T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PİSİLYUM TOZU İLAVESİNİN TAZE VE DONDURULMUŞ GLUTENSİZ EKMEK KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Sevda CAN KEMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ

Şubat, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PİSİLYUM TOZU İLAVESİNİN TAZE VE DONDURULMUŞ GLUTENSİZ EKMEK KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Sevda CAN KEMAN tarafından hazırlanan tez çalışması 23.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üye. Görkem ÖZÜLKÜ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Salih KARASU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üye. Çiğdem YILDIRIM MAVİŞ, Üye
Haliç Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Pisilyum Tozu İlavesinin Taze Ve Dondurulmuş Glutensiz Ekmek Kalitesi Üzerine Etkisinin Araştırılması" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Sevda CAN KEMAN

İmza

Aileme

ve

arkadaşlarıma

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca dersini aldığım bütün bölüm hocalarımıza, tez dönemim boyunca bana destek ve emeklerini sunan değerli hocam Dr.Öğr.Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ'ye, deney aşamalarında bana yardımcı olan Arş. Gör. Dr. Hatice BEKİROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bugüne kadar benden desteğini esirgemeyen sevgili anneme ve aileme, desteğini hep hissettiğim, sıkıldığımda moral olan, vazgeçmek istediğimde beni yapabileceğime inandıran sevgili eşime,

Vazgeçmediğim için kendime,

Fikirlerine hep başvurduğum, her zaman yanımda olduklarını hissettiğim arkadaşlarım Melike ALGÜL'e, Medine TÜRKOĞLU GENÇ'e ve Eda SEZER'e,

Fikir alışverişinde bulunduğum sevgili arkadaşım Özge BAKACAK'a,

İş arkadaşlarım Zeynep KAYA ve Sümeyye ERİKCİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevda CAN KEMAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iv
SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ x
ÖZET xi
ABSTRACT xiii
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 3
2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
2.1 Çölyak Hastalığı ve Glutensiz Ekmek 4
2.1.1 Glutensiz Ekmekte Kalite Problemleri ve Çözümleri için Yapılan Uygulamalar 5
2.1.1.1 Glutensiz Unlara Uygulanan İşlemler 6
2.1.1.2 Glutensiz Ekmek Üretim Proseslerinin Modifiye Edilmesi 8
2.1.1.3 Glutensiz Ekmek Formülasyonlarında Katkı Maddelerinin Kullanımı 9
2.1.2 *Plantago ovata* (Pisilyum Tozu) 12
2.1.3 Glutensiz Ekmek Hamurunda Dondurma İşlemi 14
2.1.4 Glutensiz Ekmekte Aroma 16
3 MATERYAL VE METOD 18
3.1 Materyal 18
3.2 Metot 18
3.2.1 Glutensiz Ekmek Yapımı 18
3.2.2 Glutensiz Ekmek Hamurunda Temel Reoloji Analizi 19
3.2.3 Glutensiz Ekmeklerde Kalite Analizleri 19
3.2.3.1 Spesifik Hacim 19

3.2.3.2 Tekstür Analizi 20

3.2.3.3 Renk Analizi 20

3.2.4 Glutensiz Ekmeklerde Uçucu Bileşen Analizi 20

3.2.5 İstatistiksel Analiz 21

4 BULGULAR VE TARTIŞMA 22

4.1 Glutensiz Ekmek Hamurlarının Reolojik Özellikleri 222

4.2 Glutensiz Ekmeklerin Kalite Özellikleri 30

4.2.1 Spesifik Hacim ve Tekstür Analizleri 30

4.2.2 Renk Analizi 34

4.3 Glutensiz Ekmeklerde Uçucu Bileşen Analizi 38

5 SONUÇ 44

KAYNAKÇA 46

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 53

SİMGE LİSTESİ

dk	Dakika
G’	Depolama (Storage) Modülü
g	Gram
Tan δ	G"/ G'
*a**	Kırmızı- Yeşil İndeks Değeri
G’’	Loss (Kayıp) Modülü
*b**	Mavi- Sarı İndeks Değeri
N	Newton
L*	Parlaklık (siyah-beyaz) İndeks Değeri
ΔE	Renk Değişimi
°C	Sıcaklık (Celcius)

KISALTMA LİSTESİ

AACC	American Association of Cereal Chemists
ÇH	Çölyak Hastalığı
GC-MS	Gaz kromotografisi- Kütle Spektrometresi
GZK	Glutensiz Kontrol Ekmeği
HPMC	Hidroksipropilmetilselüloz
PSY1	%7,5 Pisilyum Tozu Katkılı Ekmek
PSY2	% 15 Pisilyum Tozu Katkılı Ekmek
PT	Pisilyum Tozu
TGaz	Transglutaminaz

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 4.1 Taze hamurun depolama modülündeki eğri değişiklikleri…….24

Şekil 4.2 Taze hamurun kayıp modülündeki eğri değişiklikleri……24

Şekil 4.3 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 7.gününe ait depolama modülündeki eğri değişiklikleri……..25

Şekil 4.4 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 7.gününe ait kayıp modülündeki eğri değişiklikleri……..25

Şekil 4.5 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 15.gününe ait depolama modülündeki eğri değişiklikleri**……..**26

Şekil 4.6 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 15.gününe ait kayıp modülündeki eğri değişiklikleri**……..**26

Şekil 4.7 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 30.gününe ait depolama modülündeki eğri değişiklikleri**……..**27

Şekil 4.8 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 30.gününe ait kayıp modülündeki eğri değişiklikleri……..27

Şekil 4.9 Taze hamurun ve 7,15 ve 30 gün dondurularak muhafaza edilen hamurların tan δ değişimi……...29

Şekil 4.10 Glutensiz kontrol ekmeğinin ve %7,5 ve %15 oranlarında PT katkısı ile hazırlanmış ekmeklerin 0., 7., 15. ve 30.günlerdeki görünümleri..…..34

Şekil 4.11 Glutensiz kontrol ekmeğinde bulunan uçucu bileşenler…….41

Şekil 4.12 %7,5 PT katkılı glutensiz ekmek örneklerinde bulunan uçucu bileşenler……..…42

Şekil 4.13 %15 PT katkılı glutensiz ekmek örneklerinde bulunan uçucu bileşenler……..……43

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Glutensiz ekmek formülasyonları……..19
Tablo 4.1 Glutensiz kontrol ekmeği ve %7,5 ve %15 PT katkılı ekmek numunelerinin 0., 7., 15. Ve 30.günlerdeki spesifik hacim ve tekstür sonuçları……33
Tablo 4.2 Glutensiz kontrol ekmeği ve %7,5 ve %15 PT katkılı ekmek numunelerinin 0., 7., 15. Ve 30.günlerdeki ekmek kabuğunda yapılan renk analizine ait sonuçlar …….36
Tablo 4.3 Glutensiz kontrol ekmeği ve %7,5 ve %15 PT katkılı ekmek numunelerinin 0., 7., 15. Ve 30.günlerdeki ekmek içinde yapılan renk analizine ait sonuçlar……...……..37
Tablo 4.4 Ekmek numunelerinde belirlenen uçucu bileşenler……40

ÖZET

Pisilyum Tozu İlavesinin Taze ve Dondurulmuş Glutensiz Ekmek Kalitesi Üzerine Etkisinin Araştırılması

Sevda CAN KEMAN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ

Pisilyum (karnıyarık otu, *Plantago ovata*), su bağlama ve jel oluşturma özelliklerinden dolayı glutensiz ürün formülasyonlarında yaygın bir şeklide kullanılmaktadır. Glutensiz ekmeğin buğday unlu ekmeğe göre daha hızlı bayatlaması glutensiz ekmek üretiminin temel sorunlarından biridir. Bu çalışmada, glutensiz beslenen tüketicilere taze ekmeğin sunulması amacıyla dondurulmuş hamur teknolojisinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda, dondurulmuş glutensiz ekmek üretiminde pisilyum tozu (PT) kullanımının glutensiz ekmek hamurlarının temel reolojik özelliklerine ve glutensiz ekmeklerin kalite özelliklerine (spesifik hacim, tekstür ve renk) etkisi araştırılmıştır. Glutensiz ekmek formülasyonuna PT (%7,5 ve %15) ilavesi, hamurda viskoelastik yapının bir göstergesi olan tan δ değerini kontrol örneğine göre (%0 PT) azaltmıştır ($p<0,05$). Dondurarak muhafaza (−30 °C, 7, 15 ve 30 gün), PT ilaveli örneklerin tan δ değerini etkilememiştir ($p \geq 0,05$) fakat kontrol örneğinin tan δ değeri depolama ile önemli derecede azalmıştır ($p<0,05$). Daha yüksek spesifik hacim değerleri ve daha düşük ekmek içi sertlik değerleri PT ilaveli glutensiz ekmeklerde gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Kontrol ve

%7,5 PT ilaveli ekmeklerin spesifik hacim değerleri dondurarak muhafazanın sonunda (−30 °C, 30.gün), taze örneklere göre önemli derecede azalmıştır ($p<0.05$). Dondurarak muhafaza, %15 PT ilaveli ekmeğin spesifik hacim değerini etkilememiştir ($p \geq 0,05$). Taze ekmeklerin dış kabuk ve ekmek içi parlaklık değeri (L*), PT ilave miktarına bağlı olarak kontrol örneğine göre azalmıştır ($p<0,05$). Dondurarak muhafaza sırasında, PT ilaveli glutensiz ekmeklerin kontrol örneğine göre daha yüksek spesifik hacim ve daha düşük ekmek içi sertlik değerine sahip oldukları görülmüştür. Ekmek örneklerine yapılan uçucu bileşen analizi sonucunda en fazla bileşen glutensiz kontrol ekmeğinde (11 adet), en az uçucu bileşen ise %15 PT ilaveli glutensiz ekmekte (5 adet) tespit edilmiştir. Tüm ekmek çeşitleri için ortak olarak alkol grubundan etanol ve 1-butanol, 3 metil, aldehit grubundan butanal, 3-metil ve heksanal tespit edilmiştir. %7,5 PT katkılı glutensiz ekmeğin diğer örneklere göre dondurarak muhafazada tekstürel özelliklerini koruduğu ve 15 günlük depolamaya daha uygun olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, pisilyumun dondurulmuş glutensiz ekmek üretiminde de kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Glutensiz Ekmek, Pisilyum, Dondurarak Muhafaza

ABSTRACT

Investigation of the Effect of Psyllium Addition on the Quality of Fresh and Frozen Gluten-Free Bread

Sevda CAN KEMAN

Department of Food Engineering.

Master of Science Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Görkem ÖZÜLKÜ

Psyllium (*Plantago ovata*) is widely used in gluten-free product formulations due to its water-binding and gel-forming properties. One of the main problems of gluten-free bread production is that staling faster than wheat flour bread. In this study, frozen dough technology was used to offer fresh bread to consumers on a gluten-free diet. In this context, the effect of using psyllium powder (PP) in the production of frozen gluten-free bread on the fundamental rheological properties of dough and the quality characteristics (specific volume, texture and color) of breads was investigated. When compared to the control sample (0% PP), the addition of PP (7.5% and 15%) into the gluten-free dough decreased the tan δ value which is an indicator of the dough viscoelasticity ($p<0,05$). No significant effect on tan δ value of the doughs containing PP was observed during frozen storage (−30 °C, 7, 15 and 30 days) ($p \geq 0.05$) while the tan δ value of the control sample decreased significantly ($p<0,05$). Higher specific volume and lower bread crumb hardness were obtained in gluten-free breads with PP addition ($p<0,05$). Specific volume of control and the bread containing 7.5% PP decreased significantly at the end of frozen storage (−30 °C, 30th day) compared to fresh samples ($p<0,05$). Frozen storage did not affect the specific volume value of breads with 15% PP addition (p

≥ 0.05). The crust and crumb lightness value (L*) of fresh breads decreased compared to the control sample, depending on the amount of PP ($p<0,05$). At the end of frozen storage, gluten-free breads containing PP had higher specific volume and lower bread crumb hardness than control sample. In addition, volatile component analysis was performed on bread samples and the change in the amount and variety of components with freezing preservation was observed. As a result of the volatile component analysis performed on bread samples, the most volatile components were detected in the gluten-free control bread (11 pieces), and the least volatile component was detected in the gluten-free bread with 15% PT addition (5 pieces). Commonly detected for all bread types were ethanol and 1-butanol, 3-methyl from the alcohol group, and butanal, 3-methyl and hexanal from the aldehyde group. It was observed that 7.5% PT added gluten-free bread preserved its textural properties in freezing compared to other samples and was more suitable for 15-day storage. According to the results obtained, it was concluded that psyllium can also be used in the production of frozen gluten-free bread.

Key Words: Gluten-Free Bread, Psyllium, Frozen Storage

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Ekmek, doyuruculuğu, çeşitliliği ve besin değerleri sebebiyle dünya çapında yüksek oranda tüketilen bir gıdadır. Özellikle buğday ekmeği temel karbonhidrat kaynağı olması sayesinde insanların beslenmesinde önemli bir yere sahiptir [1]. Gluten, eklendiği ürüne viskoelastik bir yapı kazandırır. Yapısında bulunan glutenin ve gliadin proteinleri arasında oluşan bağ sayesinde karıştırma sırasında uygulanan kuvvete karşı dayanıklı olmaktadır. Ayrıca gluten fermentasyon ve pişirme sırasında açığa çıkan gazı tutmakta ve daha yüksek hacimli ekmek üretimine olanak sağlamaktadır [2]. Gluten proteini yapısında sindirilemeyen birçok peptit bulunmaktadır. Bu özelliği ile sindirime dirençli bir yapısı bulunmaktadır. Gluten intoleransı bulunan veya çölyak hastası olan bireyler tarafından tüketildiğinde alerjik reaksiyonlara sebebiyet vererek sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu sebeple çölyak hastalarının buğday, yulaf ya da çavdar gibi gluten içeriği bulunan besinleri tüketmemesi gerekmektedir [3]. Bunun yanında son zamanlarda glutensiz beslenme de popülerlik kazanmakta ve bu nedenlerle glutensiz ekmek üretimi de giderek yaygınlaşmaktadır.

Artan talepler doğrultusunda ekmek üretiminde hamurun/ ekmeğin dondurularak muhafaza edilmesi de üretici tarafından tercih edilen bir yöntem olmaktadır. Glutensiz ürünlerin üretiminin yeterli olmaması nedeniyle ithal edilmesi ve içeriğinde yüksek miktarda nişasta bulunmasından kaynaklı olarak daha çabuk bayatlaması nedeniyle tüketicinin taze ekmeğe ulaşımı bir sorun oluşturmaktadır. Dondurarak muhafaza edilen ekmek hamuru ile tüketiciye taze ekmeğe ulaşma imkanı sağlanmaktadır [4]. Özellikle hamurda kullanılan dondurarak muhafaza yöntemi hacmi ekmeğe göre daha az olduğundan depolamayı ve tüketici talebi doğrultusunda işlemeyi kolaylaştırmaktadır.

Glutensiz ekmek üretiminde ürün içeriğinden glutenin çıkarılmasıyla ekmek hamuru sıvı bir yapıda olmakta ve pişen ekmek incelendiğinde gluten içeren ekmeklere nazaran daha sıkı dokulu ve buna bağlı olarak düşük hacimli ekmekler gözlemlenmektedir. Ayrıca ekmekler daha açık dış kabuk ve ekmek içi rengine

sahip olmaktadır. Yüksek nişasta içeriği nedeniyle de daha kısa raf ömrüne sahiptir [4, 5]. Bu nedenle glutensiz ekmek yapımında kalitenin iyileştirilmesi ve besin değerinin arttırılması amacıyla farklı alternatif katkılar araştırılmaktadır. Bitkilerden elde edilen lifler, gamlar ve bazı hidrokolloidler bu özelliklerin geliştirilmesi için yapılan araştırmalarda kullanılan katkılardandır [6]. Ksantan gamı ve HPMC'nin glutensiz ekmek formülasyonlarına dahil edilmesiyle yapılan bir araştırmada yüksek su tutma özellikleri sayesinde bu katkıların ekmeğin hacmini ve kırıntı sertliğini arttırdığı gözlemlenmiştir [5]. Besin değeri açısından zenginleştirilmiş glutensiz ekmekler üretmek amacıyla ekmek formülasyonuna soya, acı bakla, sodyum kazeinat, peynir altı suyu proteini ve toz yumurta gibi proteinler de eklenmiştir. Protein eklenmesi ekmeğin besleyici özelliklerini zenginleştirmenin yanı sıra hamurun reolojik özelliklerini geliştirdiği ve pişmiş ürünlerin hacmini, dokusunu ve duyusal özelliklerini iyileştirdiği belirtilmektedir [7].

Pisilyum, *Plantago ovata* bitkisinden elde edilen suda çözünebilen bir liftir [8, 9]. Karnıyarık otu olarak da bilinen bitkinin tozu tohum kabuğundan öğütülerek elde edilmektedir. Diyabet, kanser, ishal ve kabızlık gibi sağlık problemlerinin tedavisinde fayda sağladığı görülmüştür. Fonksiyonel özellikleri, yüksek su tutma kapasitesi ve besleyici özellikleri sebebiyle gluten ikamesi yerine kullanılması önerilmiştir [9].

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde pisilyum tozunun (PT) glutensiz ekmek yapımında hamurun ve ekmeğin kalite özellikleri üzerinde olumlu katkılar sağladığı görülmüştür. Glutensiz dondurulmuş hamurlar üzerine de araştırmalar yapılmıştır [10-12]. Fakat, dondurulmuş glutensiz ekmek üretiminde, PT'nin etkisinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada amaç glutensiz ekmek formülasyonlarında kullanılan pisilyum tozunun (PT) dondurularak muhafaza edilen glutensiz hamurlarda da kullanımının araştırılmasıdır. PT glutensiz formülasyonlarda hem kaliteyi hem de besin değerini arttırmaktadır [9, 13, 14]. Çalışmada PT'nin dondurulmuş glutensiz hamurların

reolojik özelliklerine ve spesifik hacim, tekstür ve renk özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Ayrıca PT ilavesinin glutensiz ekmeklerin uçucu bileşenlerinde gösterdiği etki gözlemlenmiştir.

1.3 Hipotez

Glutensiz ekmeklerde ortaya çıkan kalite sorunlarının giderilmesi için PT kullanılmaktadır. Glutensiz ekmeğin daha çabuk bayatlaması ve tedariğinde yaşanan sorunlara karşılık hamurun dondurularak muhafaza edilmesi önerilmektedir. Bunun yanında dondurmanın hamurun ve dolayısıyla ekmeğin yapısında değişikliklere yol açtığı bilinmektedir. Dondurma ile nişastada meydana gelen hasar, protein yapısındaki değişiklikler glutensiz hamur yapısını ve son ürün yapısını etkilemektedir.

PT'nin glutensiz ekmekte kalite eksikliklerini giderebildiği gibi dondurmanın hamur yapısında yol açacağı zararları da önleyebileceği öngörülmüştür. Bu çalışmada, PT ilavesinin glutensiz dondurulmuş ekmeğin kalitesini dondurarak muhafaza boyunca nasıl etkilediği araştırılacaktır.

2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Çölyak Hastalığı ve Glutensiz Ekmek

Çölyak hastalığı (ÇH), gluten alımıyla tetiklenen otoimmün bir hastalıktır. Genetik olarak duyarlı bireylerde vücuda alınması halinde ince bağırsağın dokusuna zarar vermektedir. Hastalık bireyin yaşına, hastalığın süresi ve yaygınlığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genellikle sessiz bir ilerleme gösteren ÇH'nin bazı bireylerde teşhisi zor olmakta ve bu durumda hastalık tedavi edilemediğinden kansere yol açabilmektedir. ÇH'nin tanı ve tedavisinde yeni yöntemler araştırılmakta ve uygulanmaktadır. Fakat, hala en etkili tedavi yöntemi çölyak hastalarının ömür boyu glutensiz diyete uymasıdır [6, 15]. Beslenme alışkanlıklarındaki değişikliklere bağlı olarak ÇH oranı artmakta ve teşhis prosedürlerinin gelişmesiyle birlikte daha fazla ÇH vakası tanınmaktadır. Şu anda, dünya nüfusunun yaklaşık %1'inin bu hastalıktan etkilenmesi nedeniyle ÇH küresel bir durum olarak kabul edilmektedir [16].

