuvar tipi karıştırıcıda (Kitchen-aid, Artisan Series, Greenville, OH, USA) karıştırılmış daha sonra 30°C'de %85 nispi nemde 30 dakika kitle fermantasyonuna tabi tutulmuştur. Süre sonunda örnekler, 175°C'de 25 dakika süreyle pişirilmiştir (Bosch HGD52D120T, İstanbul, Türkiye).

Çizelge 1. Glutensiz ekmek formülasyonunda PFH kullanım oranları

Table 1. The usage ratio of PFH in gluten-free bread formulation

Mısır nişastası: pirinç unu (% w/w)	Karabuğday fermente hamuru (%w/w)	Kinoa fermente hamuru (%w/w)	Amarant fermente hamuru (%w/w)
<i>Corn starch:Rice flour(% w/w)</i>	<i>The fermented dough of buckwheat (% w/w)</i>	<i>The fermented dough of quinoa (% w/w)</i>	<i>The fermented dough of amaranth (% w/w)</i>
50:50	0	0	0
42.5:42.5	15	15	15
35:35	30	30	30
27.5:27.5	45	45	45

PFH: Pseudo-tahıl fermente hamuru

Fiziksel analizler

Glutensiz ekmek örneklerinin kabuk ve iç renk "L*" [(0) siyah, (100) beyaz], "a*" [(+) kırmızı, (-) yeşil] ve "b*" [(+) sarı, (-) mavi] değerleri, Minolta

CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) cihazı ile ölçülmüştür (Francis, 1998).

Ekmek örnekleri fırından çıkarıldıktan sonra 60 dakika boyunca dinlendirilerek, ağırlık ve hacim

değerleri ölçülmüştür. Hacim ölçümü kolza tohumu ile yer değiştirme esasına göre gerçekleştirilmiştir. Bulunan hacim değerinin ağırlık değerine bölünmesi ile de spesifik hacim değeri elde edilmiştir (Elgün ve ark., 2001).

Ekmek örnekleri piştikten 2, 24, 48 ve 72 saat sonrasında sertlik ölçümleri tekstür analiz cihazı (TA-XT2i) (Texture Technologies Corp, scarsdale, NY/Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) kullanılarak AACC 74-09 metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Ölçümde 25 mm kalınlığında kesilen ekmeklerin orta dilimleri kullanılmıştır. 36 mm çapında silindirik prob (P36/R) kullanılarak, %25'lik sıkıştırma oranı ve 5 kg'lık yük hücresi kullanılarak ekmeklerin sertlik değerleri ölçülmüştür.

İstatistiksel analizler

Verilerin istatistiksel analizi için SPSS istatistik programı (Sürüm 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.) kullanılmıştır. Sonuçlar ortalama \pm standart sapma olarak verilmiş ve $p < 0.05$ düzeyinde karşılaştırılmıştır.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Pseudo-tahıl katkılı glutensiz ekmeklerin kabuk renk değerleri (L^* , a^* , b^*) Çizelge 2'de verilmiştir. Kinoa ve amarant fermente hamuru katkılı glutensiz ekmek örneklerinde L^* değerinin, karabuğday fermente hamuru içeren ekmeklerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Karabuğday nişastasının küçük boyutta ve porlu yapıya sahip olmasının alfa amilaz hassasiyetini arttırdığı ve hızlı bir şekilde serbest şekere dönüştürebildiği bildirilmektedir (Wijngaard ve Arendt, 2006). Karabuğday ununda serbest şekerin yüksek olması, Maillard reaksiyonuna eğilimini arttırmış ve ekmek kabuk renginin koyulaşmasına neden olmuş olabilir.

Karabuğday, kinoa ve amarant fermente hamuru içeren ekmeklerin kabuk a^* değerleri sırası ile 10.93, 7.62 ve 6.52 olarak belirlenmiş olup karabuğday fermente hamuru içeren ekmeklerde daha yüksek kabuk a^* değeri

belirlenmiştir (Çizelge 2). Ekmek formülasyonunda artan PFH miktarı L^* değerinde azalmaya neden olmuş ve en düşük kabuk L^* değeri %45 PFH kullanım oranında elde edilmiştir. Artan PFH oranı, ekmeklerin kabuk a^* değerinde artışa neden olurken ekmek kabuk b^* değerleri arasında pseudo-tahıl çeşidi, fermantasyon yöntemi ve PFH oranı faktörlerine göre istatistiksel bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0.05$).

Glutensiz ekmeklerin iç rengine (L^* , a^* , b^*) ait ölçüm sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Karabuğday fermente hamuru kullanılarak üretilen glutensiz ekmeklerin, amarant ve kinoa fermente hamuru içeren glutensiz ekmeklere kıyasla ekmek içi L^* değerinin daha düşük olduğu, ekmek içi a^* değerinin ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, hammadde olarak kullanılan karabuğday ununun diğer pseudo-tahıl unlarına kıyasla daha düşük L^* ve daha yüksek a^* değerine sahip olmasından kaynaklanmış olabilir (Veri gösterilmemiştir).

