**T.C.**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# DONDURULMUŞ HAMURLARIN ÇÖZÜNDÜRÜLMESİNDE ULTRASESİN KULLANILMASI

**Melih ÇEPİÇ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ

Ocak 2022

**T.C.**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# DONDURULMUŞ HAMURLARIN ÇÖZÜNDÜRÜLMESİNDE ULTRASESİN KULLANILMASI

Melih ÇEPİÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 28.01.2022 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.Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Salih KARASU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi N. Cihat İÇYER
Muş Alparslan Üniversitesi

Danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Dondurulmuş Hamurların Çözündürülmesi Prosesinde Ultrasesin Kullanılması 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.

Melih ÇEPİÇ

İmza

*Aileme*

*ve*

*değerli hocalarıma*

# TEŞEKKÜR

Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümüne sağlamış oldukları katkılardan dolayı bölüm kurucularımız, Prof.Dr. Muhammed ARICI ve Prof.Dr. Osman SAĞDIÇ'a teşekkürler ederim.

Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesinde başladığım Gıda Mühendisliği Lisans eğitimi yolculuğumun devamında ilerlettiğim yüksek lisansım boyunca her türlü akademik destek ve yol göstermelerinden ötürü başta danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ hocam olmak üzere bölümümüzde görevli tüm hocalarıma tezim ve yüksek lisansımdaki yardımlarından ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her zaman desteğini sonuna kadar sunan ve beni bu günlere getiren sevgili annem ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Melih ÇEPİÇ

# İÇİNDEKİLER

**SİMGE LİSTESİ** vii
**KISALTMA LİSTESİ** ix
**ŞEKİL LİSTESİ** x
**TABLO LİSTESİ** xi
**ÖZET** xi
**ABSTRACT** xiii
**1 GİRİŞ** 1
1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 1
1.3 Hipotez ... 2
**2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI** 3
2.1 Ultrases Teknoloji ... 3
2.1.1 Ultrasesin tanımı ... 3
2.1.2 Ultrasesin Gıdalarda Kullanım Alanları ... 4
2.1.3 Ultrasesin Mayalar Üzerindeki Etkisi ... 5
2.2 Dondurulmuş Gıdaların Ultrasesle Çözündürülmesi ... 5
2.3 Dondurulmuş Hamur Teknolojisi ... 6
2.3.1 Dondurulmuş Ekmek Hamurunun Hazırlanması ... 6
2.3.2 Yoğurmanın Hamura Etkisi ... 6
2.3.3 Hamurun Fermentasyonu ... 7
2.3.4 Hamurun Pişirilmesi ... 7
2.3.5 Dondurma İşleminin Hamur Üzerine Etkisi ... 8
2.3.6 Dondurma Hızının Hamur Üzerindeki Etkisi ... 9
2.3.7 Dondurma Süresinin Hamura Etkisi ... 9
2.3.8 Dondurulmuş Ekmek Hamuru Formülasyonu ... 10
2.3.9 Dondurmanın Mayalar Üzerine Etkisi ... 10
2.4 Dondurulmuş Hamurların Çözündürülmesi ... 11
**3 MATERYAL VE METOT** 12
3.1 Materyal Tanıtımı ... 12
3.2 Metotlar ... 12
3.2.1 Hamurun Hazırlanması ... 12
3.2.2 Dondurulmuş Hamurların Çözündürülmesi ... 13

3.2.3 Pişirme ..... 14
3.3 Ekmek Hamuruna Uygulanan Reoloji Analizi ..... 14
3.4 Ekmeklere Uygulanan Analizler ..... 14
3.4.1 Hacim Ölçümü ..... 14
3.4.2 Ekmek Ağırlıklarının Ölçümü ..... 14
3.4.3 Tekstür Analizi ..... 14
3.4.4 Renk Analizi ..... 14
3.4.5 İstatistiksel Analizler ..... 15
**4 SONUÇ VE ÖNERİLER** **16**
4.1 Hamurun Reolojik Özellikleri ..... 16
4.2 Ekmeklerin Kalite Analizi ..... 22
4.2.1 Ekmeklerde Spesifik Hacim ..... 22
4.2.2 Ekmeklerde Tekstür Analizi ..... 25
4.2.3 Ekmeklerde Dış Kabuk Rengi ..... 28
4.2.4 Ekmek İçi Rengi ..... 30
4.3 Tartışma ve Öneriler ..... 31
**KAYNAKÇA** **33**
**TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR** **36**

# SİMGE LİSTESİ

| | |
|---|---|
| Pa | Basınç(Pascal) |
| dk | Dakika |
| g | Gram |
| hz | Hertz |
| a* | Kırmızılık |
| kHz | Kilo Hertz |
| L* | Parlaklık Değeri |
| s | Saniye |
| b* | Sarılık |
| °C | Sıcaklık (Celcius) |
| tan | Tanjant |

# KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---|---|
| AACC | American Association for Clinical Chemistry |
| AMP | Genlik (Amplitude) |

# ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil 2.1** Ses dalgasının yayılımı ile genlik ve dalga boyunun gösterimi ..... 3
**Şekil 3.1** Ultrases cihazında çözündürülen numuneler..... 13
**Şekil 3.2** Çalışmanın Akış Şeması ..... 15
**Şekil 4.1** Çözündürme yöntemlerinin hamurun depolama modulü üzerine etkisi (G')..17
**Şekil 4.2** Çözündürme yöntemlerinin hamurun depolama modulü üzerine etkisi (G") . 17
**Şekil 4.3** Çözündürülen hamurların Tanδ değerlerine etkisi..... 19
**Şekil 4.4** Farklı genliklerde spesifik hacmin dağılımı..... 25
**Şekil 4.5** Ekmek örneklerinin sertlik değerleri..... 28

# TABLO LİSTESİ

**Tablo 4.1** Hamur örneklerine uygulanan farklı çözündürme yöntemlerinin dinamik reolojik özellikleri ..... 21
**Tablo 4.2** Farklı çözündürme sürelerinde spesifik hacimin değişimi ..... 23
**Tablo 4.3** Ekmeklerin sertlik değerleri ..... 26
**Tablo 4.4** Ekmek dış kabuk renk özellikleri ..... 30
**Tablo 4.5** Ekmek içi renk özellikleri ..... 31

# ÖZET

## Dondurulmuş Hamurların Çözündürülmesinde Ultrasesin Kullanılması

Melih ÇEPİÇ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ

Bu çalışmada, dondurulmuş ekmek hamurunun çözündürülmesinde ultrases işleminin etkinliği araştırılmıştır. Bu kapsamda farklı çözündürme yöntemleri (4°C'de 1 sa çözündürme ve 30 °C'de 30 dakika çözündürme) ile farklı genlik (%25, %35 ve %45) ve sürelerde (15, 20 ve 25 dakika) uygulanan ultrases işlemi kıyaslanmıştır. %25 genlik değerinde yapılan tüm çözündürmelerin (15, 20 ve 25 dk) depolama modulü (G′) değerinin, %35 genlik değerinde yapılan çözündürmeler ile buzdolabında (4°C) ve iklimlendirme kabininde yapılan çözündürmelerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek kayıp modulü (G″) değeri ise %25 genlik değerinde 15 dakikalık çözündürme işlemi ile elde edilmiştir. %25 ultrases genliği ve %35 ultrases genliğinde uygulanan farklı süreler ekmeklerin spesifik hacim değerini, kontrol örneğine (hiç dondurulmamış ekmek) göre önemli derecede etkilemezken ($p>0,05$), %45 genlik 'de çözündürme işlemi ekmeklerin spesifik hacim değerini %25 genliğe göre önemli ölçüde azaltmıştır ($p \leq 0,05$). 4°C'de ve 30°C'de çözündürme ile kontrol ekmeği, ultrases ile çözündürülen ekmeklerle kıyaslandığında spesifik hacim değeri açısından anlamlı bir farklılık görülmemiştir ($p>0,05$). %45 ultrases genliğinde uygulanan farklı süreler, ekmek örneklerinin sertlik değerini (N) kontrol ekmeğine göre önemli ölçüde artırmıştır ($p \leq 0,05$). %25 ultrases genliğinde 20 dakika çözündürme işlemi, %35 ultrases genliğinde farklı sürelerde uygulanan (15, 20 ve 25 dakika) çözündürme işlemleri ve 30 °C'de 30 dakika

çözündürme işlemi ile kontrol ekmeğinin sertlik değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık görülmemiştir ($p>0,05$). Uygulanan çözündürme işlemleri, ekmeklerin kabuk rengi L* (parlaklık) değerlerini etkilememiştir ($p>0,05$). %35 ultrases genliğinde ve 25 dakika uygulanan çözündürme işlemi ekmeklerin iç rengi L* değerini, diğer örneklere göre azaltmıştır ($p \leq 0,05$). Ekmeklerin kabuk rengi a* (kırmızılık) değeri, kontrol ekmeği ile kıyaslandığında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). %35 ultrases genliğinde 15 dakika uygulanan işlem, ekmeğin kabuk rengi b*(sarılık) değerini kontrol ekmeğine göre artırmıştır ($p \leq 0,05$). Dondurulmuş hamurların çözündürülmesinde, alternatif bir yöntem olarak ultrasesin de kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ultrases, dondurulmuş hamur, çözündürme

# ABSTRACT

## Using Ultrasound In The Thawıng Process Of Frozen Doughs

Melih ÇEPİÇ

Department of Food Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Dr.Öğr.Üyesi Görkem ÖZÜLKÜ

This study investigates the effect of ultrasound on the thawing of frozen dough. Different thawing methods (thawing at 4 °C for 1 h and at 30 °C for 30 minutes) and ultrasound treatment at different amplitude (25%, 35% and 45%) and times (15, 20 and 25 minutes) were compared with each other in this context. The storage modulus (G′) value of all thawing performed at 25% amplitude (15, 20 and 25 min) was higher than the thawing at 35% amplitude and the thawing at in the refrigerator (4°C) and air conditioning cabinet. The highest loss modulus (G″) value was obtained with a 15-minute thawing process at 25% amplitude.No significant effect was observed for the specific volume of the breads that were thawed at 25% and 35% ultrasound amplitude ($p>0.05$) according to the control bread (no frozen bread). The thawing process at 45% ultrasound amplitude cause a significant reduction ($p \leq 0.05$) when compared to thawing at 25% ultrasound amplitude. There was no significant differences between the breads thawing at 4°C, 30°C and control breads when compared to the breads thawed by ultrasound in terms of specific volume. Different times applied at 45% ultrasound amplitude significantly increased the hardness value (N) of the bread samples compared to the control bread ($p \leq 0.05$). No significant differences were observed between the breads thawing at 25% ultrasound amplitude for 20 min., 35% ultrasound amplitude for different times (15, 20 and 25 min), 30 °C for 30 min and control in terms of hardness value ($p>0.05$). Thawing process applied in this study didn’t affect the crust L* (lightness) value of the breads ($p>0.05$). The thawing

process at 35% ultrasound amplitude for 25 minutes decreased the crumb color L* value of the breads compared to the other samples ($p \leq 0.05$). When the crust color a* (redness) value of the breads was compared with the control bread, no significant difference was detected ($p > 0.05$). The thawing process applied for 15 min. at 35% ultrasound amplitude increased the crust b* (yellowness) value of the bread compared to the control bread ($p \leq 0.05$). It was concluded that ultrasound can also be used as an alternative method for thawing frozen dough.

**Keywords**: Ultrasound, frozen dough, thawing

# 1
# GİRİŞ

## 1.1 Literatür Özeti

Fırıncılık ve hamur ürünleri arasında klasik Türk Ekmeği büyük bir yer tutmaktadır.Türk damak tadının vazgeçilmezlerinden biri olan klasik Türk Ekmeğine artan talep direkt olarak üretiminde de farklı yolların aranmasına neden olmuştur. Artan talep ile birlikte tek bir seferde üretilmesi ve işlenmesi gereken hamur miktarı da artmıştır. Donuk hamur teknolojisi ile üretilen hamurların depolanması, mikrobiyal bozulmalara karşı muhafazası,taşınması ve işlenmesi kolaylığı sayesinde büyük miktarlarda hamur üretiminde donuk hamur teknolojisi tercih edilebilmektedir [1].

Dondurulmuş hamurların çözündürülmesi ve pişirme işlemi sonrası tüketime hazır hale getirilmesi hususunda değişik çözündürme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler buzdolabında çözündürme (4 ºC), oda sıcaklığında çözündürme (20 °C), iklimlendirme kabininde çözündürme(30 °C ve %80 nem içeriğinde) ve mikrodalgada çözündürmedir [1].

Ultrases teknolojisi gelişen teknoloji ve aletlerin yeni kullanım alanlarında kullanılmasına imkan sağlamasından dolayı gıda ürünlerinin işlenmesinde, fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi ve fonksiyonel özellikler eklenmesi açısından kullanılmaya başlanmıştır. Gıda ürünlerinin ekstraksiyon, rafinasyon ve homojenizasyonu gibi pek çok alanda kullanımı mevcuttur [2].

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, dondurulmuş hamurların çözündürülmesinde ultrases desteğinin kullanılmasına yönelik bir örnek ile karşılaşılmamıştır. Donuk gıda ürünlerinde çözündürme aşamasında ultrases teknolojisinin kullanılan bir yöntem olması ve çözündürmede verimliliği arttırıyor olması [2] donuk hamurların çözündürülmesi sırasında bir çözündürme yöntemi olarak ultrasesin kullanılabileceği fikrini ortaya çıkartmıştır.

