

Vakum Fermantasyon Uygulamasının Glutensiz Ekmeğin Kalite Kriterleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Sezin TUTA ŞİMŞEK*¹

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 18100, Çankırı, Türkiye

(Alınış / Received: 31.12.2019, Kabul / Accepted: 08.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.08.2020)

Anahtar Kelimeler

Glutensiz ekmeğin
Fermantasyon
Vakum

Özet: Bu çalışmada vakum (düşük basınçta) fermantasyonun glutensiz ekmeğin kalite kriterleri üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Vakum fermantasyon parametrelerinin (vakum basıncı ve fermantasyon süresi) optimizasyonu için tam faktöriyel deney tasarımı tabanlı istenirlik fonksiyonu yaklaşımı kullanılmıştır. Faktörler üzerine etki eden yanıtlar hamurun reolojik özellikleri (konsistens, sıklık, viskozite indeksi, kohesiflik) olarak belirlenmiştir. Optimizasyon işlemi ile optimum vakum basıncı ve fermantasyon süresi 30 kPa ve 40 dk olarak belirlenmiştir. Konvansiyonel yöntemle ve düşük basınçta fermante edilen glutensiz ekmeğin örneklerinin toplam su kaybı, renk ve tekstür özellikleri karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemle üretilen glutensiz ekmeğin örneklerinin kalite özellikleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı ($P>0,05$) gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile glutensiz ekmeğin üretiminde vakum fermantasyon uygulamasının önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür.

Investigation of Vacuum Fermentation on Quality Criteria of Gluten-Free Bread

Keywords

Gluten-free bread
Fermentation
Vacuum

Abstract: In this study, effect of vacuum (low-pressure) fermentation on quality attributes of gluten-free bread was evaluated. A full-factorial experimental design based desirability function approach was used in order to determine optimum vacuum fermentation parameters (vacuum pressure and fermentation time). Responses were identified as rheological properties (consistency, firmness, index of viscosity and cohesiveness) of gluten-free dough. As a result of optimization 30 kPa and 40 min were determined as optimum vacuum pressure and fermentation time, respectively. Total water loss, color and texture properties of gluten-free bread samples fermented by conventional method and optimum vacuum conditions were compared and statistically insignificant differences ($P > 0,05$) were found between two groups. This study showed that vacuum fermentation has an important potential in gluten-free bread production.

1. Giriş

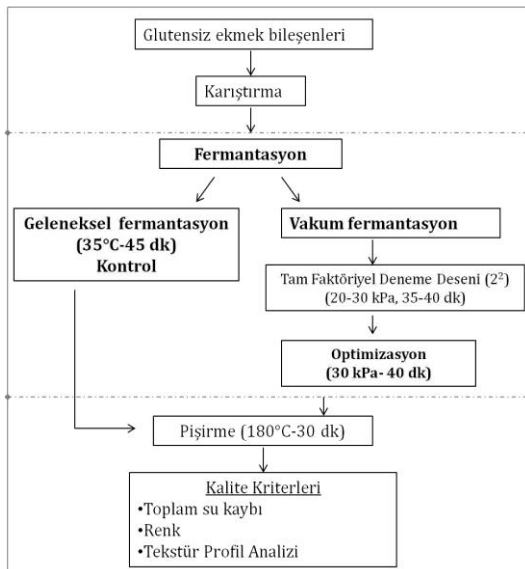
Fermantasyon, ekmeğin üretiminde uygulanan önemli aşamalardan biridir. Karıştırma ve fermantasyon ekmeğin hava kabarcıkları içeren yapı ve aroma bileşenlerinin oluşmasını sağlamaktadır. [1]. Ekmeğin mayası (*Saccharomyces cerevisiae*) ekmeğin üretiminde birincil olarak kullanılan kabartma ajanıdır. Maya hücreleri hamurda bulunan fermante olabilen şekerleri kullanarak fermantasyon sırasında karbondioksit ve etanol oluşumuna bu da fırınlama esnasında ekmeğin kabarmasına neden olmaktadır. Fermantasyon metabolitlerinin oluşması, hamur bileşenleri (şekerin kullanılabilirliği, tuz, mineral, vitamin, nitrojen kaynağı), hamur fermantasyon koşulları