Artan PFH oranı, ekmeklerin iç L^* değerinde azalışa, a^* ve b^* değerlerinde ise artışa neden olmuştur (Çizelge 3). Alvarez-Jubete ve ark. (2010b), amarant, kinoa ve karabuğday unu kullanarak üretilen glutensiz ekmek örneklerinde L^* değerinin, kontrol ekmeğine kıyasla daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Lin ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada %15 oranında kullandıkları karabuğday ununun kontrol ekmeğinin parlaklık değerini 76.75'den 69.52'ye düşürdüğünü bildirmişler ayrıca karabuğday ununun, ekmeklerin a^* ve b^* değerlerinde artışa neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Yıldız (2012) yaptığı çalışmada, farklı oranlarda (%0, 10, 20, 30) karabuğday ve lüpen ununu glutensiz bisküvi üretiminde kullanmış ve formülasyonda karabuğday unu arttıkça parlaklık ve sarılık değerinin azaldığı, kırmızılık değerinin ise artış gösterdiğini bildirmiştir. Sanz-Penella ve ark. (2013), amarant ununu farklı oranlarda (%10, 20, 30, 40) ekmek üretiminde kullanmışlar, kullanım oranı arttıkça L^* ve b^* değerinin azaldığını a^* değerinin ise arttığını rapor etmişlerdir.

Çizelge 2. Glutensiz ekmeklerin kabuk renk değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹
 Table 2. Duncan's multiple comparison test results of crust color values of gluten-free breads¹

	n	L*	a*	b*
Pseudo-tahıl çeşidi				
Pseudocereals type				
Karabuğday <i>Buckwheat</i>	16	47.00±4.17 ^b	10.93±2.40 ^a	32.18±3.71 ^a
Kinoa <i>Quinoa</i>	16	52.45±7.31 ^a	7.62±3.72 ^b	30.43±1.88 ^a
Amarant <i>Amaranth</i>	16	53.34±8.29 ^a	6.52±3.94 ^b	32.28±2.93 ^a
Fermentasyon yöntemi				
Fermentation method				
Spontan <i>Spontaneous</i>	24	50.69±7.74 ^a	8.10±3.08 ^a	31.44±2.64 ^a
Mayalı <i>Using yeast</i>	24	51.17±7.27 ^a	8.61±3.99 ^a	31.82±3.37 ^a
PFH oranı (%)²				
PFH ratio (%)²				
0	12	54.14±1.71 ^a	6.81±0.61 ^c	32.61±1.12 ^a
15	12	52.26±5.37 ^b	7.81±3.02 ^{bc}	32.15±4.39 ^a
30	12	49.80±8.08 ^c	9.01±4.22 ^{ab}	31.44±2.75 ^a
45	12	47.51±9.33 ^d	9.79±3.52 ^a	30.33±2.67 ^a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05), ²PFH: Pseudo-tahıl fermente hamuru, L*: Parlaklık renk değeri, a*: Kırmızı-yeşil renk değeri, b*: Sarı-mavi renk değeri

¹Means in the same column marked with different letters are statistically different from each other (p<0.05), ²PFH: Pseudocereals fermented dough, L*: Brightness color value, a*: Red-green color value, b*: Yellow-blue color value

Turkut ve ark. (2016) ise çalışmalarında kinoa ekmeklerin parlaklık değerinden daha yüksek unu kullanılarak üretilen glutensiz ekmeklerin olduğunu bildirmişlerdir. parlaklık değerinin, karabuğday unu ile üretilen

Çizelge 3. Glutensiz ekmeklerin iç renk değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹
 Table 3. Duncan's multiple comparison test results of crumb color values of gluten-free breads¹

	n	L*	a*	b*
Pseudo-tahıl çeşidi				
Pseudocereals type				
Karabuğday <i>Buckwheat</i>	16	61.39±5.34 ^b	1.94±2.24 ^a	15.08±2.95 ^{ab}
Kinoa <i>Quinoa</i>	16	62.32±4.50 ^a	0.45±0.34 ^b	15.30±2.23 ^a
Amarant <i>Amaranth</i>	16	65.89±4.10 ^a	0.55±0.69 ^b	14.06±3.16 ^b
Fermentasyon yöntemi				
Fermentation method				
Spontan <i>Spontaneous</i>	24	63.06±5.22 ^a	0.91±2.14 ^a	14.94±2.99 ^a
Mayalı <i>Using yeast</i>	24	63.67±4.45 ^a	1.05±1.36 ^a	14.67±2.66 ^a
PFH oranı (%)²				
PFH ratio (%)²				
0	12	68.62±0.98 ^a	-1.36±0.08 ^d	10.97±0.26 ^c
15	12	64.12±4.10 ^b	0.60±1.28 ^c	14.50±1.27 ^b
30	12	61.04±3.33 ^c	1.77±1.97 ^b	16.53±2.11 ^a
45	12	59.09±4.74 ^c	2.92±2.26 ^a	17.26±1.18 ^a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05), ²PFH: Pseudo-tahıl fermente hamuru, L*: Parlaklık renk değeri, a*: Kırmızı-yeşil renk değeri, b*: Sarı-mavi renk değeri