Tahıllar çok eski zamanlardan beri insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Arpa, buğday ve çavdar bilinen en eski tahıllardandır. Eski çağlarda yaşayan insanlar beslenme amaçlı olarak tahılları lapa, kek gibi çeşitli şekillerde tüketmeye başlamışlar daha sonra bu süreç zamanla ekmek yapımına ulaşmıştır [17]. Buğday ekmek yapımında daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekmek insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. ÇH'ye sahip ya da gluten alerjisi, intoleransı veya hassasiyeti bulunan bireylerin gluten içeriğine sahip bu tahıllar ile üretilen ürünleri tüketmemesi gerekmektedir. Ayrıca bir çeşit deri hastalığı olan ve gluten alerjisiyle ortaya çıkan dermatitis herpetiformis hastaları da gluten tüketmemelidir. Gerek hastalık sebebiyle gerekse de glutensiz ürünlerin daha sağlıklı olduğuna dair oluşan yaygın inançla glutensiz ekmek başta olmak üzere glutensiz ürünlere olan talep gün geçtikçe artmaktadır [18].

Gluten, başta en çok tüketilen gıda maddesi olan ekmek olmak üzere birçok unlu mamulün kalite parametresinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Gluten gliadin ve glutenin yapılarının kovalent ya da kovalent olmayan bağlarla bağlanması sonucu oluşan ve hamura viskoelastik bir yapı kazandıran kompleks bir yapıdır [2, 19].

Glutenin işlevselliğinin daha çok yüksek molekül ağırlığına sahip olan gluteninden kaynaklandığı konusunda bir fikir birliği bulunmaktadır. Yapısında bulunan disülfit bağlarının, glutenin hamura sağladığı özellikleri açıklamada fayda sağladığı kabul görmektedir [20].

Gluten, hamurun yoğurulması sırasında havanın ve mayalanma sırasında açığa çıkan CO_2 gazının hamur içerisinde tutulmasını sağlayarak ekmeğin kabarmasına sebep olur [21]. Hamur fermentasyonu ve ekmeğin pişirilmesi sırasında ortaya çıkan gazı tutmakla görevlidir ve bu sayede yapışkan ve uzayan bir hamur elde edilmesini sağlar [22].

ÇH vakasının artmasıyla birlikte, glutensiz ürünlere yönelik talep de artmaktadır. Bu taleple birlikte tüketiciler glutensiz ürünlerin daha kaliteli ve daha uzun raf ömrüne sahip olmasını beklemektedirler. Günümüzde piyasada bulunan glutensiz ürünlerin kalitesi, tüketicilerin beklentilerini karşılamamaktadır; bu ürünler, özellikle buğday muadilleriyle karşılaştırıldığında genellikle düşük besin değeri ve tatmin edici olmayan duyusal kalite ile karakterize edilmektedir [23, 24]. Ayrıca günümüzde araştırma- geliştirmedeki ilerlemelere ve glütensiz ürün pazarının büyümesine rağmen, piyasada bulunan pek çok glutensiz ürün yüksek fiyata sahiptir. Glutensiz ürünler sıklıkla rafine edilmiş glutensiz unlar veya nişastalar kullanılarak yapıldıkları için sıklıkla daha düşük düzeyde diyet lifi içeriğine sahip olmaktadır [13].

2.1.1 Glutensiz Ekmekte Kalite Problemleri ve Çözümleri için Yapılan Uygulamalar

Glutenin hamur ve ekmek yapım süreci ve son ekmeğin kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır. Bu nedenle, talep edilen kalitede glütensiz ekmek elde etmek, bilim insanları ve üreticiler için büyük bir zorluk olmaktadır [14]. Glutenin bu önemli rolü göz önüne alındığında, buğdayın yerini alacak tek bir bileşenin bulunması oldukça zor olmaktadır. En uygun buğday unu ikamesi pirinç unudur ve ayrıca son zamanlarda glutensiz unlu mamullerin hazırlanmasında mısır, sorgum ve karabuğday unları da kullanılmaya başlanmıştır [7]. Bahsedilen unların içeriğindeki düşük protein, diyet lifi ve mikro besin maddeleri içerdiğinden, bu beslenme profiline sahip ürünlerin sık tüketilmesi, beslenme yetersizlikleri ve kronik bulaşıcı olmayan hastalıklar gibi sağlık sorunları riskini artırabilir [25].

Glutensiz formülasyonlarda gluten yokluğundan kaynaklı olarak üç boyutlu protein-nişasta ağı bulunmaz. Bu formülasyonda kullanılan unlar genellikle saf nişastalardır. Glutensiz formülasyonlar glutenli ürünlere göre oldukça yüksek su miktarları içerir. Bu durum hamurun doğru kıvamı almasında önemlidir. Glutensiz formülasyonlar ile üretilen hamurlar işlenmesi elastik olmayan bir yapıda olmaktadır. Protein ağının eksikliği nedeniyle hamurda gaz tutma hamurun viskozitesi tarafından kontrol edilir. Bu durum düşük spesifik somun hacmine neden olur [26].

Glutensiz formülasyonlarda ortaya çıkabilen sorunlarla ilgili çözüm yolları araştırmalara konu olmaktadır. İşlemeyi kolaylaştırmak ve glutensiz ekmeğin özelliklerini geliştirmek için çeşitli uygulamalar üzerinde çalışılmaktadır. Kullanılan baz un üzerinde yapılan çalışmalar, nişastaların modifikasyonu, basınç ile işleme ve ısıl işlemlerdir. Glutensiz formülasyonlarda enzim ve hidrokolloidlerin kullanımı ekmek kalitesi üzerinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca formülasyona eklenen bitkisel veya hayvansal kaynaklı proteinler, diyet lifleri de glutensiz ürünlerin kalitesini iyileştirmektedir. Ekmek yapım aşamalarında yapılan değişikliklerin de son ürün üzerinde etkili olabileceği bildirilmektedir.

2.1.1.1 Glutensiz Unlara Uygulanan İşlemler

Gluten içeren buğday ununa karşılık glutensiz ürünlerde farklı alternatif unların kullanımı araştırmalara konu olmaktadır. Buğday unu yerine seçilecek alternatif unun yeterli besin içeriğine sahip olması, hamur reolojisine ve ekmek kalitesine olumlu etkide bulunması gerekir. Formülasyonlarda kullanımı en çok tercih edilen pirinç unu olmakla birlikte mısır unu, teff unu, amaranth ve karabuğday unları da alternatif olarak kullanılan unlardır. Ayrıca nohut, fasülye, bakla gibi baklagillerden elde edilen unlar da diğer unlarla karıştırılarak kullanılmaktadır. Teff unu yüksek karbonhidrat ve protein içeriğinin yanı sıra lif ve demir kaynağıdır. Diğer tahıllardan daha fazla mineral içeriğine sahiptir [27]. Amaranth ununun avantajı nispeten yüksek protein içeriği ve lizin, triptofan ve metionin gibi esansiyel amino asitlerin yapısında bulunmasıdır. Ayrıca lipid içeriği de yüksek olan amaranth özellikle linoleik asitte yüksek miktarda doymamış yağ asitleri içeriğine sahiptir[28]. Yukarıda bahsedilen unlar dışında glutensiz formülasyonlarda kullanılan nişastalar pirinç, mısır, patates ve tapyoka nişastalarıdır. Ürünlerde

hamur reolojisini ve ekmeklerin dokusunu etkileyen nişasta, önemli polisakkarit kaynağıdır. Genel olarak nişasta granüllerinin amiloz- amilopektin yapılarının bir karışımı olduğu belirtilmektedir [27].

Nişastanın işlenmesinde ortaya çıkan iki önemli süreç vardır: Jelatinizasyon ve retrogradasyon. Öğütme ile hasar gören nişasta granüllerinin daha fazla su emme kapasitesine sahip olması sonucu enzimatik hidrolize duyarlı hale gelmesi söz konusudur. Ayrıca nişastanın ısıtılmasıyla moleküler olarak bozulma meydana gelmektedir. Kristallik kaybı ve granüllerin geri dönüşümü olmayan şişmesiyle meydana gelen bu olaya *jelatinizasyon* adı verilmektedir. *Retrogradasyon* ise nişastanın ısıtıldıktan sonra soğumasıyla polisakkaritlerin kristal yapıyı oluşturmak için birleşmesidir. Ph, tuz ve şeker içeriği ve lipit yapısı retrogradasyonu etkileyen faktörlerdir [27].

Glutensiz ürünlerin kalite sorunlarını gidermek amacıyla uygulanması araştırılan işlemlerden biri formülasyonlarda kullanılan nişastaların modifikasyonu olmaktadır. Nişasta ekmeğin yapısını oluşturmada önemli rol oynayan formülasyonda kullanılan kuru maddelerin ana bileşeni olan bir polisakkarittir [29]. Yaygın bir kullanıma sahip olan nişastanın sıcaklık, pH değişimi gibi fiziksel koşullara karşı direnci düşük olmaktadır [30]. Nişastanın modifikasyonu nişastaya direnç kazandırabilmekte, olumsuz fiziksel veya kimyasal özelliklerini giderebilmektedir.

Nişastanın kimyasal olarak modifiye edilmesi oksidasyon, esterifikasyon veya eterifikasyon aşamalarını içermektedir. Modifiye edilmiş nişastalar gıda katkısı gibi düşünüldüğünden bazı kurallara göre kullanılmaktadır [31]. Nişastanın modifikasyonunda bir başka yöntem nişasta kaynağı olan bitkilerin çaprazlanmasıdır. Çaprazlanma sonucu genetik olarak değiştiklerinden amiloz/amilopektin oranı da değişmektedir. Nişastanın amiloz miktarı nişastanın fiziksel ve kimyasal özelliklerini önemli derecede etkilemektedir [32].

Glutensiz formülasyonlarda araştırmaların ve kullanımının sınırlı olduğu görülmesine rağmen yapılan çalışmalarda modifiye nişasta kullanımının, glutensiz ekmeğin kalitesinde olumlu katkılar sağladığı görülmektedir [29, 31]. Ancak modifiye nişastalar donma/ çözülme döngülerinde gerilemeye sebep olur ve dayanıklılığının düştüğü görülmektedir [31].

Glutensiz unların geliştirilmesi için araştırılan ve uygulanmakta olan bazı işlemler bildirilmektedir. Glutensiz hamurlarda nişastanın jelatinizasyonunu sağlamak amacıyla yüksek hidrostatik basınç kullanımı araştırmalara konu olmuş ve başarılı bulunmuştur. Başlangıçta gluten içeren hamurlar için yapılan bu uygulamanın glutensiz formülasyonlar için de hamurun kıvamını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır [27].

Vallons ve arkadaşları farklı unlar ve farklı hidrostatik basınçlar kullanarak bir çalışma yapmış ve sonuçları bildirmişlerdir. Farklı unlarla yapılan formülasyonların aynı basınç altında farklı davranış sergilemelerinin unların granül yapılarının ve kristalliklerinin değişikliklerine bağlı olduğunu belirtmişlerdir [33].

Mısır unu ve pirinç nişastasıyla yapılan başka bir çalışmada 40 ◦C'de 5 dakika boyunca 600 MPa hidrostatik işlemi uygulanmış ve unların su bağlama kapasitesinin arttığı bildirilmiştir. Bunun sonucu olarak ekmeklerde yüksek spesifik hacim ve kırıntı sertliğinde azalma görülmüştür [34].

Kuru ısıl işlem unlar üzerinde yapılan başka bir uygulamadır. Glutensiz unlarla yapılan ekmek ve keklerde yapılan bu işlemin ekmeğin yapısında, hacminde ve dayanıklılığında iyileşmeye neden olduğu belirtilmektedir. Ayrıca kuru ısıl işlemin son ürün tadına da etki ettiği bildirilmektedir [27].

Sorgum ununun baz un seçilerek yapılan bir çalışmada sorgum ununa 95°C ve 125°C sıcaklıklarda 15, 30 ve 45 dakika süreyle kuru ısıl işlem uygulanmıştır. Bu unla hazırlanan ekmekler değerlendirmeye tabi tutulmuş ve 125 °C'de 30 dakika kuru ısıl işlem uygulanan un ile yapılan ekmek değerlerinin daha yüksek çıktığı belirtilmiştir [35].

Nişasta ve unlara yapılan bu ve benzeri işlemlerin umut vadettiği, ancak bu alanda daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir.

2.1.1.2 Glutensiz Ekmek Üretim Proseslerinin Modifiye Edilmesi

Glutensiz ekmek yapımında kaliteyi geliştirmek amacıyla üretim proseslerinde de bazı değişiklikler uygulanmaktadır.

Ekmek hamurunun yoğurulması, hamurun içeriğindeki gazın alınması, son ürünün kalitesi ve aroması üzerinde önemli etkiye sahiptir. Hamurun yoğrulma süresi, yoğurma aparatı ve yoğurma hızının ekmeğin özelliklerini büyük ölçüde etkilediği

belirtilmiştir. Bahsi geçen parametrelerin doğru şekilde belirlenmesi ve uygulanması hamurun gaz tutma kapasitesini etkileyerek ekmek kalitesini iyileştirebilmektedir [27].

Glutensiz ekmek üretim proseslerine ekşi maya fermentasyonu eklenerek ekmek dokusunun, aromasının ve besin değerlerinin olumlu yönde etkilendiği bildirilmiştir. Ayrıca ekşi maya fermentasyonu ekmeğin raf ömrünün arttırılmasını sağlamaktadır. Ekşi maya kullanılarak hamuru mayalandırmak nişasta granüllerinin daha fazla şişmesini sağlayabilmektedir. Fermentasyonun ilk günü boyunca ekşi mayanın hamur elastikiyetini arttırdığı ve ekmeğin bayatlamasını geciktirdiği vurgulanmıştır [36].

Yapılan bir çalışmada dört *Lactobacillus* türü ile yapılan kombinasyon ile gerçekleştirilen ekşi maya fermentasyonunun glutensiz ekmek üzerine etkisi araştırılmıştır. Formülasyonda baz un olarak darı unu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ekşi maya fermantasyonunun hamurun elastikiyetini arttırdığı, sertliğini azalttığı bildirilmiştir. En yüksek somun hacmi, gözeneklilik miktarında en çok artış görülen ve en yüksek nem içeriğine sahip olan ekmek örneği *L. brevis* ile fermente edilen hamurdan üretilen ekmek olmuştur. Ayrıca kontrol ekmeklerinden daha lezzetli ekmekler üretildiği belirtilmiştir [37].

Ekmek yapım süreçlerinden önemli bir adım da pişirme adımıdır. Pişirme işleminde klasik pişirmenin dışında farklı yöntemler denenmektedir. Mikrodalga pişirme, kızılötesi ile pişirme, jet dalga yöntemi ve bunların kombinasyonu olan hibrit ısıtma araştırılması yapılan yöntemlerdendir. Bu yöntemlerden en etkili olanının hibrit ısıtma olduğu bildirilmektedir. Bu yöntemlerin dışında diğer bir yöntem ise ohmik ısıtmadır. Daha çok buğday ekmeğinde yapılan çalışmalar bulunsa da glutensiz ekmek için yapılan bir çalışmada klasik pişirme yöntemiyle pişirilen ekmeklere göre daha yüksek somun hacmi ve daha ince gözenek yapısı gözlemlenmiştir [26].

Ekmek yapım aşamalarında kaliteyi arttırmak için araştırılan uygulamalar umut verici uygulamalardır ve daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

2.1.1.3 Glutensiz Ekmek Formülasyonlarında Katkı Maddelerinin Kullanımı

Formülasyonları geliştirmek, ekmek kalitesini ve besin değerini iyileştirmek amacıyla glutensiz ekmek yapımında katkı maddeleri kullanılmaktadır. Hidrokolloidler formülasyonlarda belirlenen amaçla kullanılan katkı

maddelerinden biridir. Su bağlayıcı olarak viskoelastik yapının geliştirilmesine katkı sağlarlar. Nişastanın retrogradasyonunu yavaşlattıkları belirtilmektedir. Son ürünün dokusunu ve depolamayla azalabilecek kalitesini geliştirirler. Bu özellikleriyle hidrokolloidlerin gluten yerine kullanılabileceği görülmektedir. Su tutma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle ürüne dayanıklılık vermektedirler [27].

Hidrokolloidlerin türü, kullanılan miktar ve formülasyondaki diğer bileşenlerle etkileşimi hamurun ve nihai ürünün özellikleri üzerinde etkilidir. Ayrıca etkileri hamur ve ekmek yapımındaki süreçlerdeki işlem özelliklerine (pH, sıcaklık vb.) de bağlı olmaktadır [38]. Kullanılan hidrokolloidin kaynağı, kimyasal yapısı ve kullanılan dozaj da hidrokolloidin etkisini belirlemektedir [27].

Yapılan çalışmalarda hidrokolloidlerin viskoziteyi artırarak hamur gelişimini ve gaz tutulmasını iyileştirdiği ve bununla birlikte daha yüksek spesifik hacme sahip glutensiz ekmekler üretildiği bildirilmiştir [38]. Hidrokolloidlerin etkileri kimyasal yapılarına, miktarına, proses parametrelerine ve diğer bileşenlerle etkileşimlerine bağlıdır [39].

Hidroksipropil metil selüloz (HPMC) selüloz zincirine hidroksipropil ve metil gruplarının eklenmesiyle elde edilmekte olan bir hidrokolloiddir [40]. HPMC, düşük sıcaklıkta çözelti halinde büyük su tutma kapasitesine sahiptir ve diğer HPMC zincirleriyle daha güçlü hidrofobik bağlar oluşturup, daha yüksek sıcaklıklarda daha güçlü jel ağları oluştururken aynı anda su açığa çıkardığına inanılmaktadır [41]. Ayrıca amilopektin retrogradasyonunu önleyerek bayatlamayı geciktirir ve ürünün raf ömrünü arttırır [40, 42].

Ksantan gam, galaktomannanlar ve glukomannalar ile etkileşime girerek hamurun viskozitesini etkilemektedir. Pişirmeye bağlı ortaya çıkabilecek kusurları önleyebilmektedir. Ksantan gamın hamur içerisinde topaklanmasını önlemek için karışımın iyi bir şekilde karıştırılması gerekmektedir [43].

Hidrokolloidlerin tek başına kullanılmasının yanında araştırmacılar farklı katkılarla da kullanılması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Örneğin hidrokolloid-emülgatör-protein katkılarının aynı anda kullanılması kabul edilebilir kalitede bir glutensiz ekmek ile sonuçlanmıştır [44].

Bitkisel veya hayvansal kaynaklı proteinlerin glutensiz hamur ve ekmek özelliklerini geliştirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Soya ve patates kullanılan bitkisel kaynaklardan olurken yumurta ve süt ürünleri de hayvansal kaynaklardandır. Yapılan bir çalışmada yumurta albümin proteinlerden alınan sonuçların en iyi olduğu görülmüştür [45]. Baklagillerden elde edilen proteinler de glutensiz formülasyonlarda kullanımıyla araştırmalara konu olmuştur. Acı bakla ve bezelye protein izolatlarının kullanıldığı bir formülasyondan hazırlanan hamurun reolojisi daha iyi bulunmuş ve hacim ve gözeneklerinin arttığı, ekmek sertliğinin azaldığı son ürün elde edilmiştir [46].