(fermantasyon sıcaklığı ve süresi), maya ön-büyütme koşulları ve maya türünün genetik yapısı gibi farklı faktörlerden etkilenmektedir [2,3]. Yoğurma ile hava (oksijen ve nitrojen) hamur içerisine hapsolmakta ve böylece hava kabarcıkları oluşmaktadır. Maya aktivitesi yoğurma ile başlar ve fermantasyon sırasında devam eder. Karbondioksitin yüksek çözünürlükte olması ve gaz kabarcıklarının oluşumunda yetersiz olması ve oksijenin mayalar tarafından kullanılması nedeni ile gaz çekirdeği oluşumunda nitrojen etkilidir [1]. Fermantasyon sertlik, esneklik, hacim ve kohesiflik gibi ekmeğin son kalitesini etkileyen önemli bir ara aşamadır [4]. Ekmeğin hamuru hacminin üç katına çıkması için bir saatten fazla süre gerekebilmektedir bu nedenle fermantasyon ekmeğin üretiminde en

*İlgili yazar: sezintuta@karatekin.edu.tr

fazla zaman harcanan süreçtir. Ekmek üretiminde kullanılan enerjinin %10-15'ini fermantasyon kabinlerinde harcanan enerji oluşturmaktadır. Bu nedenle fermantasyon süresini kısaltmak ve optimize etmek önem arz etmektedir [1]. Glutensiz ürünlerin gluten içeren ürünlere nazaran daha yüksek fiyatlara satılmaları bu durumu daha önemli hale getirmektedir. Yapılan bir araştırmada glutensiz ürünlerin gluten içerenlere göre % 22-334 arasında daha yüksek fiyata sahip olduğunu rapor edilmiştir [5]. Literatürde fermantasyon süresini kısaltmak amacıyla ohmik ısıtma [1], ultrases [4], ve mikrodalga [6] gibi alternatif teknolojilerden yararlanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada fermantasyon işlemi vakumda (düşük basınç ortamında) gerçekleştirilmiştir. Gıda alanında vakum uygulamaları kızartma [7, 8], soğutma [9, 10], pişirme [11], fırınlama [12-14] ve kurutma [15] proseslerinde kullanılmaktadır. Bu işlemlerde ortam basıncının düşüşü suyun kaynama noktasında düşüşe neden olmaktadır bu da proseslerde avantaj sağlamaktadır. Ekmek üretiminin karıştırma aşamasında vakum uygulanarak ekmek hacmine ve gözenek yapısına etkisi ile ilgili çalışmalar literatürde mevcuttur [16]. Ancak vakum uygulamasının fermantasyon aşamasında kullanılması ile ilgili çalışmaya literatürde rastlanmamaktadır. Bu bilgiler ışığında bu çalışmada,

- Glutensiz ekmek üretiminde vakum fermantasyonunun uygulanabilirliği araştırılmış ve bu amaçla çok yanıtli optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiş,
- Optimum vakum basıncı ve sürede fermente edilen glutensiz ekmek hamuru ile elde edilen glutensiz ekmek örneklerinin kalite kriterleri (toplam su kaybı, renk, tekstür) incelenmiş ve konvansiyonel yöntemle fermente edilen glutensiz ekmek örnekleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Deney yapım aşamaları.

2. Materyal ve Metot

2.1. Glutensiz Ekmek Hazırlanması

Glutensiz ekmek üretimi için Tuta Şimşek (2020) 'de kullanılan formülasyon ve hamur yapım aşamaları uygulanmıştır [12]. Geleneksel fermantasyon işleminde optimum fermantasyon sıcaklığı olan 35°C'dir [1]. Bu nedenle glutensiz ekmek hamurları 35°C'de 45 dk süreyle fermente edilmiştir (kontrol). Vakum fermantasyonu için uygulanan parametreler için tam faktöriyel tasarım tabanlı deneme deseni uygulanmış ve optimum işletim parametreleri belirlenmiştir. Deney yapım aşamaları Şekil 1'de gösterilmektedir.

2.2. Vakum Fermantasyon Koşullarının Belirlenmesi

2.2.1. Faktörlerin ve Seviyelerinin Belirlenmesi

Optimum vakum basıncı ve fermantasyon süresinin belirlenmesi için iki faktör ve iki seviyeli (2²) tam faktöriyel deney tasarımı uygulanmıştır.