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı gıda alanında farklı uygulamaları olan ultrases teknolojisinini dondurulmuş hamurların çözündürülmesinde olan etkisinin araştırılmasıdır. Farklı

çalışmalarda ultrases teknolojisinin gıdalarda, fiziksel değişimlere neden olduğu görülmüştür [3]. Dondurulmuş hamur üzerinde ultrases teknolojisi kullanılarak çözündürülen hamurların mevcut kullanılan yöntemlerle karşılaştırılması ve donuk hamurların çözündürülmesinde yeni bir yöntem olarak kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır.

## 1.3 Hipotez

Ultrases kullanımı ile ekmeklik kaliteyi olumsuz yönde etkilemeden dondurulmuş hamurların çözündürülmesinde süre kısaltılabilir. Bu sayede hem mevcut yöntemlerden daha hızlı hem de benzer ya da aynı kalitede ekmekler üretilebileceği fikri bu çalışmanın hipotezini oluşturan temeldir.

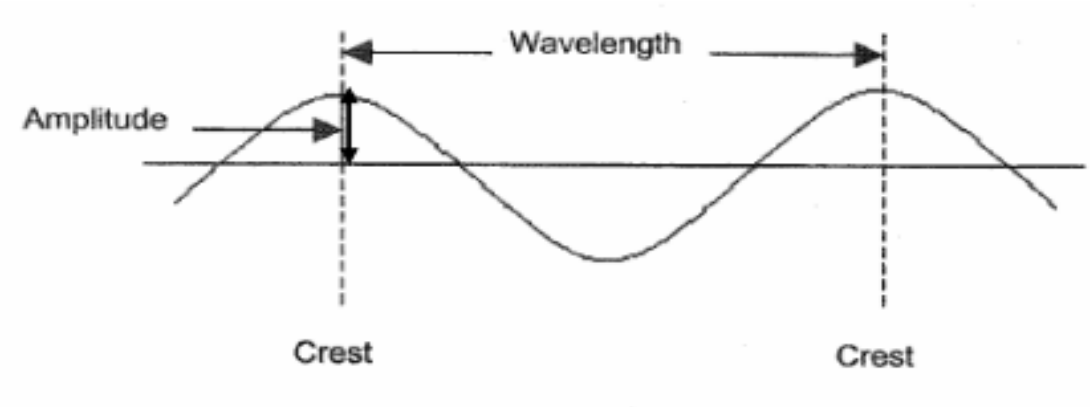
# 2
# LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

## 2.1 Ultrases Teknolojisi

### 2.1.1 Ultrasesin Tanımı

Ses; enerji taşıyan dalgalardan meydana gelmektedir. Tüm ses dalgaları birbiri ile aynı fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen sağlıklı insan kulağının duyabildiği bir frekans aralığı mevcuttur. İnsan kulağının duyabildiği maksimum frekans 20 kHz olarak bilinmektedir. Bu frekansın üzerindeki bir frekans değerine sahip ses dalgalarına ultrases denilmektedir [4].

Ses dalgalarının genlik boyuna "Amplitude" denilmektedir (Şekil 2.1). Ultrases dalgalarında amplitude değerleri değiştikçe ses dalgasının taşıdığı enerji miktarı da değişmektedir. Ultrases teknolojisi denildiğinde ses dalgalarında taşınan bu enerjinin maddelere aktırılması söz konusudur. Ses dalgalarının, cisimlerin içerisine işlemesi prensibi akustik basınç ile açıklanmaktadır. Katı cisimler yoğun olmalarına rağmen akustik basınç sayesinde az da olsa sıkıştırılabilirler. Yani ses dalgalarının oluşturduğu basınç farkından dolayı ses dalgalarının katıların iç noktalarına ulaşması mümkündür. Bu sayede ses dalgasında depolanmış enerji katı cisimlerin içerisine aktarılabilir hale gelmektedir [5].




**Şekil 2.1** Ses dalgasının yayılımı ile genlik ve dalga boyunun gösterimi

Bu özelliklerinden dolayı ultrases dalgaları sayesinde maddelere enerji aktarılmasıyla değişik alanlarda yeni prosesler geliştirilmiştir. Ultrases teknolojisi mineral işleme, gıdaların ve içeceklerin ısıtılması işlemi, medikal işlemler ve taramalar, nanoteknoloji ve biomedikal gibi birçok dalda kullanılmaktadır. Son yıllarla birlikte gıdalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Örnek olarak,ultrases dalgaları, istenen ürünlerde emülsiyon yapısının oluşturulmasını desteklemektedir. Ultrases dalgalarındaki enerjinin kullanımı ile etlerin yumuşatılması da bir başka kullanım alanıdır [2].

### 2.1.2 Ultrasesin Gıdalarda Kullanım Alanları

Ultrases teknolojisi, kütle transferinde iyileşme, karıştırma ve homojenizasyonda verimliliği arttırma, enerji tüketimini azaltma ve gıdaların işlenmesi sırasında istenmeyen sıcaklıklara çıkmayı önleme gibi özelliklere sahip olduğundan gıdalarda kullanım yöntemleri oldukça çeşitlidir [4]. Örneğin ultrases dalgaları maddelerle etkileşime girip taşıdıkları enerjiyi aktardıklarında genlikleri azalır. Bu olaya ses dalgasının zayıflaması denir [5]. Ultrases dalgalarının gıdalarla etkileşimi sonucu taşıdıkları enerjiyi kaybetmeleriyle birlikte azalan genlik boylarının tespit edilmesiyle gıdalarda homojenizasyon derecesi, emülsifikasyon derecesi ve meyve sularının uzun süre depolanmasındaki stabilitenin tespit edilmesi mümkün olmaktadır.. Yapılan çalışmalarda ultrases dalgalarındaki amplitude değerinin değişiminin ölçülmesi ile sütteki yağ kümelerinin ya da mayonezin içindeki yağların homojenizasyonu takip edilmiştir [6].

Ultrases teknolojisi ile birlikte ses dalgalarının parçalayıcı etkisi kullanılarak gıdalarda ve meyve sularında mikrobiyal kalitenin korunması, mikrobiyal yükün azaltılması ve sterilizasyon gibi işlemler yapılabilir hale gelmiştir [2]. Gıdaların işlenmesinde yüksek sıcaklıklara çıkılması durumunda meydana gelen bozulmalardan [7] kaçınarak sterilizasyon işlemini mümkün kılması ultrases dalgalarının gıdaların mikrobiyal yükünü azaltmada bir yöntem olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Bir başka kullanım örneğinde ise, 40 kHz frekansta uygulanan ultrases işleminin gofretlerde istenmeyen gluten ağı oluşumunu önleyici bir etki yarattığı bildirilmiştir [8].

Yapılan bir başka çalışmada ise elmaların kurutulması işleminde ultrases desteğinin etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucu elmaların kurutulmasında ozmotik dehidrasyon işleminde ultrases desteği kullanıldığında elmaların dehidrasyon oranı, renk, tekstür ve yoğunluk gibi parametrelerin olumlu etkilendiği kanıtlanmıştır [9].

Düşük frekans yüksek güç ultrases uygulamalarının canlı hücreleri ve enzimleri aktivasyon konusunda uyardığı yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Örneğin yoğurt üretiminde ultrases desteği ile mayaların ve enzimlerin aktivasyonunun artmasıyla birlikte süreç hızlanmış ve üretim süresinin %40 azaldığı tespit edilmiştir [6].

Yapılan tüm çalışmalara bakıldığında ultrases sisteminin sterilizasyon, ekstraksiyon, enzim ve maya aktivasyonu gibi gıdalarda önem arz eden proseslerde etkili bir yöntem olduğu görülmektedir [2,9].

### 2.1.3 Ultrasesin Mayalar Üzerinde Etkisi

Ultrases uygulamalarında, yüksek frekans düşük güçlerde yapılan uygulamalar daha hassas çalışmalara imkan vererek maddelerin fiziksel ya da kimyasal yapılarını bozmadan sadece moleküllerin titreşmesini sağlayarak maddeye etki ederler [4]. Düşük güç ultrases uygulamaları enzimatik aktiviteyi arttırıp kültür ortamlarının gelişimini hızlandırırken, yüksek güç ultrases uygulamalarının mikrobiyal organizmaların hücre duvarını parçalayarak zarar verdiği yapılan araştırmalarda görülmüştür [10].

## 2.2 Dondurulmuş Gıdaların Ultrasesle Çözündürülmesi

Dondurulmuş gıdaların tüketici tarafından tüketilebilir hale gelmesi için gereken ilk aşama gıdanın çözündürülerek işlenebilir hale geri getirilmesidir. Bu aşamada üründen ürüne değişen çözündürme yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler ısıl ve ısıl olmayan yöntemler olarak temelde ikiye ayrılmaktadırlar. Ultrases ile çözündürme yöntemi ısıl olmayan bir yöntemdir. Dondurulmuş gıdaların katı halde bulunması ve ultrases dalgalarının katıların içinde akustik basınçla hareketi sayesinde ilerleyebilmesi, bu ilerlemenin ardından taşıdıkları enerjinin bir kısmının gıdanın içinde ısı enerjisine dönüşmesi dondurulmuş gıdaların çözündürülmesinde ultrasesin kullanımının temel prensibidir [5,7].

Isıl yöntemlerde sıcak suyla/havayla çözündürme ve mikrodalga ile çözündürme gibi yöntemler mevcuttur. Fakat bu yöntemlerde gıdanın merkezi çözülmeden önce dış kısmının ısıyla temas eden ilk kısım olmasından dolayı sıcaklık artışı çok hızlı gerçekleşir. Yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça gıdada bozulma ve denatürasyonlar meydana gelmektedir. Bu bozulmaların önüne geçmek ve ısıl yöntemlerin olumsuz etkilerinden kaçınmak amacıyla ısıl olmayan yöntemlerden ultrases teknolojisinin gıdaların çözündürülmesinde kullanılması son yıllarda gittikçe popülerleşmeye başlamıştır [7].

Örneğin dondurarak muhafaza edilen etlerin çözündürülmesinde ultrases işleminin kullanımının efektif bir yöntem olduğu bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada dondurulmuş domuz etinin 25 kHz ultrases frekansında çözündürülebildiği görülmüştür. Bu sayede ısıl yöntemler uygulanarak çözündürme işlemi yerine ultrases dalgalarında taşınan enerjinin etin içerisindeki donuk halde bulunan su moleküllerine ulaşarak çözünmeyi sağlaması gerçekleşmektedir. Bu enerji dengesinin ultrasesin hassasiyetine bağlı olarak değiştiği ve uygun frekanslar ile çözündürme süresi kısaltılırken gıdaya verilen zararın azalabileceği yapılan araştırmalarda görülmüştür [7,11].

## 2.3 Dondurulmuş Hamur Teknolojisi

Fırıncılık ürünleri arasında büyük bir yere sahip olan taze ekmek ve hamur ürünleri kısa raf ömürlerine sahiptir. Taze ekmekler raf ömürleri boyunca kısa sürede bayatlama adı verilen fiziksel ve kimyasal bozulmalara maruz kalırlar. Bu bayatlama ile birlikte ekmeklerin kabuğunda yumuşama ve aromasında azalma meydana gelir [13].

Ekmeğin kısa raf ömrüne ve bayatlamasına engel olmak için bulunan çözümlerden bir tanesi dondurulmuş hamur teknolojisidir. Dondurulmuş hamur teknolojisi ile tüketicinin ihtiyacı olduğunda gerekli miktarda hamur kullanılarak anlık olarak taze ekmek üretimi sağlanabilmektedir. Ayrıca işletmede o an halihazırda donanımlı bir usta ya da üreticinin olmasına da gerek kalmamaktadır. Bu sayede uzun gece vardiyaları ya da sürekli olarak hamur ve ekmek üretiminde uzman üreticilerin mevcut bulundurulmasına gerek kalmaz ve tüketiciye taze ekmek sunulabilir [13].

Dondurulmuş hamurdan yapılan ve tüketiciye ulaştırılan ekmeğin kalitesini etkileyebilecek faktörler bulunmaktadır. Bunlar hamurun yoğurulma süresi [14], dondurma hızı, depolama süresi ve çözündürme hızı [13] şeklinde sıralanabilir.

### 2.3.1 Dondurulmuş Ekmek Hamurunun Hazırlanması

Ekmek üretimi üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar girdilerin karıştırılıp yoğurulması, fermentasyon (dinlendirme) ve hamurun pişirilmesidir [15].

### 2.3.2 Yoğurmanın Hamura Etkisi

İstenilen formüle göre tartımı yapılan girdilerin tartılıp hamurun oluşturulacağı ortama alınmasından sonra gelen ilk aşama hamurun yoğurulmasıdır. Hamurun karıştırılması ve yoğurulması sırasında hamura gerek karıştırma kazanındaki spiral başlıklar gerekse yoğurma işlemi elde yapılıyorsa el yardımıyla mekanik enerji uygulanır. Hamura

uygulanan bu mekanik enerji gluten matriksinin oluşmasını sağlar. Bunun yanısıra yoğurmanın başlamasıyla birlikte mayalar da aktifleşerek çalışmaya başlar ve gaz üretirler. Gluten matriksinin oluşumu ve yoğurma sırasında oluşan gaz, hamurun pişerken kabarmasında ve son ürün olan ekmeğin hacminde olumlu bir etki yaratır [16].

### 2.3.3 Hamurun Fermentasyonu

Karakteristik özelliklerinden dolayı fırıncılık ürünlerinde maya olarak *Saccharomyces cerevisiae* kullanılmaktadır. *Saccharomyces cerevisiae,* ekmeğin kabarmasına sebep olarak $CO_2$ gazını üretir. Bu gazı üretmesi ve hamurda gerçekleştirdiği reaksiyonlar ile birlikte hamura aroma verip, ekmeğin kabuğundaki yapının oluşmasını sağlar. Hamurun yoğurulmasıyla başlayan kabarma işlemi asıl kapasitesine hamurun fermentasyonu aşamasında ulaşır [17].

