

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELMALARIN ULTRASES DESTEKLİ OZMOTİK  
DEHİDRASYONU: KURUMA KARAKTERİSTİKLERİ VE  
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FATMA GÜLER YARANLI**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2020**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ELMALARIN ULTRASES DESTEKLİ OZMOTİK  
DEHİDRASYONU: KURUMA KARAKTERİSTİKLERİ VE  
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FATMA GÜLER YARANLI**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2020**

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinasyon Birimi tarafından 2014FBE018 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**FATMA GÜLER YARANLI**



## ÖZET

**ELMALARIN ULTRASES DESTEKLİ OZMOTİK  
DEHİDRASYONU: KURUMA KARAKTERİSTİKLERİ VE  
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FATMA GÜLER YARANLI  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SAMİ GÖKHAN ÖZKAL)**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2020**

Bu çalışmada, golden cinsi elma dilimlerinin ultrases destekli ozmotik kurutma ve ozmotik kurutma işlemleriyle dehidrasyon yeteneği ve modellenmesi, renk, yoğunluk ve tekstür özellikleri üzerine olan etkilerinin araştırılarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla 35 kHz frekansa sahip ultrases dalgası veren ultrasonik banyo kullanılarak, ultrases ve ozmotik kurutma ön işlemleri, süre (30, 60, 90, 120, 150, 210, 270, 330 dakika) ve sıcaklık (30, 40 ve 50 °C) faktörlerinin etkisi yorumlanmıştır.

Çalışmada, elma dilimlerinin dehidrasyon kinetiğini incelemek amacıyla Peleg modeli kullanılmıştır. Sıcaklık arttıkça örneklerin Peleg modeli kinetik sabitlerinden  $K_1$  artmış,  $K_2$  ve  $K_3$  anlamlı bir değişim göstermemiş,  $K_4$  azalmıştır, denge su kaybında anlamlı bir değişim olmamış, denge şeker kazanımı artmıştır.

Çalışmada, sıcaklık, ozmotik kurutma, ultrases desteği ve ön işlem süresinin elma dilimlerinin su kaybı, şeker kazanımı, ağırlık kaybı; katı yoğunluk, görünen yoğunluk, gözeneklilik değerleri; tekstür ve renk parametreleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ ) üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Ozmotik kurutma ve ozmotik kurutmanın ultrases enerjisi ile kombine olduğu uygulamalarda, sıcaklık ve işlem süresinin artmasıyla su kaybı, şeker kazanımı ve ağırlık azalması değerleri artmıştır. En yüksek artış her iki işlem için 50 °C'de 330 dakikada gerçekleşmiştir. En yüksek değişimlerin 330 dakikalık ön işlem sonunda katı yoğunlukta her iki işlem için 30 °C'de, görünen yoğunluk ve gözeneklilik değerlerinde ultrases destekli işlemde 40 °C'de, ozmotik kurutma işleminde 50 °C'de olduğu, tekstür özelliği olan delme ve sıkıştırma değerlerinde her iki işlem için 50 °C'de olduğu hesaplanmıştır. Renk parametreleri olan  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  değerlerinde istatistik açısından fark olmadığı, en yüksek değişimin  $a^*$  değerinde 330 dakika ultrases destekli işlemde 50 °C'de olduğu tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Ultrases, Ozmotik, Dehidrasyon, Elma, Kinetik Modelleme

## **ABSTRACT**

### **ULTRASOUND ASSISTED OSMOTIC DEHYDRATION OF APPLES: DRYING CHARACTERISTICS AND EFFECTS ON PHYSICAL PROPERTIES**

**MSC THESIS**

**FATMA GULER YARANLI**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
FOOD ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF. DR. SAMİ GÖKHAN ÖZKAL)**

**DENİZLİ, AUGUST 2020**

In this study, it is aimed to investigate the effects of golden apple slices on dehydration ability and modeling, color, density and texture properties with ultrasound assisted osmotic dehydration and osmotic dehydration processes. For this purpose, using the ultrasonic bath that gives an ultrasound wave with a frequency of 35 kHz, the time (30, 60, 90, 120, 150, 210, 270, 330 minutes) and temperature (30, 40 and 50 °C) factors in ultrasound and osmotic dehydration pretreatments, the effect has been interpreted.

In the study, Peleg model was used to examine the dehydration kinetics of apple slices. As the temperature increased, the Peleg model kinetic constants of the samples  $K_1$  increased,  $K_2$  and  $K_3$  did not show any significant change,  $K_4$  decreased, there was no significant change in balance water loss, balance sugar gain increased.

In the study, temperature, osmotic dehydration, ultrasound support and apple slices of pretreatment time, water loss, sugar gain, weight loss; solid density, apparent density, porosity values; effects on texture and color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ ) were evaluated.

In applications where osmotic dehydration and osmotic dehydration is combined with ultrasound energy, the values of water loss, sugar gain and weight loss have increased with increasing temperature and processing time. The highest increase occurred in 330 minutes at 50 °C for both processes. After 330 minutes of pretreatment, the highest variations in solid density were observed at 30 °C for both processes, the highest variations in apparent density and porosity were observed at 40 °C in ultrasound assisted process and 50 °C in osmotic dehydration and the highest variations in texture values were determined at 50 °C for both processes. It was determined that there was no statistical difference in  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  color parameters and the highest change in  $a^*$  value was at 330 minutes 50 °C ultrasound assisted process.

**KEYWORDS:** Ultrasonic, Osmotic, Dehydration, Apple, Kinetic Modeling

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ .....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GIDALARIN KURUTULMASI .....</b>	<b>2</b>
2.1    Kurutma Yöntemleri.....	3
2.1.1    Doğal Kurutma .....	3
2.1.2    Yapay Kurutma.....	3
2.2    Gıda Endüstrisinde Kullanılan Kurutma Sistemleri .....	3
<b>3. ULTRASES.....</b>	<b>5</b>
3.1    Ultrasesin Tanımı ve Sınıflandırılması.....	5
3.2    Ultrases Etki Mekanizması ve Kavitasyon.....	7
3.3    Ultrases Sisteminin Bileşenleri .....	9
3.4    Gıda Sanayinde Ultrases Kullanımı .....	9
<b>4. OZMOTİK KURUTMA.....</b>	<b>11</b>
4.1    Tanımı ve Sınıflandırılması .....	11
4.2    Ozmotik Kurutmanın Etki Mekanizması .....	11
4.3    Gıda İşlemede Ozmotik Kurutma İşleminin Kullanım Alanları .....	13
<b>5. GIDALARIN KURUTULMASINDA ULTRASES DESTEKLİ OZMOTİK KURUTMA KULLANIMI ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>14</b>
<b>6. YÖNTEM.....</b>	<b>19</b>
6.1    Materyal.....	19
6.2    Yöntem .....	19
6.2.1    Sitrik Asit Uygulaması ve Ön işlem .....	19
6.2.2    Ultrases Destekli Ozmotik Dehidrasyon ve Ozmotik Dehidrasyon .....	20
6.2.3    Kuru Madde Tayini.....	20
6.3    Hesaplamalar .....	20
6.3.1    Şeker Kazanımı ve Su Kaybının Hesaplanması .....	20
6.3.2    Renk Analizi .....	21
6.3.3    Tekstür Analizi .....	22
6.3.4    Yoğunluk Analizi.....	22
6.3.5    İstatistiksel Analizler .....	23
6.4    Modelleme Çalışmaları .....	24
6.4.1    Dehidrasyon Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları .....	24
6.4.1.1    Peleg Model .....	24
6.4.2    Regresyon Analizleri .....	25
<b>7. BULGULAR .....</b>	<b>26</b>
7.1    Su Kaybı.....	26
7.2    Şeker Kazanımı .....	30

7.3	Ağırlık Azalması .....	35
7.4	Dehidrasyon Kinetiği Modellenmesi.....	39
7.5	Yoğunluk ve Gözeneklilik.....	43
7.6	Renk Analizi Bulguları.....	46
7.7	Tekstür Analizi Bulguları .....	49
<b>8.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>52</b>
<b>9.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>55</b>
<b>10.</b>	<b>EKLER.....</b>	<b>62</b>
	EK A: 30 °C, 40 °C ve 50 °C’de Ultrases Destekli Ozmotik Kurutma ve Ozmotik Kurutma İşlemi Uygulanmış Elma Örneklerinin L*, a*, b* ve ΔE Değerleri, Tek Yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları .....	62
	EK B: Ozmotik kurutma ve ultrases destekli ozmotik kurutma işlemi uygulanmış örneklerin 30 °C-40 °C-50 °C’de sertlik istatistik değerleri, Tek Yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları.....	67
	EK C: Farklı sıcaklıklarda ozmotik kurutma ve ultrases destekli ozmotik kurutma işlemi uygulanmış örneklerin görünen yoğunluk, katı yoğunluk ve gözeneklilik istatistik değerleri, Tek Yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları .....	70
	EK D: Resimler .....	73
<b>11.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>75</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1: Yüksek ve düşük frekanslı dalgalar için basınç-zaman grafiği .....	5
Şekil 3.2: Ses Frekans aralıkları.....	6
Şekil 3.3: Genlik ve dalga boyu .....	7
Şekil 3.4: Akustik kavitasyon balonunun oluşumu ve patlaması.....	8
Şekil 3.5: Gıda işleme alanındaki ultrases uygulamalarının sınıflandırılması..	10
Şekil 4. 1: Gıdada meydana gelen kütle geçişi .....	12
Şekil 7. 1: 30°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması. ....	26
Şekil 7. 2: 40°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması. ....	27
Şekil 7. 3: 50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması. ....	28
Şekil 7. 4: Ultrases Destekli Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması.....	29
Şekil 7. 5: Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması. ....	30
Şekil 7. 6: 30°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması. ....	31
Şekil 7. 7: 40°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması. ....	32
Şekil 7. 8: 50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması. ....	32
Şekil 7. 9: Ultrases Destekli Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması. ....	34
Şekil 7. 10: Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması. ....	34
Şekil 7. 11: 30°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması. ....	35
Şekil 7. 12: 40°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması. ....	36
Şekil 7. 13: 50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması. ....	37
Şekil 7. 14: Ultrases Destekli Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması.....	38
Şekil 7. 15: Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması. ....	39

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 7.1: Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemlerinde 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta elma örneklerindeki su kaybına ait Peleg model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	40
Tablo 7.2: Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemlerinde 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta elma örneklerindeki şeker kazanımına ait Peleg model sabitleri ve istatistiksel değerler.....	42
Tablo 7.3: Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemlerinde 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta denge su kaybı ve şeker kazanımı değerleri .....	43
Tablo 7.4: Ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örneklerin katı yoğunluk değerleri.....	44
Tablo 7.5: Ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örneklerin görünen yoğunluk değerleri.....	45
Tablo 7.6: Ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örneklerin gözeneklilik değerleri.....	46
Tablo 7.7: Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemlerine ait 30 °C-40 °C-50 °C'de elma örneklerinde L*, a*, b*, ΔE istatistik değerleri.....	48
Tablo 7.8: Ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örneklerin 30 °C-40 °C-50 °C'de sertlik istatistik değerleri.....	51

## SEMBOL LİSTESİ

- m** : Örnek ağırlığı (g)  
**g** : Gram (g)  
**w<sub>i</sub>**: Başlangıçtaki örnek ağırlığı (g)  
**w<sub>f</sub>**: İşlem sonrası örnek ağırlığı (g)  
**x<sub>i</sub>**: Örneğin başlangıçtaki nem içeriği (g su/g toplam meyve kütlesi)  
**x<sub>f</sub>**: Örneğin işlem sonrası nem içeriği (g su/g toplam meyve kütlesi)  
**x<sub>si</sub>**: Örneğin başlangıçtaki suda çözünen kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı)  
**x<sub>sf</sub>**: Örneğin işlem sonrası suda çözünen kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı)  
**S<sub>i</sub>**: Örneğin başlangıçtaki kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı)  
**S<sub>f</sub>**: Örneğin işlem sonrası kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı)  
**L\*, a\*, b\*** : Renk uzayı koordinatları  
**N**: Newton  
**K<sub>1</sub>, K<sub>3</sub>** : Peleg hız sabiti (dakika. g kurumadde / g su)  
**K<sub>2</sub>, K<sub>4</sub>** : Peleg kapasite sabiti (g kurumadde / g su)  
**x<sub>w</sub>**: Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)  
**x<sub>w0</sub>**: Başlangıçtaki nem içeriği (g su/g kuru madde)  
**x<sub>we</sub>**: Denge nem içeriği (g su/g kuru madde)  
**x<sub>s</sub>**: Herhangi bir t anındaki kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı)  
**x<sub>s0</sub>**: Başlangıçtaki kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı)  
**x<sub>se</sub>**: Denge kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı)  
**t**: Dehidrasyon zamanı (dakika)  
**ΔE**: Toplam renk değişimi  
**MR**: Su kaybı/Şeker kazanımı oranı  
**RMSE**: Tahmini standart hata  
**X<sup>2</sup>**: Ki-kare

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans sürem boyunca, tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, her zaman yol gösteren saygıdeğer hocam sayın Prof. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL'a; tezime katkı sağlayan jüri üyeleri sayın Doç. Dr. Erkan KARACABEY ve Doç. Dr. Engin DEMİRAY'a; gerek okuldaki çalışmalarımda, gerekse özel yaşamımda bana devamlı destek veren sayın Araş. Gör. Özlem ZAMBAK'a; teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisansım ve hayatımın boyunca maddi manevi her türlü desteklerini esirgemeyen aileme ve özellikle her zaman yolumu aydınlatan annem Ismahan GÜLER ve eşim Yusuf Can YARANLI'ya sonsuz teşekkür ederim.

FATMA GÜLER YARANLI

## 1. GİRİŞ

Gıda muhafaza yöntemlerinin temel amacı, gıdada meydana gelen enzimatik, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişimleri sınırlayabilmek ya da önleyebilmektir. Farklı muhafaza yöntemlerinde, mikrobiyolojik değişimlerin sebep olduğu mikroorganizmalar yok edilirler ya da çoğalma durumları engellenerek canlı kalırlar. Gıda muhafazasıyla, gıdanın fiziksel yapısı, besin değeri, renk, aroma, duyu özellikleri gibi kalitesini etkileyen değerlerin en az şekilde etkilenmesi sağlanmaktadır (Anonim 2011).

Kurutma işlemi, endüstriyel bir proses olup, gıda tekstil kimya gibi farklı sanayilerde kullanılmaktadır. Gıda sanayisinde meyve ve sebzelerde, raf ömrünün uzaması, besin değerinin korunması, ağırlık azalmasıyla nakliyenin kolaylaşmasında etkili bir yöntemdir. Doğal kurutma yöntemlerinden olan açık havada kurutma ile mineral ve vitamin gibi bileşenlerin korunamaması, farklı kurutma yöntemleri ile en aza indirgenmiş ya da yok edilmiştir (Erbay 2008). Bu nedenle kurutma teknolojisi yeni teknikler ile desteklenmektedir. Ultrases de bu yeni tekniklerden birisidir. Ultrases enerjisinin farklı kurutma teknikleriyle kombine olduğu proseslerde suyun difüzyon katsayısının arttığı, bunun sonucu olarak işlem süresinin kısaldığı, ayrıca ultrases ile ön işlem görmüş kurutulmuş ürünlerin kolay rehidre olduğu gösterilmiştir. Ultrases desteği ile ozmotik kurutma yöntemi uygulanmasındaki amaç, ozmotik kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerdeki nem miktarının daha kısa sürede daha fazla düşürülmesidir (Tüfekçi 2014).