Tablo 1. Faktör ve seviyeler

Faktörler	Seviyeler	
Vakum basıncı	20	30
Fermantasyon Süresi (dk)	35	40

Vakum fermantasyon için vakum pompası (Model MVP6, Woosun, Kore) ile birlikte vakum fırın (Model OV-11, Jeitech, Güney Kore) kullanılmıştır. Faktör seviyelerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Fermantasyon sıcaklığı kontrolle benzer olarak 35°C'de gerçekleştirilmiştir. Yapılan ön denemelerde düşük basınçta (20 kPa ve 30 kPa) kontrolle benzer sürede (45 dk) fermantasyon uygulandığında hamur yapısının olumsuz etkilendiği; fermantasyon 30 dk uygulandığında ise fermantasyonun neredeyse gerçekleşmediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle fermantasyon süresi 35 ve 40 dk olarak belirlenmiştir. Ortam basıncı ile gazların hacmi ters orantılıdır bu nedenle fermantasyon sırasında hamurda oluşan gaz kabarcıklarının patlamasını engellemek için vakum basıncı 20 kPa ve 30 kPa (mutlak basınç değerleri sırasıyla 81,3 kPa ve 71,3 kPa) olarak seçilmiştir. Bu parametreler göze alınarak belirlenen faktör ve seviyeleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu faktörlerin hamurun reolojik özellikleri (yanıtlar) üzerine etkisi değerlendirilerek optimum faktör seviyeleri belirlenmiştir.

2.2.2. Hamurun Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Glutensiz ekmek hamurunun reolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Back Extrusion Rig ile birlikte tekstür analiz cihazı (Model TA-XT2i, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK, 30 N load cell) kullanılmıştır. Fermantasyon sonrasında ekmek

Tablo 2. Deney tasarımı ve glutensiz ekmek hamurunun reolojik özellikleri

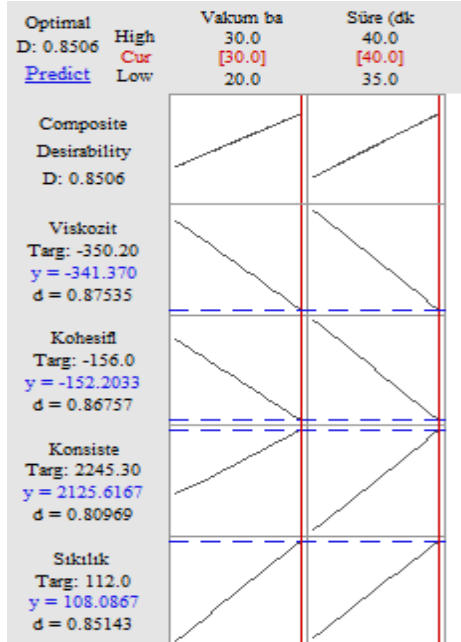
Vakum basıncı (kPa)	Fermantasyon süresi (dk)	Sıklık (g)	Konsistens (g.sec)	Kohesiflik (g)	Viskozite indeksi (g.sec)
20	35	104,1±15,2	2187,3±352,5	-148,2±12,3	-346,5±46,7
30	35	93,7±7,6	1717,4±111,8	-135,1±9,0	-293,2±17,2
20	40	93,2±3,9	1865,3±148,3	-138,4±7,5	-298,3±13,1
30	40	108,1±10,5	2125,6±279,2	-152,2±4,4	-341,7±39,2

Tablo 3. Kontrol ve optimum koşullarda fermente edilen hamurların reolojik özellikleri

	Vakum basıncı (kPa)	Fermantasyon süresi (dk)	Sıklık (g)	Konsistens (g.sec)	Kohesiflik (g)	Viskozite indeksi (g.sec)
Kontrol	0	45	112,0±7,4	2245,3±74,5	-156,0±1,2	-350,2±15,4
Opt-VF	30	40	108,1±10,5	2125,6±279,2	-152,2±4,4	-341,7±39,2
		P (P=0,95)	0,729	0,617	0,291	0,805

hamurları 50 mm çaplı örnek kabına aktarılmış, disk (35 mm çaplı ve 1 mm/s hızda) ile hamurun % 30 derinliğine nüfuz edecek şekilde sıkıştırma gerçekleştirilmiştir [17]. Analizler 3 tekrar gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen kuvvet-zaman grafiğinden yararlanılarak hamurun sıklık, konsistens, kohesiflik ve viskozite indeksi değerleri belirlenmiştir. Sıklık, hamurun ekstrüzyonu sırasında kuvvet-zaman eğrisinde görülen en yüksek kuvvet değeri; konsistens, ekstrüzyon sırasında elde edilen eğrinin altında kalan alan; kohesiflik, probun geri çekilmesi sırasında negatif bölgede elde edilen en yüksek kuvvet değeri ve viskozite indeksi negatif bölgede elde edilen eğrinin altında kalan alan olarak tanımlanmıştır [18].