Fermentasyon aşaması *Saccharomyces cerevisiae*'nın gelişimi ve çalışması için optimum ortamın hazırlanmasıdır. *Saccharomyces cerevisiae* için 30°C sıcaklık gelişimi için en uygun sıcaklıktır. Hamurun fermentasyonunda da bu sebepten dolayı fermentasyon kabininin ya da hamurun fermentasyona bırakıldığı ortamın bu sıcaklıklara yakın olması tercih edilmektedir [18].

Ayrıca hamurda oluşan bu $CO_2$ gazı ileride ekmeğin hacmini etkileyeceğinden dolayı bu aşamanın dikkatle uygulanması mayalı ekmek üretiminde oldukça önemli bir aşamadır [17,19].

### 2.3.4 Hamurun Pişirilmesi

Hamurun fırınlanması sırasında birçok reaksiyon meydana gelmektedir. Bunlardan başlıcaları nişastanın jelatinizasyonu, protein denatürasyonu, suyun buharlaşması, hacmin yükselmesi ve enzimatik olmayan esmerleşmenin meydana gelmesidir. Enzimatik olmayan esmerleşmenin meydana gelmesi ile birlikte ekmek kabuğunda kendine has bir renk meydana gelir. Tüketicinin ekmekle ilk teması rafta gördüğü an olduğundan dolayı ekmeğin rengi tüketiciyi cezbetmesi açısından önem taşır. Pişirme prosesi; bu rengin oluştuğu, esmerleşmenin gerçekleştiği aşama olduğundan ve bundan dolayı tüketicinin dikkatini çeken dış rengin oluşmasını sağladığı için oldukça önemli bir aşamadır [19].

### 2.3.5 Dondurma İşleminin Hamur Üzerindeki Etkisi

Donuk hamur teknolojisinin kullanışlı yönlerine karşı olarak dondurma işlemi hamurlarda ve ekmeklerde bir takım kalite problemlerine sebep olabilmektedir. Dondurma işlemi ile birlikte gıdadaki serbest donabilen su molekülleri buz kristallerine dönüşür. Bu fiziki değişim ile birlikte ortamda kullanılabilir serbest su kalmadığından mayaların aktivitesi etkilenmektedir. Bütün bunların yanı sıra Kline (1968) [20] ve Hsu et al. (1979) [21] dondurarak muhafaza sırasında glutatyon denen ve mayaların salgıladığı hamurun yapısına zarar verici maddelerin ortaya çıktığını göstermiştir. Benzer çalışmalarda glutatyon olarak adlandırılan bu maddenin glutenin yapısındaki disülfit bağlarını kırarak hamurun reolojik yapısında önemli derecede değişikliklere yol açtığı gösterilmiştir [20,21].

Dondurma işleminde oluşan buz kristallerinin ekmeğin temel yapısını oluşturan gluten-nişasta bağına fiziki zarar verdiği tespit edilmiştir. Bu durum hamurun gluten-nişasta matriksini olumsuz etkilediğinden dolayı son ürün olan ekmekte de performans düşüklüğüne neden olmaktadır. Bunun sonucunda, pişirme aşamasında oluşması gereken nişastanın jelatinizasonu adımı olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle dondurma işlemi son ürün olan ekmekte olumsuz etkilere neden olmaktadır [19,22].

Ayrıca cok sayıda çalışma dondurulmuş hamur teknolojisinde dondurma işleminin hamurun maya aktivitesini, fermentatif kapasitesini, reolojik özelliklerini ve karbondioksit tutma kapasitesini olumsuz etkilediğini göstermiştir [23].

Dondurma işlemi hamurun zayıflamasına neden olduğundan gaz tutma kapasitesinde azalmaya neden olur. Aynı zamanda dondurma ve çözündürme prosesleri sırasında maya aktivitesi zarar görmektedir [24]. Bu aktivitenin zarar görmesi doğal olarak fırınlamanın ilk aşamasında iç sıcaklığın daha yükselmediği safhada gerçekleşecek olan gaz üretimini azalttığından son ürünü etkilemektedir. Mayanın gaz üretimi maya hücrelerinin sayısıyla doğru orantılıdır. Donma çözünme işlemlerinin etkisiyle azalan maya sayısı çıkan gaz miktarını azaltacağından son üründe hacim etkilenmektedir [25].

Bunlara ek olarak dondurma işlemiyle birlikte oluşan buz kristalleri gluten çapraz bağlarına zarar verirken nişastanın yapısında değişimlere ve hamurda bulunan proteinlere de zarar vermektedir. Dondurmanın bu etkileri hamurun yapısını değiştirdiği için dondurulmuş hamurların reolojilerinde değişimlere sebep olmaktadır [26].

### 2.3.6 Dondurma Hızının Hamur Üzerine Etkisi

Yapılan bir çalışmada farklı donma sıcaklıkları uygulanarak (-20 °C, - 30 °C, -40 °C) hamurun donma hızına bağlı olarak nişasta-gluten ağında meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda donma hızı ne kadar artarsa oluşan buz kristallerinin o kadar küçük yapıda olduğu ve bu sebeple de hamurun nişasta-gluten ağına daha az zarar verdiği görülmüştür [27].

Gluten-nişasta ağında meydana gelecek zararları en aza indirmek için hamuru olabilecek en hızlı şekilde ve düşük sıcaklıklarda dondurmak hamurun gaz tutma kapasitesi ve son ürün olan ekmekte meydana gelen hacim sorunlarını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır [27].

### 2.3.7 Dondurma Süresinin Hamura Etkisi

Dondurarak muhafaza sırasında hamurda gluten-nişasta matriksini oluşturan su; muhafaza süresi uzadıkça yapıdan ayrılmaktadır. Bu işlem dondurmanın hemen ardında gelen bir kaç gün içerisinde gerçekleşmektedir. Dondurarak muhafaza sonrası çözündürme işlemi yapıldığında yapıdan ayrılan bu su tekrar gluten-nişasta matriksine dönerek eski yapıyı oluşturamamaktadır [28].

Ayrıca mayalandırılarak dondurulmuş hamurlarda mayalandırılmadan dondurulmuş hamurlara göre bu zararın daha çok meydana geldiği görülmüştür. Bunun temel sebebinin mayalı hamurlarda oluşan gaz boşluklarının donan suyun oluşturduğu buz kristalleri için bir boşluk oluşturması ve gluten-nişasta kompleksinden ayrılarak donan suyun bu boşluklarda birikmesidir. Ekmeklik hamurların dondurarak muhafazasında meydana gelen bu olay sebebi ile depolama süresinin uzaması halinde hamurda meydana gelecek zararın artması ile birlikte son ürün olan ekmekte olumsuzluklara sebep olmaktadır. Bu olumsuzlukları azaltmak için dondurarak muhafaza süresinin seçimi oldukça önem arz etmektedir [28].

Yapılan bir başka çalışmada hamurların dondurarak muhafazası sırasında donma işleminden sonra yapıdaki buz miktarının artmadığı fakat zamanla buz kristallerinin formasyonlarının değiştiği gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada çözündürme uygulanmadan fırınlanan hamurlarda ani ısı değişiminden dolayı bu suyun tekrar yapıdaki yerini alamadığı görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı dondurarak hamurlarda pişirme öncesi bir çözündürme yönteminin gerekliliği ve bu çözündürme yönteminin son ürün olan ekmekte önemli kalite parametrelerine etki ettiği görülmektedir. Ayrıca dondurma süresinin

uzamasına bağlı olarak buz kristallerinin formasyonu değiştiği için hızlı bir dondurma uyguladıktan sonra hamuru çok uzun süreler depolayarak oluşan küçük buz kristallerinin büyümesini engellemek adına dondurulmuş hamurları uzun süreler depolamanın sağlıklı olmadığı sonucunua varılmaktadır [29].

### 2.3.8 Dondurulmuş Ekmek Hamuru Formülasyonu

Ekmeğin temel bileşenleri un, su, maya ve tuzdur. Dondurma işleminin olumsuz özelliklerini önlemek amaçlı dışarıdan ilave emülsifiye edici katkı maddeleri (DATEM, sitrik asit, vb) ve hidrokolloidler hamur formülasyonlarına eklenebilmektedir [30].

Buğday unu içerdiği yüksek karbonhidrat miktarı nedeniyle insan diyetinde enerji sağlama açısından önemli bir yere sahiptir [31].

Unun kalitesi ekmeğin kalitesinde önemli rol oynar. Yapılan bir çalışmada unun protein değeri dışarıdan yapılan eklemeler ile yükseltildiğinde farinograf değerlerinde yükselme görülmüştür. Bu sebepten dolayı ekmek formülasyonunda kullanılan unun kalitesi dondurulmuş hamurun ve buna bağlı olarak da son ürün olan ekmeğin kalitesini etkilemektedir [32].

### 2.3.9 Dondurmanın Mayalar Üzerinde Etkisi

Dondurma işleminde hamurun içerisindeki su kristalleşerek buz halini almaktadır. Bu kristalleşme sonucu mayaların bir kısmı zarar görür. Ayrıca mayalar dondurma işleminden sonra ve donuk depolanmaları sırasında hamurun zayıflamasına ve gluten yapısının bozulmasına neden olan glutatyon adı verilen bir maddeyi salgılayarak hamura aktarmaktadırlar. Hamur yapısında bozulmalara ve mevcut hamurdaki gazın tutulmasında azalmaya sebep olan bu etmenler yüzünden dondurma işlemi ekmekte bazı hacim problemlerine sebep olabilmektedir [33].

Uzun süreli dondurarak muhafaza işleminde maya hücrelerinin yarısından fazlasının (90 günlük depolama sonrası canlı maya hücrelerinin %52,4 e kadarı) hayatta kalamadığı yapılan bazı çalışmalarda belirtilmiştir [24].

Mayaların gaz oluşturma kapasitesi türüne, hamur içindeki maya hücresi sayısına, hamurda mevcut maya hücrelerinin aktifliğine ve ortamda bulunan fermente edilebilir şeker miktarına bağlıdır. Dondurma çözündürme işlemleri sonrası meydana gelen canlı hücre sayısındaki azalma hiç dondurma işlemi uygulanmamış ekmeklere göre oldukça fazladır. Bu sebepten dolayı dondurma işleminin uygulandığı ekmeklerin hacimlerinin

dondurma işlemi uygulanmayan ekmeklere göre daha düşük olması beklenen bir özelliktir [24].

## 2.4 Dondurulmuş Hamurların Çözündürülmesi

Dondurulmuş hamurlardan ekmek yapılması aşamasında hamurlar fırına girmeden önce bir çözündürmeye tabi tutulurlar. Bu dondurma-çözündürme işlemi ekmeklerde düşük spesifik hacim [34] ve ekmek tekstüründe sertliğin armasına [35] sebep olmaktadır. Isıl çözündürme yöntemleri içerisinde geniş bir sıcaklık skalası mevcuttur. Bu skala -3°C ile 40°C arasında [36,37,38] değişen çözündürme sıcaklıklarından oluşmaktadır.

Örneğin bir çalışmada dondurulmuş hamurların çözündürülmesinde farklı çözündürme yöntemlerinin etkileri incelenmiştir. Bu çözündürme yöntemleri buzdolabında (4°C), oda sıcaklığında (20°C), kontrollü çözündürme ortamında (30°C ve %85 nem) ve mikrodalga (100W ve 300W) ortamında yapılan çözündürmelerdir. Çözündürmeler sonucu elde edilen ekmekler kıyaslandığında dondurma çözündürme döngüsünün ekmeklerdeki spesisifik hacmi etkilediği görülmüştür. Bunun yanısıra dondurma çözündürme sonrası pişirmeden önce hamurda canlı kalan maya miktarının da azaldığı gözlemlenmiştir. Dondurma işleminin başlıbaşına hamura zarar vermesinin yanısıra çözündürme işleminin de hamuru ve ekmeği etkilediği görülmüştür. Bu yüzden dondurulmuş hamurlardan ekmek elde edilmesi sırasında çözündürme yönteminin seçimi ve verimi önemli bir rol oynamaktadır [1,19].

Bir başka açıdan incelendiğinde ise dondurma-çözündürme döngüsü sırasında hamurdaki gluten-nişasta matriksinin yapısında değişimler olmaktadır. Hamurun her dondurma-çözündürme döngüsünde bu matriksin zayıflaması söz konusudur. Hamurda dondurma-çözünme döngüsü birden fazla yapıldığında her döngüde gluten-nişasta matriksinin giderek daha fazla zayıfladığı bildirilmiştir [39].

Hamurdaki gluten-nişasta matriksinin zayıflaması ekmeğin hacmini etkilemektedir. Hamurdaki mayaların fermentasyon sırasında oluşturduğu $CO_2$ gazı gluten-nişasta matriksinin içerisine hapsolmaktadır. Hamurun çözündürülmesi esnasında hasar gören ve zayıflayan bu matriks mayaların oluşturduğu $CO_2$ gazını yapıda tutamamaya başlar. Hamurun azalan gaz tutma kapasitesi nedeniyle pişirme aşamasında ekmeğin fırın sıçraması azalır ve ekmekte hacim kayıpları meydana gelir [16].

# 3
# MATERYAL VE METOT

## 3.1 Materyal Tanıtımı

Bu çalışmada kullanılan ekmeklik un ticari olarak temin edilmiştir. Ekmeklik unun su kaldırma değeri %58, nem miktarı %14,5 olarak ölçülmüştür. Bu unun gelişme süresi 3,13 dakika ve stabilitesi 10,11 dakikadır. Çalışmada kullanılan maya (Dt.Oetker) ve iyotsuz tuz (Billur) da piyasadan ticari olarak temin edilmiştir.