Bu alanda umut verici çalışmalardan biri de formülasyona çeşitli enzimlerin eklenmesi olmaktadır. Formülasyonlara enzim eklenmesinin amacı gluten ağı gibi davranan protein toplulukları oluşturmaktır. Transglutaminaz (TGaz), oksidaz ve proteazlar araştırmalarda kullanılmış ve iyi sonuçlar alınmıştır. Çeşitli unlarla yapılan bir araştırmada TGaz'ın karabuğday ve kahverengi pirinç unuyla yapılan ekmeklerde kaliteyi iyileştirici özellik gösterdiği belirtilmiştir. Ancak mısır ununda yapılan ekmek hamurlarında elastikiyeti düşürmüş, yulaf, sorgum ve tefften yapılan ekmeklerin iyileştirilmesinde etkili olmadığı bildirilmiştir [47].

Lipoksijenaz, sülfhidril oksidaz, glikoz oksidaz ve peroksidaz çeşitleriyle bilinen oksidazlar hamur reolojisinde geliştirici etkisinin yanı sıra ağartıcı etkileri de bildirilmektedir. Glikoz oksidazın pirinç unu bazlı formülasyonda kullanılmasıyla ekmek özgül hacmi artmış ve kırıntı sertliği azalmıştır [48]. Hidrojen peroksitin disülfit oluşturması sonucu protein çapraz bağlanmasıyla hamur kıvamının artması ve pirinç ununda bulunan ve suda çözünen pentozanların jelleşmesi ile bu durum açıklanmıştır.

Proteinazlar ve peptidazlar ise proteinlerdeki peptid bağlarını hidrolize ederek protein nişasta birlikteliklerinin oluşmasına sebep olmaktadırlar. Proteaz kullanılarak farklı unlarla hazırlanan formülasyondan üretilen ekmeklerin farklı en yüksek viskozite ile sonuçlandığı görülmüştür. Nişasta bazlı glutensiz ekmeklerde görülen ufalanma sorununu da azalttığı bildirilmiştir [47, 48].

Glutensiz ürünlerin diyet lifleri ile zenginleştirilmesi birçok araştırmanın konusu olurken inülin de araştırmalarda incelenen diyet lifleri arasında yerini almıştır. İnülin sindirilemeyen bir polisakkarittir ve bağırsaklardaki yararlı

mikroorganizmaların gelişimini hızlandırıcı bir prebiyotiktir. Glutensiz ekmek çalışmalarında kullanıldığında hamur stabilitesini ve iyi bir tekstür sağladığı gözlemlenmiştir [49].

Chockchaisawasdee ve arkadaşları bakla fasulyesini glutensiz ekmeğin kalite özelliklerini zenginleştirmek için kullandıkları bir araştırma yapmışlardır. Bakla fasülyesi bilinen en eski kültür bitkilerinden biridir ve yetiştiriciler ara ürün olarak kullanmaktadır. Bakla fasulyesinin lif bakımından zengin kabukları ya atılmakta ya da hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmayla hem glutensiz ekmeğin kalite özelliklerini zenginleştirmek hem de gıda israfının önüne geçmek hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda düşük maliyetli ve yüksek lif içerikli bakla fasülyesi kabuğunun glutensiz ekmekte besin kalitesinden ödün vermeden ekmek içeriğindeki diyet lifi içeriğini arttırmak için iyi bir kaynak olduğu belirtilmiştir [6].

2.1.2 *Plantago ovata* (Pisilyum Tozu)

Plantago ovata bitkisinin tohum kabuğundan öğütülerek elde edilen Pisilyum da glutensiz ekmek formülasyonlarında yapılan çalışmalarda kullanılan ve çalışmamıza konu olan, çözünebilen bir liftir. Ana üretim yeri Hindistan olmakla birlikte İran ve Pakistan'da yapılan üretim de önemli miktardadır [1]. Dünya üzerinde 300, Türkiye'de ise 20'nin üzerinde farklı türünün bulunduğu bilinmektedir. Pisilyum, hazır meyve sularında, süt ve süt ürünlerinde, dondurmada, kahvaltılık gevreklerde ve kek, bisküvi ve ekmek gibi unlu mamullerde farklı fonksiyonel ve sağlık yönleri sebebiyle kullanılmaktadır [50]. Sağlık açısından birçok yararı olduğu belirtilmiş; kabızlığa, bağırsak hastalıklarına, kolon kanseri ve diyabet gibi rahatsızlıklara faydalı olduğu öne sürülmüştür. Pisilyum, kan şekeri ve kolesterol kontrolü gibi yararlı sağlık özelliklerine sahip doğal, viskoz bir tür arabinoksilandır [51]. Pisilyum tüketiminin kolesterol kontrolüne ve bağırsak sağlığına olumlu etkisinin yanı sıra yüksek lif içeriği sayesinde doyuruculuk özelliği de bulunmaktadır [14].

M. Ogata ve arkadaşları pisilyumun içeriğinde bulunan lif sayesinde karbon tetraklorürün neden olduğu hepatik toksisiteye karşı antioksidan ve hepatoprotektif etkilere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca pisilyum kabuğunun bağırsak epitel hücrelerinin fonksiyonunu ve bütünlüğünü iyileştiren ısı şoku proteinlerinin

üretimini arttırdığını ve bağırsak sağlığı üzerinde faydalı etkileri olduğunu göstermişlerdir [52].

Pisilyum otu tozu sağladığı faydalar sebebiyle birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışmalardan birinde ayran üretiminde stabilizör olarak PT seçilmiş ve 7 ayrı ayran örneği üzerinde çalışılmıştır. PT yağ ikamesi olarak da yağı azaltılmış ayranlarda test edilmiş ve ayranların duyusal ve kalite özelliklerini iyileştirdiği bulunmuştur. Sonuçlar kontrol örneğinde jelatin kullanılan ayran örneği sonuçlarına yakın bulunmuştur [53].

Yüksek oranda lif içermesi ve yüksek su tutma kapasitesi sayesinde PT, probiyotik yoğurt üretiminde yoğurdun fonksiyonelliğini ve yararlılığını geliştirmek amacıyla kullanılmıştır. Yağ oranları farklı 7 çeşit yoğurt üretiminde PT'nin farklı oranlarda kullanımıyla yoğurtların kimyasal, fiziksel, duyusal mikrobiyolojik ve tekstürel özellikleri arasındaki fark karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak pisilyumun genel anlamda yoğurtların kalitesi üzerinde olumlu etkisi olmuş ve sorun olarak görülen serum ayrılmasını azalttığı belirtilmiştir [54].

Başka bir çalışmada 7 farklı dondurma örneği üzerinde PT'nin etkisi araştırılmıştır. PT yağ oranları farklı dondurma örneklerinde farklı miktarlarda kullanılmıştır. Ayrıca farklı stabilizörlerle de kullanılarak birlikte etkisine bakılmıştır. Çalışma sonucuna göre yağı azaltılmış dondurma üretiminde PT tek olarak kullanıldığında stabilizör ve yağ ikamesi olarak beklenen etkiyi göstermemiştir. Ancak diğer stabilizörlerle birlikte kullanıldığında dondurmaların tekstürel, duyusal ve fiziksel özelliklerine olumlu katkı sağladığı belirtilmektedir [55].

Kraker ve ekmek üretiminde nişasta sindirilebilirliği üzerindeki etkiyi görmek amacıyla pisilyum ve selüloz lifi belirlenmiştir. Lif oranı kontrol formülasyonlarında kullanılan buğday ununun %10'u kadar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda PT'nin selüloz lifinden daha etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Lif ilave edilerek ekmek ve kraker örneklerinin nişasta sindirim davranışı üzerindeki etkilerinn araştırıldığı çalışmada PT'nin eklendiği ekmek ve kraker örneklerinde sindirim hızının yavaşladığı in vitro denemelerle görülmüştür [56].

PT'nin yaklaşık %70 oranında suda çözünebilen diyet lifi içeriğine sahip olduğu, birçok sağlık faydası sağlamanın yanı sıra sağlıklı pişirme için hamurun işlevselliğini geliştirdiği belirtilmektedir [10]. Glutensiz ekmek yapımında

hidroksipropil metilselüloz (HPMC), ksantan gam ve guar gumdan sonra en çok kullanılan hidrokolloiddir [9].

Yapılan araştırmalarda, hamura PT katılmasının hamurun viskozitesini ve gaz tutma kapasitesini artırabileceği ve glutensiz ürünlerin hacmini, yapısını, dokusunu, görünümünü, kabul edilebilirliğini ve raf ömrünü iyileştirebileceğini göstermektedir [24]. Bu özellikleri selülozdan 10 kat, elma lifinden 5 kat daha fazla su tutma kapasitesine sahip olan PT'nin viskoz karakterine atfedilmiştir [57].

Glutensiz ürünlerin kalitesini ve raf ömrünü artırmak için nohut unu, besin açısından zengin hammaddeler, pisilyum gibi çeşitli katkılar ve siklodekstrin glikosiltransferaz ve transglutaminaz gibi enzimler ile olumlu sonuçlar elde edilmiştir [14].

Pisilyum tohum kabuğundan elde edilen PT'nin bağırsak fonksiyonunu, kandaki glikoz ve kolesterol seviyelerini düzenlemek gibi sağlık açısından faydaları olan doğal, viskoz bir diyet lifi kaynağı olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmalara göre PT, hacmi, dokuyu, tüketici tarafından kabul edilirliği ve lif içeriğini arttırarak glutensiz ürünlerde glisemik etkiyi azalttığı görülmüştür [51].

Fratelli ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada farklı seviyelerde PT ve su ilavesinin ekmeğin kalitesi ve besin değerleri üzerindeki etki incelenmiştir. En kabul edilebilir sonuç %2,86 PT ve %82,14 su ile hazırlanan formülasyonun ekmeği olmuştur. Daha yüksek bir hacim ve daha az sertlik değerleri bulunmuştur. Ayrıca son üründe bulunan diyet lifi içeriği de önemli ölçüde artmıştır [13].

Pisilyum hem sağlık etkileri sebebiyle bir probiyotik olarak kullanılması hem de glutensiz ürünlerde gluten benzeri davranış göstererek daha kaliteli ekmekler üretilmesini sağlaması sebebiyle değerli bir ürün olmaktadır. Glutensiz ürünlerin dondurularak muhafazasında etkisi ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.1.3 Glutensiz Ekmek Hamurunda Dondurma İşlemi

Taze ekmeğin yapısında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler bayatlama olarak adlandırılmakta ve bayatlama ile ekmeklerin kabuğunda yumuşama ve aromasında azalma meydana gelmektedir [58]. Ekmek hamurunda yüksek seviyelerde (%9,5-%11) gluten varlığında donmuş hamurun donma hasarına karşı daha dirençli olduğu ve son ürünün hacmi, dokusu, rengi ve sertliğinin iyileştiği

gösterilmiştir [59]. Buna bağlı olarak glutensiz ekmekler gluten içeren ekmeklerle karşılaştırıldığında daha çabuk bayatladığı görülmektedir [60]. Ayrıca glutensiz ürün üretiminin hala yeterli olmadığı ve ülkemizde ithal ürünlerin bulunduğu göz önüne alındığında tüketiciye taze ekmek sunmanın önemi artmaktadır. Taze glutensiz ekmek sunmanın bir yolu uzun zamandır buğday ekmeğinde uygulanan hamurunun dondurularak muhafaza edilmesi olabileceği düşünülmektedir. Dondurularak muhafaza edilen hamur satış yerlerinde ya da evlerde ihtiyaca göre pişirilerek tüketiciye taze ekmeğe ulaşma fırsatı verebilir [12].

Ancak dondurma işlemi üründe fizikokimyasal hasarlara neden olabilmektedir. Dondurma işlemi hamurun gaz tutma kapasitesinin ve maya aktivitesinin azalması dolayısıyla hamurun zayıflamasına neden olmaktadır. Bunların sonucunda ekmek hacminde azalma görülür. Ekmek kabuğunda daha fazla pullanma olur ve kırıntı sertliği artar [12, 61].

Maya genel olarak şekeri fermente edebilen ve doğada yaygın olarak bulunan, esas olarak asidik, nemli, şeker içeren ortamlarda yetişen fungi alemi içerisinde incelenen bir tür mikroorganizmadır. Mayanın canlı kalabilmesi için optimum miktarda su ve optimum sıcaklığın olması gerekir. Optimum büyüme sıcaklığı 20-30°C arasındadır; ancak sıcaklığın 0° C'nin altında veya 40° C'nin üzerinde olması mayaların canlı kalmasını engelleyen koşullardır. Dondurulmuş hamur üretiminde kullanılan maya *Saccharomyces cerevisiae*'dir [62].

Dondurulmuş hamur üretiminde mayanın canlı kalması ve gaz tutulması önemli sorunlar olmaktadır. Araştırmalarda dondurulmuş depolama ve ardışık donma-çözülme döngüleri sırasında hamurun zayıflamasının sebeplerinden biri de mayadan glutatyon gibi indirgeyici maddelerin salınmasıdır. Mayanın gaz çıkarma gücü, mayanın türüne, maya hücrelerinin sayısına, hücre aktivitesine ve fermente olabilen şekerlerin miktarına bağlı olmakla birlikte hızlı dondurmanın gaz çıkarma gücünü ve maya hücrelerinin sayısını azalttığı görülmüştür [63].

Dondurarak muhafaza edilen hamurda meydana gelen değişikliklerden biri de nişastanın fiziksel yapısının zarar görmesidir. Glutensiz hamur formülasyonunun nişasta içeriği buğday ekmeğinden daha fazla olduğundan nişasta hasarı daha fazla öne çıkmaktadır. Hasar gören nişastanın su emme kapasitesi artabilir. Bunun

sonucunda suyun hamurda dağılımı artar ve ağırlık artışı olur. Ağırlık artışı neticesinde spesifik hacimde azalma gözlenmektedir [12].

Dondurma sırasında hamurda bulunan su buza dönüşmekte ve hamurun yapısında fiziksel hasara sebep olmaktadır. Bu hasarın olumsuz etkilerini azaltmak için nişasta bazlı hamurlarda hidrokolloidlerin kullanılması önerilmektedir. Maya aktivitesinin dondurma ile azalmasından bağımsız olarak maya kullanılmadan fermente edilmemiş glutensiz ekmeklerde bir çalışma yürütülmüştür. Ekmek formülasyonlarında dondurmanın etkisini azaltacağı öngörüsüyle ksantan/guar gamı ve HPMC kullanılmıştır. Çalışma sonucunda hidrokolloidlerin donmanın sebep olduğu hasara karşı olumlu özellikleri not edilmiştir. Ksantan gamı ile yapılan formülasyonların en iyi sonucu verdiği belirtilmiştir [11].

Ekmeğin bayatlamasıyla kabuğunda yumuşama ve iç hacimde sıklaşmanın yanı sıra aroma kaybı ve elastikiyet kaybı da meydana gelir. Ekmeğin raf ömrünün dondurularak önemli ölçüde uzatılabileceği bildirilmektedir [64]. Yapılan bir çalışmada standart buğday unu ve glutensiz un, lif ile zenginleştirilmiş buğday unu ve amaranth unu içeren glutensiz un kullanılarak hazırlanan hamurların 1,7 ve 28 gün dondurularak saklanması sonucu kalite özellikleri karşılaştırılmıştır. Maya kullanılmadan hazırlanan hamur formülasyonu reolojik ve tekstürel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda buğday hamurunun depolamanın ilk günlerinde glutensiz hamurun ise son günlerinde daha fazla etkilendiği belirtilmiştir. Glutensiz hamura amaranth unu ilavesinin donmaya karşı direncini arttırdığı yalnız saklama koşullarına olan dayanıklılığını azalttığı gösterilmiştir [10].

Dondurularak muhafaza olumsuz etkilerinin yanında tüketiciye taze ekmek sunması, ürünün raf ömrünün artırılmasını sağlaması amacıyla kullanılması uygun bir yöntemdir. Glutensiz formülasyonlara eklenen çeşitli katkı maddelerinin dondurmanın ürüne verdiği zararı azaltacağı da yapılan çalışmalarla desteklenmiştir.

2.1.4 Glutensiz Ekmekte Aroma

Ekmek aroması incelendiğinde aromanın birçok uçucu bileşenler sayesinde oluştuğu görülmektedir. Esas olarak asitler, alkoller, aldehitler, esterler, ketonlar, piroller ve pirazinler ve bunların yanında furanlar, hidrokarbonlar ve laktonlar

aromayı oluşturan uçucu bileşiklerdendir [65]. Pirazinler ekmeğin aromasını etkileyen en önemli uçucu bileşenlerdendir. Ancak yapılan çalışmalarda glutensiz formülasyonla hazırlanan ekmeklerde pirazin tespit edilememiştir. Aroma oluşumunu formülasyonda kullanılan malzemeler, fermentasyon ve pişirme sırasında meydana gelen reaksiyonlar etkilemektedir [66]. Pişirme sırasında meydana gelen Maillard reaksiyonu aromayı etkileyen belirli reaksiyonlardan biridir. Glutensiz ekmeğin dikkat çeken bir aromaya sahip olması için ekmeği pişirmeden önce hamura bir çift prolin ve glikoz eklenmesi Maillard reaksiyonu sırasında aromanın gelişmesine katkı sağlamıştır [65].

Farklı unların ekmek aroması üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla mısır nişastası ve beş glutensiz unla (pirinç, teff, kinoa, amaranth ve karabuğday) bir çalışma yürütülmüştür. Belirlenen formülasyonla üretilen glutensiz ekmeklerin GC-MS ile belirlenen uçucu aroma bileşeni buğday ekmeği referans alınarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda mısır nişastası ile yapılan ekmeğin buğday ekmeğine en yakın aroma bileşenlerini içerdiği belirtilmiştir [67].

Başka bir çalışmada glutensiz ekmek formülasyonuna farklı hidrokolloidler eklenmiş ve çalışma sonucunda kontrole göre en olumlu sonuç alınan HPMC ve ksantan gum kombinasyonu ile glutensiz ekmekler üretilmiştir. Haşlama ve mikrodalga olmak üzere iki farklı pişirme tekniği kullanılarak üretilen baklagil unlarıyla (nohut, mercimek, bezelye) yapılan ekmeklerin uçucu madde bileşenleri belirlenmiştir. En yüksek aroma bileşenine sahip ekmek formülasyonda %10 nohut unu kullanılan glutensiz ekmek örneği olmuştur [68]

Glutensiz ekmeğin buğday ekmeğine göre zayıf bir aroması olduğu bilinmektedir. Aromanın geliştirilmesi için formülasyona aroma maddeleri eklemek, aromaya katkı sağlayabilecek aynı zamanda kaliteyi iyileştirebilecek katkı maddeleri ekleme bu konuda çözüm olabilir. Baz un olarak kullanılan unun da seçimi ekmek aromasını etkileyen önemli bir konudur.

3
MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

Çalışmada kullanılan glutensiz un karışımı (Sinangil) (%86,1 karbonhidrat, %3,7 lif, %2,1 protein), tuz (Billur), şeker (Altın Küp), yaş maya (Pakmaya) ve sıvıyağ (Evin) yerel marketlerden temin edilmiştir. Glutensiz un karışımı içeriğinde mısır nişastası, pirinç unu, şeker, kıvam arttırıcı olarak pektin ve ksantan gam, ve kabartıcılar (sodyum bikarbonat, sodyum asit pyrofosfat) bulunmaktadır. Kullanılan PT (%81,1 lif, %43 karbonhidrat, %4,3 protein) Hindistan menşeili olup Talya Foods'tan temin edilmiştir.