2.2.3. İstenirlik Fonksiyonu Yaklaşımı ile Çok Yanıtlı Optimizasyon

**Şekil 2.** İstenirlik fonksiyonu yaklaşımı ile çok yanıtlı optimizasyon.

Optimizasyon işlemi için tam faktöriyel deney tasarımı tabanlı istenirlik fonksiyonu yaklaşımı uygulanmış bu amaçla MINITAB® programı kullanılmıştır. Buna göre düşük basınçta

fermantasyon prosesi için 2² tam faktöriyel deney tasarımı ve bu koşullarda fermente edilen hamurun reolojik özellikleri (konsistens, sıklık, kohesiflik, viskozite indeksi) Tablo 2'de gösterilmektedir. Vakum fermantasyon koşullarının optimizasyonu için hedef uygulanan vakum basıncı ve fermantasyon süresinde kontrolle benzer hamur özelliklerinin elde edilmesidir. Buna göre optimizasyon işleminde hamur reolojik özelliklerinin kontrolle benzer olduğu 30 kPa vakum basıncı ve 40 dk fermantasyon süresi optimum vakum fermantasyon koşulları olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Kontrol ve optimal seviyelerde fermente edilen hamur örneklerinin reolojik özellikleri arasındaki fark eşleşmiş t-testi (P=0,95, Microsoft Excel 2010) ile belirlenmiştir. Optimal seviyede vakumda fermente edilen ve kontrol hamur örneklerinin reolojik özellikleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı (P>0,05) gözlemlenmiştir (Tablo 3).

2.3. Glutensiz Ekmek Kalite Kriterlerinin Belirlenmesi

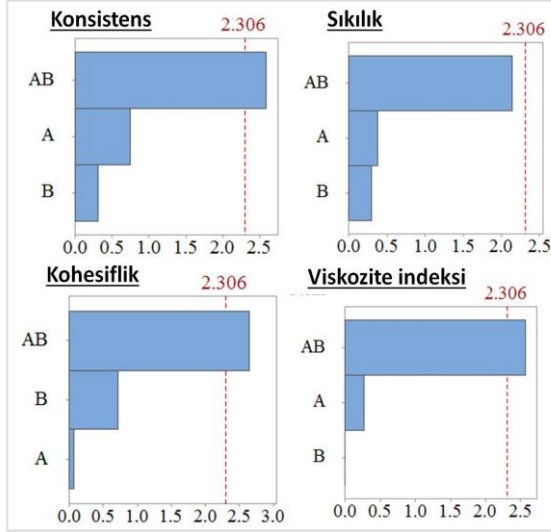
Optimal vakum basınç-süre kombinasyonunda ve tamamen atmosferik basınçta fermente edilen hamurların pişirilmesi ile elde edilen glutensiz ekmek örneklerinin kalite özellikleri karşılaştırılmıştır. Kontrol ve optimal vakum fermantasyon koşullarında fermente edilen glutensiz ekmek hamurları 180°C'de 30 dk süreyle pişirilmiştir. Bu amaçla fanlı etüv (Model MST 55, Teklab, Türkiye) kullanılmıştır. Pişirme sonlandıktan bir saat sonra tekstür profil analizi (sertlik, çiğnenebilirlik, esneklik, kohesiflik, yapışkanlık, resilience) renk, ağırlık kaybı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Tuta Şimşek (2020)'de kullanılan yöntemler uygulanmıştır [12]. Analizler iki tekrar iki paralel gerçekleştirilmiştir.