¹Means in the same column marked with different letters are statistically different from each other (p<0.05), ²PFH: Pseudocereals fermented dough, L*: Brightness color value, a*: Red-green color value, b*: Yellow-blue color value

Glutensiz ekmeklere ait ağırlık, hacim ve spesifik hacim değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, karabuğday, kinoa ve amarant fermente hamuru kullanılarak üretilen glutensiz ekmeklerin ağırlık değerleri sırası ile 108.24, 107.13 ve 108.43 g olarak belirlenmiştir. Karabuğday ve amarant unu kullanılarak üretilen glutensiz ekmeklerin ağırlık değerlerinin istatistiki olarak birbirinden farklı olmadığı bulunmuştur. Ekmek örneklerinde en yüksek hacim değerleri (219.78 ml) kinoa fermente hamuru kullanılarak üretilen glutensiz ekmeklerde belirlenmiş bunu sırası ile amarant (186.09 ml) ve karabuğday fermente hamuru (176.37 ml) katkı ekmekler takip etmiştir.

Pseudo-tahıllardan kinoa'nın yüksek α -amilaz aktivitesine sahip olduğu, nişastanın enzim aktivitesi ile parçalanarak fermente olabilir şeker miktarını arttırdığı ve bunun da ekmek hacminde artışa neden olduğu bildirilmektedir (Ahamed ve ark., 1998). Sanz-Penella ve ark. (2013) gerçekleştirdikleri çalışmada, amarant ununu ekmek üretiminde farklı oranlarda (%10, 20, 30 ve 40) kullanmışlar ve amarant katkılı ekmek örneklerinin ağırlıklarının kontrol ekmeğinden istatistiki olarak farklı olmadığını ancak amarant ununun kullanım oranının artması ile hacim ve spesifik hacim değerlerinde azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4. Glutensiz ekmeklerin ağırlık, hacim ve spesifik hacim değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹
Table 4. Duncan multiple comparison test results of weight, volume and specific volume values of gluten-free breads¹

	n	Ağırlık (g) Weight (g)	Hacim (ml) Volume(ml)	Spesifik Hacim (ml g ⁻¹) Specific Volume (ml g ⁻¹)
Pseudo-tahıl çeşidi Pseudocereal type				
Karabuğday Buckwheat	16	108.24±1.38 ^a	176.37±26.52 ^c	1.63±0.24 ^c
Kinoa Quinoa	16	107.13±2.10 ^b	219.78±12.24 ^a	2.05±0.13 ^a
Amarant Amaranth	16	108.43±1.50 ^a	186.09±28.81 ^b	1.72±0.28 ^b
Fermantasyon yöntemi Fermentation method				
Spontan Spontaneous	24	107.97±1.88 ^a	188.83±30.36 ^b	1.75±0.30 ^b
Mayalı Using yeast	24	107.90±1.65 ^a	199.32±24.39 ^a	1.85±0.23 ^a
PFH oranı (%)² PFH ratio (%)²				
0	12	107.57±1.65 ^{ab}	211.08±58.59 ^a	1.96±0.04 ^a
15	12	108.03±1.96 ^{ab}	195.90±18.97 ^b	1.81±0.18 ^b
30	12	107.45±1.84 ^b	194.19±36.54 ^b	1.81±0.36 ^b
45	12	108.68±1.47 ^a	175.14±56.26 ^c	1.61±0.27 ^c

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05), ²PFH: Pseudo-tahıl fermente hamuru

¹Means in the same column marked with different letters are statistically different from each other (p<0.05), ²PFH: Pseudocereal fermented dough

Fermente hamurların hazırlanmasında kullanılan yöntem, ekmeklerinin ağırlık değeri üzerinde istatistiki olarak önemli bir fark oluşturmazken, maya kullanılarak fermente edilen pseudo-tahıl katkılı ekmeklerin daha yüksek hacim ve spesifik hacim değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Murtaza ve Ahmad (2007) çalışmalarında, saf laktik asit bakteri kültürü (*Lactobacillus bulgaricus*) ve ekmek mayası