3.2 Metot

3.2.1 Glutensiz Ekmek Yapımı

Ekmek hamurunun hazırlanması, ön denemeler ile belirlenmiş ve en uygun olarak Tablo 3.1'de belirtilen formülasyona göre yapılmıştır. Bu formülasyona göre glutensiz kontrol ekmek hamuru yapılırken taze ve 7,15 ve 30 gün süreyle dondurulacak numuneler göz önüne alınarak miktarlar belirlenmiştir. Hamur yapımında "Arzum" marka mutfak robotu (Arzum, Türkiye) kullanılmıştır. Öncelikle 300 gr un tartılmış 4,5 gr tuz eklenerek 1. hızda 1 dakika karıştırılmıştır. Oda sıcaklığında 300 gr suda 12 gr maya ve 7,5 gr şeker eritilmiş ve un- tuz karışımına eklenmiştir. Bu karışımda 1. hızda 1 dakika karıştırıldıktan sonra 12 gr sıvıyağ eklenmiştir. Hazırlanan karışım 1.hızda 3 dakika ve 2.hızda 7 dakika olmak üzere 10 dakika boyunca karıştırılarak sıvı bir hamur elde edilmiştir. Yoğurma işleminden sonra hamurdan 150 gr ağırlıkta tartılıp ekmek kalıplarına dökülmüştür. Kalıplandırılan hamurlar iklimlendirme kabininde (Nüve, Türkiye) 30 °C sıcaklık %85 bağıl nemde 1 saat fermentasyona bırakılmıştır. Fermentasyon sonunda üzerinde taze olarak çalışılacak ekmek hamuru pişirme işlemine (Alt 190 °C, Üst 230°C, 40 dk) tabi tutulmuştur. Ekmeklerin pişirilmesinde "Maksan MKF-4P" marka konveksiyonel fırın (Maksan, Türkiye) kullanılmıştır. Diğer örnekler ise

kalıpla birlikte polietilen poşetlere koyularak -30°C sıcaklıktaki dondurucuya (Beko, Türkiye) yerleştirilmişlerdir. 3 farklı formülasyon ve 2 paralel olarak çalışılmıştır.

Tablo 3.1 Glutensiz Ekmek Formülasyonları

Formülasyon Adı	Glutensiz Un Karışımı(g)	Pisilyum(g)	Tuz, Şeker, Maya, Sıvıyağ(g)	Su(g)
GZK*	300	0	4,5 ; 7,5 ; 12 ; 12	300
PSY1*	277,5	22,5	4,5 ; 7,5 ; 12 ; 12	450
PSY2*	255	45	4,5 ; 7,5 ; 12 ; 12	570

*__GZK__: Glutensiz Kontrol Ekmeği

*__PSY1__: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek

*__PSY2__: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek

3.2.2 Glutensiz Ekmek Hamurunda Temel Reoloji Analizi

Tablo 3.1'de belirtilen formülasyona göre hazırlanan ekmek hamurlarında reoloji analizi rotasyonel reometrede (Anton Paar, MRC-302 Avusturya) 50 mm çapındaki prop ile paralel plakalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. 2 g hamur plakanın üzerine yerleştirildikten sonra hamurun kurumaması için alüminyum folyo prob etrafına sarılmıştır. Hamur 2 mm gap aralığında 2 dakika bekletildikten sonra %0,1 gerinimde ve 0,1 rad/s ile 62,8 rad/s aralığında frekans tarama testi uygulanmıştır. Çalışma boyunca reometre sıcaklığı 20°C'ye sabitlenmiştir. Her bir örnek için 3 paralel çalışılmış ve depolama modülü (G′), kayıp modülü (G″) ve tanδ (G″/ G′) değerleri tespit edilmiştir.

3.2.3 Glutensiz Ekmeklerde Kalite Analizleri

3.2.3.1 Spesifik Hacim

Ekmek hacmi AACC Metot 10-05.01'e göre kolza tohumunun yer değiştirme metodu kullanılarak ölçülmüştür. Pişirildikten 2 saat sonra ekmeklerin hacim ve

ağırlıkları ölçülmüş, hacim (mL) değerlerinin ağırlığa (g) bölünmesiyle spesifik hacim değeri hesaplanmıştır.

3.2.3.2 Tekstür Analizi

Ekmekler piştikten sonra 2 saat soğutularak tekstür değerleri Tekstür Profil Analiz cihazında (Stable Micro Systems (SMS) TA.XT2 Plus, İngiltere) incelenmiştir. Ekmeklerden ekmek içi baz alınarak 1.25 cmlik dilimler kesilmiş ve iki dilim üst üste konularak işlem yapılmıştır. Analizde 36 mm prop kullanılmış, 50 N'lik kuvvet, 55 mm/dak hızıyla numunelere uygulanmış ve sonucunda alınan sertlik değeri Newton (N) olarak ölçülmüştür. Analizde 3 paralel olarak çalışılmıştır.

3.2.3.3 Renk Analizi

Ekmek örneklerinin renk parametreleri L*, a* ve b* ekmekler piştikten 2 saat sonra renk ölçüm cihazı (CR-100 Konica Minolta, Japonya) ile iç kısım ve dış kabuktan 5 yerden alınan değerlerden en yakın 3 paralel alarak ölçülmüştür. L* değeri parlaklık hakkında bilgi veren siyah beyaz indeks değeri, a* değeri kırmızı-yeşil indeks değeri ve b* değeri de mavi-sarı indeks değerini belirtmektedir [69]. Toplam renk değişimi (ΔE) Eşitlik 3.2'ye göre hesaplanmıştır:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (3.2)$$

Burada L, a ve b değerleri 7,15 ve 30.günlerdeki değerler olarak değişmekte; L_0, a_0 ve b_0 değerleri 0.gün değerlerine karşılık gelmektedir.

3.2.4 Glutensiz Ekmeklerde Uçucu Bileşen Analizi

Aroma analizleri gaz kromatografisi- kütle spektrometrisi (GC-MS) kullanılarak yapılmıştır. Bütün örneklerin ekmek içinden 3 g alınarak her numune 20 mL'lik tepe boşluğu şişelerine aktarıldıktan sonra şişeler, otomatik numune alma sistemi ile 70 ◦C'de 15 dakika süreyle ısıtılıp ve çalkalanmıştır.

Headspace otomatik örnekleyici parametreleri:

İnkübasyon: 70 °C, 15 dakika

Şırınga sıcaklığı: 70 ◦C

Çalkalama hızı:500 rpm

Enjeksiyon hacmi: 500 µL

Dolum hızı: 200 µL/s

Yukarı çekme gecikmesi: 500 ms

Enjeksiyon hızı: 350 µL/saat

Enjeksiyon öncesi gecikme: 500 ms

Enjeksiyon sonrası gecikme: 1500 ms.

Belirtildiği gibi, GC-MS sistemine 0,5 mL üst boşluk (HS) örneği eklenmiştir. HS/GC-MS analizleri, bir CTC-Combi-PAL otomatik örnekleyici (Bender ve Hobein, Zürih, İsviçre) ile birleştirilmiş bir GCMS QP2010 (Shimadzu, Milan, İtalya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GC-MS analizlerinde, kromatografik ayırma için A Restec (Bellefonte, ABD) Rtx-5MS kaynaşmış silika kılcal kolon (30 m x 0,25 mm (iç çap) 0,25 µm) kullanılmıştır. Taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılmıştır. Gradyan analizi 40 ◦C (3 dakika); 40–176 ◦C (8 ◦C/dak); ve 176°C (20 dakika) sıcaklık programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Enjektör sıcaklığı 150 ◦C'de sabit tutulmuş ve basınç değeri ve doğrusal hız sırasıyla 95,8 kPa ve 47,1 cm/s'dir. Taşıyıcı gaz akış hızı 1,71 mL/dak'dır. GC-MS arayüz sıcaklığı ve iyon kaynağı sıcaklığı sırasıyla 280 ◦C ve 230 ◦C'dir. Kütle spektrometresi, 70 eV'lik elektron darbeli iyonizasyon voltajıyla seçilen iyon izleme modunda çalıştırılmış ve veriler m/z 35-550 aralığında toplanmıştır. Ekmeklerde bulunan başlıca uçucu bileşikler, bir GC-MS kütüphanesi kullanılarak tanımlanmıştır. Tanımlama, tespit edilen uçucu maddenin kütle spektrumlarının ticari kütle spektrum kütüphanelerindeki (NIST27 ve WILEY7) bileşiklerle karşılaştırılması yoluyla sağlanmaktadır. Miktar belirleme, uçucu bileşiklerin toplam iyon kromatogramı (TIC) tepe noktalarının bağıl alanı esas alınarak yapılmıştır [70].

3.2.5 İstatistiksel Analiz

Analiz sonucunda elde edilen veri grupları arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığı tek yönlü ANOVA Tukey testi kullanılarak belirlenmiştir. İstatistiksel hesaplamalar IBM SPSS Statistics 25 programında yapılmıştır.

4
BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Glutensiz Ekmek Hamurlarının Reolojik Özellikleri

Reoloji gıda veya diğer maddelerin akışı ve uygulanan kuvvetler karşısında gösterdiği direnci ölçen bilimdir. Malzemeler belli bir kuvvet uygulandığında kendi özelliklerine bağlı olarak deforme olurlar. Reolojik analizler bize hamurun viskoz ya da elastik oluşu hakkında bilgi vermektedir. Hamurda, hamura özel reolojik özellikleri sağlayan temel etkenler gluten çapraz bağları, nişasta ve diğer polisakkaritlerdir [71]. Glutensiz ekmek formülasyonlarında daha çok nişasta kullanıldığından, nişastanın reolojik özellikler üzerindeki etkisi önem kazanmaktadır. Hamurun reolojik özelliklerinin incelenmesi sırasında fiziksel-kimyasal değişimler, bileşen etkileşimleri, enzimatik reaksiyonlar ve karıştırma sırasında gerilimlerin değişmesi ve benzeri sebeplerle zorluk yaşanabilmektedir [2]. Nişastanın hamurun reolojik özelliklerine etkisine bakıldığında kullanılan nişastanın türü ve özellikleri, formülasyonda kullanılan diğer bileşenlerle etkileşimi ve suya bağlanma yetenekleri kullanılacak su miktarını doğrudan etkilediği ve jel oluşturma kapasitesini arttırıp azaltacağı görülmektedir. Nişasta granüllerine yönelik mevcut suyun azalması jelatinleşmeyi ve dayanıklılığı azaltmaktadır [72].

Soğutma sırasındaki hamur kıvamı, nişasta retrogradasyonu olma eğilimi ile ilgili olmaktadır. Retrogradasyon, amiloz zincirlerinin kristalizasyonu nedeniyle meydana gelmektedir. Bu durum nişastayı jelleştirici maddeler veya nişastaya su bağlayıcı maddeler içeren bileşenlerin varlığıyla ilişkilendirilmiştir [73].

Hamur reolojisini incelerken numuneler gerilime maruz kalır ve sonuçta kimyasal ve fiziksel yapıya duyarlı sonuçlar elde edilir. Reolojik testlerde visko-elastik modül olan ve elastikiyeti belirten depolama modülü (G′) ve maddenin viskoz özelliklerini belirten kayıp modülü (G″) karşılaşılan parametrelerdir [2]. Depolama modülü (G′) maddenin şeklinin bozulmadan dayanabildiği ve verilen enerjiyi depolayabildiği kısımdır. Kayıp modülü (G″) ise maddenin deformasyona uğradığı sırada yapısından kaybettiği enerjinin ölçüsüdür [74].

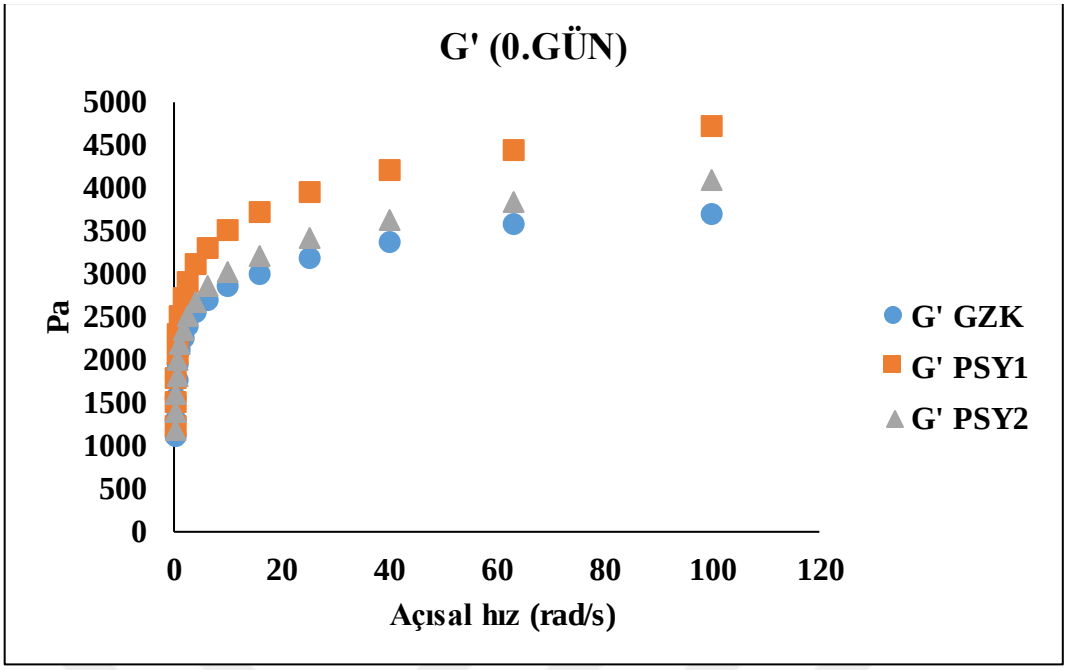
Şekil 4.1;4.8'de gösterildiği üzere hamurlarla yapılan temel reoloji analizi sonuçları incelendiğinde tüm ekmek örneklerinde G′ modülü, G′′ modülünden daha yüksek

değerlerde bulunmuştur. Bu durum hamurların katı-elastik benzeri (solid elastic-like behaviour) bir davranış sergilediğini göstermektedir [38]. Benzer davranış, HPMC, pisilyum ve farklı su seviyelerinin glutensiz formülasyonlar üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmada da rapor edilmiştir [38].

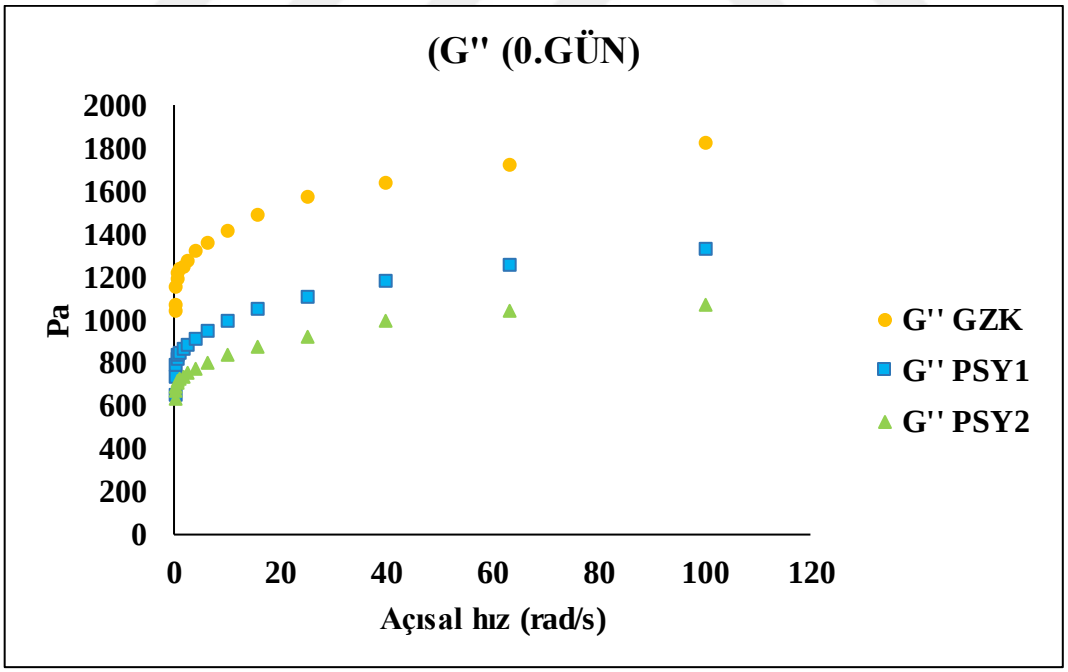
GZK ekmeğinin G′ değerleri incelendiğinde hem taze hamurda hem de 7, 15 ve 30 gün dondurularak muhafaza edilen hamurlarda PT katkılı iki ekmek örneğine göre daha düşük değerlerdir (Şekil 4.1; Şekil 4.3; Şekil 4.5; Şekil 4.7). Pisilyum ilavesinin glutensiz hamurun G′ değerini artırdığını Mancebo ve arkadaşları [38] tarafından da gözlemlenmiş ve bu durumu, pisilyumun su bağlama kapasitesinin yüksek olmasından kaynaklanabilceğini şeklinde açıklamışlardır. 0. güne ait G″ değerleri incelendiğinde GZK ekmeğine ait değerler PT katkılı ekmeklere ait değerlerden daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.2). 7. gün G″ değerlerinde ise %7,5 PT katkılı ekmek kontrol ekmeğine göre daha yüksek değerdedir. 15. ve 30.günlerde G″ değerleri PT katkılı ekmeklerde daha yüksek değerdedir.

PSY1 ve PSY2 ekmek örneklerinin grafikleri incelendiğinde 0.gün ve 7.gün PSY1 örneğinin G′ değerleri daha yüksekken, 15.gün ve 30.gün %15 PT katkılı ekmeğin G′ değerleri daha yüksek olarak görülmektedir (Şekil 4.1; Şekil 4.3; Şekil 4.5; Şekil 4.7). G″ grafiklerine bakıldığında ise 0, 7 ve 30.günlerde PSY1 ekmek örneğinin değerleri daha yüksek bulunmuşken 15.gün değerlerinde PSY2 ekmeğinin değerleri daha yüksektir (Şekil 4.2; Şekil 4.4; Şekil 4.6; Şekil 4.8)

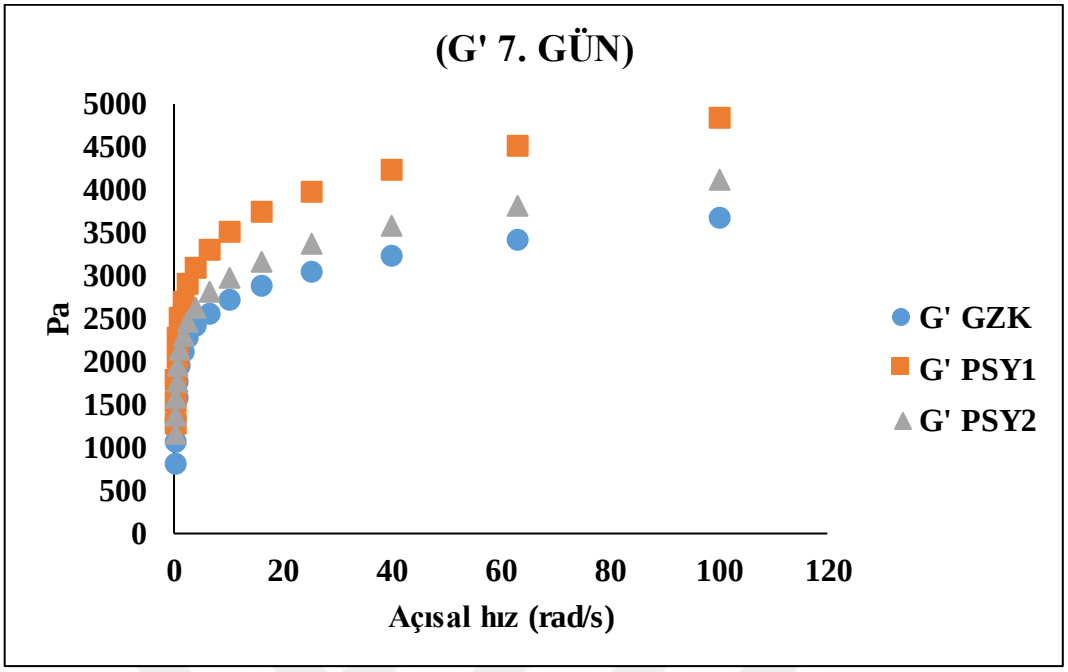
Dondurarak muhafazanın G″ değeri üzerine etkisi incelendiğinde depolama süresi arttıkça GZK ekmeğine ait G″ değerleri azalırken PT katkılı ekmek örneklerinde bu değerin arttığı görülmektedir.