2.4. İstatistiksel Analiz

Konvansiyonel ve optimal vakum fermantasyon koşullarında fermente edilen hamurlardan elde edilen glutensiz ekmek örneklerinin kalite özellikleri arasındaki farkın istatistiksel analizi için eşleşmiş t-testi (P=0,95) uygulanmıştır. Bu amaçla Microsoft Excel 2010 programı kullanılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Vakum Fermantasyonda Faktörlerin Yanıtlar Üzerine Etkisi



Şekil 3. Pareto etki grafikleri (A: vakum basıncı, B: fermantasyon süresi).

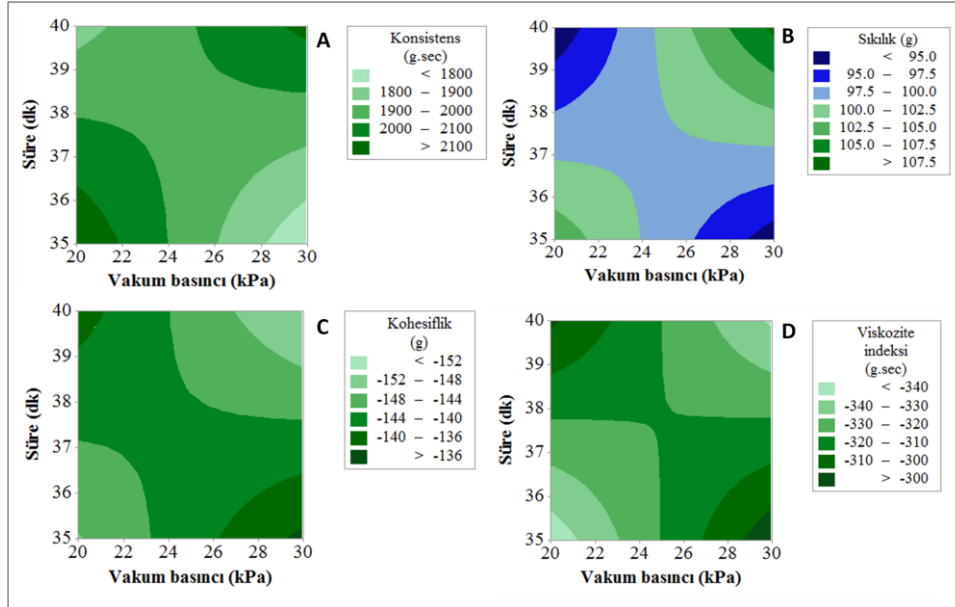
Vakum fermantasyon parametrelerinin (vakum basıncı (A) ve fermantasyon süresi (B)) hamurun konsistens, sıklık, kohesiflik ve viskozite indeksi

değerleri üzerine etkisi pareto etki grafikleri ile değerlendirilmiştir (Şekil 3). Hamurun reolojik özelliklerini vakum basıncı ve fermantasyon süresinin ayrı ayrı etkilemediği gözlemlenmiştir. Ancak vakum basıncı ve fermantasyon süresinin birlikte etkisinin (AB) konsistens, kohesiflik ve viskozite indeksi üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu, sıklık değeri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür.

Vakum basıncı ve fermantasyon süresinin hamur reolojik özellikleri üzerine etkisi Şekil 4'te gösterilmektedir. Vakum basıncı ve fermantasyon süresindeki artış daha yüksek konsistens, sıklık, viskozite indeksi ve kohesiflik değerlerine sahip hamur yapısı elde edilmesine neden olmaktadır.

3.2. Glutensiz Ekmek Kalite Kriterlerinin Değerlendirilmesi

Konvansiyonel yöntemle ve düşük basınçta fermente edilen glutensiz ekmek hamurlarının pişirilmesi ile elde edilen ekmek örneklerinin kalite özellikleri Tablo 4'te gösterilmektedir. Ağırlık kaybı, tekstür profil analizi ve renk değerlerindeki değişimin istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür ($P > 0,05$).



Şekil 4. Faktörlerin yanıtlar üzerine etkileri (A: konsistens, B: sıklık, C: kohesiflik, D: viskozite indeksi).