(*Saccharomyces cerevisiae*) kombinasyonunu kullanarak ekmek üretmişlerdir. Fermantasyon işleminde, hamura ilave edilen ekşi mayanın ekmek hacmi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve ticari maya ile kombinasyon halinde kullanıldığında ise maksimum hacme sahip ekmek üretiminin gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Ekşi hamur fermantasyonunda, mayalar ve heterofermantatif laktik asit bakterileri tarafından

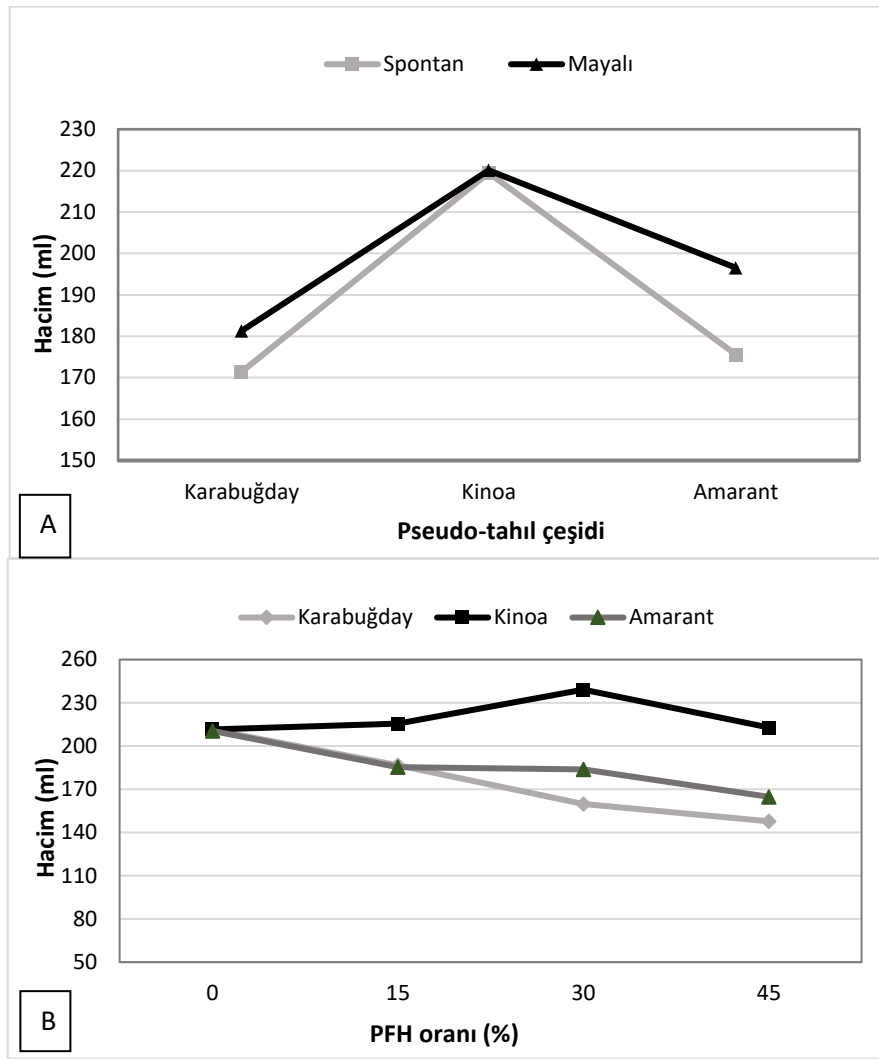
üretilen CO₂ hamurun kabarmasını sağlamakta ve ekmek iç yapısı olumlu şekilde gelişmektedir (Hendek-Ertop, 2014; Petel ve ark., 2017; Sakandar ve ark., 2019). Fermantasyon aşamasında kullanılan ticari ekmek mayası *Saccharomyces cerevisiae*, hamur içerisinde bulunan karbondhidratları kullanarak CO₂ ve etil alkol üretmekte, ekmeğin daha fazla kabarmasını ve daha iyi gözenek yapısına sahip olmasını sağlamaktadır (Pylar, 1988; Heitmann ve ark., 2018).

Ekmek üretiminde PFH oranının artması ile hacim (ml), 211.08'den 175.14'e, spesifik hacim (ml.g⁻¹) ise 1.96'dan 1.61'e azalmıştır. Spesifik hacim ekmek kalitesinin güvenilir bir ölçüsü olup yüksek spesifik hacme sahip ekmekler daha kaliteli olarak değerlendirilmektedir (Houben ve ark., 2012). En yüksek ekmek hacim değeri kontrol ekmeğinde, en düşük hacim değeri ise %45 PFH kullanım oranında tespit edilmiştir (Çizelge 4). Venskutonis ve Kraujalis (2013), buğday unu ile hazırlanan ekmeklerde amarant unu ikamesinin hacim değerinin azalmasına neden olduğunu bildirmiştir. Xu ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, buğday ununa %0, 10 ve 15 oranında kinoa unu ekleyerek üretilen ekmeklerde, spesifik hacim değerinin artan kinoa unu ile azaldığını bildirmişlerdir.