Yapılan literatür araştırmasının sonucunda meyve ve sebzelerin ultrases destekli sistemlerle kurutulmasını inceleyen araştırmaların olduğu görülmüştür. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ile ozmotik dehidrasyon uygulamasının, ürünün kalite özellikleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmalar ise sınırlı sayıda bulunmaktadır. Bu çalışmada ultrases destekli ozmotik dehidrasyonun; golden cinsi elmanın kuruma kinetiğine ve bazı kalite özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## 2. GIDALARIN KURUTULMASI

Meyve ve sebzelerin kurutulularak muhafaza edilmesi eski çağlardan bu yana yapılan gıda muhafaza metodu olarak bilinip, güneşte kurutma yaygın olarak kullanılmıştır (Doymaz 2003). Kurutma kelimesinin anlamı, gıdada bulunan nemin uzaklaştırılması anlamına gelmektedir (Ratti 2001).

Kurutma işlemi, ısı aktarımı ve kütle transferinin gerçekleştiği fiziksel bir işlemdir. Gıdada kurutma işlemi sırasında meydana gelen ısı ve kütle aktarımı sonucu duyuşal, kimyasal, mikrobiyolojik ve fiziksel kalite özelliklerinde değişimler oluşabilir. Su aktivitesi, gıda maddelerinin dayanıklılığında en etkili faktörlerden birisidir. Kurutmanın temel amacı gıdanın içinde bulunan suyun kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik reaksiyonlarda kullanımını sınırlandırarak gıdanın raf ömrünü ve dayanıklılığını arttırmaktır. Aynı zamanda çeşitli besin içeriklerini korumak ve fonksiyonelliği yüksek ürünler elde etmek gibi amaçları da vardır. Bu özellikleriyle kurutma, çok çeşitli ürünler için en kolay ve genel gıda muhafaza yöntemidir (Cemeroğlu 2004; Kutlu 2012; Sabancı, 2013).

Kurutmaya ait ilk kayıtlar 18. yy'a ait olup, meyvelerle ilgiliydi. Bundan sonra, kurutma endüstrisinin gelişimi dünya çapında savaş senaryolarıyla yakından ilişkiliydi. Kırım'daki İngiliz birlikleri (1854-1856) anavatanlarından kurutulmuş sebzeler aldı, Boer Savaşı sırasında (1899-1902) Kanadalılar kurutulmuş sebzeleri Güney Afrika'ya gönderdi ve 1. Dünya Savaşında yaklaşık 4500 ton kurutulmuş sebze ABD'den sevk edildi. 1919 yılına gelindiğinde, ABD'de işlenmiş ürünler arasında yeşil fasulye, lahana, havuç, kereviz, patates, ıspanak, mısır, şalgam ve çorba karışımı vardı (Barbosa-Canovas ve Vega-Mercado, 1996).

## **2.1 Kurutma Yöntemleri**

### **2.1.1 Doğal Kurutma**

Güneş ısısından yararlanılarak ürünün yapısındaki su oranının azaltılması işlemine ‘doğal kurutma’ denir. Gıda son ürün kalitesi açısından incelendiğinde; kurutma için geniş alanların gerekmesi, kurutulan ürünün haşere, kuş, böcek, toz gibi zararlılara maruz kalması bu yöntemin en büyük dezavantajlarından. Kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kuruma süresi uzundur, genellikle su oranında % 15’in altına inilemez. Maliyeti açısından doğal kurutma yöntemi diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır (Soysal 2004; Er 2011).

### **2.1.2 Yapay Kurutma**

Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması, ‘yapay kurutma’ olarak adlandırılır. Bu yöntemde ürünün yapısındaki suyun tamamının ya da tamamına yakın kısmının, ürünün yapısında önemli değişiklikler olmadan uzaklaştırılması söz konusudur. Kurutulmuş ürünlerdeki önemli olan nokta, rehidrasyon sonrasında eski durumlarına ya da eski durumlarına en yakın durumlarına dönebilmeleridir (Dadalı 2007).

## **2.2 Gıda Endüstrisinde Kullanılan Kurutma Sistemleri**

Gıda Endüstrisine kullanılan kurutma sistemleri aşağıdaki gibi sınıflanmaktadır (Erbay 2008; Güngör 1997):

1. Akışkan Yatakta Kurutma
2. Dielektrik Kurutma
3. Dondurarak Kurutma
4. Güneşte Kurutma
5. Hava Üfleli Kurutma Sistemleri
6. Infrared (Kızılötesi) Radyant Kurutma

7. Kabin Tipi Kurutucular
8. Karıştırmalı Yatakta Kurutma
9. Mikrodalgalı kurutucular
10. Ozmotik Kurutma
11. Püskürtmeli Kurutucular
12. Solar Kurutucular ile Kurutma
13. Tünel Kurutucular
14. Vakumlu Kurutucular.

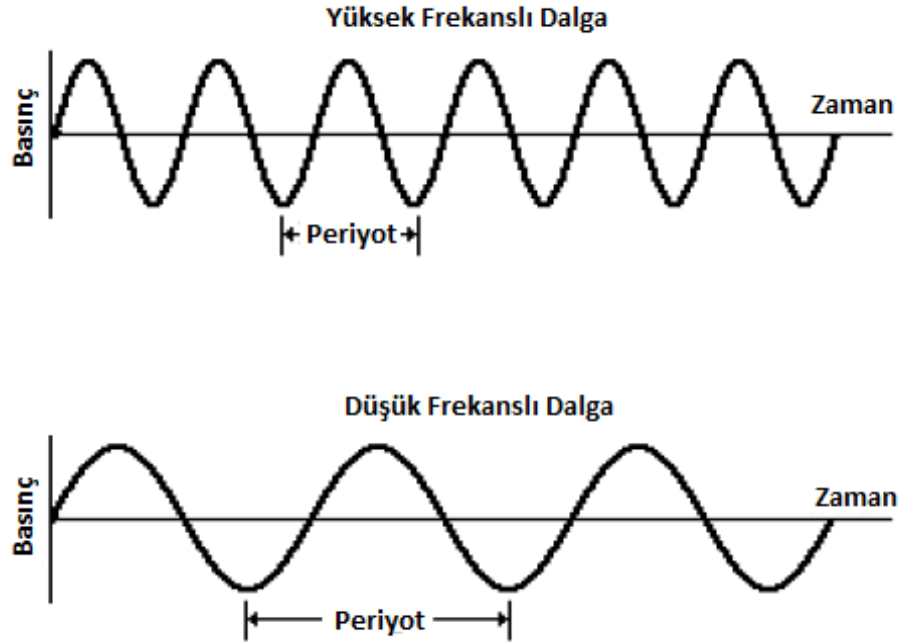


### 3. ULTRASES

#### 3.1 Ultrasesin Tanımı ve Sınıflandırılması

Ses, denge durumundaki taneciklerin titreşimleriyle meydana gelir. Tanecikler ileri ve geri aynı hızda hareket ederler. Taneciğin bu titreşim döngüsüne ses titreşiminin periyodu ve saniyedeki devir sayısına ses frekansı denir. Periyot, bir döngünün tamamlanmasında gerekli süredir ve dalga boyu, sesin bir periyot boyunca aldığı mesafedir. Dalga boyu, birbirini izleyen iki basıncı veya titreşen iki nokta arasında yer alan mesafeyi (aynı yöndeki yayılım boyunca) kastetmektedir. Ses basıncı, ses dalgasının neden olduğu yerel ortam basıncının sapmasıdır (Kantaş 2007).

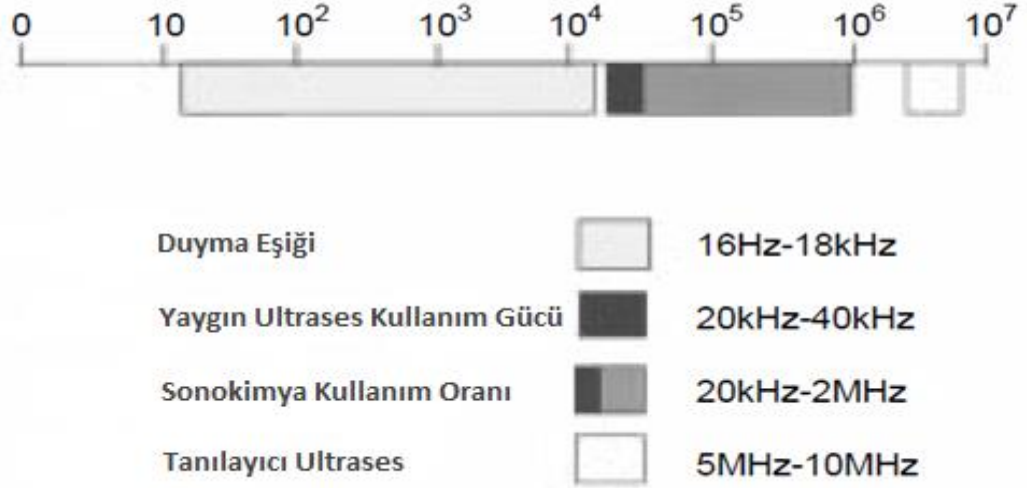
Yüksek ve düşük frekanslı dalgalar için basınç-zaman grafiği Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Yüksek ve düşük frekanslı dalgalar için basınç-zaman grafiği (Kantaş 2007).

Ultrases, insan kulağının işitebileceği aralığın üstünde olan ses frekansıdır. Normal işitme aralığı 16 Hz ile 18 kHz aralığında, ultrases 20 kHz ve 100 MHz

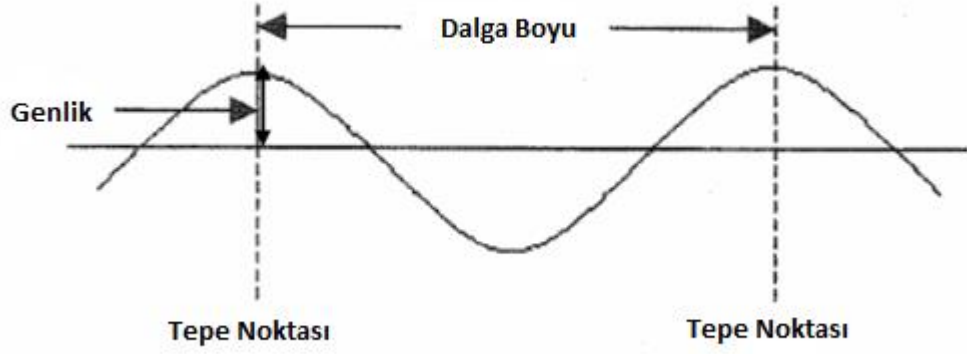
aralığındadır. Genellikle laboratuvar malzemelerinin kullanım aralığı 20 kHz ile 40 kHz arasında olduğu için, ultrasesin kimyasal tepkimelere ve proseslere uygulanması bu aralıktadır. Tıbbi kullanımda, yüksek frekanslı ultrases uygulamasında, 5 MHz’de kavitasyon oluşturduğu belirtilmiştir (Mason 2002). Ses frekanslarının dağılımı Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: Ses Frekans aralıkları (Mason ve Lorimer 2002).

Ses dalgaları, moleküler ortamda iletilebilmektedir, boşlukta iletilemez. Hertz, ses frekansı birimidir. Ses, boyuna dalga özelliğindedir (Üstündağ 2015).

Genlik (A), atmosferik basınçtaki (sıkıştırma ve seyreltme) ses dalgalarının neden olduğu değişim derecesinin (pozitif veya negatif) objektif ölçümüdür. Titreşim yapan cisim, çevredeki hava moleküllerini sıkıştırmasına veya genişlemesine neden olarak basınç bozukluğu oluşturur. Bu bozulma, ortamda bulunan partikülden partiküle geçerek enerjiyi taşır. Genlik, oluşan dalga boyunun en tepe noktasıdır. Ortama aktarılan enerji miktarı genliğe bağlıdır. Enerji arttıkça, daha geniş bir genlikle titreşim gerçekleşir. Genlik büyüdükçe, daha çok enerji oluşur, bu dalgalanmanın büyük bir mesafeye geçmesine olanak sağlamaktadır. Daha büyük genliğe sahip sesler, atmosfer basıncında yüksek basınçtan düşük basınca daha büyük değişiklikler üretecektir. Genlik ve dalga boyu şeması Şekil 3.3’de verilmiştir (Kantaş 2007).



Şekil 3.3: Genlik ve dalga boyu (Kantaş 2007).

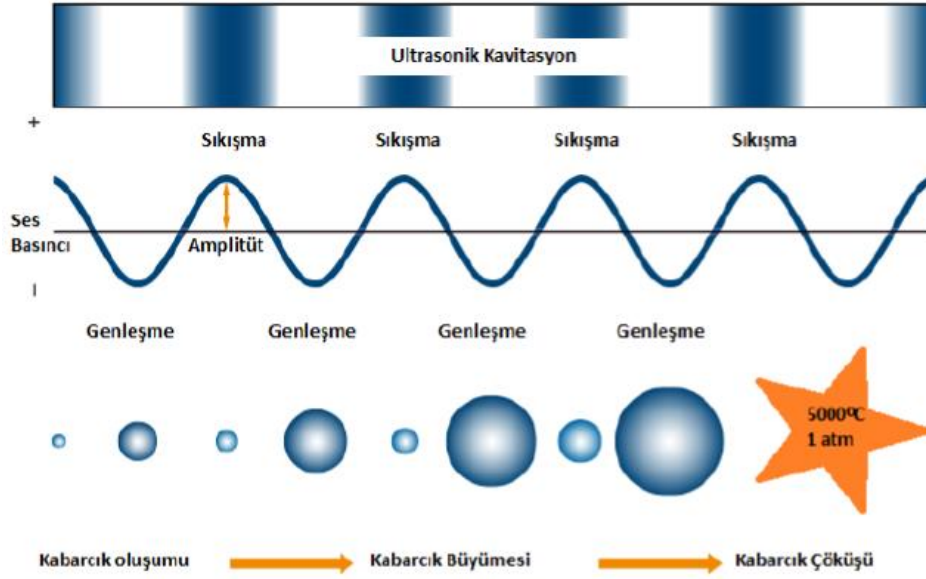
### 3.2 Ultrases Etki Mekanizması ve Kavitasyon

Ultrases, zamanla değişen basınca bağlı olarak, ortamın moleküler yapısını sırayla sıkıştıran ve geren moleküllerin titreşim hareketini tetikleyen basınç dalgaları aracılığıyla ortama iletilir. Kavitasyon, negatif basınç uygulandığında ve moleküller arasındaki mesafe Van der Waals mesafesinin en az iki katı olduğunda sıvı bir ortamda boşlukların oluşumu olarak tanımlanabilir (Kantaş 2007). Ultrases bir sıvıdan geçerken, genişleme döngüleri sıvı üzerinde negatif basınç uygulayarak molekülleri birbirinden uzaklaştırır (Çiçekdağı 2011).

Ultrases yeterli derecede yoğunluğa sahipse, sıvının tipine ve saflığına göre değişen sıvının seyreltme döngüsü, yerel gerilme mukavemetini aştığında kavitasyon kabarcıkları oluşur (Gerilme mukavemeti, bir malzemenin yırtılmadan germe yükünden dayanabileceği maksimum gerilmedir) (Çiçekdağı 2011). Kavitasyon eşiği, moleküller arası kuvvetlerin moleküler yapıyı sağlam tutamayacağı noktadır. Kavitasyon, mikroskobik kabarcıkların oluşumunu (çekirdeklenme), büyümesini ve hızlı çökmesini (patlaması) içerir (Kantaş 2007).