Tablo 4. Kontrol ve vakum fermantasyon ile üretilen glutensiz ekmeklerin kalite kriterleri

Parametreler	Kontrol	OPT-VF	P (P=0,95)	
Toplam su kaybı	17,97±0,81	18,18±0,56	0,772	
Sertlik (g)	3710,66±321,94	3546,00±793,99	0,617	
Çiğnenbilirlik	1159,20±120,28	947,55±177,41	0,928	
Tekstür Profil Analizi	Esneklik	0,62±0,02	0,58±0,03	0,067
Kohesiflik	0,50±0,03	0,46±0,02	0,070	
Yapışkanlık (g.sec)	-5,82±2,67	-10,05±5,74	0,346	
Resilience	0,22±0,02	0,20±0,01	0,129	
Renk	L	75,2±1,86	75,49±1,20	0,864
a*	0,92±1,02	0,38±0,13	0,380	
b*	18,48±1,67	17,99±1,57	0,662	

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Vakum Fermantasyonunda Faktörlerin Yanıtlar Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Gazların hacmi basınç ile ters orantılı olarak değişmektedir. Vakum basıncındaki azalma mutlak basıncın düşmesine ($P_{mutlak}=P_{atm}-P_{vakum}$) ve buna bağlı olarak ekmek hamuru içerisinde oluşan gaz kabarcıklarının hacminin artmasına neden olmaktadır [14]. Vakum basıncının artışı ile mutlak basıncın düşmesi ve fermantasyon süresinin artışı daha fazla sayıda daha yüksek hacimli hava kabarcıklarının oluşmasına neden olmuş olabilir. Böylece daha fazla sayıda ve daha hacimli hava kabarcıkları hamur içerisine hapsolmüştür. Bu nedenle vakum basıncı ve fermantasyon süresi birlikte hamurun reolojik özelliklerini etkilemektedir. Pareto etki grafiklerinde görüldüğü gibi bu ikili etki (AB) hamurun konsistens, kohesiflik, viskozite indeksi değerlerini istatistiksel olarak önemli derecede etkilemektedir (Şekil 2). Gao vd. (2017), ekmek hamur bileşenlerinin vakumda karıştırılması ile daha kıvamlı hamur elde edildiğini rapor etmişlerdir ve bunun nedeni büyük gaz kabarcıklarının dağılması ile küçük gaz kabarcıklarının oluşması daha yoğun (konsistensi yüksek) hamur oluşması olarak belirtmişlerdir [16].

Hamurun kıvamı konsistens, akmaya karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü viskozite indeksi ve kohesiflik ise hamurdaki iç bağların gücü ile ilgili bilgi vermektedir [18]. Vakum basıncı ve fermantasyon süresindeki artış bu değerleri artırıcı etkiye sahiptir (Şekil 4). Bu değerler içerisinden kohesiflik değeri ekmek kalitesi ile ilgili bilgi veren iyi bir indikatördür. Yapıda gluten olmaması nedeniyle glutensiz hamurların kohesifliği düşük olmakta bu nedenle kohesifliği artırmak önem kazanmaktadır. Yüksek kohesifliğe sahip hamur ile daha yüksek özgül hacme sahip ve daha yumuşak ekmek elde edilebilmektedir [19]. Kontrolle benzer özelliklerde hamur elde etmek için yapılan optimizasyon işleminde optimum işlem parametrelerinin (OPT-VF) (Tablo 3) sıklık, konsistens, kohesiflik ve viskozite indeksi değerlerinin Tablo 2'de görülen en yüksek değerler olduğu gözlemlenmektedir. Bu son üründe ekmek özelliklerinin kontrolle benzer olması açısından önemlidir.

4.2. Glutensiz Ekmek Kalite Kriterlerinin Değerlendirilmesi

Fırınlama aşamasında fermante hamur ısı ve kütle transferinin etkisiyle yapısal değişikliğe uğramaktadır. İlk aşamada ısı transferinin etkisiyle mayanın CO₂ üretimi artar (50-60°C'de maya inaktive olana kadar), gaz genişler, CO₂ buharlaşır, etanol çözünebilir hale geçer ve su buharlaşır. Hamur yeterli sıcaklığı ulaştıktan sonra nişasta

jelatinizasyonu ve protein denaturasyonu ile ekmek yapısı oluşur [3]. Toplam su kaybı, tekstür ve renk ekmek ürünlerinin başlıca kalite özelliklerindedir. Glutensiz ekmeğin kalite özelliklerini fermante hamurun reolojik özellikleri etkilemektedir [20].