Glutensiz ekmeklerin hacim değeri üzerinde etkili "*pseudo-tahıl çeşidi x fermantasyon yöntemi*" ve "*pseudo-tahıl çeşidi x PFH oranı*" interaksiyonları Şekil 1'de verilmiştir. Ekmek hacmi üzerine etkili "*pseudo-tahıl çeşidi x*

fermantasyon yöntemi" interaksiyonuna göre maya kullanılarak fermente edilen pseudo-tahıl katkılı ekmeklerin hacim değerlerinin, spontan fermantasyona kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Ekmek çeşitleri arasında, kinoa unu ile üretilen ekmeklerin daha yüksek hacim değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. PFH maksimum kullanım oranında (%45) hacim değerleri kinoa katkılı ekmeklerden sonra en yüksek sırası ile amarant ve karabuğday katkılı ekmeklerde belirlenmiştir.

Glutensiz ekmek örneklerinin 2, 24, 48 ve 72 saat sonunda ölçülen ekmek içi sertlik değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Karabuğday, kinoa ve amarant fermente hamur katkılı ekmeklerin 2. saat ortalama sertlik değerleri (g) sırası ile 982.77, 989.26 ve 970.29 olarak tespit edilirken 72. saatte aynı sertlik değerlerinin (g) sırası ile 3825.07, 3583.79 ve 3681.14 olduğu belirlenmiştir. En yüksek ekmek hacminin belirlendiği kinoa fermente hamur katkılı ekmeklerde 72 saat sonunda en düşük ekmek içi sertliği ölçülmüştür. Fermantasyon yöntemine göre maya kullanılarak fermente edilen pseudo-tahıl katkılı ekmeklerde spontan fermantasyona kıyasla daha düşük sertlik değerleri elde edilmiştir (p<0.05). Ekmek formülasyonunda kullanılan PFH oranı arttıkça 2, 24, 48 ve 72. saatlik sertlik değerlerinde de bir artış belirlenmiş ve en yüksek ekmek içi sertliği, PFH oranının %45 olarak uygulandığı örneklerde elde edilmiştir.



Şekil 1. Glutensiz ekmeklerin hacim değeri üzerinde etkili A) “pseudo-tahıl çeşidi x fermantasyon yöntemi”, B) “pseudo-tahıl çeşidi x PFH oranı” etkileşimlerini, PFH: Pseudo-tahıl fermente hamuru
 Figure 1. The interactions of A) “pseudo-cereal variety x fermentation method”, B) “pseudo-cereal type x PFH ratio” effective on the volume value of gluten-free breads, PFH: Pseudocereal fermented dough

Çizelge 5. Glutensiz ekmeklerin sertlik değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹
 Table 5. Duncan multiple comparison test results of hardness values of gluten-free breads¹