Kavitasyon çekirdekli bir işlem olup, asılı partikül madde içindeki gaz dolu çatlaklarda veya önceki kavitasyon olaylarından gelen geçici mikro kabarcıklar gibi sıvı içinde önceden var olan zayıf noktalarda meydana gelir. Kavitasyon oluştuğunda, ultrases ile ışınlanan küçük gaz kabarcıkları ses dalgalarından enerjiyi absorbe ederek büyüyecektir. Kavitasyonun büyümesi sesin yoğunluğuna bağlıdır.

Yüksek yoğunluklarda, küçük bir kavitasyon hızla büyüyebilir (Maynard 2000). Akustik kavitasyon kabarcıklarının oluşumu ve çökmesi, Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4: Akustik kavitasyon balonunun oluşumu ve patlaması (Eren 2018).

Büyüyen kavitasyon kritik bir boyuta ulaştığında, ultrasonik ışınlamadan enerjiyi verimli bir şekilde emer. Bu durum rezonans boyutu olarak adlandırılır, sıvıya ve sesin frekansına bağlıdır. Bu noktada, kavitasyon tek bir ses döngüsü sırasında hızlıca büyüyebilir. Kavitasyon, yüksek veya düşük ses seviyesinde büyüdüğünde, enerjiyi verimli bir şekilde ememez ve enerji girişi olmadan kavitasyon devam edemez (Suslick 2000).

Kavitasyonun, kararlı ve geçici kavitasyon olmak üzere iki çeşidi vardır. Kararlı kavitasyon, kabarcıkların, akustik alandan çökmeden veya başka bir şekilde ayrılmadan birkaç kırılma / sıkıştırma döngüsü boyunca denge pozisyonları etrafında salındığı anlamına gelir. Geçici kavitasyon, kabarcıkların başlangıç boyutlarını ikiye katlamak için bir (bazen iki veya üç) akustik döngü boyunca büyür ve sonunda kabarcıkların çökme veya yüzey kararsızlığı ile ilişkili olarak parçalanmasına neden olur (Kantaş 2007).

### 3.3 Ultrases Sisteminin Bileşenleri

Ultrases bileşenleri; güç kaynağı (jeneratör), dönüştürücü ve dağıtıcı olarak 3 farklı kısımda sınıflandırılmaktadır. Ultrases üretiminde jeneratör veya güç kaynağı olarak nitelendirilen güç sağlayıcılar, dönüştürücüler aracılığıyla her türlü enerjiyi (elektrik, manyetik, kinetik vb.) akustik enerjiye çevirirler. Dağıtıcı ise, mekanik titreşimleri sıvı ortama iletmektedir. Gıda işlemede ultrases kullanımında enerjiyi sağlamak için kullanılan ana bileşen, ultrasonik dönüştürücülerdir.

Ultrasonik dönüştürücüler; sıvı zorlamalı, manyetostriktif ve piezoelektrik olmak üzere 3 çeşittir (Mason 1997; Leadley 2006).

Piezoelektrik malzemeler bir elektrik alanı uygulandığında genişler ve büzülür. Ultrases kullanımı için, metal bir kabın duvarına tutturulmuş bir piezoelektriğe yüksek frekanslı alternatif bir elektrik akımı uygulanır ve bu malzemelerin aşağıdaki iki tamamlayıcı özelliği kullanılır:

1. Doğrudan etki; bölümün geniş yüzeylerine basınç uygulandığında, her bir yüze eşit boyutta ancak ters işaretli bir yük üretilir. Bu polarite, yüzeylere gerilim uygulanırsa tersine çevrilir.

2. Ters etki; bölümün bir yüzüne bir yük uygulanırsa ve diğer yüze eşit ancak zıt bir yük uygulanırsa, kristalin tüm bölümü uygulanan yüklerin polaritesine bağlı olarak genişleyecek veya büzülecektir. Böylece, bir piezoelektrik malzeme üzerine hızlı bir şekilde ters yük uygulandığında boyutlarda dalgalanmalar oluşacaktır.

Bu etki, kristal kesitinden temas ettiği herhangi bir ortam üzerinden ultrasonik titreşimleri iletmek için kullanılabilir (Cobley 2007).

Sıvı zorlamalı dönüştürücüler, akışkan sıvının kinetik enerjisini akustik enerjiye dönüştürmede kullanılmaktadırlar (Uzunoglu 2012).

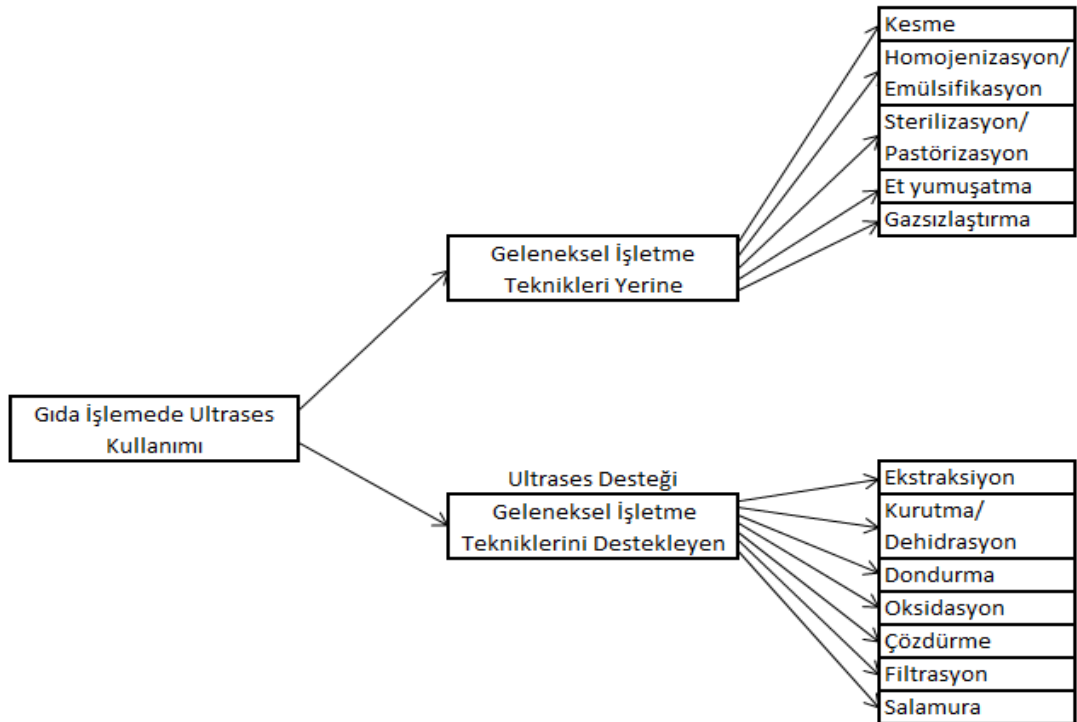
### 3.4 Gıda Sanayinde Ultrases Kullanımı

Ulusoy, K. ve ark. (2011), gıdaları kurutma sırasında yüksek sıcaklığın etkisiyle olumsuzluklarla karşılaştığını, bu olumsuzluğu kaldırmak amacıyla ısı

olmayan süreçlere yönelim olduğunu belirtmiştir. Ultrases uygulamalarının diğer yöntemlerle kullanıldıklarında duyuşsal, mikrobiyolojik, kimyasal ve besin öğelerinin korunması açısından ısıl olmayan yöntemlerde önemli bir teknik olduğunu belirtmiştir.

Ultrases, saniyede 20000 ya da daha fazla titreşim meydana getiren ses dalgaları ile enerji oluşturulmasıdır. Bu ses dalgaları içerisinde geçtikleri sıvılarda kavitasyon meydana getirirler. Ses dalgalarının uygulanmaları sırasındaki etki, kavitasyon oluşumu sonucunda meydana gelen mekanik etkidir. Bu işlem sırasında çok düşük sıcaklık meydana gelmektedir. Sıcaklığın düşük olması olumsuzlukları azaltmaktadır (Piyasena 2013).

Konu ile ilgili olarak yapılan çalışmaların, ultrases uygulamasının diğer muhafaza yöntemleri ile birlikte kullanıldığında sinerjistik etki oluşturabileceği düşünülmektedir. Gıda işleme alanındaki ultrases uygulamalarının sınıflandırılması Şekil 3.5’de verilmiştir (Tao 2015).



Şekil 3.5: Gıda işleme alanındaki ultrases uygulamalarının sınıflandırılması (Tao 2015).

## **4. OZMOTİK KURUTMA**

### **4.1 Tanımı ve Sınıflandırılması**

Ozmotik Kurutma, gıdaların yüksek konsantrasyonda (hipertonik) sulu bir çözeltiye (şeker ve/veya tuz) daldırılma yoluyla, suyunun kısmen uzaklaştırılmasıdır (Derossi 2008). Bu bir karşı akım kütle transfer işlemidir, gıdanın içerisindeki su hipertonik çözeltiye doğru, çözünen madde geçişi çözültiden gıdaya doğru akar. Ozmotik dehidrasyon, hücre zarı geçirgenliği ve yapısına bağlı olan yavaş bir süreçtir (Eroğlu 2010).

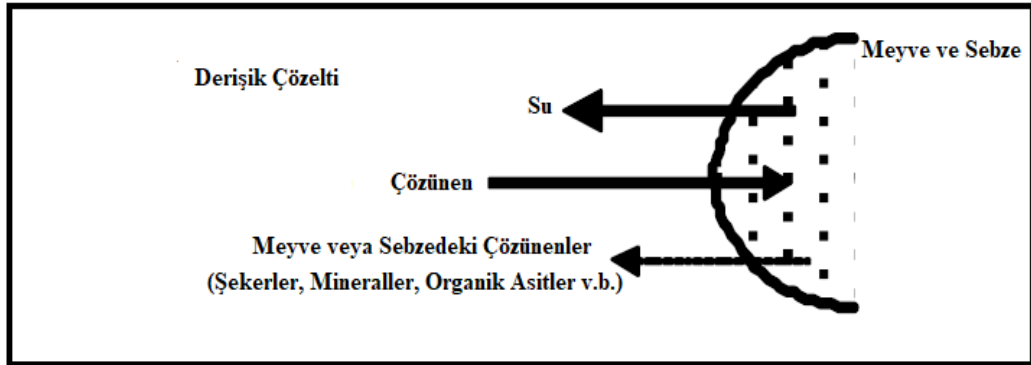
Süreci etkileyen değişkenler; sıcaklık, çözelti konsantrasyonu, ozmotik ajan tipi, boyut ve şekil, karıştırma hızı, katı çözelti kütle oranı ve vakum seviyesinde su kaybı ve katı kazanımı olarak belirtilmiştir (Derossi 2008).

Kütle aktarım hızının yavaş olması nedeniyle bu oranı artırmak için farklı yaklaşımlar geliştirilmiş, ozmotik kurutma ile kombine edilmiştir. Bu yaklaşımlar, kısmi vakum uygulaması, işlem sırasında ultrases desteği, yüksek hidrostatik basınç ön işlemi, vurgulu yüksek yoğunluklu elektrik alanı olarak sınıflandırılmıştır. Biyolojik materyallerin kütle geçişlerinde yarı geçirgen hücre zarının baskın direnci sayesinde ozmotik kurutmada kütle transferi meydana gelmektedir. Suyun yayılma katsayısında hücre zarı önemli rol oynamaktadır. Hücre zarının yapısı kısmi ve toplam geçirgenliği etkiler, dokuda önemli değişiklikler meydana getirir (Rastogi 2000).

### **4.2 Ozmotik Kurutmanın Etki Mekanizması**

Ozmotik dehidrasyon sırasında 3 farklı kütle geçişi olmaktadır. Birinci kütle geçişi, gıdadan çözeltiye doğru akan sudur. İkinci kütle geçişi, çözültiden gıdaya akan çözünenler (hipertonik çözelti bileşenleri) olarak nitelendirilmektedir. Gıdanın kalitesini etkileyen bileşenlerin gıdaya katılımı, bu geçiş ile meydana gelir. Gıda içerisinde çözünenlerin (şeker, mineral, vitamin, organik asit, vb.), çözelti içerisine geçişi üçüncü kütle aktarımıdır. Bu kütle geçişi, son ürünün kalitesine etki

etmektedir. Gıdada meydana gelen kütle geçişi Şekil 4.1’de şematik olarak verilmiştir (Us 2006).



Şekil 4. 1: Gıdada meydana gelen kütle geçişi (Us 2006).

Ozmotik kurutmanın temel prensibi, ozmoz yöntemidir. Ozmoz, çözünen maddelerin yoğunluğu az olan ortamdaki yoğunluğu çok olan ortama geçişi olarak tanımlanmaktadır (Us 2006). Bu sürecin oluşumu makroskobik ve mikroskobik olarak 2 farklı yaklaşım ile açıklanmıştır. Mikroskobik yaklaşım, gerçekleşen kütle aktarımının, çözeltinin konsantrasyonuna ve basınç bileşenlerine bağlı olduğunu belirtmektedir. Makroskobik yaklaşımda yarı geçirgen hücresel yapıya sahip olan üründe, itici güç konsantrasyon ve basınç farkıyla meydana geldiğini, aradaki fark arttıkça daha hızlı gerçekleşeceğini, geçme direncinin hücre duvarına bağlı olduğunu belirtmektedir (Çınar 2009).

Ozmotik kurutma sırasında ısı ve kütle transferini etkileyen değişimler meydana gelmektedir. Gıdada hücresel yapı korunduğu sürece gıdadaki suyun çözeltiye geçiş oranı, ozmotik ajanların gıdaya nüfuz etme oranından yüksektir. Genellikle su kaybı, kuru madde kazanımı, dehidrasyonun ilk saatlerinde en hızlıyken, 3 saat sonrasında hızla azalır. Çözelti hazırlanırken çözeltide kullanılan kuru maddenin (şeker/tuz) molekül büyüklüğü arttıkça, gıdadaki suyun geçişi kolaylaşır ve çözünen madde kaybı azalmaktadır (Çınar 2009).

Ozmotik kurutma sırasında katı madde geçişi ve su kaybı, çözelti ve gıdanın basınçları eşitlenene kadar sürmektedir (Us 2006).



Ozmotik kurutmanın bileşenleri; hipertonic bir çözelti, yarı geçirgen hücre yapısına sahip ürün ve geçiş sırasında oluşacak basınç olarak nitelendirilmektedir (Çınar 2009).

### **4.3 Gıda İşlemede Ozmotik Kurutma İşleminin Kullanım Alanları**

Ozmotik kurutma, gıda maddelerinin bütün veya parçalara ayrılmış şekilde yüksek konsantrasyonlu çözeltilerin içine daldırılması ve gıdadan suyun uzaklaştırılması işlemidir. Bu işlem su kaybı ile sonuçlanmaktadır. Ozmotik çözelti ile gıda maddesi arasındaki konsantrasyon farkından çözünen madde molekülleri zıt akım ile gıdanın bileşimine katılmaktadır. Bu işlem ozmotik kurutma olup, "doğgun hale getirme işlemi" (impregnation soaking process) veya "ozmotik konsantrasyon" (osmotic concentration) olarak adlandırılır (Us 2006).

Ozmotik kurutma ile kurutma çalışmaları ananas, çilek, elma, kayısı, şeftali, Trabzon hurması, armut, kivi, muz, mango gibi farklı meyvelerde; havuç, balkabağı, mantar, domates, soğan, patates, bezelye gibi farklı sebzelerde yapılmıştır. Meyve ile yapılan çalışmalarda genellikle şeker çözeltileri (sakkaroz), sebze ile yapılan çalışmalarda sodyum klorür veya sakkaroz/sodyum klorür çözeltileri kullanılmaktadır. Ozmotik kurutma gıdanın nem içeriğini kısmen düşürmesi nedeniyle, ön işlem olarak nitelendirilmektedir. Daha sonra gıdaya farklı kurutma yöntemleri uygulanmaktadır (Us 2006).