Kontrol ve vakum fermantasyon ile üretilen glutensiz ekmeklerin kalite kriterleri Tablo 4'de gösterilmektedir. İstenirlik fonksiyonu yaklaşımı ile yapılan çok yanıtli optimizasyon işlemi ile amaç konvansiyonel ve vakumda fermante edilen hamur özelliklerinin birbirine benzer olmasıdır. Bu nedenle beklenildiği gibi son üründe belirlenen kalite özellikleri birbiri ile benzerdir. Kontrol ve vakum fermantasyon ile üretilen glutensiz ekmek örneklerinin toplam su kaybı, tekstür profil analizi, renk parametreleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli değildir ($P > 0,05$).

Vakum fermantasyonla üretilen ekmeklerin kontrole göre daha yapışkan, daha yumuşak, daha az çiğnenebilir, esnek ve kohesif olduğu görülmüştür (Tablo 4). En belirgin farklılık vakum fermantasyon ile üretilen ekmeklerin yapışkanlık değerinde gözlemlenmiş, bu örneklerin daha yapışkan olduğu görülmüştür. HPMC, hidrofobik özellikleri ile fermantasyon sırasında hamurda ara yüzey aktivitesi ve ısıtma sırasında jel ağ yapısı oluşumuna neden olmaktadır [19]. Ortam basıncının düşmesiyle gaz kabarcıklarının hacmi artmış ve bu durumun HPMC ara yüzey özelliklerini zayıflatarak jel ağ yapısını etkileyebileceği düşünülmüştür. Böylece daha yapışkan ekmek iç yapısı oluşmuş olabilir ancak bu farklılık istatistiksel olarak önemli değildir ($P > 0,05$). Hamurun reolojik özellikleri ile ilişkilendirildiğinde sıklık, konsistens, kohesiflik ve viskozite indeksi değeri daha düşük olan vakumda fermante edilen hamur (Tablo 3) ile elde edilen ekmek örneklerinin daha yumuşak ve daha düşük kohesiflik değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek konsistense sahip hamurlar, hamur yapısının sert olması nedeniyle gazların genleşmemesine ve daha sert ekmek elde edilmesine neden olmaktadır. Düşük konsistensli hamurlarda ise gevşek hamur yapısı gazların yapıda kalmayarak ekmek yapısının daha yumuşak olmasına neden olmaktadır [21]. Renk parametrelerinden a* değeri ekmek kabuğunun esmerleşmesi ve kırmızılık değeri hakkında bilgi vermektedir [22]. İstatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen vakum fermantasyonla üretilen ekmeklerin a* değerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Glutensiz ekmek örneklerinin açık renkli olması tüketici beğenisini etkileyen önemli unsurlardandır. Bu nedenle daha esmer yani kırmızılık değeri daha yüksek kabuk rengi arzu edilmektedir. Vakum fermantasyon ile daha açık renkli glutensiz ekmek üretilmesi dezavantaj olarak değerlendirilebilir.

Yapılan bu çalışma ile,

- Ekmek üretiminde fermantasyon işlemi sırasında vakum fermantasyon koşulları istenirlik fonksiyonu yaklaşımı ile çok yanıtli olarak optimize edilmiştir. Optimum vakum basıncı (30 kPa) ve fermantasyon süresi (40 dk) parametrelerinde fermante edilen hamurun konvansiyonel yöntemle (atmosferik basınçta 45 dk süreyle gerçekleştirilmiştir) fermante edilmiş hamur ile benzer reolojik özelliklere sahip olduğu görülmüştür ($P > 0,05$).
- Bu yöntemle fermantasyon işlemi daha kısa sürede gerçekleştirilmiştir. Enerji sarfiyatının önemli bir kısmının gerçekleştirildiği fermantasyon aşamasında süre kısaltılması enerji tasarrufu açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ancak pompa kullanımının neden olduğu enerji sarfiyatı da dikkate alınarak maliyet analizi yapılmalıdır.
- Konvansiyonel yöntemle karşılaştırıldığında vakum fermantasyonla üretilen ekmek örneklerinin benzer kalite özelliklerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma, glutensiz ekmek üretiminde vakum fermantasyonun uygulanabilirliğinin önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Kaynakça