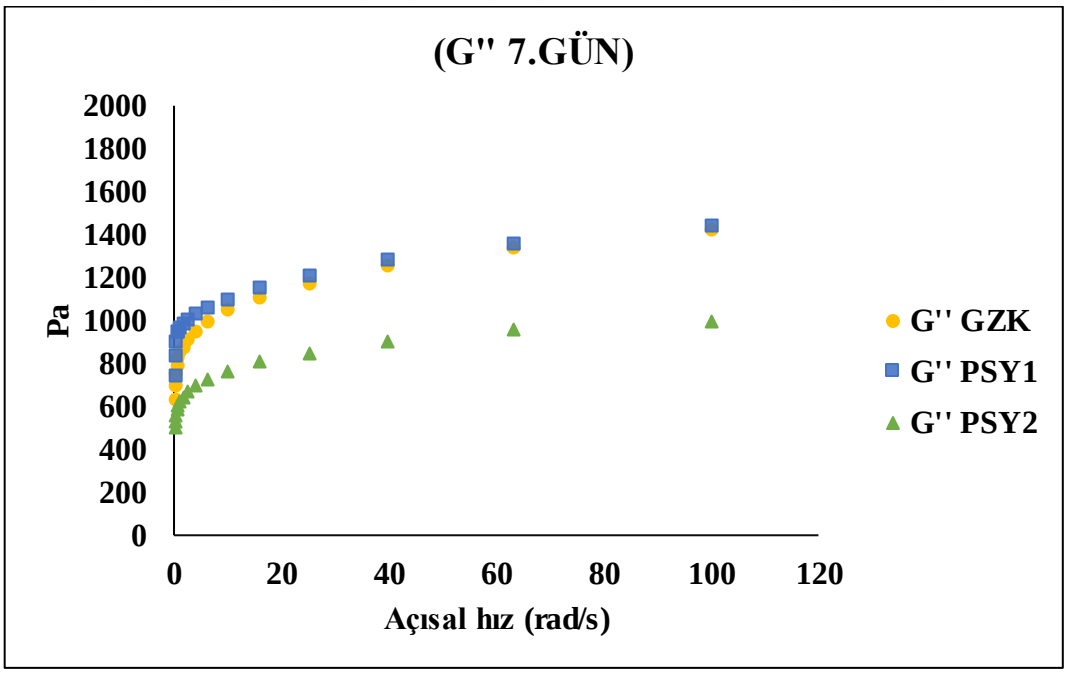
Şekil 4.1 Taze hamurun depolama modülündeki eğri değişiklikleri.
GZK: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek;
PSY2: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek



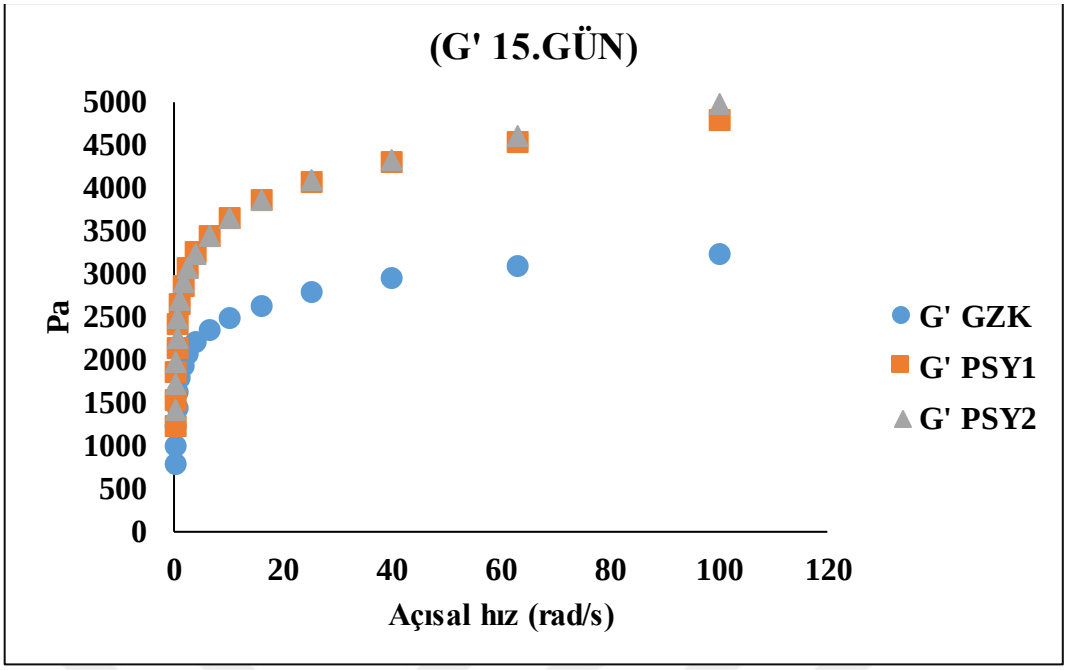
Şekil 4.2 Taze hamurun kayıp modülündeki eğri değişiklikleri.
GZK: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek;
PSY2: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek



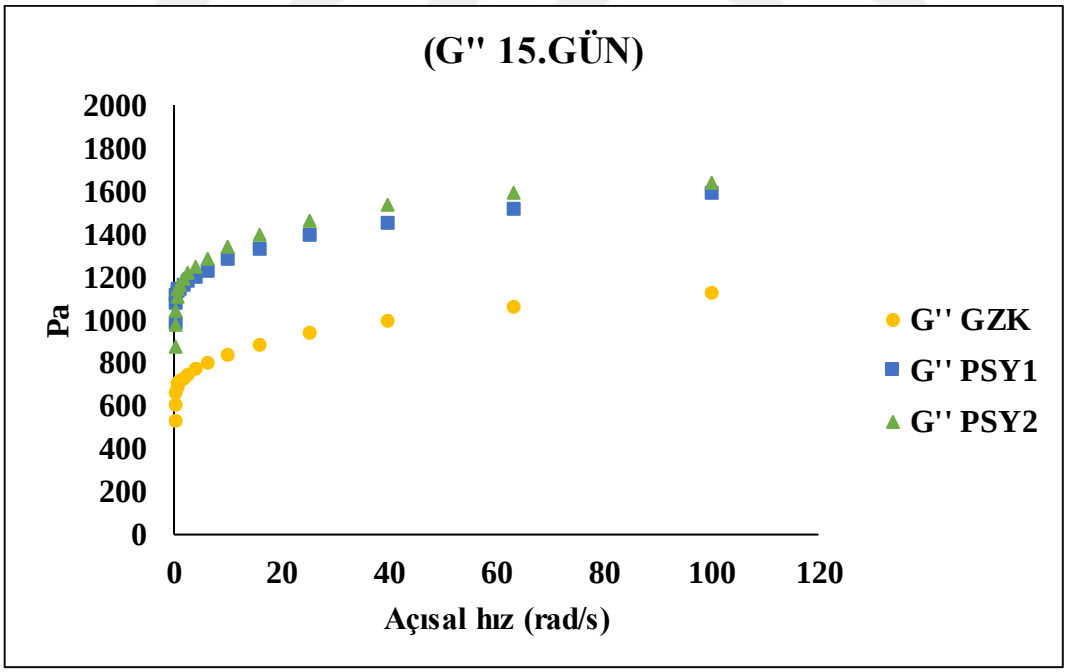
Şekil 4.3 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 7. güne ait depolama modülündeki eğri değişiklikleri. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek



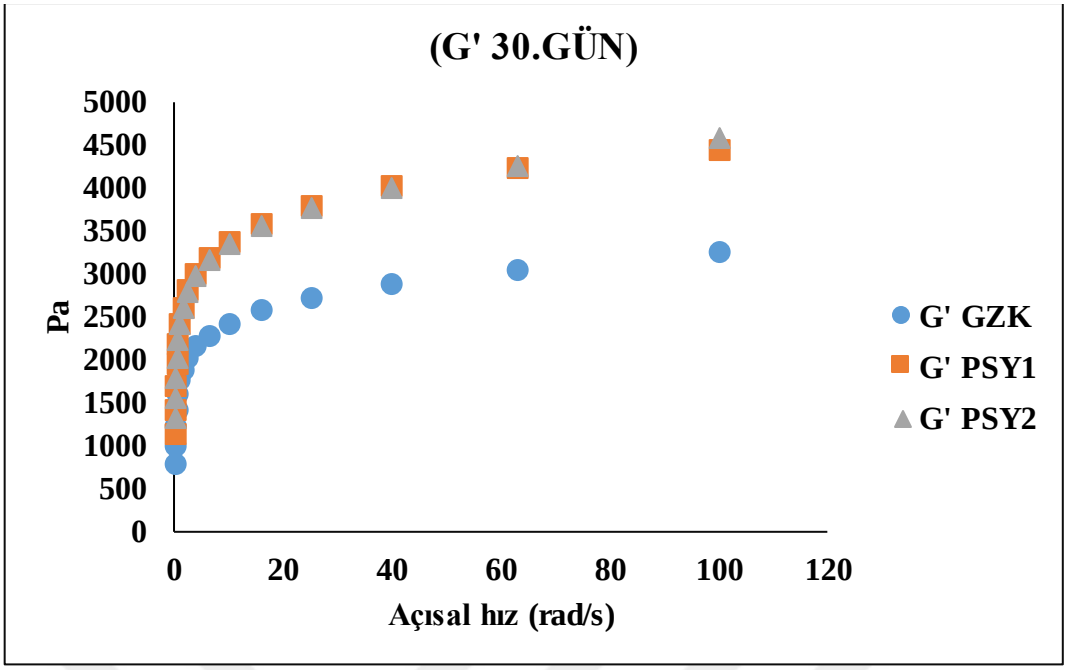
Şekil 4.4 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 7. güne ait kayıp modülündeki eğri değişiklikleri. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek



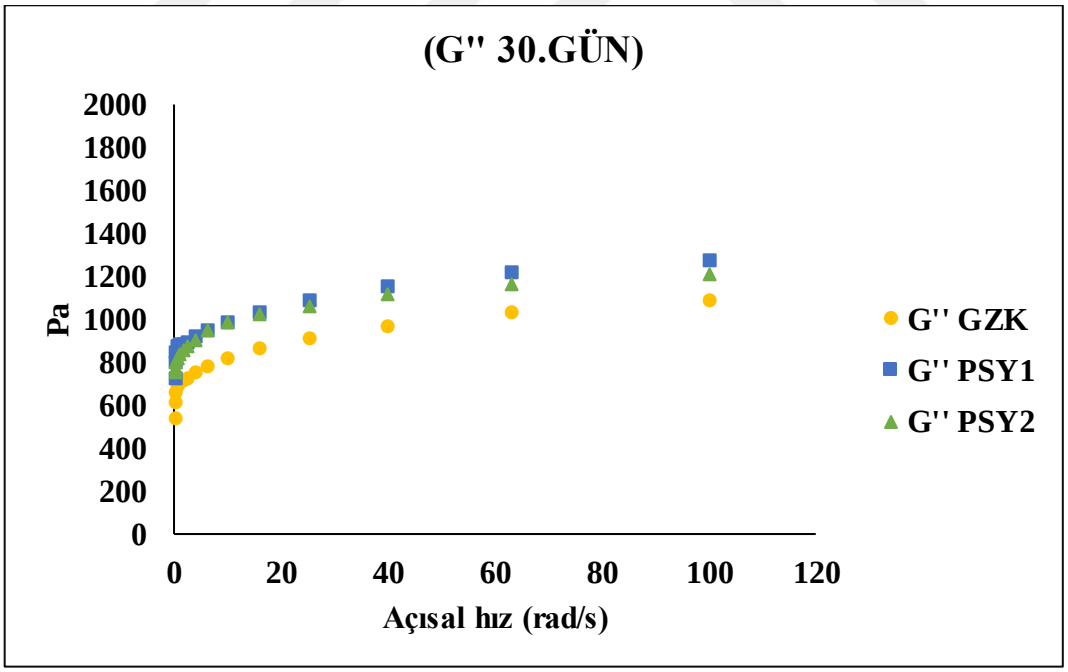
Şekil 4.5 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 15. güne ait depolama modülündeki eğri değişiklikleri. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek



Şekil 4.6 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 15. güne ait kayıp modülündeki eğri değişiklikleri. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek



Şekil 4.7 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 30. güne ait depolama modülündeki eğri değişiklikleri. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek

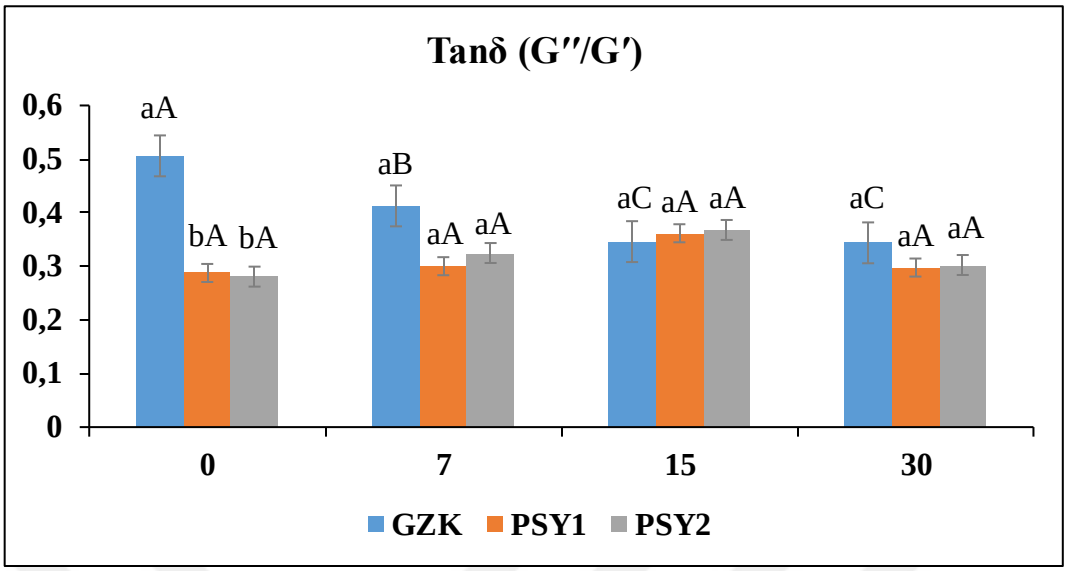


Şekil 4.8 Dondurularak muhafaza edilen hamurların 30. Güne ait kayıp modülündeki eğri değişiklikleri. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek

Tanδ değeri kayıp modulünün depolama modülüne (G″/ G′) oranıyla elde edilir. Ekmek hamurunun reolojik olarak karakteristik özelliği hakkında bilgi vermekte olan bu değer 0'a yaklaştıkça maddenin elastik karakteristikte olduğunu gösterirken, 1'e doğru yaklaşması viskoz karaktere daha yakın olduğunu göstermektedir [75]. Şekil 4.9 da tanδ değerlerinin taze ve dondurulmuş hamur örneklerindeki değişimi gösterilmiştir. G' değerleri bütün örneklerde ve depolama günlerinde G″ değerlerinden daha büyük olduğundan tanδ değeri tüm örneklerde 1'den küçük değerde bulunmuştur. Mancebo ve arkadaşları da glutensiz hamur örnekleri için benzer sonuca ulaşmışlardır [38].

Dondurarak depolama, GZK ekmeğinin tan δ değerini azaltmıştır ($p<0,05$) fakat 15.gün ile 30.gün arasında istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemiştir ($p>0,05$). Kontrol ekmeği tanδ değerlerinin 0'a yaklaşması örneğin elastik karakterine atfedilmektedir [75]. PT katkılı iki ekmeğin sonuçlarına bakıldığında ise depolama günlerinde önemli bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$) (Şekil 4.9).

0.gün tanδ değerlerinde GZK ekmeği ile PSY1 ve PSY2 ekmeği arasındaki istatistiksel fark anlamlıdır ($p<0,05$). Pisilyum ilave glutensiz ekmeğin tan δ değerini azaltmıştır. Dondurarak muhafaza ile ekmek örneklerinin tan δ değerlerinde istatistiksel açıdan bir fark görülmemiştir ($p>0,05$). Pisilyumun tanδ değerini azaltması Mancebo ve arkadaşları da glutensiz hamur örnekleri için yaptığı çalışmada da bildirilmiştir [38].



Şekil 4.9 Taze hamurun ve 7,15 ve 30 gün dondurularak muhafaza edilen hamurların tan δ değişimi. Farklı büyük harfler depolamanın aynı ekmek çeşidindeki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p<0.05$). Farklı küçük harfler aynı günde farklı ekmek çeşitleri arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($p<0.05$). **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz

4.2 Glutensiz Ekmeklerin Kalite Özellikleri

4.2.1 Spesifik Hacim ve Tekstür Analizleri

Tablo 4.1'de spesifik hacme ait bulunan değerler gösterilmektedir. Bulunan değerlere bakıldığında GZK ekmeklerinin spesifik hacim değerleri hem taze ekmekte hem de dondurularak muhafaza edilen hamurlarla yapılan ekmeklerde PSY1 ve PSY2'den daha düşük olduğu görülmektedir ($p<0.05$). PT ilavesiyle spesifik hacim değerlerinin artması Fratelli ve ark. yaptığı çalışmayla desteklenmektedir. Yapılan çalışmada formülasyonlarda farklı yüzdelerde PT kullanılarak glutensiz formülasyonlar hazırlanmış ve kontrol ekmeğine göre PT katkılı ekmeklerin spesifik hacim değeri yüksek bulunmuştur [76]. Kontrol ve %7,5 PT ilaveli ekmeklerin spesifik hacim değerleri dondurarak muhafazanın sonunda (−30 °C, 30.gün), taze örneklere göre önemli derecede azalmıştır ($p<0.05$). Bu durum, dondurarak muhafazanın etkisiyle maya sayısının azalması, buna bağlı olarak maya aktivitesinin azalması ve yapısı zarar gören nişasta-protein ağının spesifik hacmin azalmasına neden olması ile açıklanabilir [77]. Dondurarak muhafaza, %15 PT ilaveli ekmeğin spesifik hacim değerini istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilememiştir ($p \geq 0,05$).

Tekstür bulgularında ekmeklere ait sertlik (N), esneklik, tutarlılık, çiğnenebilirlik (Nxmm) ve dayanıklılık sonuçları Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Dondurarak muhafaza, GZK örneğinin sertlik değerini azaltmıştır ($p<0,05$) fakat depolamanın 7., 15. ve 30.gündeki sertlik değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Dondurarak muhafaza edilmiş glutensiz hamurdan yapılan ekmekte spesifik hacmin azalması ve sertliğin artması Mezaize ve ark. [12] tarafından yapılan çalışmada da bildirilmiştir. Bu durum hamurun yapısındaki serbest suyun donarak kristal hale gelmesi ve nişastaya fiziksel olarak zarar vermesiyle açıklanabilmektedir. Depolama süresiyle birlikte kristallerin formu ve büyüklüğü değişebilmektedir. Nişastanın fiziksel olarak zarar görmesi hamurun tekrar çözünmesiyle eriyen suyu yapısında daha fazla tutmasına neden olur. Zarar görmüş nişasta daha fazla su tutarak ağırlaşır. Daha yoğun ve sık gözenekli ekmekler elde edilir. Bu ekmeklerin sertlik değerlerinin daha yüksek çıkmasının nedeni olarak belirtilmiştir [77].