Ozmotik kurutma, tüketici ihtiyaçlarına göre gıda kalitesini etkileyen bir yöntem olup, işletme maliyetlerini düşürmektedir. Tek başına bir kurutma yöntemi değil, kurutma öncesi ara işlem olarak nitelendirilmektedir (Çınar 2009).

## 5. GIDALARIN KURUTULMASINDA ULTRASES DESTEKLİ OZMOTİK KURUTMA KULLANIMI ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Garcia-Noguera ve ark. (2010), çileklerin ultrases destekli ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada etkin su difüzyon katsayısının arttığını ve kuruma zamanının azaldığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında bölünmüş çileklerin, distile edilmiş su ve iki farklı (% 25 w/v - % 50 w/v) sakkaroz çözeltisi içine daldırıldığını, kuruma sırasında ön işlem süresi ve ultrasonik frekans değerleri değiştirilerek kuruma zamanı, su kaybı ve çözünebilir katı kazancını araştırdıklarını belirtmişlerdir. Mikrobiyolojik analizleri sonucunda mikrokanal oluşumu ve meyve doku yapısının değiştiğini saptamışlardır. Yüksek yoğunluklu sakkaroz konsantrasyonuna uygulanan ultrasesin (% 50 w/v, 25 mHz, 45 dakika) su kaybını (% 4,6'dan % 5,1'e) artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca yüksek sakkaroz konsantrasyonlu çözeltide uygulanan ultrasonik desteğin kurutma süresini kısalttığını belirtmişlerdir. Su kaybının yüksek, katı kazanımının sağlandığı bu işlemde renk ve ısıya duyarlı bileşenlerin korunduğunu belirtmişlerdir.

Shamaei ve ark. (2012), kızılcık meyvesinin ultrases desteği ile ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada tekstür, renk ve su aktivitesindeki değişimi araştırmışlardır. Ozmotik dehidrasyon ön işlemlerini, üç farklı sıcaklık altında (30°C, 40°C, 50°C) üçlü çözelti (sakkaroz, NaCl, su) içinde yaptıklarını belirtmişlerdir. Çözelti konsantrasyonları % 40, % 50, % 60 sakkaroz ve % 0, % 4, % 8 NaCl olduğunu belirtmişlerdir. Kalite özelliklerini araştırırken, ultrases frekans hızını, iki değişkene (35 ve 130 kHz) göre belirtmişlerdir. Yüksek sıcaklıkta, sakkaroz ve tuz kullanıldığında daha düşük oranda sertlik ve su aktivitesi olduğunu saptamışlardır. Ultrases uygulama sıklığındaki artışın sertlik ve su aktivitesini azalttığını belirtmişlerdir.

Fernandes ve ark. (2008), kavunun ultrases destekli ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada atmosferik basınçta farklı zamanlardaki yapısal değişimi araştırmışlardır. Ozmotik dehidrasyondan kaynaklı hücre yapılarının bozulduğunu belirtmişlerdir. Ozmotik dehidrasyon sırasında şeker eklenmesine bağlı olarak 30

dakikadan daha az sürede etkin su difüzyon katsayısında azalma görüldüğünü, en fazla 1 saat hücrenin parçalanmasına bağlı olarak etkin su difüzyon katsayısının arttığını belirtmişlerdir. Çalışmada ultrasonik dalgaların, çözeltiden meyveye doğru, şekerlerin kütle transferini artırmakla birlikte, meyve ve çözelti arasındaki şeker konsantrasyonu (ozmotik basınç) farkından kaynaklı meyveden çözeltiliye su geçişi olurken, çözeltiden meyveye doğru olan şeker geçişinin arttığını ifade etmişlerdir. Nicel bağlamda başlangıç nem içeriği 9,10 g su/g katı madde olan kavunun son nem içeriği 0,25 g su/ g kuru maddeye sahip olacak şekilde kurutulursa kurutma süresinin 760 dakika süreceğini belirtmişlerdir (etkin su difüzyon katsayısı  $5 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Eğer 30 dakika ultrases uygulaması yapılırsa bu sürenin 550 dakika azalacağını saptamışlardır (etkin su difüzyon katsayısı  $6,97 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Eğer 1 saat ozmotik dehidrasyon uygulaması yapılırsa bu sürenin 605 dakika azalacağını belirtmişlerdir (etkin su difüzyon katsayısı  $6,27 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

Cárcel ve ark. (2007), elmaların dilimlenerek ultrases yardımlı ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmalarında yoğunluğu yüksek ultrasesin sakkaroz çözeltisi içinde bulunan elma dilimlerinin kütle transferleri üzerinde önemli ölçüde etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmada  $11,5 \text{ W}/\text{cm}^2$ 'lik ultrases uygulamasının etkin su difüzyon katsayısını % 117 ( $2,18 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s} - 4,73 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ), kuru madde difüzyon katsayısını % 137 ( $0,78 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s} - 1,84 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ) artırdığını belirtmişlerdir.

Fernandes ve ark. (2009), ananasın ultrases desteği ile ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada farklı zaman uygulamalarının doku yapısına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında, ultrases uygulamaları nedeniyle etkin su difüzyon katsayısının ve şeker kazanımının arttığını belirtmişlerdir. Ozmotik dehidrasyonun, doku yapısını bozması nedeniyle hücreler ve kanalları arasındaki geçiş sağlanamadığından kademeli olarak hücrede şekil bozukluğuna neden olduğunu belirtmişlerdir. Hava ile kurutma prosesinde, düşük şeker içerikli çözelti kullandıklarında ( $35^\circ\text{Brix}$ ) etkin su difüzyon katsayısının arttığını ( $8,41 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 'den  $9,70 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 'ye), yüksek şeker içerikli çözelti kullandıklarında ( $70^\circ\text{Brix}$ ) etkin su difüzyon katsayısının azaldığını ( $8,41 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 'den  $7,10 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 'ye) saptamışlardır.

Topdaş ve ark. (2013), kayısıların ozmotik kurutulması ve ultrases destekli ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada kurutma öncesi ön işlemin etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında kayısıların ozmotik kurutulmasında 25, 50 ve 70°Briks'lik 3 farklı konsantrasyonda çözelti kullandıklarını, işlemi 30°C sıcaklıkta gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Ultrases destekli ozmotik kurutma işleminde ultrases kaynağı olarak ultrasonik su banyosunu 35 kHz frekansta kullandıklarını belirtmişlerdir. Kayısı örneklerinde, çözelti konsantrasyonu ve işlem uygulama süresindeki artış ile % su kaybı, % şeker kazanımı ve % ağırlık kaybı değerlerinde arttığını saptamışlardır.

Stojanovic ve ark. (2006), tavşan gözü cinsi yaban mersininin ozmotik konsantrasyon ve sürekli yüksek frekanslı ultrases uygulaması üzerine yaptıkları çalışmada çözünebilir katı oranı, yığın yoğunluğu ve rehidrasyon oranlarındaki değişimleri araştırmışlardır. Çalışmalarında 1. Örnek için 70 °C, 10 saat doğal kurutma; 2. Örnek için 21 °C'de 55 °Brix'lik konsantrasyonda 12 saatlik ozmotik kurutma; 3. Örnek için 21 °C'de 55 °Brix'lik konsantrasyonda 3 saatlik ozmotik kurutma; 4. Örnek için 21 °C'de 55 °Brix'lik konsantrasyonda 3 saatlik 850 kHz'de ultrases destekli ozmotik kurutma işlemi yaptıklarını belirtmişlerdir. Rehidrasyon oranlarındaki düşüş ve çözünebilir katı oranlarında artışın ultrases destekli ozmotik kurutma işleminde yüksek oranda gözlemlediklerini belirtmişlerdir.

Fernandes ve ark. (2008), meyvelerin ultrases uygulaması ve ultrases destekli ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada 8 çeşit meyveyi (muz, genipap, jambo, kavun, papaya, ananas, pinha ve sapota) incelemişlerdir. Kurutma sırasında şeker kazanımını, su kaybını, etkin su yayılımını araştırmışlardır. Su kaybı ve şeker kazanımının meyvenin yapısına bağlı olduğunu saptamışlardır. Ultrases destekli ozmotik kurutma işleminin su yayılımında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Meyvelerin çeşidine göre uygulama şekillerinin farklı olduğunu bildirmişlerdir. Ozmotik çözelti (25-70 °Brix) içine daldırılan meyveleri, 10-45 dakika boyunca ultrases (25kHz) uygulamasına maruz bıraktıklarını belirtmişlerdir. Çözünür katı oranının ve su kaybının her bir meyve için arttığını, artma oranlarının meyve türüne göre değiştiğini saptamışlardır.

Simal ve ark. (1998), elmaların ultrases destekli ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada etkin su difüzyon katsayısını ve şeker kazanımını

araştırmışlardır. Çalışmalarında % 2'lik askorbik asit ve % 1'lik sitrik asitle 10 dakika muamele edilen elmaları 40 °C, 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarda 70 °Brix'lik çözeltide 50 kHz ultrases uygulamasına maruz bıraktıklarını belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda etkin su difüzyon katsayısını 40 °C'de  $2,6 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , 70 °C'de  $6,8 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  olarak saptamışlardır. Katı transfer katsayısının  $4,34 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 'den  $4,85 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 'e yükseldiğini belirtmişlerdir.

Topdaş ve ark. (2011), elmada ozmotik kurutmanın etkinliğinin artırılması için ozmotik kurutma ve ultrases işlemini eş zamanlı olarak uygulamışlardır. Çalışmalarında, 35 kHz frekansa sahip ultrases banyosu kullanmışlardır. 30 °C'de, 35 ve 70 °Briks sakkaroz çözeltileri kullanılan çalışma; 20, 40, 60, 80, 100 dakika olarak 5 farklı sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kırkıncı dakikadan sonra tüm süre ve briks değerlerinde ultrases uygulamasının ağırlık kaybını oldukça ( $p < 0,01$ ) etkilediği gözlemlenmiştir. Ozmotik kurutma işleminde 35 °Briks'de elmaların şeker kazanımlarının % 2,2-3,9; ultrases yardımcı ozmotik kurutma işleminde % 3,5-5,8 arasında olduğunu belirtmişlerdir. Ultrases uygulamasının su ve ağırlık kaybı, şeker kazanımı üzerine etki ederek işlem süresini olumlu yönde etkilediği, kısalttığını belirtmişlerdir.

Nowacka ve ark. (2014), kivide ultrases ön işleminin ozmotik kurutma üzerindeki çalışmalarında su kaybı ve mikroyapı değişikliğini araştırmışlardır. Çalışmalarını 25 °C'de 61,5 °Briks sakkaroz çözeltisinde 0, 10, 20, 30, 60 ve 120 dakika sürelerde gerçekleştirmişlerdir. Ultrases banyosunu 35 kHz frekansta kullanmışlardır. Uygulamada 10. dakikadan sonra kütle değişikliklerinin olumlu etkilendiğini, mikrokanalların oluştuğunu ve hücrelerin ortalama kesit alanının arttığını gözlemlenmiştir.

Rodrigues ve ark. (2009), papayada ultrases destekli ozmotik kurutmanın papaya dokusunun değişimine etkisini araştırmışlardır. Çalışmayı 25 kHz frekansa sahip ultrases banyosu kullanılarak, 30 °C sıcaklıkta 25 °Briks sakkaroz çözelti kullanılarak 10, 20, 30 dakika sürelerde gerçekleştirmişlerdir. Ultrases uygulamasının, şeker kazanımı, su kaybı ve dokudaki su yayılımının artmasında olumlu etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Tüfekçi ve ark. (2018), sıcak hava öncesinde ultrasonik ön işleminin havuç dilimlerinin kurutma karakteristikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Ön işlemden 20 kHz frekansa sahip ultrases probu kullanılmış, işlem süresi 20, 40, 60 dakika olarak belirlenmiştir. Ultrases genliği % 55 ve % 100 olarak belirlenmiş olup, kurutucu hava hızı 0,3 m/s, kurutma sıcaklığı 50 °C ve 60 °C olarak seçilmiştir. Ön işlem süreleri ve genlik arttıkça havuç dilimlerinin kuruma hızlarının arttığını, kuruma zamanlarının kısaldığını tespit etmişlerdir.

İçier ve ark. (2013), ayva dilimlerine ultrases ve elektriksel ön işleminin ozmotik kurutmaya etkisini araştırmıştır. Çalışmada % 50 (w/w) sakkaroz çözeltisi kullanılmıştır. Kontrol grubu, 195 W-15 s ultrasonik işlem grubu ve 60 V/cm, 15 s elektriksel ön işlem grubu olarak 3 farklı örnekle karşılaştırma yapılmıştır. Su kaybı, katı kazanımı, ağırlık ve boyut değişimi, toplam kuru madde içeriklerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Elektriksel ön işlem uygulanmış ayva dilimleri 240 dakikada, ultrasonik ön işlem uygulanmış ve kontrol grubu örneklerinin 300 dakikada, % 40 TKM değerine ulaştığını belirtmişlerdir.

Yıldız (2019), ultrases destekli ozmotik kurutma ön işleminin ve son kurutma yöntemi olan sıcak hava, vakum ve dondurarak kurutma yöntemlerinin balkabağına etkilerini araştırmıştır. Çalışma 30 °C'de 53 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo, % 40 ve % 60'luk sakkaroz çözeltisi kullanmış olup, süreler 40, 80 ve 120 dakika belirlenmiştir. Balkabaklarının rehidrasyon yeteneği, renk ve mikro yapısı üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Ön işlem görmüş balkabağı dilimleri, ön işlem görmemiş örneklerle karşılaştırıldığında daha düşük rehidrasyon oranlarına sahip olduğu bulunmuştur.

## **6. YÖNTEM**

### **6.1 Materyal**

Araştırmada materyal olarak elma (Golden cinsi) kullanılmış olup, zarar görmemiş ve lekesiz elmalar Denizli ili içerisinde bulunan bir marketten temin edilmiştir. Analizler gerçekleştirilene kadar  $4\pm 0,5$  °C sıcaklığındaki buzdolabında muhafaza edilmiştir. Yerel marketten alınan, Bağdat marka limon tuzu elmalarda sitrik asit uygulaması için kullanılmıştır. Örnekler 70 °C sıcaklıkta etüv kullanılarak ağırlıkları sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuş, ilk ve son kuru madde içerikleri ölçülmüştür (Cemeroğlu 2010).

### **6.2 Yöntem**

Golden cinsi elmaların ultrases destekli ozmotik kurutulmasında ve ozmotik kurutulmasında 70 °Briks konsantrasyona sahip sakkaroz çözeltisi kullanılmıştır. Dehidrasyon işlemi uygulanacak elmaların önce kabuk soyma ve çekirdeklerinden ayırma işlemleri yapılmıştır. Her elma üçe bölünmüş, her bölüm  $1\text{ cm}^3$  parçalara ayrılmıştır. Bir bölüm hiç işlem görmeden, etüve 70 °C sıcaklık ve 24 saat süre ile bırakılmıştır. Kalan iki bölümden biri ultrases destekli ozmotik dehidrasyon için, diğeri ozmotik dehidrasyon için kullanılmıştır.

#### **6.2.1 Sitrik Asit Uygulaması ve Ön işlem**

Golden cinsi elmalardan alınan örnekler, önce % 1'lik sitrik asit çözeltisine daldırılmış, 90 saniye çözelti içerisinde bekletilmiştir. Sitrik asit muamelesinden sonra, örneklerin yüzeyleri peçete ile temizlenmiştir.