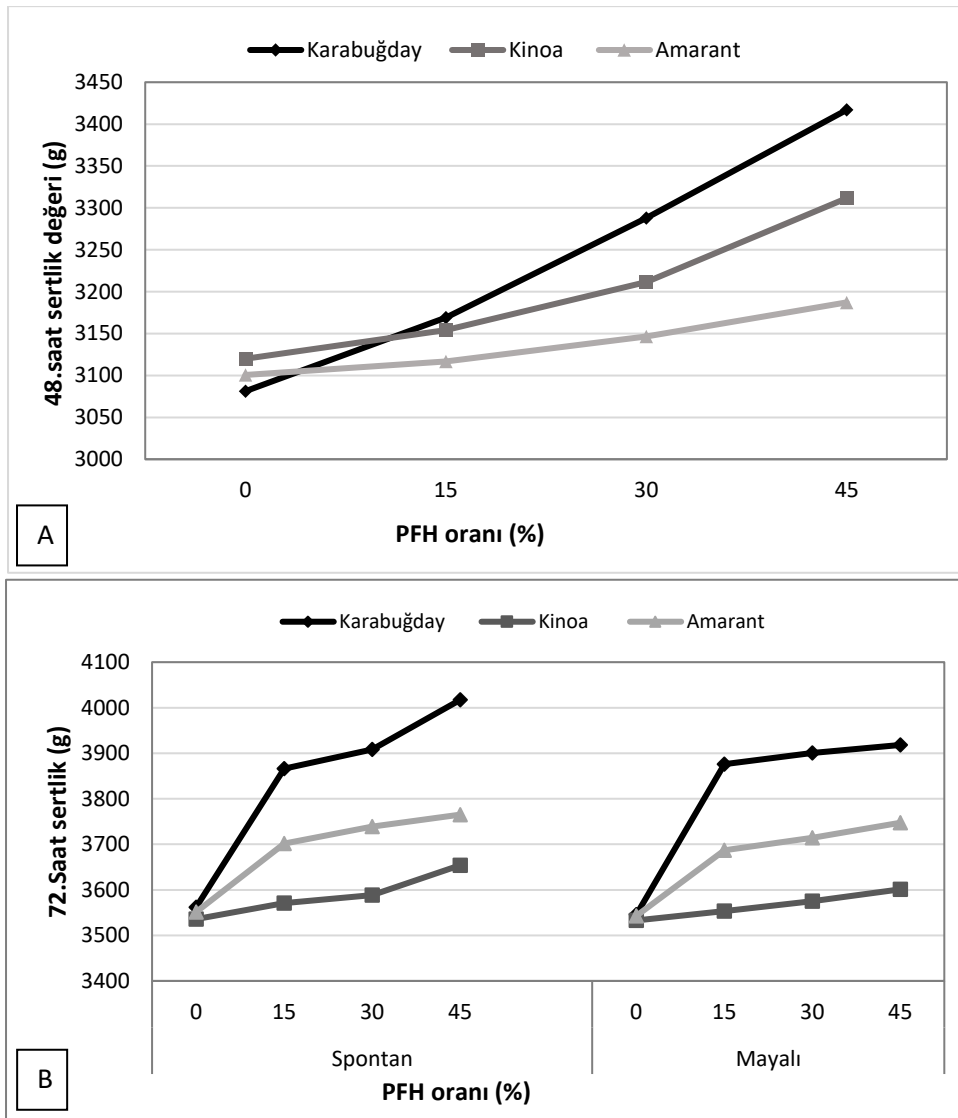
	n	Sertlik (g)/Hardness (g)			
		2saat/2 h	24 saat/24 h	48 saat/48 h	72 saat/72 h
Pseudo-tahıl çeşidi Pseudocereal type					
Karabuğday Buckwheat	16	982.77±240.89 ^a	2577.18±69.84 ^b	3244.99±153.28 ^a	3825.07±167.70 ^a
Kinoa Quinoa	16	989.26±226.11 ^a	2632.33±55.24 ^a	3199.26±77.34 ^b	3583.79±56.02 ^c
Amarant Amaranth	16	970.29±262.00 ^b	2538.24±43.43 ^c	3137.81±39.40 ^c	3681.14±83.92 ^b
Fermantasyon yöntemi Fermentation method					
Spontan Spontaneous	24	993.43±240.37 ^a	2597.06±73.97 ^a	3217.33±116.34 ^a	3709.88±154.55 ^a
Mayalı Using yeast	24	968.12±240.78 ^b	2568.11±60.02 ^b	3166.54±94.63 ^b	3682.91±145.16 ^b
PFH oranı (%)² PFH ratio (%)²					
0	12	636.19±11.59 ^d	2516.31±33.76 ^d	3100.58±60.72 ^d	3545.10±14.80 ^d
15	12	904.37±79.80 ^c	2564.39±56.56 ^c	3146.54±31.23 ^c	3709.20±133.06 ^c
30	12	1158.59±12.38 ^b	2602.25±53.78 ^b	3215.38±65.80 ^b	3738.80±138.21 ^b
45	12	1223.95±34.15 ^a	2647.39±49.99 ^a	3313.57±122.03 ^a	3793.56±143.03 ^a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistik olarak birbirinden farklıdır (p<0.05), ²PFH: Pseudo-tahıl fermente hamuru

¹Means in the same column marked with different letters are statistically different from each other (p<0.05), ²PFH: Pseudocereal fermented dough

Glutensiz ekmek örneklerinin 48. saat sertlik değeri üzerinde etkili “pseudo-tahıl çeşidi x PFH oranı” interaksiyonu ve 72. saat sertlik değeri üzerinde etkili “pseudo-tahıl çeşidi x fermantasyon yöntemi x PFH oranı” interaksiyonu Şekil 2’de verilmiştir. Ekmek örnekleri içerisinde en yüksek sertlik değeri %15-45 oranında sırası ile karabuğday, kinoa ve amarant katkılı ekmeklerde belirlenmiş olup, PFH kullanım oranı arttıkça ekmek çeşitleri arasındaki sertlik değeri farkının da arttığı görülmüştür. Glutensiz ekmek

örneklerinin 72. saat sertlik değeri üzerinde etkili “pseudo-tahıl çeşidi x fermantasyon yöntemi x PFH oranı” interaksiyonuna göre pseudo-tahıl çeşitlerinden karabuğday fermente hamur katkılı ekmeklerin her iki fermantasyon yönteminde de en yüksek, kinoa katkılı ekmeklerin ise diğer ekmeklere kıyasla daha düşük sertlik değeri verdiği görülmüştür. Glutensiz ekmek formülasyonunda artan PFH oranı bütün ekmek örneklerinde sertlik değerinde artışa neden olmuştur.