- [1] Gally, T., Rouaud, O., Jury, V., Havet, M., Ogé, A., Le-Bail, A. 2017. Proofing of bread dough assisted by ohmic heating. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39, 55-62.
- [2] Struyf, N., Van der Maelen, E., Hemdane, S., Verspreet, J., Verstrepen, K. J., Courtin, C. M. 2017. Bread dough and baker's yeast: An uplifting synergy. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 850-867.
- [3] Martínez, 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.
- [4] Luo, D., Wu, R., Zhang, J., Zhang, K., Xu, B., Li, P., Li, X. 2018. Effects of ultrasound assisted dough fermentation on the quality of steamed bread. *Journal of Cereal Science*, 83, 147-152.
- [5] Panagiotou, S., Kontogianni, M. D. 2017. The economic burden of gluten-free products and gluten-free diet: a cost estimation analysis in Greece. *Journal Of Human Nutrition And Dietetics*, 30(6), 746-752.
- [6] Ozmutlu, O., Sumnu, G., Sahin, S. 2001. Assessment of proofing of bread dough in the microwave oven. *European Food Research and Technology*, 212(4), 487-490.
- [7] Mariscal, M., Bouchon, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry*, 107(4), 1561-1569.
- [8] Belkova, B., Hradecky, J., Hurkova, K., Forstova, V., Vaclavik, L., Hajslova, J. 2018. Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil. *Food Chemistry*, 241, 51-59.
- [9] Novotni, D., Špoljarić, I. V., Drakula, S., Čukelj, N., Voučko, B., Ščetar, M., Ćurić, D. 2017. Influence of barley sourdough and vacuum cooling on shelf life quality of partially baked bread. *Food Technology and Biotechnology*, 55(4), 464.
- [10] Ozturk, H. M., Ozturk, H. K., Koçar, G. 2017. Microbial analysis of meatballs cooled with vacuum and conventional cooling. *Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 2825-2832.
- [11] da Silva, F. L., de Lima, J. P., Melo, L. S., da Silva, Y. S., Gouveia, S. T., Lopes, G. S., Matos, W. O. 2017. Comparison between boiling and vacuum cooking (sous-vide) in the bioaccessibility of minerals in bovine liver samples. *Food Research International*, 100, 566-571.
- [12] Tuta Şimşek, S. 2020. Evaluation of Partial-Vacuum Baking for Gluten-Free Bread: Effects on Quality Attributes and Storage Properties. *Journal of Cereal Science*, 91, 1-7.
- [13] Palazoğlu, T. K., Coşkun, Y., Tuta, S., Mogol, B. A., Gökmen, V. 2015. Effect of vacuum-combined baking of cookies on acrylamide content, texture and color. *European Food Research and Technology*, 240(1), 243-249.
- [14] Şimşek, S. T. 2019. Vacuum-combined baking to enhance quality properties of gluten-free cake: Multi-response optimization study. *LWT*, 116, 1-7.
- [15] Wang, J., Law, C. L., Nema, P. K., Zhao, J. H., Liu, Z. L., Deng, L. Z., Xiao, H. W. 2018. Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. *Journal of Food Engineering*, 224, 129-138.
- [16] Gao, J., Tay, S. L., Koh, A. H. S., Zhou, W. 2017. Dough and bread made from high-and low-protein flours by vacuum mixing: Part 2. Yeast activity, dough proofing and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 77, 275-283.
- [17] Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L. 2009. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 988-995.
- [18] Ronda, F., Pérez-Quirce, S., Villanueva, M. 2017. Rheological properties of gluten-free bread doughs: relationship with bread quality. ss 297-334 Ahmed, J. ed. 2016. In *Advances in*

- food rheology and its applications, Woodhead Publishing, United Kingdom, 528s.
- [19] Lazaridou, A., Biliaderis, C. G. Gluten-Free Doughs: Rheological Properties, Testing Procedures, Methods and Potential Problems. Gallagher, E. Ed. 2009. Gluten-free food science and technology. John Wiley & Sons, United Kingdom, s. 246.
- [20] Jha, P. K., Chevallier, S., Cheio, J., Rawson, A., Le-Bail, A. 2017. Impact of resting time between mixing and shaping on the dough porosity and final cell distribution in sandwich bread. *Journal of Food Engineering*, 194, 15-23.
- [21] Martínez, M. M., Díaz, Á., Gómez, M. 2014. Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making. *Journal of Food Engineering*, 142, 49-56.
- [22] Vouris, D. G., Lazaridou, A., Mandala, I. G., Biliaderis, C. G. 2018. Wheat bread quality attributes using jet milling flour fractions. *LWT*, 92, 540-547.