Su kaybı ve şeker kazanımı hesaplanacak olan örnekler, sakkaroz çözeltisi içerisine 1:4 oranında (örnek:çözelti) 250 ml'lik beherlere koyulmuştur.

## 6.2.2 Ultrases Destekli Ozmotik Dehidrasyon ve Ozmotik Dehidrasyon

Ultrases desteği 35 kHz frekansta çalışan ultrasonik su banyosu kullanılarak yapılmıştır. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde Elmasonic Elma E60H markalı ultrasonik banyo kullanılmıştır.

Ozmotik dehidrasyon işleminde sıcaklık kontrollü Wisebath WB-6 marka su banyosu kullanılmıştır. Her bir ölçüm ikişer paralelli ve ikişer tekrarlı olacak şekilde, ultrasonik banyoya ve ozmotik banyoya koyulmuştur. Sırasıyla 30, 40 ve 50 C olmak üzere 3 farklı sıcaklıklarda işlem gerçekleştirilmiştir.

Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon n işlemleri 30, 60, 90, 120, 150, 210, 270, 330 dakikalık süreler ile uygulanmıştır.

## 6.2.3 Kuru Madde Tayini

Ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elmalar kuru madde analizine tabi tutulmuştur. Etüv, 70 C derece sıcaklık ve 24 saat süre ile kullanılmıştır.

## 6.3 Hesaplamalar

### 6.3.1 şeker Kazanımı ve Su Kaybının Hesaplanması

Dehidrasyon işleminin sonrasında örneklerin son nem içeriği ve çözünür kuru madde içeriği aşağıdaki denklemler (Denklem 6.1-6.7) kullanılarak belirlenmiştir.

$$\% \text{ Nem İçeriği} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (6.1)$$

$$x_{\text{ort}} = \frac{\% \text{ Nem İçeriği}}{100} \quad (6.2)$$

$$S = 1 - x_{\text{ort}} \quad (6.3)$$



$$\text{Ağırlık Azalması} = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100 \quad (6.4)$$

$$\text{Su Kaybı} = \frac{(W_i \times x_i) - (W_f \times x_f)}{W_i} \times 100 \quad (6.5)$$

$$\text{Şeker Kazanımı} = \frac{(W_f \times x_{sf}) - (W_i \times x_{si})}{W_i} \times 100 \quad (6.6)$$

$$\text{Toplam Şeker Kazanımı} = \frac{(W_f \times S_f) - (W_i \times S_i)}{W_i} \times 100 \quad (6.7)$$

Bu denklemlerde;  $m_1$  örneğin ilk ağırlığını (g),  $m_2$  örneğin son ağırlığını (g) [(Dara+Örnek)-Dara],  $W_i$  örneğin ilk ağırlığını (g),  $W_f$  ultrases destekli ozmotik banyo/ozmotik banyo işlemi sonrası örneğin son ağırlığını (g),  $x_i$  örneğin başlangıç nem içeriği (g su/g toplam meyve kütlesi),  $x_f$  ultrases destekli ozmotik banyo/ozmotik banyo işlemi sonrası örneğin nem içeriği (g su/g toplam meyve kütlesi),  $x_{si}$  ve  $x_s$  örneğin başlangıç kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı),  $x_{sf}$  ultrases destekli ozmotik banyo/ozmotik banyo işlemi sonrası örneğin suda çözünür kuru maddesini (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı),  $x_{ort}$  ortalama nem içeriği (g su/g toplam meyve ağırlığı),  $S_i$  ve  $S$  örneğin kuru madde içeriğini (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı),  $S_f$  ultrases destekli ozmotik banyo/ozmotik banyo işlemi sonrası örneğin kuru madde içeriğini (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı) ifade etmektedir (Topdaş 2011).

### 6.3.2 Renk Analizi

Renk analizi için çekirdek ve kabuklarından ayrılan elma, 1 cm<sup>3</sup> parçalara bölünmüştür. İşlem görmemiş örnekler, sitrik asitte bekleyen örnekler, 30, 60, 90, 120, 150, 210, 270, 330 dakika ultrases destekli ozmotik banyo ve ozmotik banyoda bekleyen örneklerin Hunter Lab Miniscan cihazı ile  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ ,  $h^*$  değerleri ölçülmüştür. Bu denklemlerde;  $L^*$  - açıklık (lightness) koordinatını ( $L^* = 0$  siyahı gösterir ve  $L^* = 100$ , beyazdır),  $a^*$  kırmızı/yeşil koordinatını,  $+a^*$  kırmızıyı,  $-a^*$  ise yeşili,  $b^*$  - sarı/mavi koordinatını,  $+b^*$  sarıyı,  $-b^*$  ise maviyi belirtir (Maskan 2001).

Çalışmada  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerine ilave olarak işlem görmemiş elmaya ait renk değerleri ( $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$ ) referans kabul edilerek örneklerin toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) aşağıdaki denklem (Denklem 6.8) kullanılarak belirlenmiştir (Seerangurayar ve diğ. 2019).

$$\Delta E = \sqrt{[(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2]} \quad (6.8)$$

### 6.3.3 Tekstür Analizi

Ultras destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örneklere 330 dakikalık işlemin sonunda tekstür analizi yapılarak sertlik değerleri belirlenmiştir. Golden cinsi elmalardan alınan örnekler Brookfield CT3 4500 marka tekstür analiz cihazında 2 farklı prob kullanılarak yapılmıştır.

Tekstür analizi için işlem görmemiş örnekler, sitrik asitte bekleyen örnekler, 330 dakika ultras destekli ozmotik banyo ve ozmotik banyoda işlem görmüş örnekler hazırlanmıştır. Sıkıştırma ölçümü için 12,7 mm çapında silindirik sıkıştırma probu (TA5) kullanılarak 6,8 g yük altında 0,5 mm/s hızda 5 mm büyüklükte sıkıştırma testi uygulanmıştır. Delme ölçümü için silindirik delme probu (TA9) kullanılarak 6,8 g yük altında 0,5 mm/s hızda 5 mm büyüklükte delme testi uygulanmıştır. Sonuçlar Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir.

### 6.3.4 Yoğunluk Analizi

330 dakikalık ultras destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örnekleri karşılaştırmak amacıyla yoğunluk ve gözeneklilik değerleri belirlenmiştir. Gaz piknometresi ve sıvı yer değiştirme metodu olmak üzere 2 farklı şekilde yoğunluk ölçümü yapılmıştır.

Örneklerin katı yoğunluğu helyum gazı ile Micromeritics AccuPyc II 1340 markalı gaz piknometresi kullanılarak ölçülmüştür. True Density (Katı Yoğunluk) aşağıdaki formüle göre (Denklem 6.9) hesaplanmıştır (Şahin 2006).

$$\text{Katı Yoğunluk} = \frac{m_{\text{örn}}}{V_{\text{ort}}} \times 1000 \quad (6.9)$$

Bu denklemlerde,  $m_{\text{örn}}$  örnek ağırlığı (g),  $V_{\text{ort}}$  ( $\text{cm}^3$ ) ortalama hacmi ifade eder.

Görünen yoğunluk hesaplamasında cam piknometre (25 ml Hubbart tip) kullanılmıştır. Aşağıdaki formüle göre (Denklem 6.10) görünen yoğunluk (apparent density) değeri ölçülmüştür (Şahin 2006).

$$\text{Görünen Yoğunluk} = \frac{m_{\text{örn}}}{\left\{ \frac{(m_{\text{heptan}} + m_{\text{pik}}) + m_{\text{örn}}}{d_{\text{heptan}}} - [m_{\text{heptan}} + m_{\text{pik}} + m_{\text{örn}}] \right\}} \times 1000 \quad (6.10)$$

Porosity (Gözeneklilik) değerleri aşağıdaki formüle göre (Denklem 6.11) hesaplanmıştır (Şahin 2006).

$$\text{Gözeneklilik} = \frac{\left[ \frac{m_{\text{örn}}}{V_{\text{ort}}} \right] - \left[ \frac{m_{\text{örn}}}{\left\{ \frac{(m_{\text{heptan}} + m_{\text{pik}}) + m_{\text{örn}}}{d_{\text{heptan}}} - [m_{\text{heptan}} + m_{\text{pik}} + m_{\text{örn}}] \right\}} \right]}{\left[ \frac{m_{\text{örn}}}{V_{\text{ort}}} \right]} \quad (6.11)$$

Bu denklemlerde;  $m_{\text{örn}}$  örnek ağırlığını (g),  $m_{\text{pik}}$  piknometre ağırlığını (g),  $m_{\text{heptan}}$  heptan ağırlığını (g),  $d_{\text{heptan}}$  heptan yoğunluğunu ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ifade etmektedir.

### 6.3.5 İstatistiksel Analizler

Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon ön işlemleri yapılan elma örneklerinde yoğunluk, renk ve tekstür değerleri istatistik paket programı kullanılarak istatistiki değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Varyans analiz tekniği ile (ANOVA) grup ortalamaları arasındaki farklar ve ana varyasyon kaynaklarının ortalamaları Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi'yle karşılaştırılmıştır ( $p < 0,05$ ).

## 6.4 Modelleme Çalışmaları

### 6.4.1 Dehidrasyon Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

#### 6.4.1.1 Peleg Model

Ultras ses destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış elma örneklerinin dehidrasyon kinetiğini hesaplamak amacıyla Peleg modeli kullanılmıştır. Peleg modeli su kaybı için kullanılan doğrusal denklem 6.12’de sunulmuştur (Corzo 2006).

$$\frac{t}{X_w - X_{w0}} = K_1 \pm K_2 \times t \quad (6.12)$$

Bu denklemde,  $X_w$  herhangi bir  $t$  anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde),  $X_{w0}$  başlangıçtaki nem içeriği (g su/g kuru madde),  $t$  Dehidrasyon zamanı (dakika),  $K_1$  Peleg hız sabiti (dakika. g kurumadde / g su),  $K_2$  Peleg kapasite sabiti (g kurumadde / g su) olarak tanımlanmıştır.

Peleg modeli şeker kazanımı için kullanılan doğrusal denklem 6.13’de sunulmuştur (Corzo 2006).

$$\frac{t}{X_s - X_{s0}} = K_3 \pm K_4 \times t \quad (6.13)$$

Bu denklemde,  $X_s$  herhangi bir  $t$  anındaki kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı),  $X_{s0}$  başlangıçtaki kuru madde içeriği (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı),  $t$  Dehidrasyon zamanı (dakika),  $K_3$  Peleg hız sabiti (dakika. g toplam meyve ağırlığı / g kuru madde),  $K_4$  Peleg kapasite sabiti (g toplam meyve ağırlığı / g kuru madde) olarak tanımlanmıştır.

$X_{we}$  (g su/g kuru madde),  $t \rightarrow \infty$  olarak, denge nem içeriği arasındaki ilişkiyi ifade edip, denklem 6.14’te verilmiştir. Peleg kapasite sabiti  $K_2$ , minimum ulaşılabilir nem içeriği olarak tanımlanmıştır (Corzo 2006).

$$X_{we} = X_{w0} \pm \frac{1}{K_2} \quad (6.14)$$

$X_{se}$  (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı),  $t \rightarrow \infty$  olarak, denge nem içeriği arasındaki ilişki ifade edip, Denklem 6.15’de verilmiştir. Peleg kapasite sabiti  $K_4$ , maksimum ulaşılabilir katı içeriği olarak tanımlanmıştır (Corzo 2006).

$$X_{se} = X_{s0} \pm \frac{1}{K_4} \quad (6.15)$$

#### 6.4.2 Regresyon Analizleri

Tahmini standart hata (RMSE) ve değerleri denklem 6.16 ve 6.17 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu denklemde  $N$  deneysel veri sayısı,  $n$  kullanılan modeldeki katsayısı olarak tanımlanmıştır (Sacilik 2006).

$$RMSE = \sqrt{\left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini,i} - MR_{deneysel,i})^2 \right]} \quad (6.16)$$

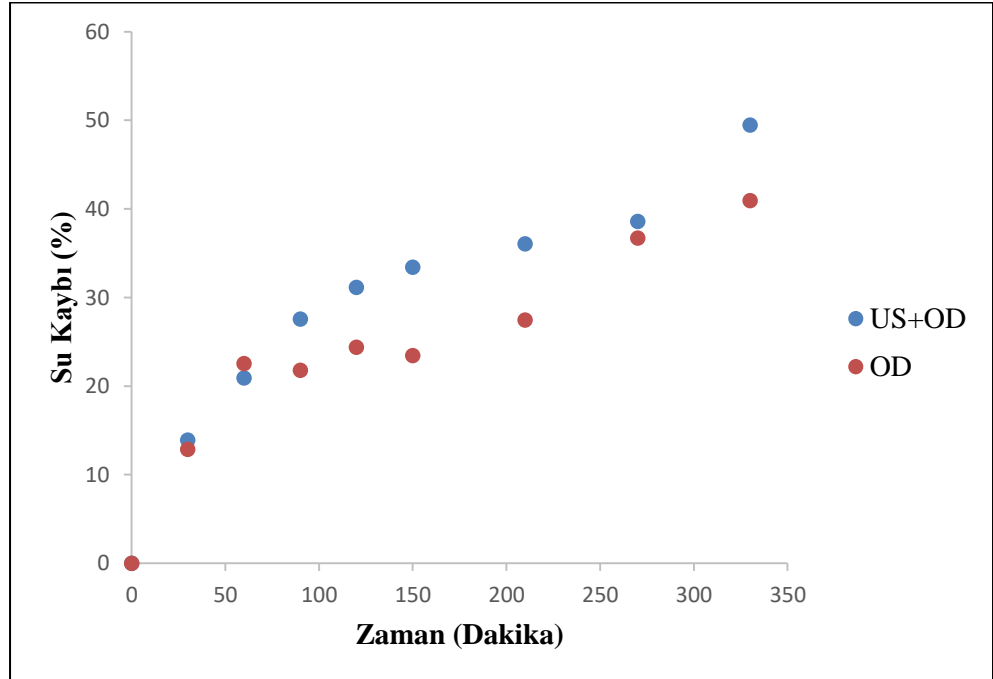
$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{N-n} \quad (6.17)$$

## 7. BULGULAR

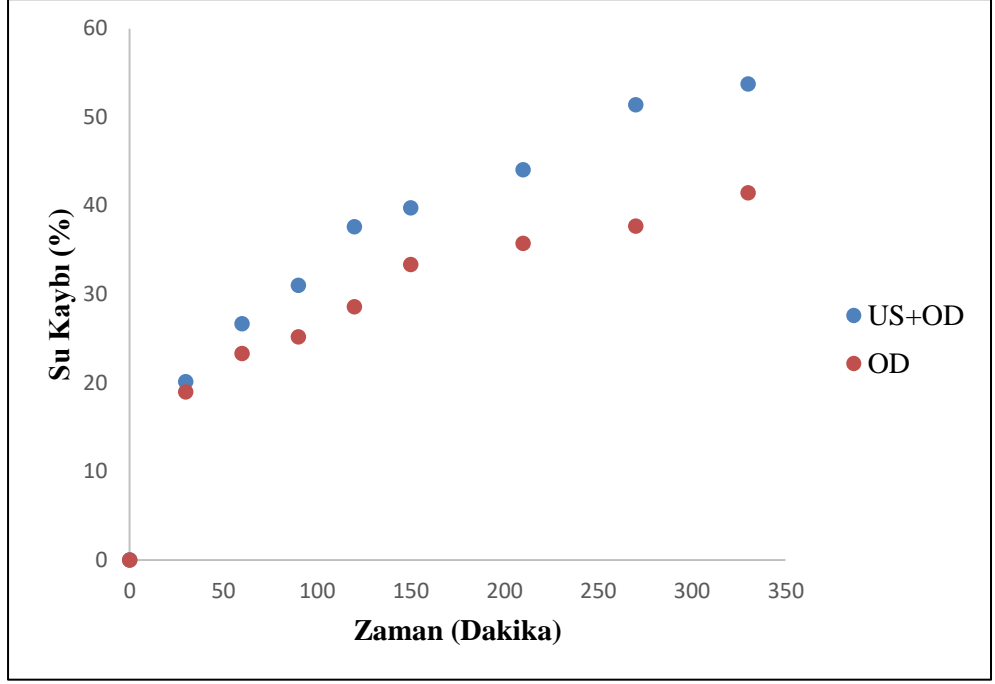
### 7.1 Su Kaybı

Araştırmada elma dilimlerine 30, 40 ve 50 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta ozmotik dehidrasyon (OD) ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon (US+OD) işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’de 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda yapılan ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri için elde edilen su kaybı değerlerinin dehidrasyon süresince değişimleri verilmiştir.

Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de verilen 30 °C ve 40 °C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerleri, 30 dakikalık uygulama süresinde iki işlem için (OD ve US+OD) de birbirine yakındır. Uygulama süresi arttıkça su kaybı değerlerinde ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde ozmotik dehidrasyon işlemine göre daha fazla artış olduğu ve her iki işlemde de 330 dakikalık işlem süresinde en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

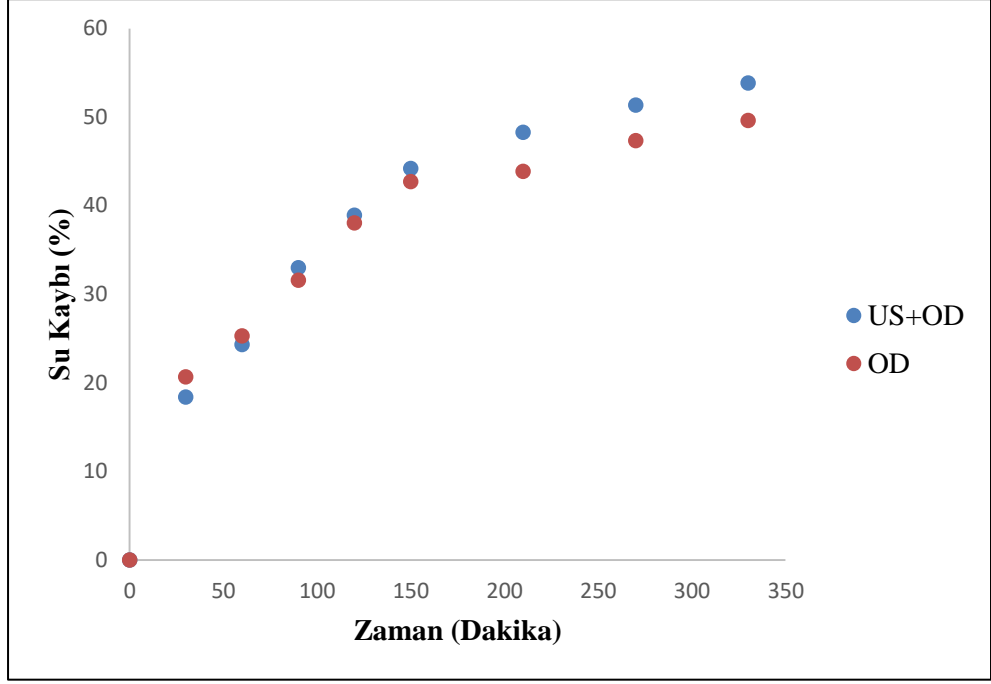


Şekil 7. 1: 30°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması.



Şekil 7. 2: 40°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 7.3’de verilen 50 °C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerleri, iki işlem için (OD ve US+OD) de birbirine yakın ve uygulama süresi arttıkça artış eğilimindedir. 210, 270 ve 330 dakikalık işlem süreleri sonunda su kaybı değerlerinde ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminin ozmotik dehidrasyona göre daha fazla etkili olduğu görülmüştür. 330 dakikalık işlem süresi sonunda her iki işlem için su kaybı değerlerinin en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 7. 3: 50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 7.4 ve Şekil 7.5’de 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemleri ile yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

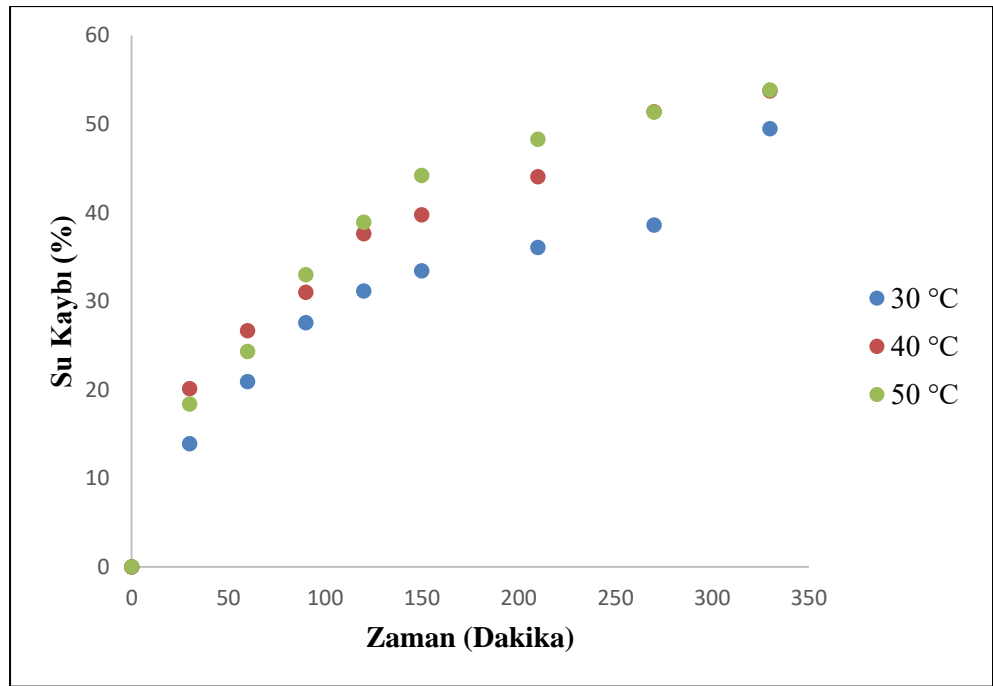
Ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C’de, 30 dakikalık işlem süresi sonunda su kaybı % 12,86 iken 330 dakikalık işlem süresi sonunda % 40,93 olmuştur. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde ise 30 °C’de, 30 dakikalık işlem süresi sonunda su kaybı % 13,90 iken 330 dakikalık işlem süresi sonunda ise % 49,45 olmuştur. 40 ve 50 °C’lerde yapılan çalışmaların sonuçları da benzer şekilde gerçekleşmiştir. Buradan işlem süresindeki artışın su kaybını arttırdığı iki işlem için de belirlenmiştir. Elmalar üzerine yapılan bir çalışmada uygulama süresi arttıkça su kaybının arttığı belirtilmiştir (Topdaş 2011). Fernandes ve ark. (2009), ozmotik dehidrasyon ve ultrasesin ananasın hücre dokusu yapısı üzerine etkisini araştırdıkları çalışmasında uygulama süresi arttıkça su kaybının arttığını belirtmişlerdir.

Elma örneklerine yapılan ozmotik dehidrasyon işleminde 210 dakikalık süre sonunda 30 °C sıcaklıktaki su kaybı % 27,45 iken, 50 °C’de su kaybı % 43,86 olmuştur. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda 210 dakikalık süre sonunda 30 °C sıcaklıktaki su kaybı % 36,05 iken, 50 °C’de su kaybı % 48,28 olmuştur. Bu durum farklı işlem sürelerinde de benzer şekilde gerçekleşmiştir. Buradan 30, 40 ve 50

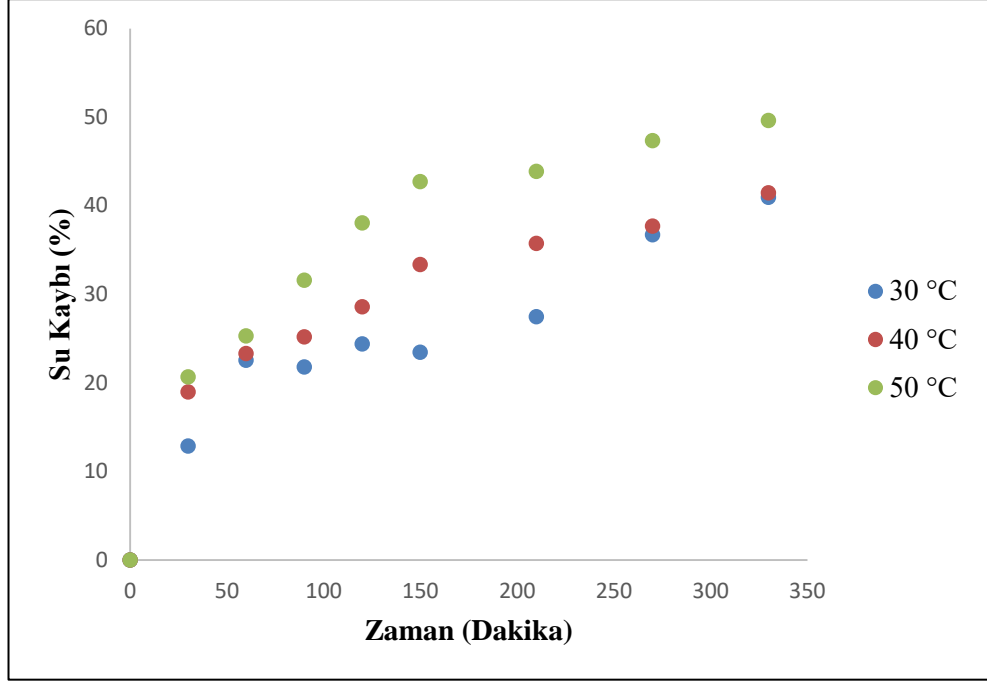


°C’lerde yapılan ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemlerinde sıcaklık arttıkça su kaybının arttığı anlaşılmıştır. Simal ve ark. (1998), elmaların ultrases destekli ozmotik kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada sıcaklığın etkisi arttıkça su kaybının da arttığını gözlemlemişlerdir.

Dehidrasyon işleminin gerçekleştirildiği 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarının hepsinde ozmotik dehidrasyon işleminin ultrases desteği ile yapılması örneklerin su kaybı değerlerinde daha fazla artışa neden olmuştur. Bu artışın nedeni, ultrases uygulaması ile örnek yapısında oluşan mikroskobik kanallar ve hücre boşluklarının artması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7. 4: Ultrases Destekli Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması.



**Şekil 7. 5:** Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen su kaybı değerlerinin karşılaştırması.

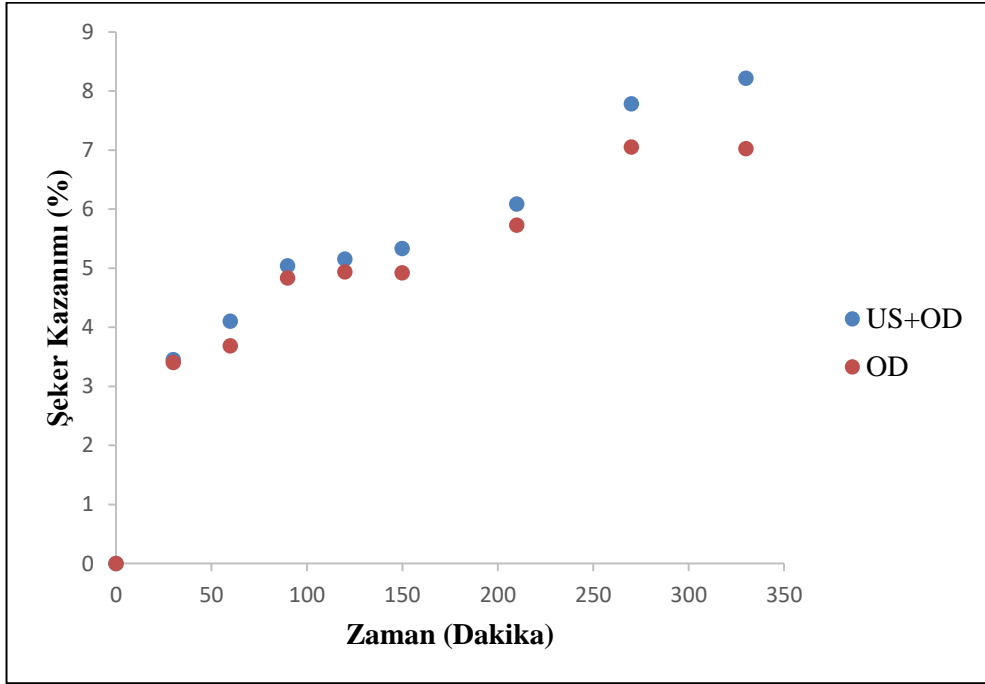
Fernandes ve ark. (2009), 35 ve 70 °Briks çözelti kullanarak 3 farklı sürede (10, 20, 30 dakika) ozmotik ve ultrases uygulamasının ananas hücre dokusuna etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, ozmotik kurutma işleminin ultrases desteği ile yapıldığında su kaybındaki artış sebebinin örneğin yapısında oluşan mikroskobik kanallar olduğunu belirtmişlerdir.

Dehidrasyon sırasında ozmotik ve ultrases uygulamasında daldırma süresinin papaya hücresi yapısına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ultrases işlemi hücre bağlarını zayıflatmakta, hücre çeperlerinde çatlaklar oluşturmakta ve hücre boşluklarının arasını arttırmaktadır. Bu değişimler su kaybında artışa neden olmaktadır (Rodrigues 2009).

## 7.2 Şeker Kazanımı

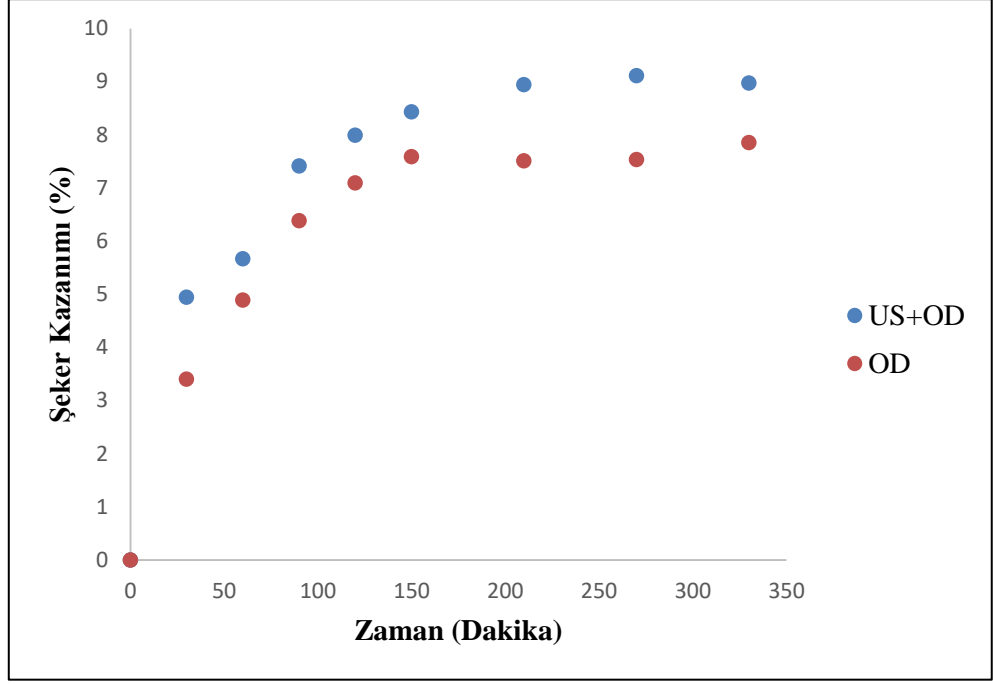
30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda yapılan ölçümler sonucunda ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri için elde edilen şeker kazanımı değerlerinin dehidrasyon süresince değişimleri sırasıyla Şekil 7.6, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de verilmiştir.