Çalışmada kullanılan unun nem tayininde "Radwag MA50R" marka nem tayin cihazı (Radwag, Polonya) kullanılmıştır. Hamur yapımında "Öztiryakiler" marka mikser (Öztiryakiler OM10, Türkiye) kullanılmıştır. Çalışmada hazırlanan hamurların fermentasyonu "Nüve" marka iklimlendirme kabininde (Nüve, Türkiye) gerçekleştirilmiştir. Hamurlarda iç sıcaklığın ölçümünde "Fluke" marka termometre (Fluke, Hollanda) kullanılmıştır. Çalışmadaki hamurlara yapılan reolojik ölçümler "Anton Paar" marka reoloji cihazında (Anton Paar, Avusturya) gerçekleştirilmiştir. Hamurların ultrasesle çözüdürülmesinde "Hielscher UİP1000" marka 20 kHz 1000W gücünde ultrases cihazı (Hielscher, Almanya) kullanılmıştır. Bu hamurların pişirilmesinde "Maksan MKF-4P" marka konveksiyonel fırın (Maksan, Türkiye) kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen ekmeklerin tekstürel analizlerinde "Stable Micro Systems" marka tekstür cihazı (Stable Micro Systems, İngiltere), renk analizinde "CR-100 Konica Minolta" renk tayin cihazı (Konica Minolta, Japonya) kullanılmıştır.

## 3.2 Metotlar

### 3.2.1 Hamurun hazırlanması

Ekmek hamurunun hazırlanması aşamasında, %14 nem bazında 100 g un tartılmış, 1,5 g tuz, 2 g maya ve farinografta belirlenen miktarda su ile karıştırılmıştır.

Hazırlanan karışım 3 dakika yavaş (3 hızında) ve 5 dakika hızlı (8 hızında) karıştırılarak hamur oluşumu sağlanmıştır. Yoğurma işleminden sonra hamur 50 gr ağırlıktaki parçalara bölünerek elle yuvarlak şekil verilmiştir. Şekil verilen hamurlar iklimlendirme kabininde (Nüve, Türkiye) 30 °C sıcaklık %80 bağıl nemde fermentasyona

bırakılmışlardır. Fermentasyon işlemi 30 dakikalık ilk fermentasyon, 30 dakikalık ara fermentasyon ve 55 dakikalık son fermentasyon olmak üzere 3 basamaktan oluşmaktadır. İlk fermentasyon ve ara fermentasyondan sonra hamurlar çıkartılıp gazı alınarak yeniden şekillendirilmiştir. Fermentasyon sonunda hamurlar polietilen poşetlere koyularak şekli bozulmadan -18°C sıcaklıktaki dondurucuya (Beko,Türkiye) yerleştirilmişlerdir. Hamurlar dondurucuda 5 gün boyunca dondurulmuş olarak depolanmıştır.

### 3.2.2 Dondurulmuş Hamurların Çözündürülmesi

Dondurucuda (Beko,Türkiye) 5 gün süreyle depolanan hamurlar daha sonrasında ultrases cihazı (Hielscher, Almanya) ile çözündürülmüşlerdir. Çözündürme işleminde, cihazın probunu kapsayacak şekilde yerleştirilen kabın içerisi saf su ile doldurulmuştur. Numuneler bu kabın içerisindeki saf suya Şekil 3.1'de görüldüğü şekilde batırılmış ve proba eşit uzaklıkta noktalara yerleştirilmişlerdir.



**Şekil 3.1** Ultrases cihazında çözündürülen numuneler

Ultrases ile yapılan bu çözündürme işleminde farklı Amplitude (genlik boyu) değerleri (%25 Amp, %35 Amp ve %45 Amp) ve farklı süreler (15, 20 ve 25 dakika) kullanılmıştır. Çözündürme işleminin sonunda hamurların merkez sıcaklıkları ölçülmüştür. Çalışma sırasında %45 amplitude da 25 dakika sürede cihazın zorlandığı tespit edildiğinden bu uygulama noktası deneyden çıkarılmıştır.

Dondurulmuş hamurların çözündürülmesinde ayrıca iklimlendirme kabininde (30 °C %80 bağıl nem, 30 dakika) ve buzdolabında (4°C'de 1 saat) çözündürme işlemleri uygulanmış ve ultrases ile çözündürme yöntemiyle kıyaslanmıştır.

### 3.2.3 Pişirme

Çözündürme sonrası üzerine bıçak yardımı ile çizik atılan hamurlar 230 °C ‘de 30 dakika süre ile buharlı konveksiyonel fırında (Maksan,Türkiye) pişirilmiştir. Çalışmaya ait akım şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

## 3.3 Ekmek Hamuruna Uygulanan Reoloji Analizi

Reoloji analizi MRC-302 kontrollü stres reometresinde (Anton Paar, Avusturya) 50 mm çapındaki prop ile paralel plakalar üzerinde frekans tarama (0,1-10 Hz) testi ile gerçekleştirilmiştir. Bir miktar hamur parçası plakanın üzerine alındıktan sonra fazlalıklar kesilmiştir. Hamur 2 mm gap aralığında 2 dakika bekletildikten sonra %0,1 strain değerinde ve 0,1 rad/s açısal hız ile analiz yapılmıştır. Çalışma boyunca reometre sıcaklığı 25°C olarak belirlenmiştir. Alınan değerler G′ (depolama modülü), G″ (Kayıp modülü) ve tanδ (G′/G″) olarak hesaplanmıştır.

## 3.4 Ekmeklere Uygulanan Analizler

### 3.4.1 Hacim Ölçümü

Pişirilen ekmeklerin hacimleri 2 saat sonra AACC Metot 10-05.01’ de belitrildiği üzere kolza tohumu yer değiştirme metodu ile ölçülmüştür. Her bir çalışma için 2 adet paralel kullanılmıştır. Bu paralellerin ortalamaları alınmıştır.

### 3.4.2 Ekmek Ağırlıklarının Ölçümü

Pişirilen ekmekler fırından çıkartılıp 2 saat dinlendirildikten sonra pişme sonrası ağırlıkları ölçülmüştür. Ekmek hacminin, ağırlığa bölünmesi ile spesifik hacim değerleri hesaplanmıştır.

### 3.4.3 Tekstür Analizi

Ekmeklerde yapılacak tekstür analizi için numuneler merkez noktasını kapsayacak şekilde 2.5 cm genişliğinde dilimlenmişlerdir. Dilimin merkez noktası esas alınarak Tekstür Profil Analiz cihazına (SMS TA.XT2 Plus, İngiltere) yerleştirilmişlerdir. Analizde 36 mm prop kullanılmış, 50 N’lik kuvvet, 55 mm/dak hızıyla numunelere uygulanmış ve sonucunda alınan sertlik değeri Newton (N) olarak ölçülmüştür.

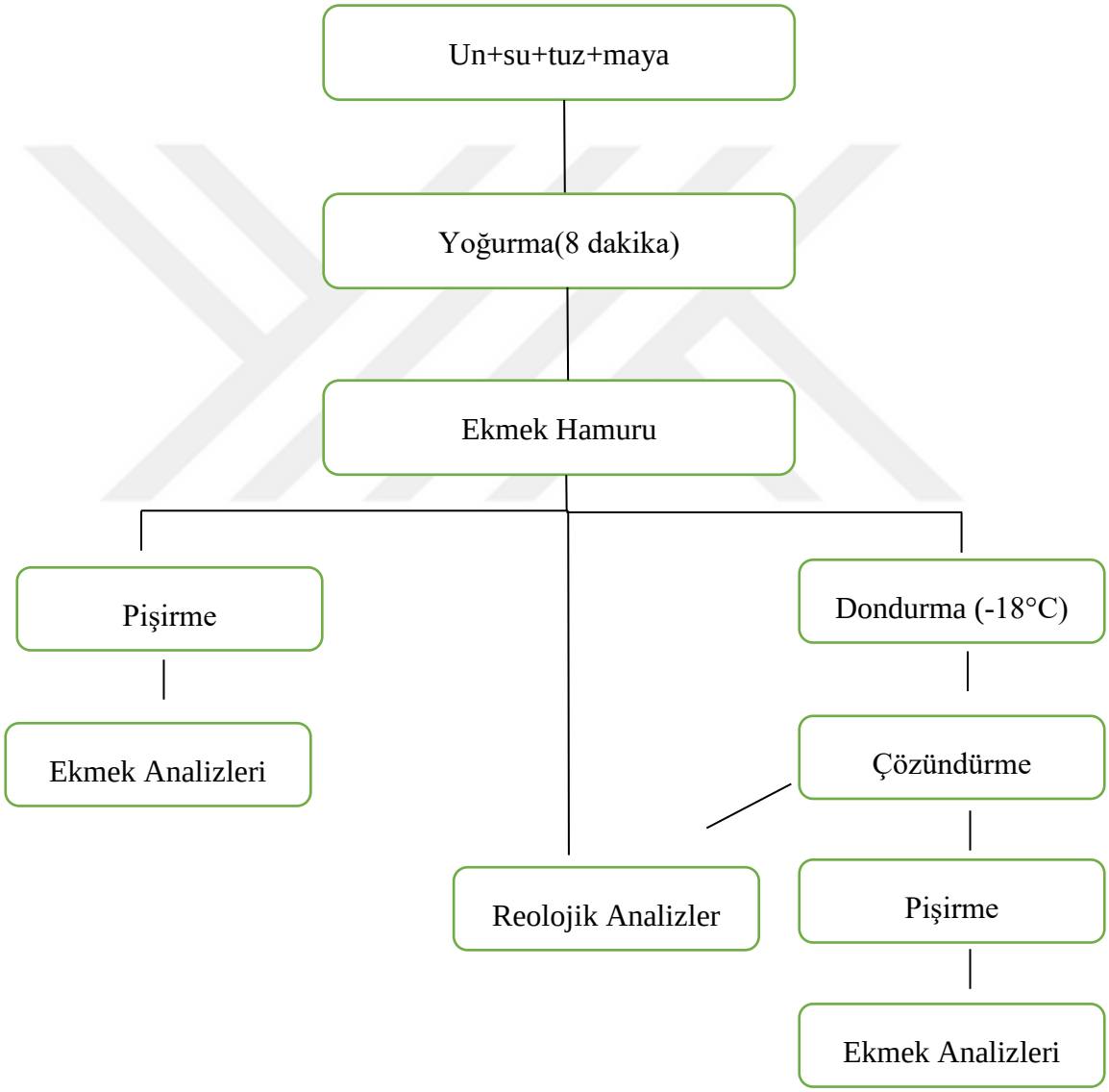
### 3.4.4 Renk Analizi

Ekmeklerin dış kabuk rengi ve ekmek içi rengi renk ölçüm cihazı (CR-100 Konica Minolta, Japonya) ile yapılmıştır. Bu ölçümlerde L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b*

(sarılık) değerleri ekmeğin dış kabuğunda ve içinde her bir paralel için 2 farklı noktadan ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalamaları alınmıştır.

### 3.4.5 İstatistiksel Analizler

Tek Yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey testi, Windows için SPSS 16.0 istatistik paketi (SPSS Inc., ABD) kullanılarak yapılmıştır.