Daha yüksek spesifik hacim değerleri ve daha düşük ekmek içi sertlik değerleri PT ilaveli glutensiz ekmeklerde gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Belorio ve ark. [9] mısır nişastasına farklı oranlarda pisilyum ilave ettikleri bir çalışmada nişastanın hidratasyon, jelleşme ve reolojik özelliklerini araştırmışlardır. Pisilyum miktarının artmasıyla jelin sertliliğinin azaldığını bildirmişlerdir ve bu durumu nişasta miktarındaki azalma ve dolayısıyla nişastanın daha az retrogradasyonu sebebiyle ortaya çıktığı şeklinde açıklamışlardır [9]. Benzer durum bu çalışmada üretilen pisilyum katkılı glutensiz ekmekler içinde geçerli olabilir.

Ayrıca PT ilavesiyle daha düşük sertlik değerinin bulunması liflerin yüksek su tutma kapasitesinden dolayı hamurdaki su miktarını ve buna bağlı olarak ekmek nem içeriğini arttırarak ekmek içi sertliğini azalttığı şeklinde yorumlanabilmektedir [13].

Tekstür profil analizinde (TPA) esneklik (springiness) değeri, örneğe uygulanan kuvvetin kaldırılması ile örneğin ne kadar toparlandığını gösteren bir özelliktir ve yüksek değerlerde olması taze ve elastik ürün özelliği ile ilişkilendirilir [78]. Örneklerin esneklik değerlerine bakıldığında hem GZK ekmeklerinde hem de PSY1 ve PSY2 ekmeklerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülmemiştir ($p>0,05$). Ayrıca, dondurarak depolamada da örneklerin esneklik değerini etkilememiştir (Tablo 4.1).

Tutarlılık (cohesiveness) değerleri ekmeğin iç yapışkanlığını gösteren değerdir ve ekmeğin kopmadan önce gösterdiği deformasyon miktarını temsil eder. Yüksek tutarlılık değeri ufalanmaya karşı azalan duyarlılığın göstergesidir [78]. Taze ekmeklerde tutarlılık değeri 0,8 ile 0,85 arasındadır ve en yüksek tutarlılık değeri PSY1 ekmeğine aittir. GZK ve PSY2 ekmek örneklerinde depolama süresi ile tutarlılık değeri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$). PSY1 taze ekmeğinin tutarlılık değeri 7 gün depolama ile önemli derecede azalmış ($p<0,05$) ve depolamanın diğer günlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemiştir ($p>0,05$).

Örneklerin çiğnenebilirlik değerleri 1,83 N ile 3,42 N arasındadır (Tablo 4.1). Dondurarak depolama, GZK ekmeklerinde ve PSY1 ekmeklerinin çiğnenebilirlik değerlerini etkilememiştir ($p>0,05$). PSY2 formülasyonuna ait ekmeklerde

depolama süresiyle çiğnenebilirlik değerleri artmıştır ($p<0,05$). Çiğnenebilirlik değerleri sertlik değeri ile paralel şekilde değişim göstermektedir.

Tablo 4.1 de dayanıklılık (resilience) değerleri incelendiğinde GZK için en yüksek dayanıklılık değeri 15.günde, PSY1 ve PSY2 ekmek numuneleri için 7.günde olduğu görülmektedir. Taze ekmekte bulunan dayanıklılık değerleri 0,47 ve 0,53 arasındadır ve %7.5 PT katkısı ile en yüksek dayanıklılık değeri elde edilmiştir ($p<0,05$). Düşük dayanıklılık değerleri elastikiyet kaybı ile ilişkilendirilmektedir [78]. Dondurarak muhafaza PSY2 ekmeğinin dayanıklılık değerini etkilemezken ($p>0,05$), 30.günün sonunda PSY1 ekmeğinin dayanıklılık değerini azaltmış ($p<0.05$), GZK örneğinde ise artırmıştır.

Tablo 4.1 Glutensiz kontrol ekmeği ve %7,5 ve %15 PT katkılı ekmek numunelerinin 0., 7., 15. Ve 30.günlerdeki spesifik hacim ve tekstür sonuçları

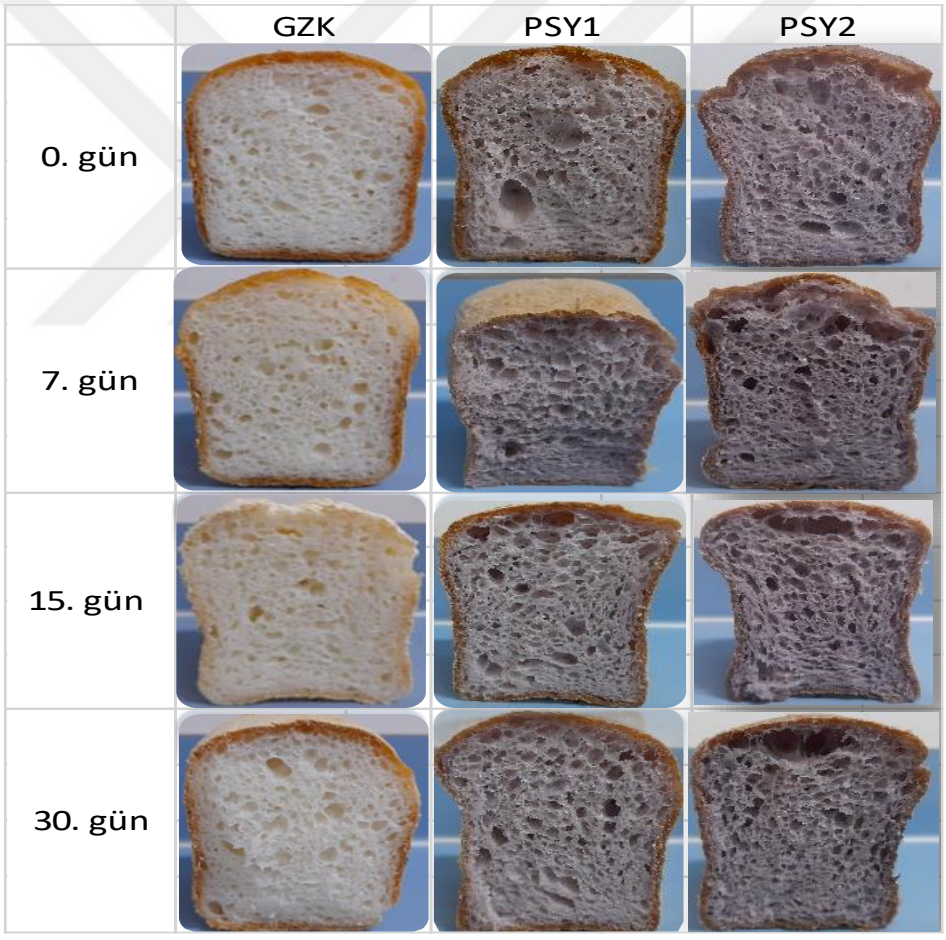
		EKMEK ÇEŞİTLERİ		
	DEPOLAMA	GZK	PSY1	PSY2
Spesifik Hacim	0.gün	2,46±0,01^{bA}	3,28±0,01^{aA}	3,10±0,17^{aA}
	7.gün	2,29±0,08^{bAB}	2,93±0,06^{aB}	2,83±0,22^{abA}
	15.gün	2,13±0,01^{cB}	2,95±0,01^{aB}	2,62±0,001^{bA}
	30.gün	2,27±0,01^{bB}	2,73±0,003^{aC}	2,51±0,17^{abA}
Sertlik (N) (Hardness)	0.gün	4,34±0,48^{aB}	2,57±0,67^{bB}	1,78±0,54^{bC}
	7.gün	6,56±1,16^{aA}	3,91±0,55^{bAB}	3,17±0,48^{bB}
	15.gün	6,25±0,38^{aA}	3,13±0,47^{bB}	3,22±0,2^{bB}
	30.gün	6,53±0,44^{aA}	5,49±1,03^{aA}	5,2±0,62^{aA}
Esneklik (Springeness)	0.gün	0,98±0,05^{aA}	0,99±0,01^{aA}	0,99±0,02^{aA}
	7.gün	0,97±0,02^{aA}	0,98±0,01^{aA}	0,98±0,01^{abA}
	15.gün	0,99±0,05^{aA}	0,99±0,01^{aA}	0,99±0,003^{aA}
	30.gün	0,96±0,01^{aA}	0,99±0,16^{aA}	0,97±0,01^{aA}
Tutarlılık (Cohesiveness)	0.gün	0,8±0,01^{aA}	0,85±0,03^{aA}	0,84±0,04^{aA}
	7.gün	0,79±0,02^{aA}	0,8±0,03^{aB}	0,84±0,02^{aA}
	15.gün	0,81±0,01^{aA}	0,84±0,03^{aAB}	0,82±0,01^{aA}
	30.gün	0,8±0,02^{aA}	0,83±0,03^{aAB}	0,82±0,03^{aA}
Çiğnenebilirlik (N) (Chewiness)	0.gün	3,42±0,36^{aA}	2,96±0,28^{aA}	1,83±0,34^{bC}
	7.gün	6,87±3,71^{aA}	3,54±2,06^{aA}	2,59±0,37^{bB}
	15.gün	4,98±0,69^{aA}	3,25±0,44^{bA}	2,93±0,5^{aB}
	30.gün	5,00±0,34^{aA}	4,28±0,81^{aA}	4,12±0,49^{aA}
Dayanıklılık (Resilience)	0.gün	0,47±0,01^{bBC}	0,53±0,02^{aA}	0,48±0,01^{bA}
	7.gün	0,45±0,01^{cC}	0,54±0,02^{aA}	0,51±0,01^{bA}
	15.gün	0,52±0,01^{aA}	0,52±0,01^{aA}	0,5±0,01^{aA}
	30.gün	0,49±0,02^{aAB}	0,47±0,02^{aB}	0,48±0,03^{aA}

* Aynı sütun ve aynı satırda farklı harfler istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$). A-B-C, aynı ekmek çeşidinin farklı günlerdeki ortalamalarına ait farklılıkları ifade eder. a-b-c, aynı günlerde farklı ekmek çeşitlerinin ortalamalarına ait farklılıkları ifade eder. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek

4.2.2 Renk Analizi

Renk, doku ve aroma gibi tüketici tercihini etkileyen fırınlanmış ürünler için önemli olan bir özelliktir ve sıcaklığa, pişirme koşullarına, hamurun içeriğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [79]. Buğday hamurundan daha açık bir kabuk rengine sahip glutensiz ekmeklerde kabuk renginin daha koyu olması istenmektedir. Kabuk renginin değişimi şekerin karamelize olması ve Maillard reaksiyonu ile açıklanmaktadır. Maillard reaksiyonu su aktivitesinin değişiminden etkilenmektedir. Su aktivitesi ise hamur formülasyonuna eklenen hidrokolloidler nedeniyle değişmektedir [80].

Ekmek içi rengi bu nedenlerle koyulaşmaz ve formülasyonlarda eklenen lifin rengini alır [81]. Şekil 4.10'da ekmek örneklerine ait görseller bulunmaktadır.



Şekil 4.10 Glutensiz kontrol ekmeğinin ve %7,5 ve %15 oranlarında PT katkısı ile hazırlanmış örneklerinin 0., 7., 15. ve 30. günlerdeki görüntüleri. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek

Tablo 4.2'de ekmek kabuklarından alınan renk bulguları gösterilmektedir. Ekmek numunelerinin L*, a* ve b* değerleri ve toplam renk değişimi değeri (ΔE) bulunarak karşılaştırma yapılmıştır. Taze ekmeklerin dış kabuk ve ekmek içi parlaklık değeri (L*), PT ilave miktarına bağlı olarak kontrol örneğine göre azalmıştır ($p<0,05$). Bu da ekmeklerde daha koyu renk olduğu sonucunu göstermektedir. Ekmek içinde olduğu gibi PT'nin ekmek kabuğuna da etkisinin olduğu görülmektedir.

Taze olarak pişirilen ekmek değerlerinde dış kabukta L*, a* ve b* değerlerinin PT katkısı ile azaldığı bulunmuştur ($p<0.05$). Ekmek içinde yapılan ölçümlerde L* ve b* değerlerinin PT katkısı ile azaldığı ($p<0.05$), a* değerinin arttığı gözlemlenmiştir ($p<0.05$) (Tablo 4.2 ve 4.3).

Dondurma süresinin ekmeklerde renk değerlerine olan etkisine bakıldığında GZK ekmek numunelerinde dış kabukta ölçülen L* değerlerinde 0.gün ve 7.gün örneklerinde istatistiksel olarak anlamsız bir fark varken 15.gün ve 30.gün örneklerinde anlamlı bir fark bulunmaktadır. Fakat, belli bir yöne doğru düzenli bir değişim göstermemiştir. Benzer şekilde, a* değerlerinde 0., 7. ve 30.gün değerleri dondurarak muhafazadan etkilenmezken, 15.gün değeri diğer örneklerden düşük a* değerine sahip olmuştur. GZK örneğinin, b* değerinin tüm günlerdeki ölçümleri, istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermektedir, fakat değişim belli bir yöne doğru (artan ya da azalan) değildir. Benzer durum, dondurarak muhafazanın PSY2 ekmeğine etkisinde de geçerlidir (Tablo 4.2). PSY1 ekmeğinin L* kabuk değeri ise dondurarak muhafaza ile azalmış ($p<0,05$) ve 15.günden sonra önemli bir fark görülmemiştir ($p >0,05$). Benzer durum a* ve b* değerleri içinde geçerlidir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Glutensiz kontrol ekmeği ve %7,5 ve %15 PT katkılı ekmek numunelerinin 0., 7., 15. Ve 30.günlerdeki ekmek kabuğunda yapılan renk analizine ait sonuçlar

			EKMEK ÇEŞİTLERİ		
		DEPOLAMA	GZK	PSY1	PSY2
EKMEK KABUĞU	L*	0.gün	54,81±1,59^{aB}	46,52±2,17^{bA}	35,31±0,63^{cC}
		7.gün	56,89±0,5^{aB}	43,23±1,93^{bB}	43,56±0,33^{bB}
		15.gün	68,38±2,97^{aA}	38,94±1,04^{cC}	47,01±0,9^{bA}
		30.gün	43,38±1,14^{bC}	42,7±1,07^{bC}	45,6±2,00^{aA}
	a*	0.gün	11,48±1,35^{aA}	10,87±0,99^{aA}	8,25±0,37^{bB}
		7.gün	10,44±1,04^{aA}	11,26±0,44^{aA}	8,62±0,41^{bA}
		15.gün	3,68±1,04^{cB}	8,65±0,96^{aB}	5,32±0,22^{bC}
		30.gün	10,37±0,47^{aA}	8,17±0,38^{bB}	7,89±0,52^{bB}
	b*	0.gün	29,13±2,47^{aB}	17,73±1,18^{bA}	7,96±0,66^{cBC}
		7.gün	31,87±0,88^{aA}	18,27±1,48^{bA}	10,07±0,31^{cA}
		15.gün	17,55±1,53^{aC}	10,43±0,5^{bB}	7,24±0,27^{cC}
		30.gün	12,66±0,7^{aD}	9,65±0,57^{bB}	9,10±1,66^{bAB}
	ΔE	7.gün	3,59±1,96^{bC}	3,35±0,67^{cC}	8,52±0,47^{aC}
		15.gün	19,47±1,70^{aB}	10,76±1,32^{cA}	12,08±0,5^{bA}
		30.gün	20,08±2,03^{aA}	9,34±1,40^{cB}	10,36±0,47^{bB}

*Aynı sütun ve aynı satırda farklı harfler istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$). A-D, aynı ekmek çeşidinin farklı günlerdeki ortalamalarına ait farklılıkları ifade eder. a-c, aynı günlerde farklı ekmek çeşitlerinin ortalamalarına ait farklılıkları ifade eder. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek

Tablo 4.3 Glutensiz kontrol ekmeği ve %7,5 ve %15 PT katkılı ekmek numunelerinin 0., 7., 15. Ve 30.günlerdeki ekmek içinde yapılan renk analizine ait sonuçlar

			EKMEK ÇEŞİTLERİ		
		DEPOLAMA	GZK	PSY1	PSY2
EKMEK İÇİ	L*	0.gün	76,93±2,54^{aA}	61,97±1,57^{bA}	50,87±1,26^{cA}
		7.gün	71,09±1,08^{aB}	56,57±0,5^{bB}	49,71±1,5^{cA}
		15.gün	64,68±0,4^{aC}	52,8±0,9^{bC}	41,63±0,93^{cB}
		30.gün	71,24±1,71^{aB}	57,67±1,76^{bB}	49±2,65^{cA}
	a*	0.gün	-1,73±0,11^{bA}	5,63±0,29^{aA}	5,7±0,37^{aB}
		7.gün	-2,28±0,09^{cC}	5,64±0,19^{bA}	6,62±0,24^{aA}
		15.gün	-1,79±0,08^{cB}	4,87±0,25^{bB}	5,28±0,06^{aB}
		30.gün	-1,9±0,09^{bB}	5,71±0,18^{aA}	5,76±0,59^{aB}
	b*	0.gün	11,16±1,12^{aA}	6,11±0,78^{bA}	4,09±0,17^{cA}
		7.gün	8,15±0,43^{aB}	1,97±0,26^{bB}	-0,56±0,33^{cC}
		15.gün	6,23±0,37^{aC}	1,68±0,14^{bB}	-0,5±0,28^{cC}
		30.gün	7,11±0,94^{aAB}	1,32±0,28^{bB}	0,09±0,41^{cB}
	ΔE	7.gün	6,84±1,62^{aC}	6,81±1,19^{aB}	4,88±0,31^{bB}
		15.gün	13,41±2,28^{aA}	10,21±0,92^{cA}	10,33±0,47^{bA}
		30.gün	7,29±0,85^{aB}	6,44±0,55^{bC}	4,41±1,42^{cC}

*Aynı sütun ve aynı satırda farklı harfler istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$). A-D, aynı ekmek çeşidinin farklı günlerdeki ortalamalarına ait farklılıkları ifade eder. a-c, aynı günlerde farklı ekmek çeşitlerinin ortalamalarına ait farklılıkları ifade eder. **GZK**: Glutensiz Kontrol Ekmeği; **PSY1**: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; **PSY2**: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek

Dondurarak muhafaza ekmek içi renk değerlerini (L*,a*,b*) etkilemiş fakat bu etki belli bir yöne doğru düzenli bir şekilde olmamıştır.

Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te ekmek içi ve ekmek kabuğundan alınan L*, a* ve b* değerlerinden Eşitlik 3.2'ye göre hesaplanan toplam renk değişimi (ΔE) değeri gösterilmektedir. 0.gün değerleri referans alınarak hesaplanan ΔE değerlerine bakıldığında ekmek kabuğunda GZK numuneleri için en yüksek renk değişimi 30.gün, PSY1 ve PSY2 ekmeklerinde ise 15.gün olmuştur (Tablo 4.2). Ekmek içinden alınan değerlere bakıldığında hesaplanan en yüksek ΔE her ekmek örneği için 15.günde alınmıştır (Tablo 4.3). Depolama ile değişime bakıldığında hem

ekmek kabuğunda hem de ekmek içinde hesaplanan renk değişimi her 3 ekmek örneği için de istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$).