Şekil 7.6’da verilen 30 °C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerleri, 30 dakikalık uygulama süresinde iki işlem için (OD ve US+OD) de birbirine yakındır. Uygulama süresi arttıkça şeker kazanımı değerlerinde, ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde ozmotik dehidrasyona göre daha fazla artış olduğu belirlenmiştir. 330 dakikalık işlem süresi sonunda her iki işlemde de şeker kazanımının en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

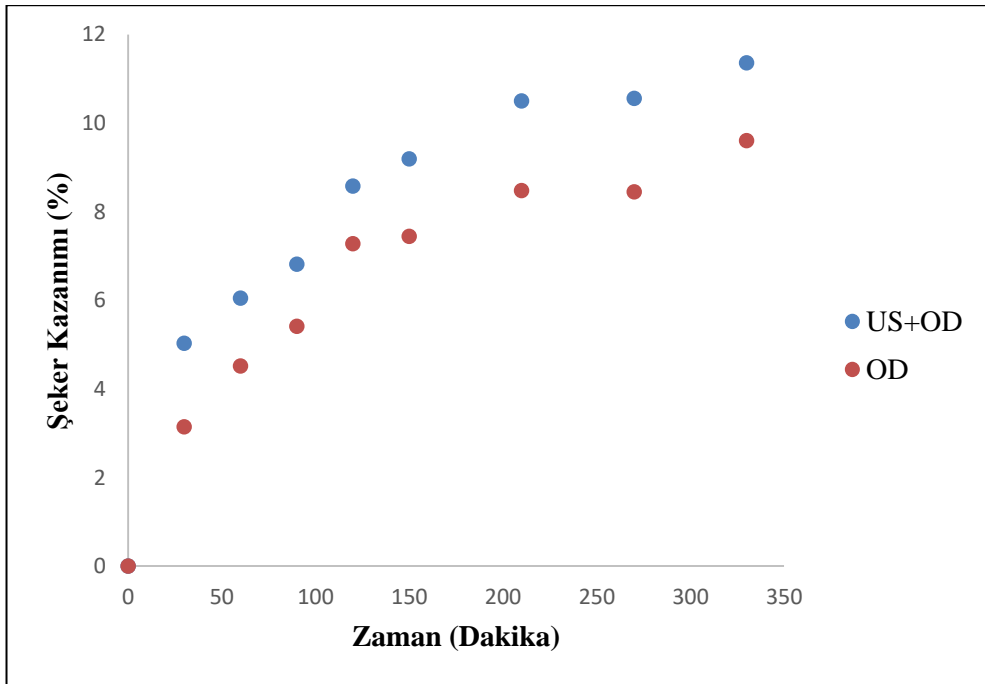


Şekil 7. 6: 30°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de verilen 40 °C ve 50 °C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin, farklı uygulama sürelerinde ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde ozmotik dehidrasyon işlemine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde 210, 270 ve 330 dakikalık uygulama süresi sonunda, şeker kazanımı durağan bir eğri kazanmıştır. Ozmotik dehidrasyon işleminde işlem süresi arttıkça, artış devam etmiştir.



Şekil 7. 7: 40°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması.



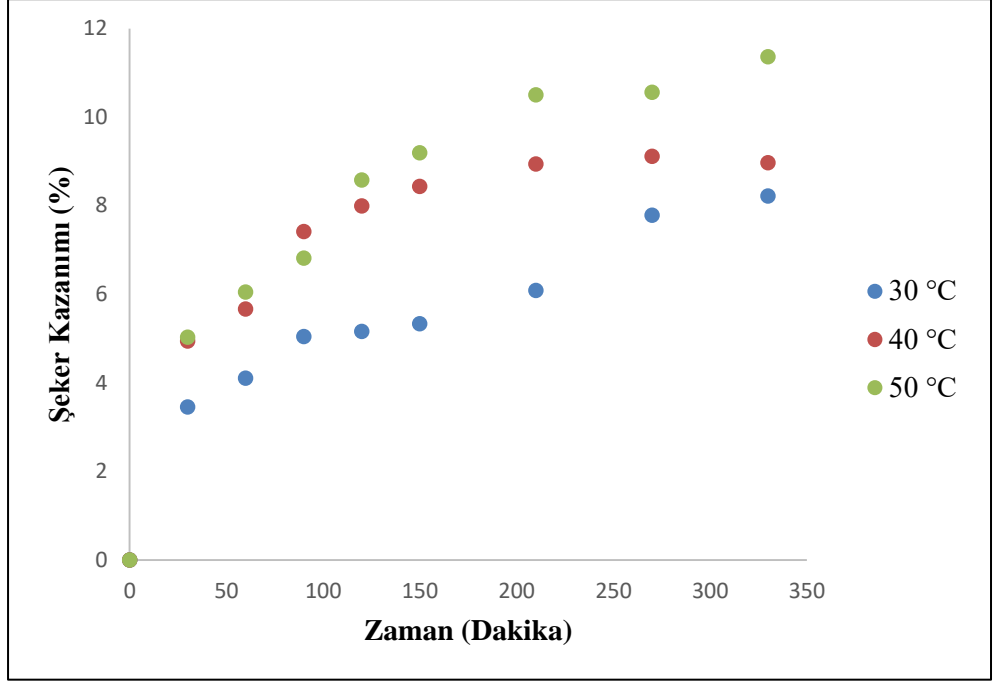
Şekil 7. 8: 50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 7.9 ve Şekil 7.10'da 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemleri ile yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

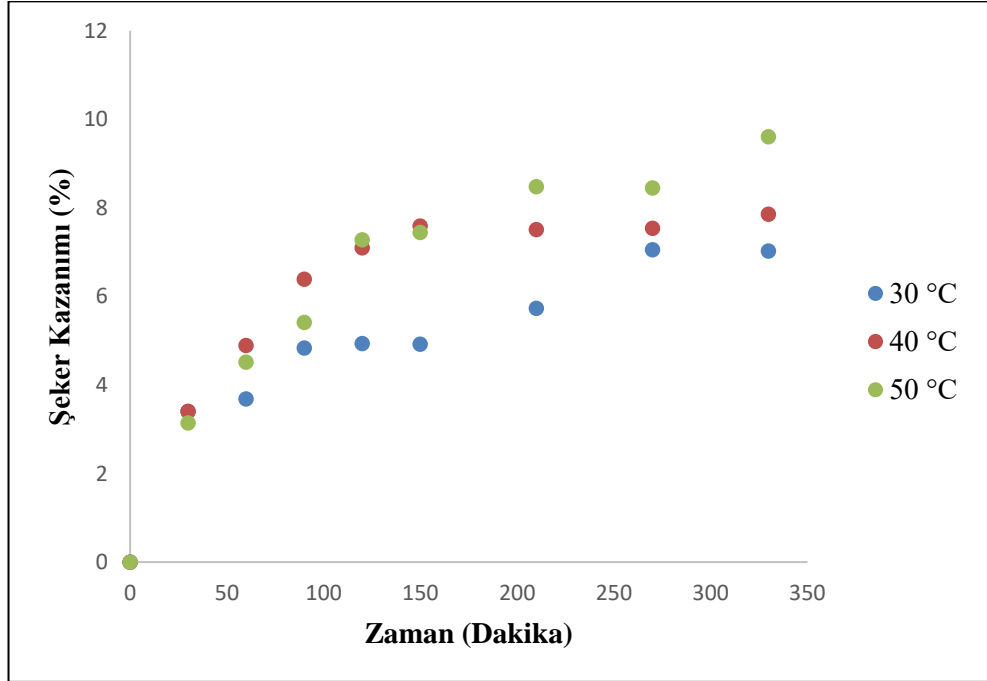
Ozmotik dehidrasyon işleminde 40 °C’de, 30 dakikalık işlem süresi sonunda şeker kazanımı % 3,39 iken 330 dakikalık işlem süresi sonunda % 7,85 olmuştur. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde ise 40 °C’de, 30 dakikalık işlem süresi sonunda şeker kazanımı % 4,94 iken 330 dakikalık işlem süresi sonunda ise % 8,96 olmuştur. 30 °C ve 50 °C’lerde yapılan çalışmaların sonuçları da benzer şekilde gerçekleşmiştir. Buradan işlem süresindeki artışın şeker kazanımını arttırdığı iki işlem için de görülmüştür. Elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultrases işleminin etkisinin araştırıldığı çalışmada, işlem süresi arttıkça şeker kazanımının arttığını belirtmişlerdir (Topdaş 2011).

Örneklere yapılan ozmotik dehidrasyon işleminde 210 dakikalık süre sonunda 30 °C sıcaklıktaki şeker kazanımı % 5,73 iken, 40 °C’de şeker kazanımı % 7,51 ve 50 °C’de şeker kazanımı % 8,47 olmuştur. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda 210 dakikalık süre sonunda 30 °C sıcaklıktaki şeker kazanımı % 6,08 iken, 40 °C sıcaklıktaki şeker kazanımı % 8,94 ve 50 °C’de şeker kazanımı % 10,5 olmuştur. Bu durum farklı işlem sürelerinde de benzer şekilde gerçekleşmiştir. Buradan 30, 40 ve 50 °C’lerde yapılan ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemlerinde sıcaklık arttıkça şeker kazanımının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Li ve ark. (2006), elma dilimleri üzerine yaptıkları bir çalışmada ozmotik işlem sırasında katı kazanımının sıcaklık arttıkça arttığını belirtmiştir.

Dehidrasyon işleminin gerçekleştirildiği tüm sıcaklıklarda ozmotik dehidrasyon işleminin ultrases desteği ile yapılması örneklerin şeker kazanımı değerlerinde ozmotik dehidrasyona göre artışa neden olmuştur. En yüksek şeker kazanımı değeri, 50 °C’de 330 dakikalık işlem süresi sonunda ozmotik dehidrasyona ultrases desteğinin yapılması ile elde edilmiştir. Ultrases uygulamasının etkisiyle şeker kazanımının artmasının nedeninin örneğe doğru olan şeker difüzyonunun artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7. 9: Ultrases Destekli Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması.



Şekil 7. 10: Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen şeker kazanımı değerlerinin karşılaştırması.

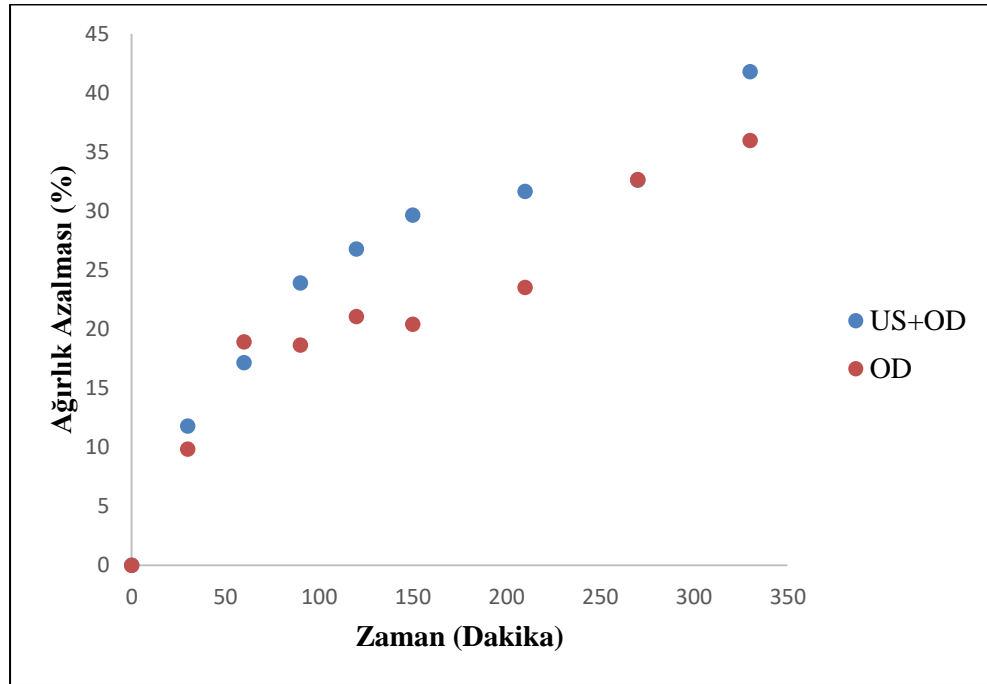
Elmalar üzerine yapılan bir çalışmada, 70 °Briks çözeltide farklı sıcaklık (40, 50, 60 ve 70 °C) ve sürelerde ultrases uygulaması ile kütle aktarım hızlarının arttığını ve en önemli artışında sakkaroz geçişi olduğunu belirtmişlerdir (Simal 1998).

Fernandes ve ark. (2009), ozmotik kurutma ve ultrasesin ananasın hücre dokusu yapısı üzerine etkisini araştırdıkları çalışmasında ultrases işleminin meyveden ozmotik çözeltiliye doğru su geçişini hızlandırdığını belirtmişlerdir.

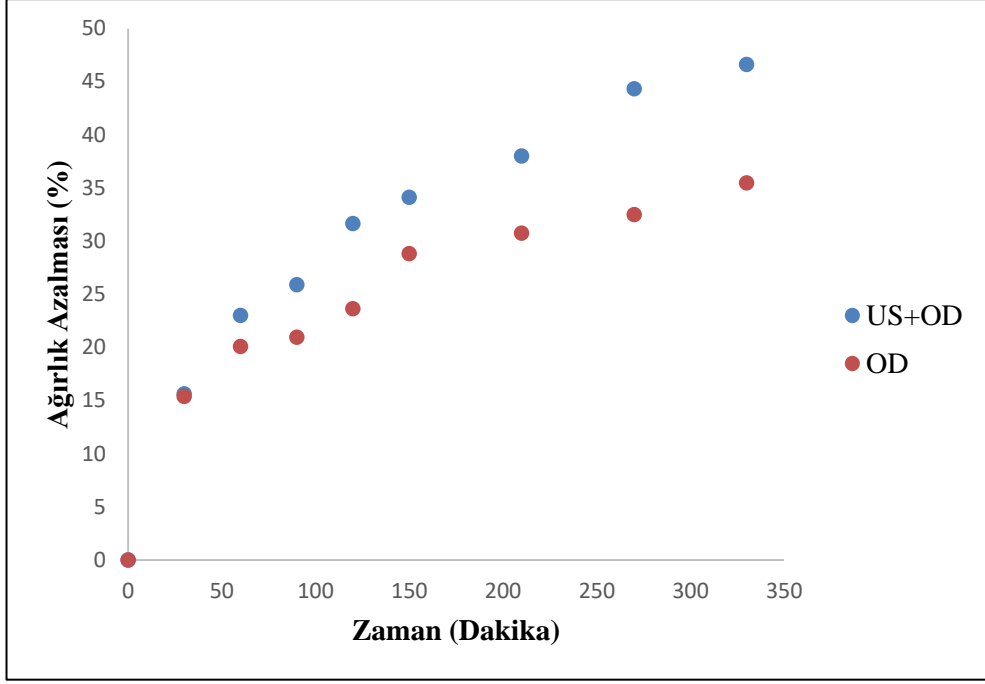
### 7.3 Ağırlık Azalması

30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda yapılan ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri için elde edilen ağırlık azalması değerlerinin dehidrasyon süresince değişimleri sırasıyla Şekil 7.11, Şekil 7.12 ve Şekil 7.13’de verilmiştir.