**Şekil 3.2** Çalışmanın akış şeması

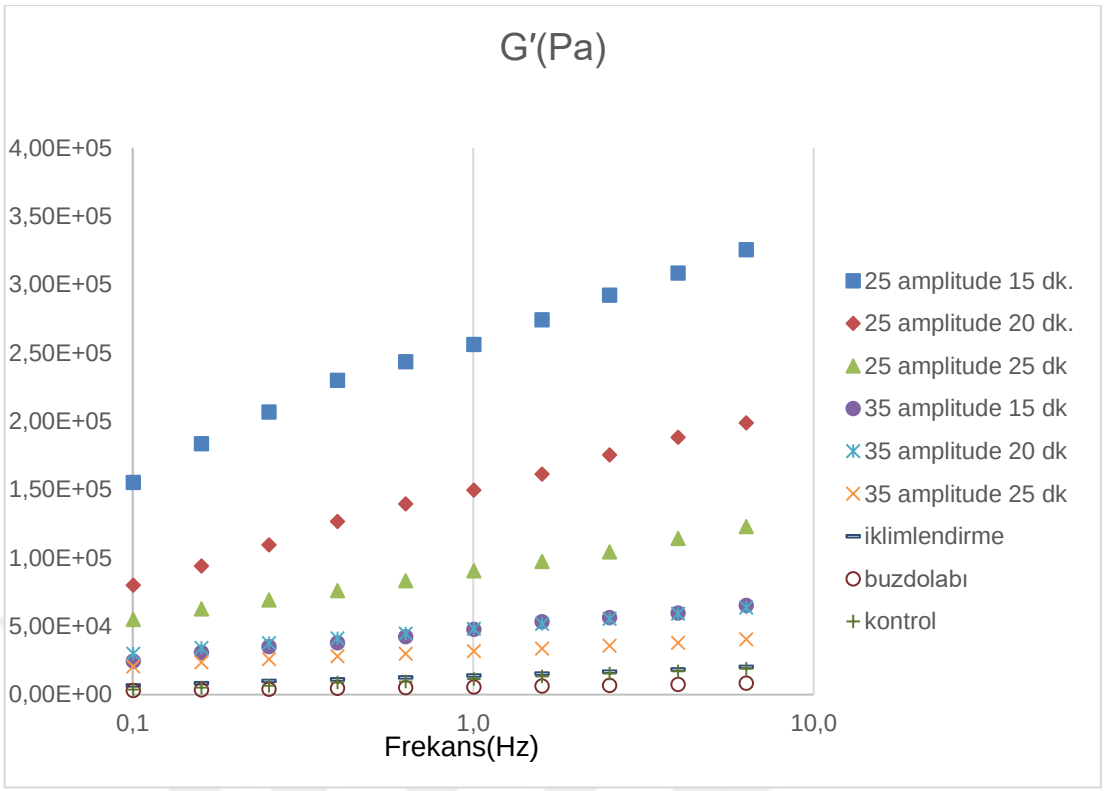
# 4
# SONUÇ VE ÖNERİLER

## 4.1 Hamurun Reolojik Özellikleri

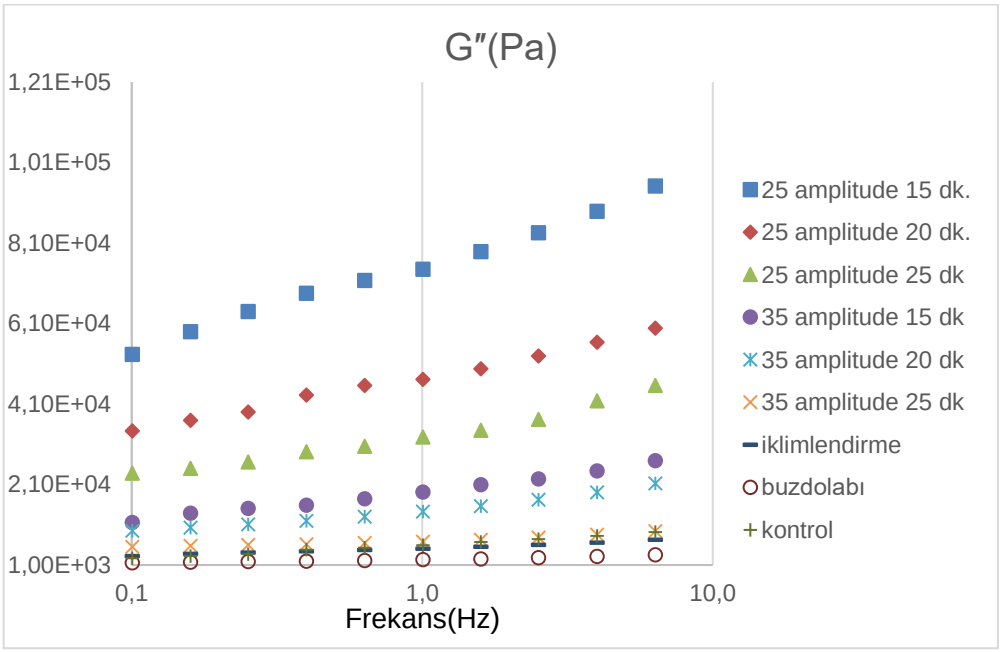
Hamurun karakteristik yapısının viskoz ya da elastik oluşu hakkında bilgi edinmek için temel reolojik analizlerden yararlanılmaktadır. Gluten çapraz bağları,nişasta ve nişasta olmayan polisakkaritler hamurun kendine has reolojik özelliklere sahip olmasındaki temel etkenlerdir [26].

Ekmek hamurunun dondurularak işlenmesi sırasında meydana gelen bazı değişimler direkt olarak hamur reolojisini de etkilemektedir. Dondurma işlemi sırasında buz tutan serbest su molekülleri buz kristalleri oluşturur. Bu kristaller depolama süresine bağlı olarak zamanla birleşerek form değiştirip daha da büyük hale gelebilmektedirler. Serbest suyun donmasıyla meydana gelen buz kristalleri hamurun yapısındaki nişastaya zarar verir. Buz kristallerinin fiziksel hasar vermesi sonucu hamurun yapısındaki nişasta parçalanarak zedelenmiş nişastaya dönüşmeye başlar. Zedelenmiş nişasta yapı olarak normal nişastaya oranla çok daha fazla suyu yapısına bağlama kapasitesine sahiptir. Dondurulmuş hamurun daha sonrasında çözündürülmeye başlamasıyla birlikte donmuş halde bulunan buz kristalleri erimeye başlar. Kristal haldeki buzun erimesiyle ortaya çıkan su, dondurulmuş haldeki hamurda buz kristallerinin zarar vererek oluşturduğu zedelenmiş nişasta tarafından emilmeye başlar. Bu emilim sonucu hamurun ağırlığı artmaya başlar. Bu artış doğal olarak hamurun daha yoğun ve daha katıya yakın bir form almasına neden olur. Dondurulmuş hamurlarda dondurma işlemi sonucu meydana gelen bu durum hamurda kalite problemlerine yol açar ve doğal olarak dondurulmuş hamurlarda daha katıya yakın bir reoloji beklenir [41].

Hamur reolojisini incelerken depolama modulü (G′) ve kayıp modulü (G″) önemli parametlerdir. Depolama modulü (G′) maddenin şeklinin bozulmadan dayanabildiği ve verilen enerjiyi depolayabildiği kısımdır. Bu özellik maddenin elastikiyetini belirtir. Kayıp modulü (G″) ise maddenin deformasyona ugradığı sırada yapısından kaybettiği enerjinin ölçüsüdür. Kayıp modulü (G″) maddenin vizkoz özelliklerini belirtir [42].




**Şekil 4.1** Çözündürme yöntemlerinin hamurun depolama modulü üzerine etkisi (G′)

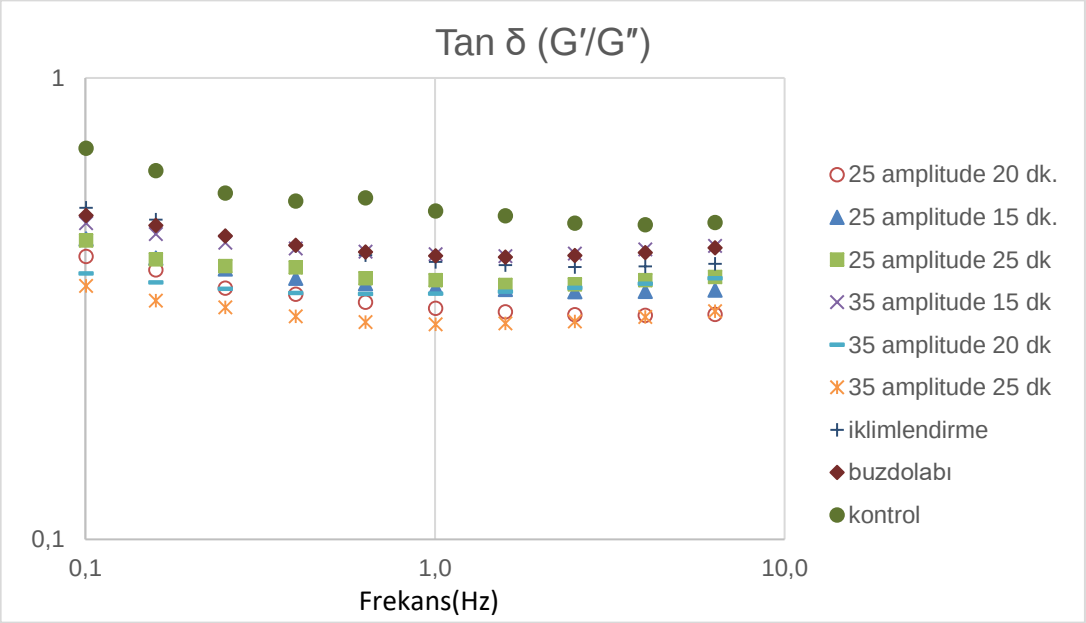



**Şekil 4.2** Çözündürme yöntemlerinin hamurun kayıp modulü üzerine etkisi (G″)

Depolama modulü (G′) ve kayıp modulü (G″) değerlerinin artan frekanslar ile birlikte artması ve buna ek olarak depolama modulü (G′) değerlerinin kayıp modulü (G″) değerinden yüksek olması maddenin elastik özellik gösterdiğini belirtir [1,42]. Çalışmadaki hamurların reolojik ölçümlerine ait depolama modulü (G′) Şekil 4.1'de, kayıp modulü (G″) Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Çalışmadaki hamurların tamamında artan frekanslarda depolama modulünün (G′) ve kayıp modulünün (G″) artış gösterdiği görülmüştür. Bu artışın frekansa bağlı gerçekleşmesiyle birlikte hamurlardaki depolama ve kayıp modullerinin frekansa bağımlı olduğu gözlemlenmiştir. Ek olarak her bir çözündürme yönteminde depolama modulünün (G′), kayıp modulünden (G″) daha yüksek bir değere sahip olması hamurun vizkoelastik bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir.

Ultrasesle çözündürülen örneklerde 25 amp 15 dakikalık çözündürme işleminin en yüksek G′ değerine değerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.1). %25 amp değerinde yapılan tüm çözündürmelerin (15, 20 ve 25 dk) G′ değeri, %35 amp değerinde yapılan çözündürmeler ile buzdolabında (4°C) ve iklimlendirme kabininde yapılan çözündürmelerden daha yüksektir (Şekil 4.1). Ultrasesle yapılan çözündürmelerden %35 amp değerindeki çözündürmelerden 15 dakikalık çözündürme ile 20 dakikalık çözündürmenin G′ değerleri aynıdır (Şekil 4.1). Kontrol örneği ultrasesle çözündürülen örneklerden daha düşük G′ değerine sahiptir. %25 amp değerindeki tüm sürelerde (15, 20 ve 25 dk) ile iklimlendirme kabininde (30°C ve %80 bağıl nem) ve buzdolabında (4°C) yapılan çözündürmeler kıyaslandığında %25 amp değerindeki tüm sürelere ait G′ değeri daha yüksektir (Şekil 4.1).

Çözündürme yöntemlerinin kayıp modulü (G″) üzerindeki etkisi incelendiğinde en yüksek G″ değerine %25 amp değerinde 15 dakikalık çözdürme sahiptir (Şekil 4.2). %25 amp değerinde tüm sürelerde (15,20 ve 25 dk) yapılan çözündürmeler %35 amp değerinde yapılan çözündürmelerden daha yüksek G″ değerine sahiptir. Ultrases ile yapılan çözündürmelerden kontrol ekmeğine en yakın çalışma %35 amp değerinde 25 dakikalık çözündürmedir (Şekil 4.2). %35 amp değerinde yapılan çözündürmelerde çözündürme süresi uzadıkça G″ değeri düşmektedir. Buzdolabında yapılan çözündürme (4°C) en düşük G″ değerine sahiptir. Buzdolabında yapılan çözündürme ile kontrol örneği kıyaslandığında buzdolabında yapılan çözündürmenin G″ değeri daha düşük çıkmıştır (Şekil 4.2).




**Şekil 4.3** Çözündürülen hamurların Tanδ değerlerine etkisi

Depolama modulünün (G′) kayıp modulüne (G″) oranıyla elde edilen tanδ değeri maddenin reolojik olarak karakteristik özelliği hakkında bilgi verir. Tanδ değerinin 0'a doğru yaklaşması maddenin katı karakterine işaret ederken, 1'e doğru yaklaşması sıvı karakterin baskın olduğunu gösterir [1, 43]. Çalışmadaki hamurların tanδ değerleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Çözündürme işlemi uygulanan hamurların tamamının kontrolden daha katı karakter sergiledikleri görülmektedir. Bunun temel sebebi dondurulmuş hamurlarda buz kristalleri tarafından zedelenen nişastanın daha sonra çözündürme aşamasında normal nişastaya oranla daha fazla su tutarak hamur ağırlığını arttırmasıdır [41]. Tanδ değerinin frekans arttıkça başta 0'a yaklasıp sonrasında yükselmeye başlaması vizkoelastik maddelerin karakteristik özelliğidir [1]. Şekil 4.3'de tüm hamurların bu eğilimde olduğu ve vizkoelastik karaktere sahip oldukları görülmektedir. Çözündürme yöntemine bağlı olarak tanδ değerinin referans (kontrol ekmeği) değerden uzaklaştığı görülmektedir. Buna bağlı olarak dondurma ve çözündürme döngüsünün hamurun vizkoelastik karakterini etkilediği görülmektedir. Şekil 4.3 de görüldüğü üzere ultrases ile çözündürmede kullanılan farklı amplitude (%25 ve %35 amp) ve farklı süreler (15,20 ve 25 dakika) hamurun vizkoelastik karakterini etkilemektedir. Kontrol örneği katı karakterden en uzak örnektir. %35 amp 25 dk çözündürme en katı özellikteki örnektir (Şekil 4.3). Yapılan ultrases uygulamalarından %35 amp 15 dk çözündürme hariç tüm

ultrases çözündürmeleri iklimlendirme kabininde yapılan çözündürmeden (30°C ve %80 bağıl nem) daha katı karakteristik göstermektedir (Şekil 4.3).