Adekunte ve arkadaşları [82], ΔE değeri için yaptıkları sınıflandırma algılanabilen renkteki farklılıkları analitik olarak çok belirgin ($\Delta E > 3$), belirgin ($1,5 < \Delta E < 3$) ve küçük fark ($\Delta E < 1,5$) şeklinde değerlendirmişlerdir [82]. Bu çalışmada, ekmek içi ve kabuğunda bulunan ΔE değerleri>3 olduğundan ekmekler için hesaplanan toplam renk değişimi çok belirgin renk değişikliği sınıfına girmektedir.

4.3 Glutensiz Ekmeklerde Uçucu Bileşen Analizi

Glutensiz ekmekler genellikle zayıf aroma profili ile karakterize edilmektedirler [67]. Glutensiz kontrol ve PT ilaveli glutensiz ekmeklerin ekmek içine ait uçucu bileşen profili Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Ekmek örneklerine yapılan uçucu bileşen analizi sonucunda en fazla bileşen glutensiz kontrol ekmeğinde (11 adet), en az uçucu bileşen ise %15 PT ilaveli glutensiz ekmekte (5 adet) tespit edilmiştir. Tüm ekmek çeşitleri için ortak olarak alkol grubundan etanol ve 1-butanol, 3 metil, aldehit grubundan butanal, 3-metil ve heksanal tespit edilmiştir. GZK ekmeklerinde daha fazla bileşen bulunmuştur. PT katkısıyla uçucu bileşen sayısının azaldığı görülmektedir. Şekil 4.10-11-12 de gösterildiği üzere PT katkılı ekmeklerde bulunan bileşenler GZK ekmek örneklerindeki bileşenlerle benzerdir. En az uçucu bileşen açığa çıkan örnekler PSY2 ekmeklerine ait örnekler olmuştur. GZK ekmeklerinde ve PSY1 ekmeklerinde alkol, aldehit, keton, ester, furan ve terpenler bulunmuşken PSY2 ekmek örneklerinde sadece alkol, aldehit ve keton tespit edilmiştir. Etanol dışında bulunan diğer bileşenler az miktarlarda bulunmuş ve ekmeklerde ortak olarak bulunan diğer bileşenler elma benzeri aroma veren butanal, 3-methyl [67] ve meyvemsi bir aroma veren hekzanal [68] olmuştur.

Tüm ekmek numunelerinde ortak olarak bulunan etanol GZK ekmek örneklerinde en yüksek değerlerdedir. Etanol değerleri GZK ekmeklerinde de depolama ile azalan bir davranış göstermiştir (Şekil 4.11). Tatlı eter benzeri aroma verdiği bilinen 2-propanol, 1-methoxy- sadece GZK taze örneğinde tespit edilmiştir. GZK taze örneğinde, keton grubundan meyvemsi karamel aroması veren 2,3 pentanedione tespit edilirken, dondurarak muhafaza edilmiş GZK örneklerinde tespit edilmemiştir. Benzer şekilde, GZK ekmeği için aldehit grubundan butanal, 2-methyl, keton grubundan 3-hepten-2-one ve 2-propen-1-one, 1-cyclopropyl ve ester

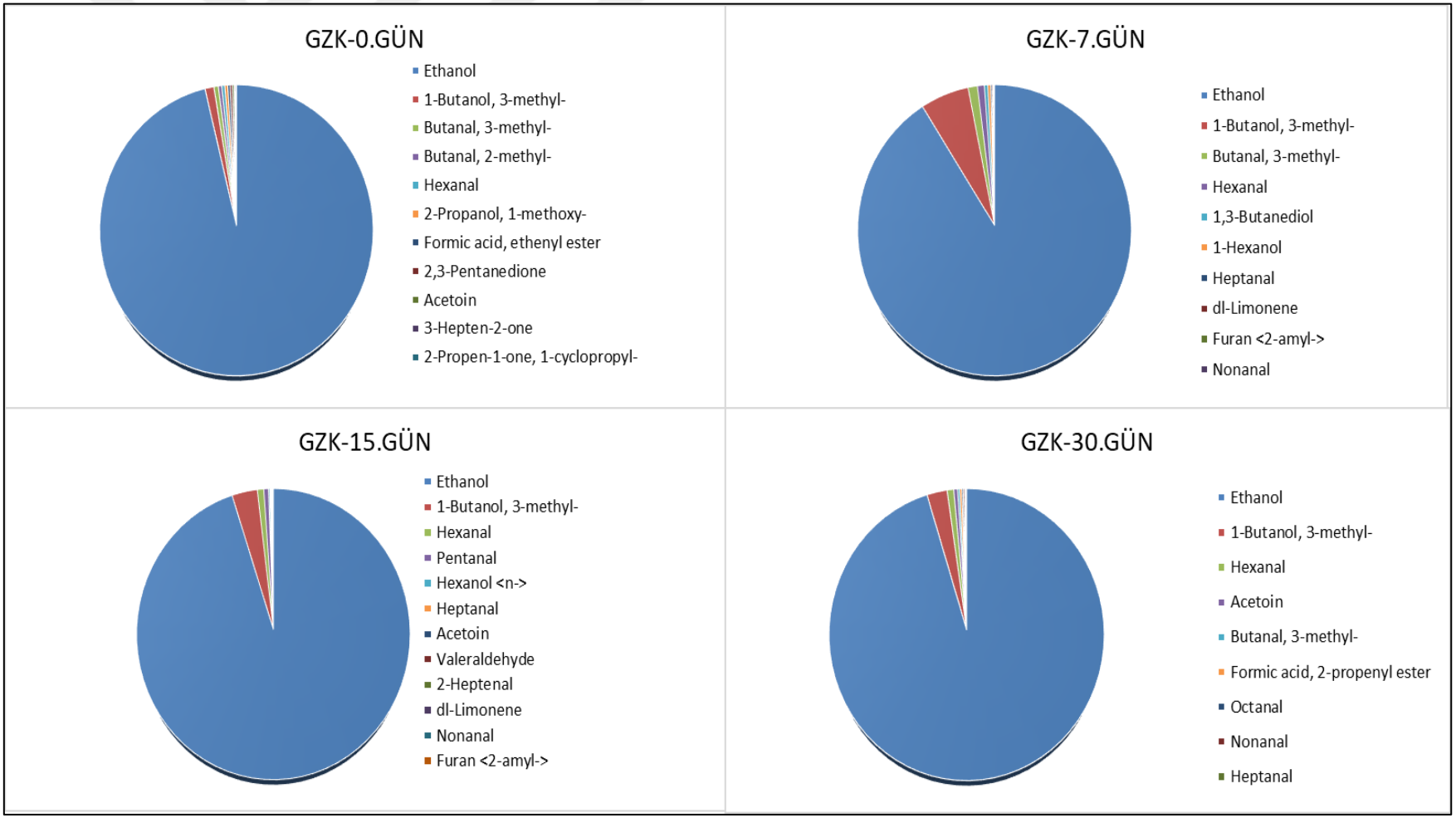
grubundan formik asit, ethenyl ester dondurarak muhafaza edilmiş örneklerde görülmemiştir. PSY1 örneği için alkol grubundan 1-butanol, 3 metil ve aldehit grubundan butanal,3-metil ve heksanal dondurarak depolama boyunca da muhafaza edilen uçucu bileşenler olmuştur. PSY2 örneği için depolama boyunca muhafaza edilen bileşen butanal, 3 metildir (Tablo 4.4).

Analiz sonuçlarına göre pisilyum ilave miktarının %15 olması, ekmeklerde tespit edilen uçucu bileşen profilini azaltmıştır.

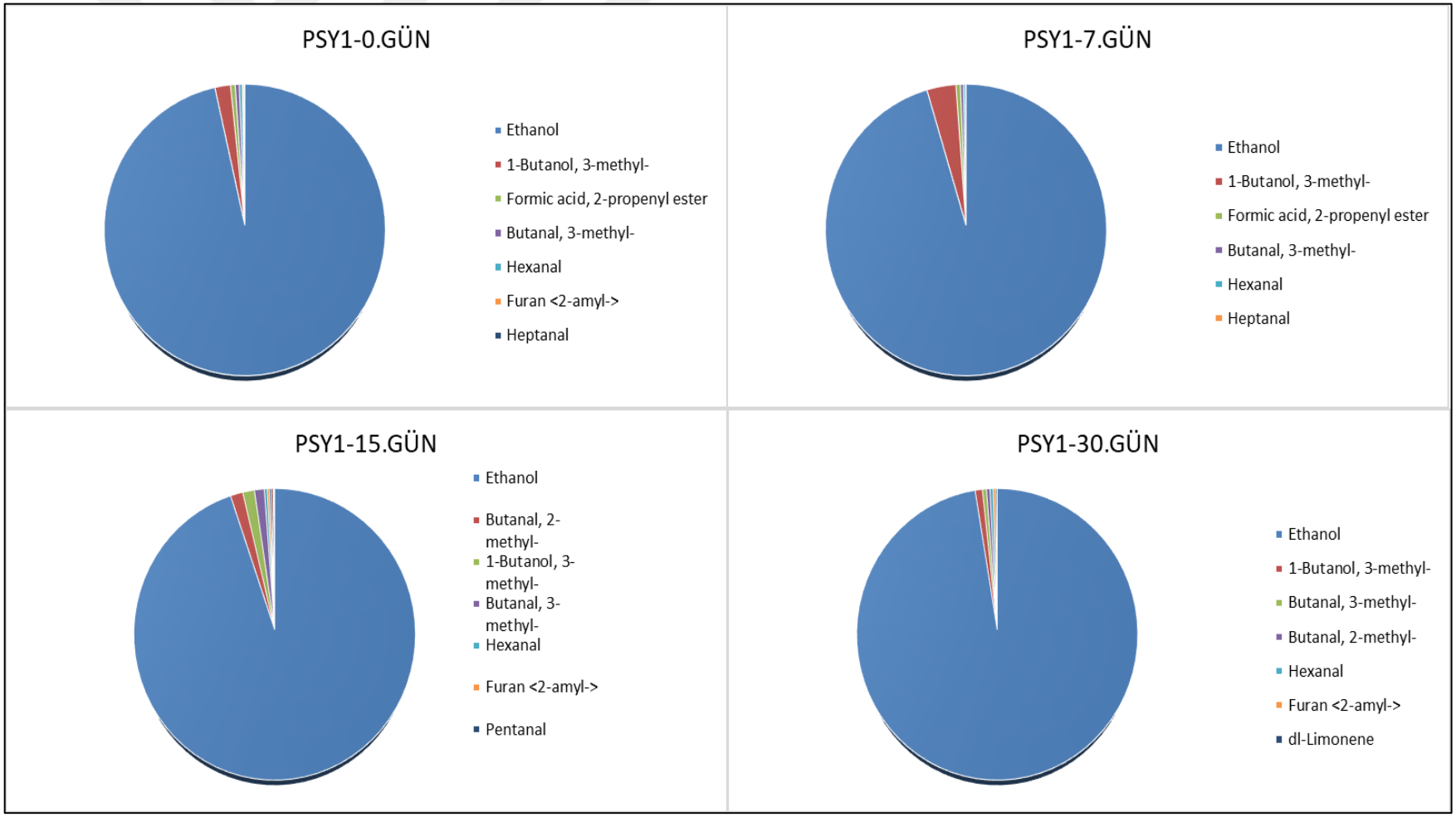
Tablo 4.4 Ekmek numunelerinde belirlenen uçucu bileşenler

		GZK-0.GÜN	GZK-7.GÜN	GZK-15.GÜN	GZK-30.GÜN	PSY1-0.GÜN	PSY1-7.GÜN	PSY1-15.GÜN	PSY1-30.GÜN	PSY2-0.GÜN	PSY2-7.GÜN	PSY2-15.GÜN	PSY2-30.GÜN
Alkoller	Ethanol	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	1-Butanol, 3-methyl-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
	1-Hexanol		✓	✓							✓		
	2-Propanol, 1-methoxy-	✓											
	1,3-Butanediol		✓										
Aldehitler	Butanal, 3-methyl-	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Butanal, 2-methyl-	✓						✓	✓	✓		✓	✓
	Hexanal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
	Pentanal			✓				✓					✓
	Heptanal		✓	✓	✓	✓	✓						
	Octanal				✓								
	Nonanal		✓	✓	✓								
	2-heptenal			✓									
	Valeraldehyde			✓									
Ketonlar	2,3-Pentanedione	✓						✓		✓			
	Acetoin	✓		✓	✓			✓					
	3-Hepten-2-one	✓											
	2-Propen-1-one,1-cyclopropyl-	✓											
Esterler	Propanoic qcid, 2-hydroxy-, butyl ester												
	Formic acid, 2-propenyl ester				✓	✓	✓						
	Formic acid, ethenyl ester	✓											
	Formic acid, hexyl ester												
Furanlar	Furan, 2 pentyl-												
	Furan<2-amyl>		✓	✓	✓	✓		✓	✓				
Terpenler	dl-Limonene		✓	✓				✓	✓				

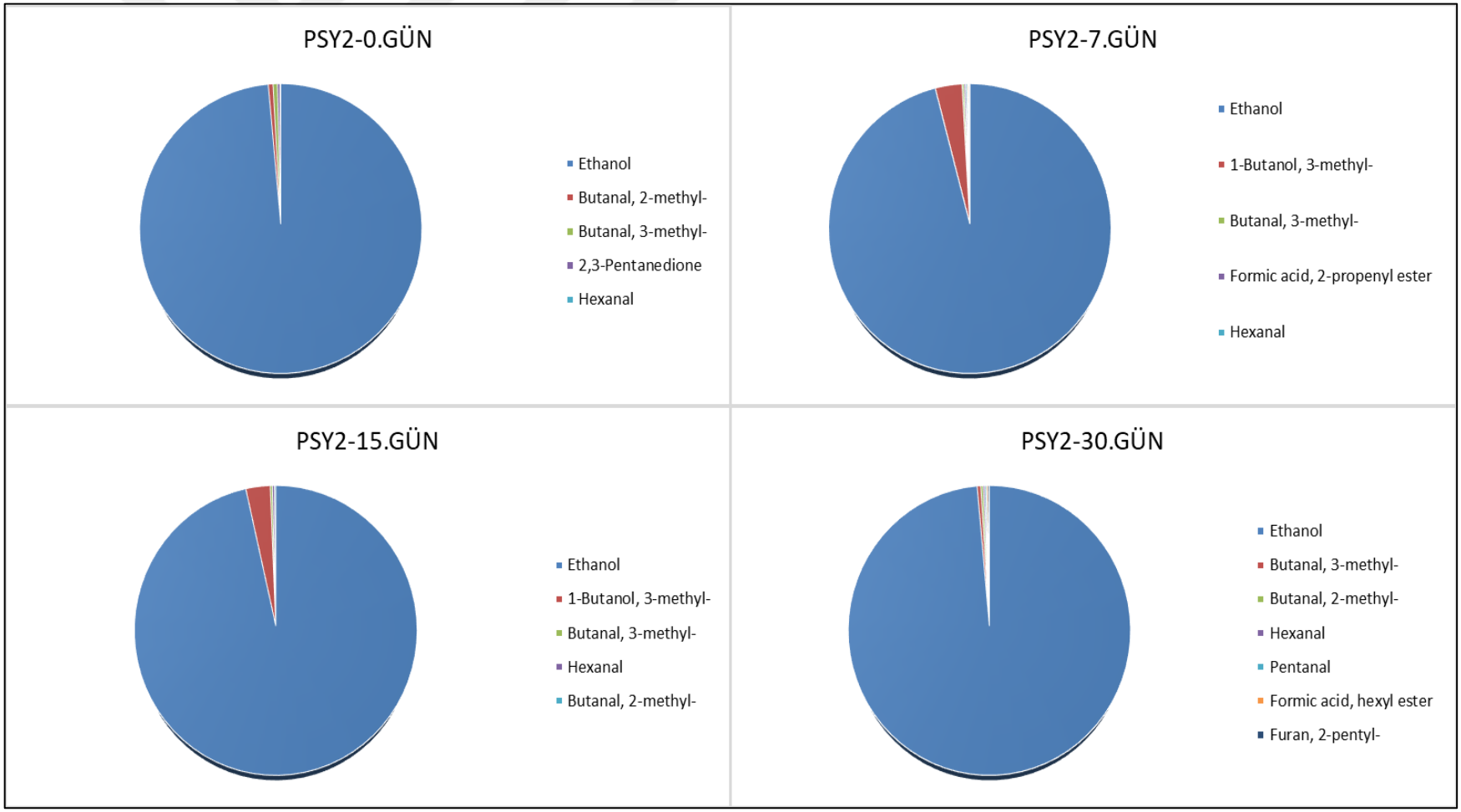
*__GZK__: Glutensiz Kontrol Ekmeği; __PSY1__: %7,5 PT İçeren Glutensiz Ekmek; __PSY2__: %15 PT İçeren Glutensiz Ekmek



Şekil 4.11 Glutensiz kontrol ekmeklerinde bulunan uçucu bileşenler



Şekil 4.12 %7,5 PT katkılı glutensiz ekmek örneklerinde bulunan uçucu bileşenler



Şekil 4.13 %15 PT katkılı glutensiz ekmek örneklerinde bulunan uçucu bileşenler

5
SONUÇ

Ekmek insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Ticari olarak üretilen ekmekler genel olarak gluten içeriğine sahip, çoğunlukla buğday ekmeği olmaktadır. Çölyak hastalığı gluten alımına bağlı olarak tetiklenen alerjik bir hastalıktır. Glutensiz ürünlere olan talep hem çölyak hastaları için hem de glutensiz beslenmenin daha sağlıklı olduğunun düşünülmesiyle birlikte artmaktadır. Artan taleple birlikte glutensiz hamur formülasyonları geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır.

Gluten yokluğunda hamurda ve ekmekte meydana gelen kalite kusurlarını gidermek amacıyla formülasyona hidrokolloidler eklenmektedir. Pisilyum tozu da glutensiz ekmek formülasyonlarında kaliteyi ve besleyici özelliği arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Yüksek lif içeriğiyle de doyurucu bir kaynaktır.

Glutensiz ekmekte karşılaşılan önemli bir sorun da bayatlamadır. Glutensiz ekmek gluten içeren muadillerine göre daha çabuk bayatlamaktadır. Tüketiciye taze ürün sunmak için hamurun dondurularak muhafazası kullanılabilmektedir. Dondurmanın hamurun ve dolayısıyla ekmeğin yapısına fiziksel veya kimyasal zararları olmaktadır. PT katkısı kullanılarak dondurmanın verdiği zararı azaltmak mümkündür.

Taze ve dondurularak muhafaza edilen glutensiz ekmek hamurlarının reolojik özellikleri ve ekmeklerin spesifik hacim, tekstür ve renk gibi kalite özelliklerinin hamur formülasyonuna PT eklenmesiyle nasıl etkileneceği araştırılmıştır.

Hamurda yapılan reolojik analizlerde tan δ değerinin PT ilavesiyle (PSY1 ve PSY2) kontrol ekmeğine (GZK) göre azaldığı görülmüştür ($p<0,05$). Dondurulmuş örneklere bakıldığında GZK ekmeklerinde depolama ile tan δ değeri önemli ölçüde azalmıştır ($p<0,05$). PT ilaveli örneklerde ise depolama bu değeri etkilememiştir ($p \geq 0,05$).

Ekmeklerde yapılan spesifik hacim analizlerinde PSY1 ve PSY2 örneklerinin glutensiz ekmeğe göre daha yüksek spesifik hacim değeri gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak ekmek içi sertlik değerleri GZK'ya göre daha düşüktür ($p<0,05$).