Şekil 2. Ekmek örneklerinin A) 48.saat sertlik değeri üzerinde etkili “pseudo-tahıl çeşidi x PFH oranı” B) 72.saat sertlik değeri üzerinde etkili “pseudo-tahıl çeşidi x fermantasyon yöntemi x PFH oranı” interaksiyonu, PFH: Pseudo-tahıl fermente hamuru
Figure 2. The interactions of A) “pseudo-cereal type x PFH ratio” effective on 48th hour hardness value B) “pseudo-cereal type x fermentation method x PFH ratio” effective on 72. hour hardness value of gluten-free bread samples, PFH: Pseudocereal fermented dough

Sonuçlar

Bu çalışmada, karabuğday, kinoa ve amarant unları 2 farklı yöntemle fermente edilerek hazırlanan hamurlar, mısır nişastası ve pirinç unu kombinasyonunu içeren glutensiz ekmek formülasyonunda (%0, 15, 30, 45) kullanılmıştır. PFH katkısının ve kullanım oranının glutensiz ekmeklerin fiziksel ve tekstürel özellikleri üzerine olan etkileri incelenmiştir.

Glutensiz ekmeklerde karabuğday fermente hamuru kullanımı hem kabuk hem de ekmek içinde daha düşük parlaklık ve daha yüksek kırmızılık değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Formülasyonda artan oranlarda PFH kullanımı ekmeklerde kabuk parlaklığının azalmasına, kabuk kırmızılık değerlerinin ise artmasına neden olmuştur. Kinoa fermente hamuru katkılı ekmeklerde en yüksek hacim ve spesifik hacim değerleri elde edilmiş bunu sırasıyla amarant ve karabuğday katkılı ekmekler izlemiştir. Pseudo-tahıllara spontan fermentasyon uygulanması, maya kullanılarak fermentasyon yöntemine göre ekmeklerde daha düşük hacim ve spesifik hacim değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. 48. ve 72. saatte en yüksek sertlik değerleri karabuğday fermente hamur katkılı ekmeklerde belirlenmiştir. Ekmeklerin sertlik değerleri de artan PFH oranına bağlı olarak önemli ($p < 0.05$) artışlar göstermiştir. Maya kullanılarak fermente edilen pseudo-tahıl ekmekleri, spontan fermentasyona kıyasla daha düşük sertlik değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır.

Ekler

Bu çalışma, Saliha YEŞİL'in Yüksek Lisans Tezinden hazırlanmış ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonu tarafından '19-YL-19' no'lu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı BAP komisyonuna teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı: Saliha YEŞİL makalenin analiz, yazma–orijinal taslak, yazma–inceleme, düzenleme ve görselleştirmesine katkı sunmuştur. Hacer LEVENT makaleye araştırma taslağının belirlenmesi, analiz ve yazma-inceleme olarak katkı sağlamıştır. Yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Kaynaklar

- Ahamed, N. T., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., & Pal, M. (1998). A Lesser-Known Grain, Chenopodium Quinoa: Review of the Chemical Composition of its Edible Parts. *Food and Nutrition Bulletin*, 19(1), 61-70.
- Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010a). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food chemistry*, 119(2), 770-778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>
- Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010b). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, 230(3), 437-445. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1184-z>
- Aydoğdu, S., & Tümgör, G. (2005). Çölyak hastalığı. *Güncel Pediatri*, 3(1), 47-53.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12091>
- Carnevali, P., Ciati, R., Leporati, A., & Paese, M. (2007). Liquid Sourdough Fermentation: Industrial Application Perspectives. *Food Microbiology*, 24(2), 150-154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.009>
- Dalgıç, B., Sarı, S., Baştürk, B., Ensari, A., Eğirtaş, O., Bükülmez, A., & Barış, Z. (2011). Prevalence of celiac disease in healthy Turkish school children. *Official Journal of the American College of Gastroenterology*, ACG, 106(8), 1512-1517. DOI: <https://doi.org/10.1038/ayg.2011.183>
- Demirçeken, F. G., Kansu, A., Kuloğlu, Z., Girgin, N., Güriz, H., & Ensari, A. (2008). Human tissue transglutaminase antibody screening by immunochromatographic line immunoassay for early diagnosis of celiac disease in Turkish children. *Turkish Journal of Gastroenterology*, 19(1), 14 - 21.
- Demirkesen, I., & Özkaya, B. (2020). Recent Strategies for Tackling the Problems in Gluten-Free Diet and Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-27. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1823814>
- Elgün, A., & Ertugay, Z. (2002). Tahıl İşleme Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 297, Ders Kitapları Serisi No: 97, Erzurum.