Bunlara ek olarak Şekil 4.3'de görüldüğü üzere yapılan farklı ultrases genlikleri (%25 amp, %35 amp) ve farklı sürelerin (15, 20 ve 25 dk) hamurun vizkoelastik karakterinde değişime yol açtığı görülmektedir. Çözündürme süresi ve amp değerine göre hamurların reolojik özelliklerinin değiştiği ve çözündürme yönteminin hamurun reolojisi üzerinde direkt etkisi olduğu görülmüştür.

| | Depolama modulü | | | Kayıp modulü | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | G′ | | | G″ | | |
| | G′ = K′(ω)n′ | | | G″ = K″(ω)n″ | | |
| | K′ (pa.s) | n′ | R^2 | K″(pa.s) | n″ | R^2 |
| 25 amplitude 15dk | 111099±106449,26 | 0,39±0,1 | 0,74±0,15 | 40832,5±29310,28 | 0,31±0,12 | 0,73±0,15 |
| 25 amplitude 20dk | 68745±35724,45 | 0,36±0,23 | 0,86±0,11 | 30964±21447,96 | 0,24±0,18 | 0,87±0,1 |
| 25 amplitude 25dk | 47518±3841 | 0,290±0,04 | 0,83±0,16 | 22702,5±13290,07 | 0,21±0,06 | 0,93±0,07 |
| 35 amplitude 15dk | 21093,05±19380,31 | 0,33±0,04 | 0,89±0,09 | 10164,7±9129,17 | 0,29±0,02 | 0,90±0,10 |
| 35 amplitude 20dk | 24816±14507 | 0,31±0,05 | 0,84±0,14 | 9068,5±2107,89 | 0,25±0,09 | 0,92±0,06 |
| 35 amplitude 25dk | 15761±15095,32 | 0,29±0,02 | 0,84±0,19 | 4928,5±3503,71 | 0,20±0,04 | 0,86±0,19 |
| İklimlendirme kabini | 6477±5055,81 | 0,33±0,03 | 0,94±0,06 | 3067,45±1999,63 | 0,25±0,01 | 0,95±0,05 |
| Buzdolabı | 3256,4±607,26 | 0,26±0,01 | 0,99±0 | 1604,65±337,93 | 0,22±0 | 0,99±0 |
| Kontrol | 3693,3±276,62 | 0,48±0,01 | 0,92±0,01 | 2411,45±25,10 | 0,41±0,01 | 0,89±0,01 |

**Tablo 4.1** Hamur örneklerine uygulanan farklı çözündürme yöntemlerinin dinamik reolojik özellikleri

Depolama modulü (G′) ve kayıp modulü (G″) ait kıvam katsayıları (K′,K″), akış davranış indeksleri (n′,n″) ve $R^2$ değerleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Tablo 4.1'de $R^2$ değerleri 0,73 ile 0,99 arasındadır.

Ultrasesle yapılan çözündürmelerden %25 amp 15 dakika uygulaması en yüksek K′ ve K″ değerine sahiptir (Tablo 4.1). Ultrases uygulamasında en düşük K′ ve K″ değerlerine %35 amp değerinde yapılan 25 dakikalık çözündürmede ulaşılmıştır. %25 amp değerinde yapılan çözündürmelerde süre arttıkça K′ ve K″ değerleri azalmaktadır (Tablo 4.1). Ultrases ile yapılan tüm çözündürmeler (%25 amp, %35 amp) arasında %35 amp 25 dk uygulaması en düşük K′ ve K″ değerine sahip olduğundan ultrases ile çözündürülmüş örnekler arasında kontrole en yakın olan yöntemdir (Tablo 4.1). İklimlendirme kabininde yapılan çözündürmeye (30°C ve %80 bağıl nem) ait K′ ve K″ değeri kontrolden yüksekken, %35 amp 25 dk uygulamasından daha düşük bir değere sahiptir. Buzdolabında yapılan çözündürme işlemi en düşük K′ ve K″ değerlerine sahiptir (Tablo 4.1).

## 4.2 Ekmeklerin Kalite Analizi

### 4.2.1 Ekmeklerde Spesifik Hacim

Spesifik hacim, ekmek hacminin ekmek ağırlığa oranıdır. Birimi $cm^3/g$ yada mL/g olarak ifade edilmektedir. Spesifik hacim ekmekte önemli bir kriter olarak kabul edilmektedir ve birden fazla etkene bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Ekmeğin yapımında kullanılan malzemelerden hamurun işlenme şekli dahil birçok faktör ekmekte spesifik hacimi etkiler. Spesifik hacimin çok düşük olması istenmeyen bir özellik olduğu gibi çok yüksek olması da istenmeyen bir özelliktir. Bunun temel sebebinde spesifik hacmin ekmeğin kabuk kalitesini etkilemesi gelmektedir. Spesifik hacmin çok yüksek olması durumunda ekmeğin hacminin ağırlığına göre çok fazla olmasıyla birlikte ekmeğin kabuğunda parçalanmalar ve kırılmalar meydana gelir. Bu da dış yüzeyin görüntüsünü olumsuz etkilemektedir. Aynı zamanda spesifik hacmin çok düşük olmasıyla birlikte ekmek kabuğunun çok kalın ve yoğun olması da olumsuz bir izlenim bırakmaktadır [41].

Dondurma işleminin hamurlar üzerinde yarattığı etkilerin bir sonucu olarak spesifik hacmi azalttığı bilinmektedir [41]. Dondurma işleminde meydana gelen buz kristalleri sonucu hamurun nişasta-gluten ağına zarar gelmesi; mayanın aktivitesinin azalması, glutatyon, maya sayısının azalması gibi etkenler hamurun ve dolayısıyla son ürün olan

ekmeğin hacmini etkilemektedir [20, 21]. Dondurmayla birlikte zarar gören nişasta yapısı nedeniyle hamurun yapısında daha fazla su tutulmasına sebep olur. Daha fazla su tutlmasıyla birlikte ekmeğin ağırlığı artarken, zarar gören nişasta nedeniyle ekmeğin hacmi azalır. Bu etkiden dolayı hamurun spesifik hacminin azaldığı belirtilmektedir. Aynı zamanda spesifik hacimdeki azalmanın bir başka sebebinin hamurların dondurulması sonucu maya sayısında meydana gelen azalmanın da olabileceği bazı çalışmalarda belirtilmektedir [41]. Spesifik hacim değeri ekmeklerin kalite kontrolünde ve tüketicinin tercihlerinde önemli bir rol oynadığından dolayı ekmeklerin kıyaslanmasında bir kriter olarak dikkate alınması gerekmektedir [22, 24].

Bunlara ek olarak ultrases dalgalarının ekmeğin spesifik hacmine direk etki ettiği yapılan bazı çalışmalarda belirtilmiştir. Farklı güçlerde (200W ve 500W) uygulanan ultrases dalgalarının ekmeğin hacmini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu sayede ekmeğin spesifik hacminde de bir iyileşme söz konusu olmuştur. Bu artışın ekmekte olumlu bir etkiye sebep olmasıyla birlikte ultrases dalgalarının hamurlar üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. Ultrases dalgaları maya hücrelerini uyararak harekete geçmelerini desteklemektedir. Bu etkisinden dolayı ultrasesin hamurlarda uygulanmasıyla fermantasyon sırasında mayalar daha fazla çalışacağından dolayı hamur daha hacimli olmaktadır. Mayaların aktivasyonunun yanısıra ultrases dalgalarının etkisiyle birlikte hamurun içerisinde gaz baloncukları oluşmaktadır. Bu baloncuklarda biriken $O_2$ ile birlikte hem hamurda daha fazla gaz tutulurken hem de mayaların üremesi için gerekli oksijen ortamı sağlanmaktadır. Bu iki etkinin birleşimiyle birlikte hamurların ultrasesle birlikte işlenmesi ekmeğin spesifik hacminde olumlu bir etki yaratmaktadır [44].

**Tablo 4.2** Farklı çözündürme sürelerinde spesifik hacimin değişimi

| | **Spesifik hacim (mL/g)** |
|---|---|
| 25 amplitude 15 dk | 2.23±0,00ab |
| 25 amplitude 20 dk | 2.56±0.09b |
| 25 amplitude 25 dk | 2.56±0.10b |
| 35 amplitude 15 dk | 2.42±0.09ab |
| 35 amplitude 20 dk | 2.30±0.09ab |
| 35 amplitude 25 dk | 2.23±0.09ab |
| 45 amplitude 15 dk | 2.16±0.09a |
| 45 amplitude 20 dk | 2.16±0.09a |
| İklimlendirme (30 °C 30 dak) | 2.49±0.08ab |
| Buzdolabı (+ 4 °C de 60 dak) | 2.34±0.09ab |

| | |
|---|---|
| Kontrol (Normal ekmek) | 2.47±0.00ab |

*Aynı harfle ve aynı sütunda gösterilmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farksızdır ($p<0,05$).

Tablo 4.2'de farklı çözündürme yöntemlerinde (ultrases, iklimlendirme kabini, buzdolabı) farklı sürelerin ekmeğin spesifik hacmine etkisi gösterilmektedir. Tablo 4.2'de verilen sonuçlara göre %25 genlik ve %35 genlikte yapılan çözündürme işlemleri ekmeğin spesifik hacmini kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür ($p>0,05$). %45 genlikte yapılan çözündürme işlemi düşük genlik olan %25 ve %35 genlik boylarına göre çözündürme sonunda ekmeğin spesifik hacim değerini önemli ölçüde azaltmıştır($p<0,05$). Ultrases ile yapılan çözündürmeler içerisinde %25 amp değerinde yapılan çözündürmelerden 20 ve 25 dakikalık çözündürme 15 dakikalık çözündürmeye göre ekmeğin spesifik hacmini arttırmıştır ($p<0,05$). %35 amp değerinde yapılan çözündürmelerden 15 dakikalık çözündürme işlemi 20 ve 25 dakikalık çözündürmelere göre spesifik hacim değerini arttırmıştır ($p>0,05$). %25 genlikte yapılan 20 dakika ve 25 dakika çözündürme iklimlendirme kabini ve buzdolabında yapılan çözündürmeyle kıyaslandığında ekmekte spesifik hacim değerini belirgin bir biçimde arttırmıştır ($p<0,05$). %45 amp değerinde yapılan çözündürme buzdolabında ve iklimlendirme kabininde yapılan çözündürmeyle kıyaslandığında ekmeğin spesifik hacim değerini önemli ölçüde azaltmıştır ($p<0,05$). %45 amp değerinde yapılan çözündürmeler ekmeğin spesifik hacim değerini diğer tüm çözündürme yöntemlerine kıyasla azaltmıştır ($p<0,05$).

%35 amp değerinde yapılan çözündürmeler ile kontrol ekmeği arasında önemli bir fark yoktur ($p>0,05$). %35 genlik değerinde yapılan tüm çözündürmeler (15, 20 ve 25 dk), iklimlendirme kabini ve buzdolabında yapılan çözündürmelerle kıyaslandığında spesifik hacim olarak önemli bir fark bulunamamıştır ($p>0,05$).




**Şekil 4.4** Farklı genliklerde spesifik hacmin dağılımı

Şekil 4.4'de değişen genlik boyları (%25, %35 ve %45) ve değişen sürelerde (15,20, ve 25 dk) yapılan çözündürmelerin spesifik hacime etkileri gösterilmiştir. Görüldüğü üzere ultrases ile çözündürme işleminde Amp değeri (genlik boyları) yükseldikçe ekmeğin spesifik hacmini olumsuz etkilediği görülmüştür ($p<0,05$). Düşük genlik boylarının ekmeğin spesifik hacmini mevcut çözündürme yöntemlerinden olan iklimlendirme kabininde çözündürme ve buzdolabında çözündürme yöntemlerine kıyasla arttırabildiği görülmektedir. Bunlara ek olarak ultrases ile çözündürülmüş hamurlardan elde edilen ekmekler ile kontrol ekmeği (dondurulmadan direkt pişirilen hamurlar) kıyaslandığında düşük Amp değerlerinde (25 amp, 35 amp) yapılan çözündürmelerin kontrol ekmekleriyle birbirine yakın spesifik hacimlere sahip olduğu görülmektedir ($p>0,05$).

Dondurmanın spesifik hacimdeki olumsuz etkilerine karşılık [41] ultrases dalgalarının hamurda spesifik hacimi destekleyici özelliğinin bulunması [44] sayesinde dondurmanın olumsuz etkileri ekmeklerde azaltılmıştır. Ultrases desteği ile %35 amp değerinde yapılan çözündürmelerin spesifik hacmi kontrol örneğine kıyasla önemli bir fark göstermemektedir ($p>0,05$).

### 4.2.2 Ekmeklerde Tekstür Analizi

Tüketici tercihinde ekmek içi tekstürü önemli bir yer tutmaktadır. Hamur oluşumunda meydana gelen nişastanın su tutması ve gluten ağlarının oluşmasıyla "Gluten-Nişasta

Matriksi" meydana gelmektedir. Bu matriks hem hamurun reolojik yapısını hem de hamurun gaz tutma kapasitesini meydana getiren yapıdır [26]. Bu yapı temelde hamuru oluşturmakla birlikte ekmeğin iç tekstürünü oluşturacak yapıdır. Hamurun dondurulmasıyla birlikte yapıda serbest donabilen su donarak kristal haline gelir. Depolama süresine bağlı olarak da bu kristallerin formu ve büyüklüğü değişmeye başlar. Depolama süresine bağlı olsun ve ya olmasın yapıdaki serbest suyun donmasıyla oluşan buz kristalleri hamurun yapısındaki nişastaya fiziksel olarak zarar verir. Bu zarar sadece nişastayı değil aynı zamanda gluten çapraz bağlarını da etkiler. Nişastanın fiziki zarar görmesiyle ortamda zedelenmiş nişasta miktarı artar. Bu artışın sonucu olarak hamur tekrar çözündürülmeye başladığında kristal halindeki serbest suyun erimesiyle ortamda su oluşur. Zedelenmiş nişastanın normal nişastaya oranla daha fazla suyu yapısında tutabilmesi özelliği nedeniyle dondurma işlemiyle birlikte hamurda oluşan zedelenmiş nişasta bu suyu yapısına alarak hamurun normalden daha fazla su tutmasına ve ağırlaşmasına neden olur. Spesifik hacmin düşmesiyle birlikte daha yoğun, gözenekleri az bir ekmek ortaya çıktığından dolayı dondurulmuş hamurlardan elde edilen ekmeklerin sertlik değerinin işlem uygulanmayan ekmeklerden yüksek çıkması beklenir [41].