Dondurularak muhafaza edilen örneklere bakıldığında GZK ve PSY1 ekmeklerinin spesifik hacim değerleri dondurarak muhafazanın sonunda (−30 °C, 30.gün), taze örneklere göre önemli derecede azalmıştır ($p<0.05$). Dondurarak muhafaza, PSY2 ilaveli ekmeğin spesifik hacim değerini etkilememiştir ($p \geq 0,05$).

Taze ekmeklerin dış kabuk ve ekmek içi parlaklık değeri (L*), PT ilave miktarına bağlı olarak kontrol örneğine göre azalmıştır ($p<0,05$).

Ekmek numunelerinde yapılan uçucu bileşen analizi sonucunda ekmek numunelerinde etanol, hexanal 3-metilbutanal bileşenleri ortak tespit edilen bileşenler olmuştur. PT katkısı ile açığa çıkan uçucu bileşenlerin azaldığı gözlemlenmiştir. Kontrol ekmeğindeki etanol miktarı bütün günlerde PT katkılı ekmeklerden daha yüksek düzeyde bulunmuştur. Hexanal ve 3-Metilbutanal ekmek örneklerinde ortak olarak bulunan uçucu bileşenler olmuştur. Hexanal kontol ekmeğinde ve %15 PT katkılı ekmek örneğinde dondurularak muhafaza ile artış göstermektedir.

Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında daha yüksek hacim, daha düşük ekmek içi sertliği ile PT katkılı ekmekler tüketici talebine karşılık vermektedir. Dondurularak muhafaza edilen hamurlardan üretilen PT katkılı ekmek örneklerinin de GZK örneklerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlara göre, pisilyumun dondurulmuş glutensiz ekmek üretiminde de kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bütün sonuçlar göz önüne alındığında PSY1 (%7,5 pisilyum ilaveli glutensiz ekmek) ekmeğinin 15 günlük dondurma sonrası pişirilmesi en uygun sonuçları verecektir.

KAYNAKÇA

[1] M. Franco and M. Gómez, "Effect of Psyllium on Physical Properties, Composition and Acceptability of Whole Grain Breads," *Foods,* vol. 11, no. 12, p. 1685, 2022.

[2] M. Mariotti, M. Lucisano, M. A. Pagani, and P. K. Ng, "The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and Psyllium flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs," *Food Research International,* vol. 42, no. 8, pp. 963-975, 2009.

[3] G. Caio *et al.*, "Celiac disease: a comprehensive current review," *BMC medicine,* vol. 17, pp. 1-20, 2019.

[4] S. O. Ozkoc and N. Seyhun, "Effect of gum type and flaxseed concentration on quality of gluten-free breads made from frozen dough baked in infrared-microwave combination oven," *Food and bioprocess technology,* vol. 8, pp. 2500-2506, 2015.

[5] A.-S. Hager and E. K. Arendt, "Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat," *Food hydrocolloids,* vol. 32, no. 1, pp. 195-203, 2013.

[6] S. Chockchaisawasdee, M. C. Mendoza, C. A. Beecroft, A. C. Kerr, C. E. Stathopoulos, and A. Fiore, "Development of a gluten free bread enriched with faba bean husk as a fibre supplement," *LWT,* vol. 173, p. 114362, 2023.

[7] I. Aprodu, E. Alexandra Badiu, and I. Banu, "Influence of protein and water addition on gluten-free dough properties and bread quality," *International Journal of Food Engineering,* vol. 12, no. 4, pp. 355-363, 2016.

[8] N. Renoldi, C. S. Brennan, C. Lagazio, and D. Peressini, "Evaluation of technological properties, microstructure and predictive glycaemic response of durum wheat pasta enriched with psyllium seed husk," *LWT,* vol. 151, p. 112203, 2021.

[9] M. Belorio, G. Marcondes, and M. Gómez, "Influence of psyllium versus xanthan gum in starch properties," *Food hydrocolloids,* vol. 105, p. 105843, 2020.

[10] G. Leray, B. Oliete, S. Mezaize, S. Chevallier, and M. de Lamballerie, "Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough," *Journal of Food Engineering,* vol. 100, no. 1, pp. 70-76, 2010.

[11] G. Lorenzo, N. E. Zaritzky, and A. N. Califano, "Rheological characterization of refrigerated and frozen non-fermented gluten-free dough: Effect of hydrocolloids and lipid phase," *Journal of Cereal Science,* vol. 50, no. 2, pp. 255-261, 2009.

[12] S. Mezaize, S. Chevallier, A. Le-Bail, and M. De Lamballerie, "Gluten-free frozen dough: Influence of freezing on dough rheological properties and bread quality," *Food Research International,* vol. 43, no. 8, pp. 2186-2192, 2010.

[13] C. Fratelli, D. G. Muniz, F. G. Santos, and V. D. Capriles, "Modelling the effects of psyllium and water in gluten-free bread: An approach to improve the bread quality and glycemic response," *Journal of functional foods,* vol. 42, pp. 339-345, 2018.

[14] F. G. Santos, E. V. Aguiar, A. C. L. Centeno, C. M. Rosell, and V. D. Capriles, "Effect of added psyllium and food enzymes on quality attributes and shelf life of chickpea-based gluten-free bread," *Lwt,* vol. 134, p. 110025, 2020.

[15] E. Hüttner and E. Arendt, "Recent advances in gluten-free baking and the current status of oats," *Trends in Food Science & Technology,* vol. 21, no. 6, pp. 303-312, 2010.

[16] I. Aprodu and I. Banu, "Influence of dietary fiber, water, and glucose oxidase on rheological and baking properties of maize based gluten-free bread," *Food Science and Biotechnology,* vol. 24, pp. 1301-1307, 2015.

[17] B. Belderok, "Developments in bread-making processes," *Plant Foods for Human Nutrition,* vol. 55, no. 1, pp. 1-14, 2000.

[18] L. Roman, M. Belorio, and M. Gomez, "Gluten-free breads: The gap between research and commercial reality," *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,* vol. 18, no. 3, pp. 690-702, 2019.

[19] M. Belorio and M. Gómez, "Effect of hydration on gluten-free breads made with hydroxypropyl methylcellulose in comparison with psyllium and xanthan gum," *Foods,* vol. 9, no. 11, p. 1548, 2020.

[20] R. J. Hamer, F. MacRitchie, and P. L. Weegels, "Structure and functional properties of gluten," *Wheat: chemistry and technology,* no. Ed. 4, pp. 153-178, 2009.

[21] H. Dizlek, "Gluten Kompleksinin Hamur ve Ekmek Nitelikleri Üzerindeki Etkileri," *Akademik Gıda,* vol. 11, no. 1, pp. 102-106, 2013.

[22] E. de la Hera, M. Martinez, and M. Gómez, "Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread," *LWT-Food Science and Technology,* vol. 54, no. 1, pp. 199-206, 2013.

[23] C. Cappa, M. Lucisano, and M. Mariotti, "Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality," *Carbohydrate polymers,* vol. 98, no. 2, pp. 1657-1666, 2013.

[24] F. G. Santos, C. Fratelli, N. M. M. Alencar, and V. D. Capriles, "Modelling the effects of psyllium and water on dough parameters using Mixolab® and their relationship with physical properties and acceptability of gluten-free bread," *Research, Society and Development,* vol. 9, no. 11, pp. e77591110589-e77591110589, 2020.

[25] V. D. Capriles, F. G. dos Santos, and J. A. G. Arêas, "Gluten-free breadmaking: Improving nutritional and bioactive compounds," *Journal of Cereal Science,* vol. 67, pp. 83-91, 2016.

[26] D. Bender and R. Schönlechner, "Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties," *Journal of Cereal Science,* vol. 91, p. 102904, 2020.

[27] A. Cappelli, N. Oliva, and E. Cini, "A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies," *Applied Sciences,* vol. 10, no. 18, p. 6559, 2020.

[28] E. Berghofer and R. Schoenlechner, "Grain amaranth," *Pseudocereals and less common cereals,* pp. 219-260, 2002.

[29] R. Ziobro, J. Korus, M. Witczak, and L. Juszczak, "Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread," *Food Hydrocolloids,* vol. 29, no. 1, pp. 68-74, 2012.

[30] R. N. Tharanathan, "Starch—value addition by modification," *Critical reviews in food science and nutrition,* vol. 45, no. 5, pp. 371-384, 2005.

[31] M. Witczak, L. Juszczak, R. Ziobro, and J. Korus, "Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: Rheological and thermal properties of gluten-free dough," *Food Hydrocolloids,* vol. 28, no. 2, pp. 353-360, 2012.

[32] S. Case *et al.,* "Physical properties and gelation behavior of a low-amylopectin maize starch and other high-amylose maize starches," *Journal of Cereal Science,* vol. 27, no. 3, pp. 301-314, 1998.

[33] K. J. Vallons, L. A. Ryan, and E. K. Arendt, "Promoting structure formation by high pressure in gluten-free flours," *LWT-Food Science and Technology,* vol. 44, no. 7, pp. 1672-1680, 2011.

[34] C. Cappa, G. V. Barbosa-Cánovas, M. Lucisano, and M. Mariotti, "Effect of high pressure processing on the baking aptitude of corn starch and rice flour," *LWT,* vol. 73, pp. 20-27, 2016.

[35] K. Marston, H. Khouryieh, and F. Aramouni, "Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake," *LWT-Food Science and Technology,* vol. 65, pp. 637-644, 2016.

[36] M. E. Matos and C. M. Rosell, "Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance," *Journal of the Science of Food and Agriculture,* vol. 95, no. 4, pp. 653-661, 2015.

[37] Y. Nami, M. Gharekhani, M. Aalami, and M. A. Hejazi, "Lactobacillus-fermented sourdoughs improve the quality of gluten-free bread made from pearl millet flour," *Journal of food science and technology,* vol. 56, pp. 4057-4067, 2019.

[38] C. M. Mancebo, M. Á. San Miguel, M. M. Martínez, and M. Gómez, "Optimisation of rheological properties of gluten-free doughs with HPMC,

psyllium and different levels of water," *Journal of cereal science,* vol. 61, pp. 8-15, 2015.

[39] S. Rai, A. Kaur, and C. Chopra, "Gluten-free products for celiac susceptible people," *Frontiers in nutrition,* vol. 5, p. 116, 2018.

[40] A. Guarda, C. M. Rosell, C. Benedito, and M. J. Galotto, "Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents," *Food hydrocolloids,* vol. 18, no. 2, pp. 241-247, 2004.

[41] G. Ylimaki, Z. Hawrysh, R. Hardin, and A. Thomson, "Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads: Objective measurements," *Journal of Food Science,* vol. 53, no. 6, pp. 1800-1805, 1988.

[42] M. E. Bárcenas and C. M. Rosell, "Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread," *Food hydrocolloids,* vol. 19, no. 6, pp. 1037-1043, 2005.

[43] X. Liu, T. Mu, H. Sun, M. Zhang, J. Chen, and M. L. Fauconnier, "Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and in vitro starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour," *Food chemistry,* vol. 239, pp. 1064-1074, 2018.

[44] E. Gallagher, T. R. Gormley, and E. K. Arendt, "Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products," *Trends in Food Science & Technology,* vol. 15, no. 3-4, pp. 143-152, 2004.

[45] H. G. Masure, A. G. Wouters, E. Fierens, and J. A. Delcour, "Impact of egg white and soy proteins on structure formation and crumb firming in gluten-free breads," *Food Hydrocolloids,* vol. 95, pp. 406-417, 2019.

[46] S. W. Horstmann, M. Foschia, and E. K. Arendt, "Correlation analysis of protein quality characteristics with gluten-free bread properties," *Food & function,* vol. 8, no. 7, pp. 2465-2474, 2017.

[47] S. Renzetti and C. M. Rosell, "Role of enzymes in improving the functionality of proteins in non-wheat dough systems," *Journal of Cereal Science,* vol. 67, pp. 35-45, 2016.

[48] H. S. Gujral and C. M. Rosell, "Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase," *Food research international,* vol. 37, no. 1, pp. 75-81, 2004.

[49] H. İşleroğlu, S. N. Dirim, and F. K. Ertekin, "Gluten içermeyen, hububat esaslı alternatif ürün formülasyonları ve üretim teknolojileri," *Gıda,* vol. 34, no. 1, pp. 29-36, 2009.

[50] G. E. Hadidy, "Preparation and evaluation of pan bread made with wheat flour and psyllium seeds for obese patients," *European Journal of Nutrition & Food Safety,* vol. 12, no. 8, pp. 1-13, 2020.

[51] B. Singh, "Psyllium as therapeutic and drug delivery agent," *International journal of pharmaceutics,* vol. 334, no. 1-2, pp. 1-14, 2007.

[52] M. Ogata, T. Van Hung, H. Tari, T. Arakawa, and T. Suzuki, "Dietary psyllium fiber increases intestinal heat shock protein 25 expression in mice," *Nutrition Research,* vol. 39, pp. 25-33, 2017.

[53] B. Kesik, "AYRAN ÜRETİMİNDE STABİLİZÖR VE YAĞ İKAMESİ OLARAK Plantago ovata (KARNIYARIK OTU)'DAN YARARLANMA OLANAKLARI," 2023.

[54] B. Çubukçu, "PIHTISI KIRILMIŞ PROBİYOTİK YOĞURT ÜRETİMİNDE Psyllium husk (KARNIYARIK OTU TOHUM KABUĞU TOZU)'DAN YAĞ İKAMESİ VE PREBİYOTİK OLARAK YARARLANMA OLANAKLARI," 2022.

[55] S. Gümüş, "Yağı azaltılmış dondurma üretiminde yağ ikamesi ve stabilizör olarak Plantago ovata (karnıyarık otu)'dan yararlanma olanakları," 2021.

[56] H. Bilgiç, "EFFECT OF PSYLLIUM AND CELLULOSE FIBER ADDITION ON STARCH DIGESTIBILITY FOR BREAD AND CRACKER," Middle East Technical University, 2022.

[57] M. Dello Staffolo, A. C. Sato, and R. L. Cunha, "Utilization of plant dietary fibers to reinforce low-calorie dairy dessert structure," *Food and Bioprocess Technology,* vol. 10, pp. 914-925, 2017.

[58] V. O. Selomulyo and W. Zhou, "Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers," *Journal of Cereal Science,* vol. 45, no. 1, pp. 1-17, 2007.

[59] T. Kondakci, J. W. Zhang, and W. Zhou, "Impact of flour protein content and freezing conditions on the quality of frozen dough and corresponding steamed bread," *Food and bioprocess technology,* vol. 8, pp. 1877-1889, 2015.

[60] R. Kadan, M. Robinson, D. Thibodeaux, and A. Pepperman Jr, "Texture and other physicochemical properties of whole rice bread," *Journal of food science,* vol. 66, no. 7, pp. 940-944, 2001.

[61] V. Giannou and C. Tzia, "Frozen dough bread: Quality and textural behavior during prolonged storage–Prediction of final product characteristics," *Journal of Food Engineering,* vol. 79, no. 3, pp. 929-934, 2007.

[62] W. Luo, D.-W. Sun, Z. Zhu, and Q.-J. Wang, "Improving freeze tolerance of yeast and dough properties for enhancing frozen dough quality-A review of effective methods," *Trends in Food Science & Technology,* vol. 72, pp. 25-33, 2018.

[63] P. D. Ribotta, A. E. León, and M. C. Añón, "Effects of yeast freezing in frozen dough," *Cereal Chemistry,* vol. 80, no. 4, pp. 454-458, 2003.

[64] D. Novotni, N. Čukelj, B. Smerdel, M. Bituh, F. Dujmić, and D. Ćurić, "Glycemic index and firming kinetics of partially baked frozen gluten-free bread with sourdough," *Journal of Cereal Science,* vol. 55, no. 2, pp. 120-125, 2012.

[65] M. Pacyński, R. Z. Wojtasiak, and S. Mildner-Szkudlarz, "Improving the aroma of gluten-free bread," *LWT-Food Science and Technology,* vol. 63, no. 1, pp. 706-713, 2015.

[66] I. H. Cho and D. G. Peterson, "Chemistry of bread aroma: A review," *Food Science and Biotechnology,* vol. 19, pp. 575-582, 2010.

[67] J. Pico, Å. S. Hansen, and M. A. Petersen, "Comparison of the volatile profiles of the crumb of gluten-free breads by DHE-GC/MS," *Journal of cereal science,* vol. 76, pp. 280-288, 2017.

[68] B. Öncel, "BAKLAGİL UNLARI KATKILI GLUTENSİZ EKMEKLERİN AROMA PROFİLİ VE BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ," 2023.

[69] A. Aldughpassi *et al.*, "Effect of psyllium fiber addition on the quality of Arabic flatbread (Pita) produced in a commercial bakery," *Annals of Agricultural Sciences,* vol. 66, no. 2, pp. 115-120, 2021.

[70] E. Tulukcu, N. Cebi, and O. Sagdic, "Chemical Fingerprinting of Seeds of Some Salvia Species in Turkey by Using GC-MS and FTIR," *Foods,* vol. 8, no. 4, p. 118, 2019.

[71] C. Xin, L. Nie, H. Chen, J. Li, and B. Li, "Effect of degree of substitution of carboxymethyl cellulose sodium on the state of water, rheological and baking performance of frozen bread dough," *Food Hydrocolloids,* vol. 80, pp. 8-14, 2018.

[72] G. G. Codină, A. M. Istrate, I. Gontariu, and S. Mironeasa, "Rheological properties of wheat–flaxseed composite flours assessed by mixolab and their relation to quality features," *Foods,* vol. 8, no. 8, p. 333, 2019.

[73] M. E. Matos and C. M. Rosell, "Quality indicators of rice-based gluten-free bread-like products: relationships between dough rheology and quality characteristics," *Food and Bioprocess Technology,* vol. 6, pp. 2331-2341, 2013.

[74] H. S. Gujral, I. Guardiola, J. V. Carbonell, and C. M. Rosell, "Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour," *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* vol. 51, no. 13, pp. 3814-3818, 2003.

[75] L. Laguna, M. J. Hernández, A. Salvador, and T. Sanz, "Study on resistant starch functionality in short dough biscuits by oscillatory and creep and recovery tests," *Food and Bioprocess Technology,* vol. 6, pp. 1312-1320, 2013.

[76] C. Fratelli, F. G. Santos, D. G. Muniz, S. Habu, A. R. C. Braga, and V. D. Capriles, "Psyllium improves the quality and shelf life of gluten-free bread," *Foods,* vol. 10, no. 5, p. 954, 2021.

[77] R. Sharadanant and K. Khan, "Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: II. Bread characteristics," *Cereal Chemistry,* vol. 80, no. 6, pp. 773-780, 2003.

[78] M. E. Matos and C. M. Rosell, "Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten-free breads," *European Food Research and Technology,* vol. 235, no. 1, pp. 107-117, 2012.

[79] M. S. Esteller and S. C. LANNES, "Production and characterization of sponge-dough bread using scalded rye," *Journal of Texture Studies,* vol. 39, no. 1, pp. 56-67, 2008.

[80] A. P. Gonzales, G. Naranjo, G. Leiva, and L. Malec, "Maillard reaction kinetics in milk powder: Effect of water activity at mild temperatures," *International Dairy Journal,* vol. 20, no. 1, pp. 40-45, 2010.

[81] M. Gómez, F. Ronda, C. A. Blanco, P. A. Caballero, and A. Apesteguía, "Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality," *European Food research and technology,* vol. 216, pp. 51-56, 2003.

[82] A. Adekunte, B. Tiwari, P. Cullen, A. Scannell, and C. O'donnell, "Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice," *Food Chemistry,* vol. 122, no. 3, pp. 500-507, 2010.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Sevda CAN KEMAN, Görkem ÖZÜLKÜ, "Pisilyum Tozu İlavesinin Taze ve Dondurulmuş Glutensiz Ekmek Kalitesi Üzerine Etkisinin Araştırılması" 1. Uluslararası Karadeniz Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi 2023