- Elgün, A., Türker, S., & Bilgiçli, N. (2001). Tahıl ve Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü. Konya Ticaret Borsası Yayınları, Yayın No:2, Konya.
- Fasano, A., & Catassi, C. (2001). Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: an evolving spectrum. *Gastroenterology*, 120(3), 636-651. DOI: <https://doi.org/10.1053/gast.2001.22123>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.014>
- Francis, F. J. (1998). Colour Analysis, Nielsen S. S. (Ed.), In: Food Analysis (599-612 pp). An Aspen Publishers, Maryland, Gaithersburg, USA.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 15(3-4), 143-152. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012>
- Heitmann, M., Zannini, E., Arendt, E. (2018). Impact of *Saccharomyces cerevisiae* Metabolites Produced During Fermentation on Bread Quality Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(7), 1152-1164. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1244153>
- Hendek-Ertop, M. (2014). Ekşi Hamur Formül Optimizasyonunun Ekmeğin Aromatik Profili, Biyoaktif Nitelikleri ve Raf Ömrü Üzerine Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Houben, A., Höchstätter, A., & Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology*, 235(2), 195-208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1720-0>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.007.006>
- Kupper, C. (2005). Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology*, 128(4), S121-S127. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2005.02.024>
- Lin, L. Y., Liu, H. M., Yu, Y. W., Lin, S. D., & Mau, J. L. (2009). Quality and Antioxidant Property of Buckwheat Enhanced Wheat Bread. *Food Chemistry*, 112(4), 987-991. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.022>
- Melini, V. & Melini, F. (2019). Gluten-Free Diet: Gaps and Needs For a Healthier Diet. *Nutrients*, 11(1), 170. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11010170>
- Murtaza, M. A. & Ahmad, M. S. (2007). Effect of Sourdough Bacteria on the Quality and Shelf Life of Bread. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6(6), 562-565.
- Niland, B. & Cash, B. D. (2018). Health Benefits and Adverse Effects of a Gluten-Free Diet in Non-Celiac Disease Patients. *Gastroenterology and Hepatology*, 14(2), 82.
- Petel, C., Onno, B., & Prost, C. (2017). Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 105-123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.015>
- Pylar, E. J. (1988). Baking Science and Technology. Sosland Pub. Co., 3. Baskı
- Sakandar, H. A., Hussain, R., Kubow, S., Sadiq, F. A., Huang, W., Imran, M. (2019). Sourdough bread: A contemporary cereal fermented product. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(3), e13883. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13883>
- Sanz-Penella, J. M., Wronkowska, M., Soral-Smietana, M., & Haros, M. (2013). Effect of Whole Amaranth Flour on Bread Properties and Nutritive Value. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 679-685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.031>
- Serin, Y., & Akbulut, G. (2017). Çölyak Hastalığı ve Glutensiz Diyet Tedavisine Güncel Yaklaşım. *Türkiye Klinikleri Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(3), 192-200.
- Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016). Effect of Quinoa Flour on Gluten-Free Bread Batter Rheology and Bread Quality. *Journal of Cereal Science*, 69, 174-181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.03.005>
- Venskutonis, P. R., & Kraujalis, P. (2013). Nutritional Components of Amaranth Seeds and Vegetables: A Review on Composition, Properties, and Uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(4), 381-412. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12021>
- Vogel, R. F., Pavlovic, M., Ehrmann, M. A., Wiezer, A., Liesegang, H., Offschanka, S., & Liebl, W. (2011). Genomic Analysis Reveals *Lactobacillus Sanfranciscensis* as Stable Element in Traditional Sourdoughs. In *Microbial Cell Factories* (Vol. 10, No. 1, pp. 1-11). BioMed Central.
- Wijngaard, H., & Arendt, E. K. (2006). Buckwheat. *Cereal Chemistry*, 83(4), 391-401. DOI: <https://doi.org/10.1094/CC-83-0391>
- Xu, X., Luo, Z., Yang, Q., Xiao, Z., & Lu, X. (2019). Effect of Quinoa Flour on Baking Performance, Antioxidant Properties and Digestibility of Wheat Bread. *Food Chemistry*, 294, 87-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.037>
- Yarpuz, D. (2011). Glutensiz Ekmek Üretimi Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yaver, E., & Bilgiçli, N. (2020). Tahıl Benzeri Ürünler: Bileşimi, Beslenme-Sağlık Üzerine Etkileri ve Tahıl Ürünlerinde Kullanımı. *Food and Health*, 6(1), 41-56. DOI: <https://doi.org/10.3153/FH20006>
- Yıldırım, E. (2020). Çölyak Hastalığı ve Glutensiz Besleme. *Genel Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(3), 175-187. DOI: <https://doi.org/10.51123/jgehes.2020.8>
- Yıldız, M. (2012). Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) ve Lüpen (*Lupinus albus* L.) Unlarının Glutensiz Bisküvi Üretiminde Kullanımı Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yönel, O., & Özdiş, S. (2014). Çölyak hastalığı. *Güncel Gastroentoloji*, 18(1), 93-100.