**Tablo 4.3** Ekmeklerin sertlik değerleri

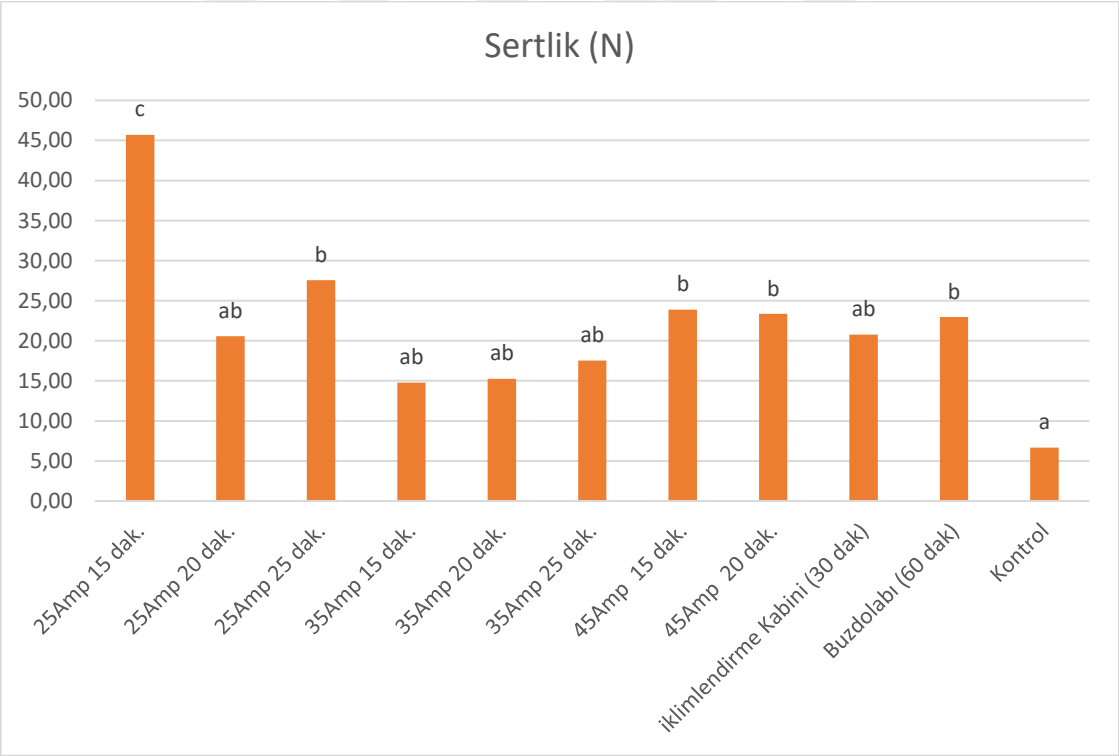
| | **Sertlik (N)** |
|---|---|
| 25 amplitude 15 dk | 45.69±0.20c |
| 25 amplitude 20 dk | 20.55±9.85ab |
| 25 amplitude 25 dk | 27.58±0.68b |
| 35 amplitude 15 dk | 15.58±1.11ab |
| 35 amplitude 20 dk | 17.03±4.05ab |
| 35 amplitude 25 dk | 15.14±0.00ab |
| 45 amplitude 15 dk | 21.98±2.72b |
| 45 amplitude 20 dk | 26.64±0.00b |
| İklimlendirme (30 °C 30 dak) | 20.78±4.56ab |
| Buzdolabı (+ 4 °C de 60 dak) | 22.97±2.95b |
| Kontrol (Normal ekmek | 6.67±0.45a |

*Aynı harfle ve aynı sütunda gösterilmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farksızdır ($p<0,05$).

Tablo 4.3'de çözündürmeye uğramış ve kontrol (hiç dondurulmadan pişirilmiş) ekmeklerine ait sertlik (N) değerleri gösterilmiştir. Verilen sonuçlara göre %35 Amp değerinde yapılan çözündürmeler ve %25 genlikte yapılan 20 dakika çözündürmenin kontrol ekmeğinden sertlik olarak önemli derecede bir farkı yoktur ($p>0,05$). %25 genlikte 20 dakika hariç yapılan çözündürmeler ile %45 genlikte yapılan çözündürme ve

buzdolabında yapılan çözündürme kontrol örneğinden sertlik olarak önemli ölçüde farklıdır ($p<0,05$). %25 amp değerinde 20 dakika ve %35 amp değerinde yapılan tüm çözündürmeler ile iklimlendirme kabininde yapılan çözündürme arasında sertlik açısından önemli bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$). %25 genlikte yapılan 15 ve 25 dakikalık çözündürmeler, %45 genlikte yapılan çözündürmeler ve buzdolabında yapılan çözündürmelerde sertlik değeri kontrol ekmeğine göre önemli derecede artmıştır ($p<0,05$). %35 amp değerinde yapılan çözündürmeler iklimlendirme kabininde ve buzdolabında yapılan çözündürmelere oranla ekmeğin sertlik değerini azaltmış ve kontrole daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır ($p>0,05$).

Dondurma işlemi sebebiyle ortaya çıkan sertlik değeri tüm çözündürme yöntemlerinde kontrol ekmeğine göre yüksek çıkmıştır ($p>0,05$). Bunun yanısıra buzdolabında çözündürme (4°C sıcaklık 1 saat) yöntemiyle elde edilen ekmekte sertlik değeri, kontrol ekmeğiyle kıyaslandığında yüksektir ($p<0,05$). Ultrasesle yapılan çözündürmelerden %35 genlik değerindeki tüm sürelerde (15,20 ve 25 dakika) elde edilen ekmeklerle kontrol ekmeği arasında önemli bir fark bulunamamıştır ($p>0,05$).




**Şekil 4.5** Ekmek örneklerinin sertlik değerleri

Şekil 4.5'de farklı amp değerlerindeki çözündürmelerin sertlik değeri üzerindeki etkisi görülmektedir. %25 amp 15 dakikalık çözündürmenin diğer tüm ekmeklere göre çok yüksek bir sertliğe sahiptir (Şekil 4.5) Bunun yanısıra %45 amp değerinde yapılan çözündürmeler ile buzdolabında (4°C sıcaklık 1 saat) yapılan çözündürmelerin sertlik değerlerinin kontrol ekmeğine kıyasla önemli derecede farklı ve daha sert oldukları Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

### 4.2.3 Ekmeklerde Dış Kabuk Rengi

Ekmeklerde dış kabuk göze çarpan ilk detaydır. Tüketici fırınlardan ya da ekmeği temin ettiği yerden ekmeğe ulaşırken ilk olarak dış kabuğunu görür. Bu nedenle ekmeğin dış kabuğu arzu edilen renkte yani açık kahverengi ve homojen bir görünümde olmalıdır [40].

Ekmeğin dış kabuk renginin oluşumuyla ilgili birden çok fikir vardır. Bunlardan bir tanesi hamurda bulunan basit şekerlerin ya da basit şekerler harici dekstrinlerin ekmeğin pişirilmesi sırasında maruz kaldıkları yüksek sıcaklık (230°C) sonucu karamelizasyona uğramasıdır. Bu karamelizasyon sonucunda kabukta ekmeğe has kahverengi renk oluşur. Bu rengin oluşmasının yanısıra meydana gelen karamelizasyon sonucu ekmeğin kabuğunda kendine has bir aroma oluşmaktadır. Yapılan çalışmaların bazılarında ekmeğin kabuk renginin tercih edilenden uzak oluşunun sebebinin hamurdaki şeker miktarının eksikliğinden kaynaklanabileceği belirtilmektedir. Karamelizasyonun az gerçekleşmesi sonucu ekmek kabuğu kendine has kahverengi renkten uzaklaşır ve açık gri ile kremimsi renk arasında bir renk alır [45].

Gerek oda sıcaklığında uzun süre bekleme gerekse yüksek sıcaklıklarda yapılan işlemler sonucu gıdada meydana gelen kahverengimsi renk oluşumu esmerleşme reaksiyonları olarak tanımlanmaktadır. Yukarıda bahsedildiği üzere esmerleşme reaksiyonu şekerlerin karamelizasyonuyla olabileceği gibi ortamda proteinlerin varlığına da gerek duyabilmektedir. Maillard 1912 yılında bu esmerleşme reaksiyonunu tanımlayan kişi olmuştur. Ortamda şekerlerle birlikte amino asitlerin varlığında yüksek sıcaklıklara çıkıldığında gıdada esmerleşme reaksiyonun gerçekleşebileceğini ve gıdanın renginin kahverengimsi bir renk alacağı belirtilmiştir. Aynı zamanda bu reaksiyonlarla birlikte sadece kabuk renginin kahverengiye dönüşmesi değil aynı zamanda ekmek kabuğunda bu reaksiyonlara bağlı kendine has bir ekmek aromasının da oluşacağı yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Ekmek kabuğu renginin istenen kahverengimsi renkten

uzaklaşması demek kabukta meydana gelen esmerleşme reaksiyonlarının azlığına işaret göstermektedir. Bu esmerleşme reaksiyonlarının azlığı sadece dış görünüşü etkilemekten ziyade kabuktaki kendine has aromanın azalmasına sebep olabilmektedir. Bu azalmayla birlikte ekmekte kalite kusuru meydana gelebilmektedir [45].

Yapılan bir çalışmada ekmekteki şekerin tek başına kabuk renginin kahverengiliğini oluşturmada yetersiz olduğu bildirilmektedir. Bu yüzden ekmeğin içerisindeki proteinlerin ya da amino bileşenlerinin varlığının gerekli olduğu bildirilmektedir. Ekmek yüzeyinde oluşan kahverengimsi rengin birden çok faktörden etkilendiği görülmektedir. Örneğin pişirmenin başında ya da pişirme boyunca ortama buhar verilmesi de ekmeğin kabuk rengini etkilemektedir. Pişirmenin en başında verilen kısa süreli buhar ile tüm pişirme süresince verilen buhar sonucu elde edilen ekmeklerin kıyaslanmasıyla birlikte sadece başlangıçta verilen buharın ekmeğin kabuk renginde tüm pişirme boyunca verilen buhardan daha etkili olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmadaki ekmeklerin pişirilmesi sırasında da başlangıçta buhar verilmiştir [45].

**Tablo 4.4** Ekmek dış kabuk renk özellikleri

| | **Kabuk Rengi** | | |
|---|---|---|---|
| | **L*** | **a*** | **b*** |
| 25 amplitude 15 dk | 53,36±2.12a | 12.51±0.11bc | 21.70±1.75a |
| 25 amplitude 20 dk | 59,11±0.21ab | 11.90±0.52abc | 26.87±0.21bcd |
| 25 amplitude 25 dk | 59,33±1.91ab | 10.85±0.57a | 26.32±2.66bcd |
| 35 amplitude 15 dk | 59,79±0.23ab | 11.89±0.07abc | 31.31±0.11e |
| 35 amplitude 20 dk | 57,86±0.96ab | 12.78±0.04bc | 29.29±1.46cde |
| 35 amplitude 25 dk | 56,83±0.34ab | 12.68±0.20bc | 29.70±0.76de |
| 45 amplitude 15 dk | 55,16±3.23ab | 13.02±0.19c | 26.60±0.65bcd |
| 45 amplitude 20 dk | 56,47±3.63ab | 11.59±0.15ab | 29.17±0.07cde |
| İklimlendirme (30 °C 30 dak) | 61,82±0.51b | 11.94±0.49abc | 26.21±0.47bcd |
| Buzdolabı (4 °C, 60 dak) | 58,37±0.07ab | 10.95±0.24a | 23.20±0.47ab |
| Kontrol (Normal ekmek) | 59,92±0.19ab | 12.14±0.42abc | 25.14±0.05abc |

*Aynı harfle ve aynı sütunda gösterilmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farksızdır ($p<0,05$).

Ekmek kabuğunda yapılan renk ölçümü Tablo 4.4'de belirtilmiştir. Yapılan çözündürmelerde ekmek kabuğunun L* parlaklık değeri kontrol ekmeğiyle

kıyaslandığında önemli bir fark tespit edilmemiştir (p>0,05). Sadece iklimlendirme kabininde yapılan çözündürmenin L* değeri diğer örneklerden yüksektir.

Ekmeklerin yüzeyindeki kırmızılık "a*" değeri kontrol ekmeği ve çözündürülmüş hamurlar arasında kıyaslandığında önemli bir farklılık görülmemiştir (p>0,05) (Tablo 4.4). Buzdolabında ve %25 amp 25 dakika çözündürme diğer yöntemlere göre kırmızılık a* değerini düşürmüştür. %35 amp değerinde yapılan çözündürmelerden 20 ve 25 dakikalık çözündürmelerin kontrol ekmeğine yakın kırmızılık (a*) değeri verdiği görülmüştür.

Tablo 4.4'e bakıldığında %35 Amp değerinde yapılan çözündürmelerden 15 ve 25 dakikalık çözündürme kontrol örneğine kıyasla sarılık b* değerini arttırmıştır (p<0,05). Diğer çözündürme yöntemleri ile kontrol ekmeği arasında b* sarılık değeri bakımından önemli bir farklılık yoktur (p>0,05).

### 4.2.4 Ekmek İçi Rengi Analizi

Ekmek içi renginin kremsi beyaz renkte oluşu kabul edilebilir bir renk olarak tarif edilmektedir [40].

**Tablo 4.5** Ekmek içi renk özellikleri

| | İç Renk | | |
|---|---|---|---|
| | **L*** | **a*** | **b*** |
| 25 amplitude 15 dk | 69.27±1.42b | 0.67±0.05a | 15.36±0.73a |
| 25 amplitude 20 dk | 69.73±0.17b | 0.52±0.06a | 15.59±0.13a |
| 25 amplitude 25 dk | 69.18±0.68b | 0.45±0.08a | 15.82±0.18a |
| 35 amplitude 15 dk | 69.63±0.83b | 0.51±0.24a | 16.09±1.58a |
| 35 amplitude 20 dk | 69.96±1.45b | 0.44±0.31a | 15.44±0.29a |
| 35 amplitude 25 dk | 65.57±1.53a | 0.57±0.10a | 15.00±0.34a |
| 45 amplitude 15 dk | 72.13±0.22b | 0.29±0.03a | 15.38±0.47a |
| 45 amplitude 20 dk | 71.09±0.03b | 0.36±0.01a | 15.89±0.05a |
| İklimlendirme (30 °C, 30 dak) | 70.01±0.62b | 0.37±0.17a | 15.91±0.34a |
| Buzdolabı (4 °C, 60 dak) | 72.00±0.95b | 0.51±0.06a | 15.97±1.00a |
| Kontrol (Normal ekmek | 71.19±0.05b | 0.61±0.06a | 15.43±0.32a |

*Aynı harfle ve aynı sütunda gösterilmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farksızdır (p<0,05).

Tablo 4.5'deki sonuçlar incelendiğinde ekmek iç renginin parlaklık (L*) değerinde %35 amp değerinde 25 dakika çözündürmesi hariç diğer ekmekler ile kontrol grubu arasında bir farklılık gözlemlenmemiştir ($p>0,05$). %35 genlik 25 dakika çözündürme ekmek içi parlaklık L* değerini düşürmüştür ($p<0,05$).

Ekmek içi kırmızılık (a*) ve sarılık (b*) değerlerinde kontrol ekmeği ve çözündürülmüş ekmekler arasında bir farklılık görülmemiştir ($p>0,05$).

## 4.3 Tartışma ve Öneriler

Taze fırıncılık ürünlerinden ekmek yüzyıllardır insan beslenmesindeki yerini koruduğu gibi günümüzde de gerek besleyici özelliği gerek tat ve aroması sebebiyle çoğu insanın sevdiği bir üründür. Bu ürünün kısa raf ömrüne sahip olması mikrobiyal bozulmalara ve bayatlamaya maruz kalması sebebiyle hamurların dondurarak depolanması yönteminin kullanılmasına sebep olmuştur. Dondurarak depolanan hamurların çözündürülmesinde mevcut kullanılan yöntemler iklimlendirme kabininde, oda koşullarında, buzdolabında ya da mikrodalgada çözündürme şeklinde ısıl yöntemlerdir.

Ultrases teknolojisi gıdalarda çözündürme amaçlı da kullanılmaktadır [2]. Ultrases teknolojisinin çözündürme etkisinin dondurulmuş hamurlar üzerinde kullanımı bu çalışmanın temelini oluşturmuştur.

Ultrasesle yapılan çözündürme işlemlerinden %35 amp değerinde yapılan tüm süreler kontrol ekmeğine yakın sonuçlar vermiştir. %35 amp 15 dakikalık çözündürme ekmeklik kalite açısından en ideal koşullar olarak belirlenmiştir. %35 amp 15 dakikalık çözündürmeden elde edilen ekmek spesifik hacimi (mL/g), sertlik (N), ekmek dış kabuk ve iç rengi kontrol ekmeğine yakındır. Bunlara ek olarak %35 amp değerinde yapılan 15 dakikalık çözündürme çalışmada incelenen diğer yöntemlerle (iklimlendirme kabini ve buzdolabında çözündürme) kıyaslandığında, ekmeklik kalite açısından aralarında önemli bir fark görülmemiştir ($p>0,05$). Sadece buzdolobında yapılan çözündürmeden ekmek içi sertlik değeri düşük çıkmıştır ($p<0,05$). Ekmek içi sertlik değeri, kontrol ekmeği ile kıyaslandığında ise aralarında önemli derecede fark tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında ultrasesle yapılan çözündürmeler arasında %35 amp değerinde 15 dakikalık çözündürmenin en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Bununla birlikte kontrol ekmeğine yakın ekmek performansı sergilemesinden dolayı ve diğer yöntemlere göre süreyi azaltmasından dolayı, dondurulmuş hamurların

çözündürülmesinde ultrases teknolojisi, alternatif bir çözündürme yöntemi olarak kullanılabilir.

# KAYNAKÇA


[1] Seonkyeong Yang , Sungmin Jeong , Suyong Lee , "Elucidation of rheological properties and baking performance of frozen doughs under different thawing conditions", Journal of Food Engineering 284 (2020) 110084;

[2] S. NATARAJAN and V. PONNUSAMY, "A review on the applications of ultrasound in food processing", Materials Today: Proceedings, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.516,

[3] Ece YILDIZ, "Gemlik Çeşidi Siyah Sofralik Zeytinlerin İşlenmesinde Ultrases Ve Ozon Uygulamalarinin Etkileri", 2021

[4] Mahmoud Soltani Firouz, Ali Farahmandi, Soleiman Hosseinpour, "Recent advances in ultrasound application as a novel technique in analysis, processing and quality control of fruits, juices and dairy products industries", Ultrasonics – Sonochemistry 57 (2019): 73-88;

[5] Yeşim KANTAŞ, "Effect Of Ultrasound On Drying Rate Of Selected Produce", 2007

[6] T.J. Mason, L. Paniwnyk, J.P. Lorimer, "The uses of ultrasound in food technology", Ultrasonics Sonochemistry 3 (1996) S253-S260

[7] Luyun Cai, Minjie Cao, Joe Regenstein, and Ailing Cao, "Recent Advances in Food Thawing Technologies", Vol.18,2019 Comprehensive Reviewsin Food Science and Food Safety, S953-970;

[8] Dilan KARATAŞ , "The effect of ultrasound on wafer", 2021

[9] Fatma Güler YARANLI, "Elmaların Ultrases Destekli Ozmotik Dehidrasyonu", 2020

[10] Barbara KWIATKOWSKA, Jason Bennett, Joe Akunna, Graeme M. Walker, David H. Bremner, "Stimulation of bioprocesses by ultrasound", Biotechnology Advances 29 (2011): 768-780;

[11] Corina Gambuteanu & Petru Alexe, "Comparison of thawing assisted by low-intensity ultrasound on technological properties of pork Longissimus dorsi muscle", J Food Sci Technol (April 2015) 52(4):2130–2138

[12] Liqing Qiua, Min Zhanga, Bimal Chitrakara, Bhesh Bhandari, "Application of power ultrasound in freezing and thawing Processes: Effect on process efficiency and product quality", Ultrasonics - Sonochemistry 68 (2020) 105230;

[13] Vania Octaviani Selomulyo, Weibiao Zhou, "Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers", Journal of Cereal Science 45 (2007) 1–17;

[14] J. Rouille, A. Le Bail , P. Courcoux, "Influence of formulation and mixing conditions on breadmakingqualities of French frozen dough", Journal of Food Engineering 43 (2000) 197-203;

[15] Jing Gao, Shia Lyn Tay, Audrey Hui Si Koh, Weibiao Zhou , “Dough and bread made from high- and low-protein flours by vacuum mixing: Part 2. Yeast activity, dough proofing and bread quality”, Journal of Cereal Science 77 (2017) 275-283

[16] Jing Gao, Shia Lyn Tay, Audrey Hui Si Koh, Weibiao Zhou, “Dough and bread made from high- and low-proteinflours by vacuummixing: Part 2. Yeast activity, dough proofing and bread quality”, Journal of Cereal Science 77 (2017) 275-283

[17] Francisca Randez-Gil, Pascual Sanz and Jose A. Prieto, “Engineering baker’s yeast: room forimprovement”, TIBTECH JUNE 1999 (VOL 17) 237-244

[18] Sun-Ki Kima, Jung-Hyun Joa, Yong-Cheol Park b, Yong-Su Jinc,d, Jin-Ho Seo , “Metabolic engineering of Saccharomyces cerevisiae for production ofspermidine under optimal culture conditions”, Enzyme and Microbial Technology 101 (2017): 30-35;

[19] Sylwia Onacik-Gür, Anna Szafranska, Marek Roszko, Sylwia Stępniewska, “Interaction of dough preparation method, green tea extract and baking temperature on the quality of rye bread and acrylamide content”, LWT Food Science and Technology 154(2022) 112759;

[20] Factors affecting the stability of the frozen bread dough. I. Prepared by straight dough method, Kline and Saguhara;

[21] Frozen dough. I. Factors affecting the stability of yeasted doughs, Hsu et al., 1979;

[22] Smail Meziani, Irina Ioannou, Jordane Jasniewski , Nabila Belhaj , Jean-Marc Muller , Mohamed Ghoul, Stéphane Desobry , “Effects of freezing treatments on the fermentative activity and gluten networkintegrity of sweet dough”, LWT - Food Science and Technology 46 (2012): 118-126;

[23] Factors involved in the stability of frozen dough. II. The effects of yeast type and dough additives of frozen dough stability,( Wolt and D’Appolonia,1984);

[24] Pablo D. Ribotta, Alberto E. León, and María Cristina Añón, “Effects of Yeast Freezing in Frozen Dough”, Cereal Chem. 80(4):454–458

[25] Frozen dough: present trend and future Outlook, Lorenz,1974

[26] Chen Xin, Linjie Nie , Hongliang Chen , Jing Li , Bin 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 80 (2018); 8-14

[27] Smail Meziani, Irina Ioannou, Jordane Jasniewski, Nabila Belhaj, Jean-Marc Muller, Mohamed Ghoul, Stéphane Desobry, “Effects of freezing treatments on the fermentative activity and gluten network integrity of sweet dough”, LWT - Food Science and Technology 46 (2012): 118-126;

[28] Eddy F. J. Esselink, Henrie van Aalst, Manuelle Maliepaard and John P. M. van Duynhoven, “Long-Term Storage Effect in Frozen Dough by Spectroscopy and Microscopy”, Cereal Chem. 80(4):396–403;

[29] A. Baier-Schenk, S. Handschin, and B. Conde-Petit, “Ice in Prefermented Frozen Bread Dough—An Investigation Based on Calorimetry and Microscopy”, Cereal Chem. 82(3):251–255;

[30] Vania Octaviani Selomulyo, Weibiao Z.,”Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers”, Journal of Cereal Science 45 (2007): 1–17;

[31] Ottavia Parenti, Lorenzo Guerrini∗ , Bruno Zanoni,”Techniques and technologies for the breadmaking process with unrefined wheat flours”, Trends in Food Science & Technology Volume 99, May 2020, Pages 152-166;

[32] Waqas Muhammad Qazi, Simon Ballance, Anne Kjersti Uhlen, Katerina Kousoulaki, John-Erik Haugen, Anne Rieder, “Protein enrichment of wheat bread with the marine green microalgae Tetraselmis chuii – Impact on dough rheology and bread quality”, LWT Food Science and Technology 143 (2021) 111115;

[33] Yang LI, Caiming Li, Xiaofeng Ban, Li Cheng, Yan Hong, Zhengbiao Gu, Zhaofeng Li, “ New insights into the alleviating role of starch derivatives on dough quality deterioration caused by freeze.”, Food Chemistry 362 (2021): 130240;

[34] Chao Zhang, Hui Zhang, Li Wang , “Effect of carrot (daucus carota) antifreeze proteins on the fermentation capacity of frozen dough”, Food Research International 40 (2007) 763–769

[35] Xuan Wang1, Dudu Pei1, Yuefei Teng1, Jianfen Liang, “Effects of enzymes to improve sensory quality of frozen dough bread and analysis on its mechanism”, J Food Sci Technol (January 2018) 55(1):389–398;

[36] Autio, K., Sinda, E., 1992. “Frozen doughs: rheological changes and yeast viability.” Cereal Chem. 69, 409–413.

[37] Kim, J.-S., 2003. “Effect of thawing temperature on the properties of the Danish pastry made from frozen dough.” Korean J. Food & Nutr. 16, 359–364.

[38] Cano, M., Jeremiah, L., 1996. “Freezing Effects on Food Quality” Marcel Dekker, New York, USA.

[39] Ke Xu, Chengdeng Chi, Zhenyun She, Xingli Liu, Yanyan Zhang, Hongwei Wang, Hua Zhang, “Understanding how starch constituent in frozen dough following freezing-thawing treatment affected quality of steamed bread”, Food Chemistry 366 (2022) 130614;

[40] Giannou, V. Tzia, C. ve Le Bail, A., (2006). "Quality and safety of frozen bakery products", Food Science and Technology-New York-Marcel Dekker-, 155: 481.;

[41] R. Sharadanant, K. Khan, “Effect of Hydrophilic Gums on the Quality of Frozen Dough: II. Bread Characteristics”, Cereal Chem. 80(6):773-780

[42] Gujral, H. S., Guardiola, I., Carbonell, J. V., & Rosell, C. M. (2003). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(13), 3814-3818).

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

[44] Jian- Li Yao, Qing-An Zhang, Meng-Jia Liu, "Effects of apricot kernel skins addition and ultrasound treatment on the properties of the dough and bread", DOI: 10.1111/jfpp.15611

[45] G. L. Bertram, "Studıes On Crust Color. I. The Importance Of The Brownıng Reactıon In Determınıng The Crust Color Of Bread.", Cereal Chemistry 30 (1953) 127-139

# TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

**Konferans Bildirileri**

**1**.Melih Çepiç, Görkem Özülkü, "Dondurulmuş Hamurların Çözündürülmesi Prosesinde Ultrasesin Kullanılması", Uluslararası Ege Bilimsel Araştırmalar Sempozyumu 2021