Şekil 7.11 ve Şekil 7.12’de verilen 30 °C ve 40 °C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerleri, 30 dakikalık uygulama süresinde iki işlem için (OK ve US+OK) de birbirine yakındır. Uygulama süresi arttıkça her iki işlemde de ağırlık azalması değerleri artış eğilimindedir ve 330 dakikalık işlem süresinde en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde ağırlık azalması değerlerinde ozmotik dehidrasyona göre daha fazla artış olduğu belirlenmiştir.



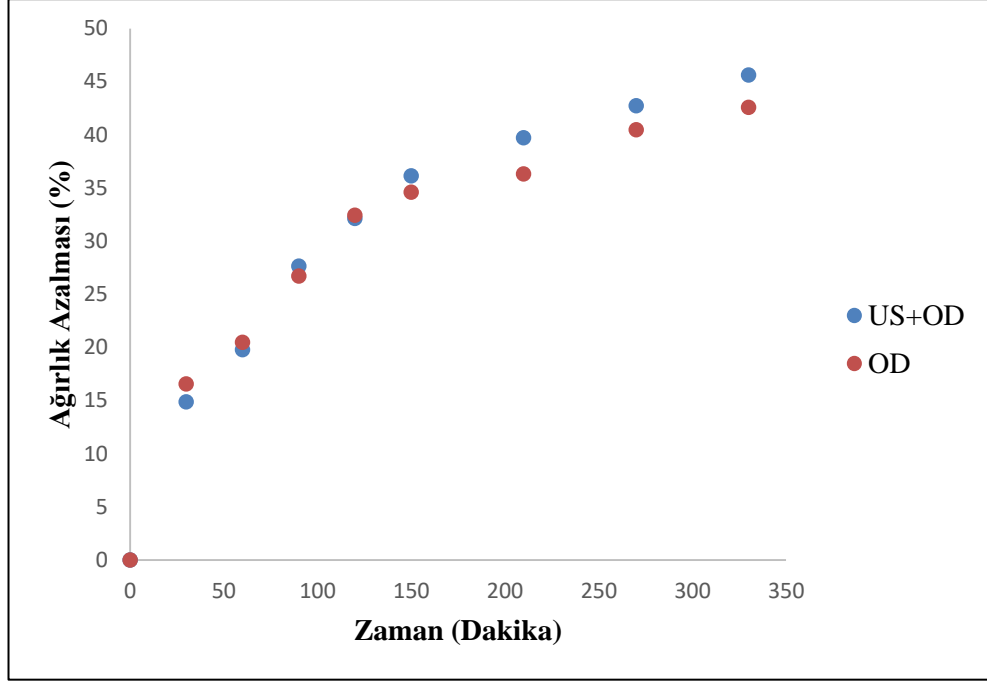
Şekil 7. 11: 30°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması.



**Şekil 7. 12:** 40°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 7.13’de verilen 50 °C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerleri, iki işlem için (OD ve US+OD) de birbirine yakındır. 210 dakikalık işlem süresi sonrasında ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminin ağırlık azalması değerlerinde daha fazla etkili olduğu ve her iki işlem için 330 dakikalık işlem süresi sonunda maksimum değere ulaştığı belirlenmiştir.





Şekil 7. 13: 50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması.

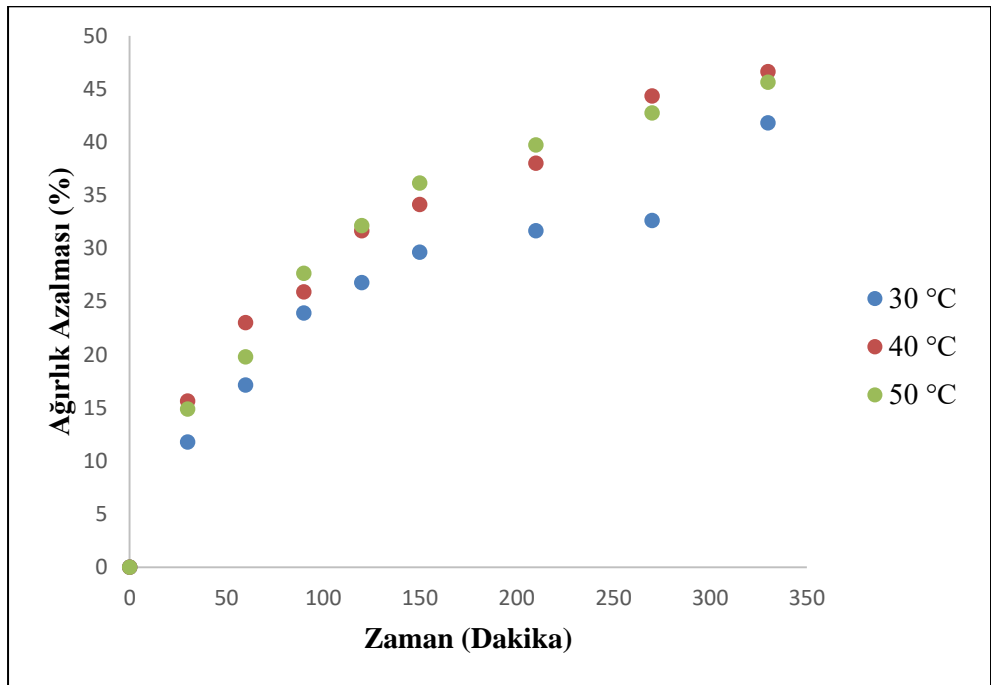
Şekil 7.14 ve Şekil 7.15’de 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemleri ile yapılan ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C’de, 30 dakikalık işlem süresi sonunda ağırlık azalması % 9,84 iken 330 dakikalık işlem süresi sonunda % 35,95 olmuştur. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde ise 30 °C’de, 30 dakikalık işlem süresi sonunda ağırlık azalması % 11,77 iken 330 dakikalık işlem süresi sonunda % 41,78 olmuştur. 40 °C ve 50 °C’lerde yapılan çalışmaların sonuçları da benzer şekilde gerçekleşmiştir. Buradan işlem süresindeki artışın ağırlık azalmasını arttırdığı iki işlem için de belirlenmiştir. Elma dilimlerindeki ağırlık azalmasının uygulanan ozmotik kurutma işleminde süre arttıkça arttığı gözlemlenmiştir (Topdaş 2011).

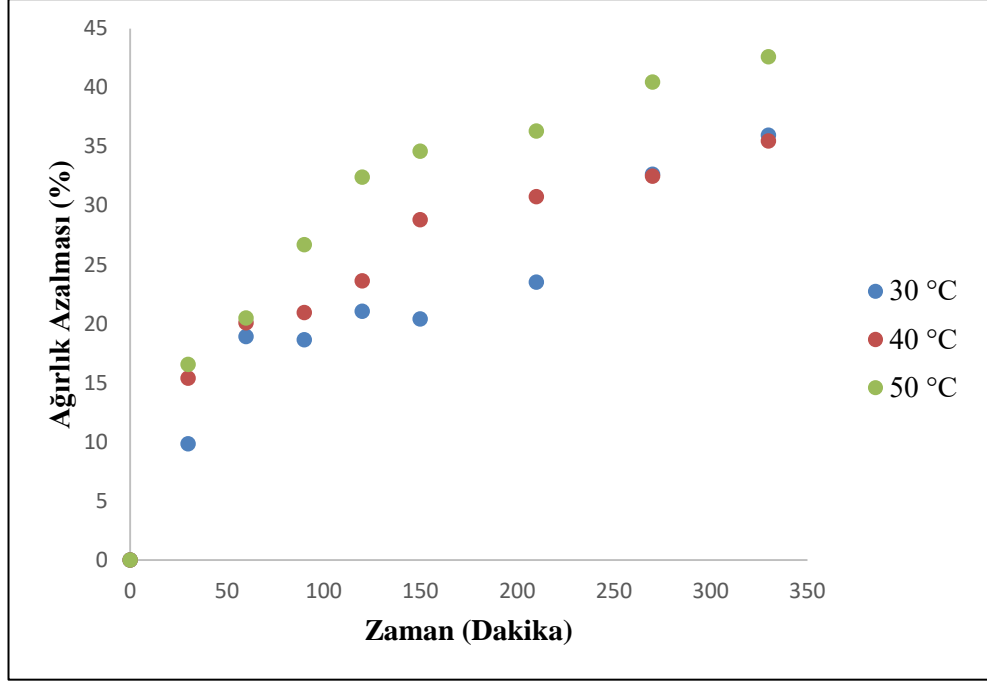
Elma örneklerine yapılan ozmotik dehidrasyon işleminde 210 dakikalık süre boyunca 30 °C sıcaklıktaki ağırlık azalması % 23,52 iken, 40 °C’de ağırlık azalması % 30,75 ve 50 °C’de ağırlık azalması % 36,29 olmuştur. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda 210 dakikalık süre boyunca 30 °C sıcaklıktaki ağırlık azalması % 31,65 iken, 40 °C’de ağırlık azalması % 37,99 ve 50 °C’de ağırlık azalması % 39,71 olmuştur. Bu durum farklı işlem sürelerinde de benzer şekilde gerçekleşmiştir. Buradan 30, 40 ve 50 °C’lerde yapılan ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli

ozmotik dehidrasyon işlemlerinde sıcaklık arttıkça ağırlık azalmasının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Elma örneklerinde, uygulanan işlemlerinin sonrasında sıcaklık arttıkça su kaybının şeker kazanımından daha fazla olduğu görülmüş ve bunun sonucunda ağırlık azalmasının arttığı gözlemlenmiştir.

Dehidrasyon işleminin gerçekleştirildiği tüm sıcaklıklarda ozmotik dehidrasyon işleminin ultrases desteği ile yapılması örneklerin ağırlık azalması değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu artışın nedeninin, ultrases desteğinin hücre kanallarını etkilemesi ve hücre zarı geçirgenliğini arttırması olduğu düşünülmektedir. Geçirgenlik arttıkça su kaybının şeker kazanımından fazla olduğu, ağırlık azalmasının arttığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 7. 14:** Ultrases Destekli Ozmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması.



Şekil 7. 15: Osmotik Dehidrasyonda 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta yapılan dehidrasyon işlemlerinin sonunda elde edilen ağırlık azalması değerlerinin karşılaştırması.

Elmalar üzerine yapılan bir çalışmada farklı yoğunluk (35 ve 70 °Briks) ve sürelerde (10, 20, 30 dakika) ultrases uygulaması ile birlikte örneğin yapısında oluşan mikroskobik kanalların su kaybını arttırdığı ve şeker geçişinin daha yavaş olduğu görülmüştür (Fernandes 2009).

Pavelkíc ve ark. (2015), farklı yoğunluk (% 40, 60 ve 70) ve sıcaklıklarda (20, 35 ve 50 °C) armut üzerinde yaptıkları çalışmaya göre sıcaklık arttıkça hücre zarlarının geçirgenliğinin daha iyi olacağını, su kaybının daha fazla olacağını belirtmişlerdir. Daha fazla su kaybının olması ağırlık azalmasını arttırmıştır.

#### 7.4 Dehidrasyon Kinetiği Modellenmesi

Farklı sürelerde ve sıcaklıklarda ultrases destekli osmotik dehidrasyon ve osmotik dehidrasyon işlemi yapılan elma örneklerinin dehidrasyonu sırasında elde edilen su kaybı ve şeker kazanımı değerlerinin ön işlem uygulama sürelerine göre değişimlerini içeren deneysel verilerin Peleg modeline uygunluğu araştırılmıştır. Tablo 7.1 ve Tablo 7.2’de 30 °C, 40 °C ve 50 °C’de dehidre edilen elma örneklerinin Peleg modeline ait matematiksel model sabitleri ve istatistiksel verileri verilmiştir.

Tablo 7.1'e göre Peleg hız sabiti  $K_1$ , ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda -13,296 ile -3,1734 arasında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyonda ise -12,508 ile -1,8122 arasında değişkenlik göstermiştir. Her iki işlem için de  $K_1$  sabitinin sıcaklık arttıkça arttığı görülmüştür. Peleg kapasite sabiti  $K_2$ , ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda -0,2152 ile -0,2006 arasında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyonda ise -0,2616 ile -0,2234 arasında değişkenlik göstermiştir. Her iki işlem için 40 °C'de  $K_2$  sabiti düşmüştür ve  $K_2$  sabitinde sıcaklık artışıyla anlamlı bir değişkenlik görülmemiştir. Su kaybı için  $R^2$  değerleri, ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda 0,9754 ile 0,9361 arasında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyon işleminde ise  $R^2$  değeri 0,9567 ile 0,9358 arasında değişmiştir.  $R^2$  değerlerinin, 1'e yakın olması, regresyon model uyumunun iyi olduğunu göstermektedir.

Uygulama sıcaklığı arttıkça Peleg hız sabiti  $K_1$  artarken, Peleg kapasite sabiti  $K_2$  değeri anlamlı bir değişim göstermemiştir. Khoyi ve ark. (2007), sakkaroz çözeltisi kullanılarak kayısının ozmotik dehidrasyon kinetiğini araştırdıkları çalışmaya göre, su kaybında sıcaklık artışı ile Peleg hız sabiti ( $K_1$ ) ve kapasite sabitlerinin ( $K_2$ ) anlamlı bir değişkenlik göstermediğini belirtmişlerdir. Ozmotik kurutma yapılan armutların kütle transferinde Peleg modelinin uygulandığı bir çalışmada, sabit çözelti konsantrasyonunda artan sıcaklıkta su kaybı ve şeker kazanımı için, Peleg hız sabitlerinin ( $K_1$  ve  $K_3$ ) azaldığını ve kapasite sabitlerinin ( $K_2$  ve  $K_4$ ) net bir değişim göstermediğini belirtmişlerdir (Pavelkic 2015).

**Tablo 7.1:** Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemlerinde 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta elma örneklerindeki su kaybına ait Peleg model sabitleri ve istatistiksel değerler

Sıcaklık	Uygulanan işlem	$K_1$ (dakika. g kurumadde / g su)	$K_2$ (g kurumadde / g su)	$R^2$	$X^2$	RMSE
30°C	US+OD	-13,296	-0,2152	0,9754	14,973146	3,351098
	OD	-12,508	-0,2616	0,9358	60,2113	6,720006
40°C	US+OD	-9,1533	-0,1924	0,9602	19,669749	3,840874
	OD	-10,681	-0,229	0,9567	30,453142	4,779106
50°C	US+OD	-3,1734	-0,2006	0,9361	35,245155	5,141388
	OD	-1,8122	-0,2234	0,9448	37,393235	5,295746

Tablo 7.2'ye göre Peleg hız sabiti  $K_3$ , ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda 210,57 ile 3,0723 arasında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyonda ise 1116,2 ile 34,507 arasında değişkenlik göstermiştir. Her iki işlem için 40 °C'de  $K_3$  sabiti düşmüştür,  $K_3$  sabitinde sıcaklık artışıyla anlamlı bir değişkenlik

görülmemiştir. Peleg kapasite sabiti  $K_4$ , ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda 11,024 ile 5,2936 arasında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyonda ise 9,7338 ile 4,2359 arasında değişkenlik göstermiştir. Her iki uygulanan işlem için  $K_4$  sabitinde sıcaklık artışı ile azalma meydana gelmiştir. Ozmotik kurutmanın uygulandığı sardalya örneklerinde yapılan bir çalışmada, sabit tuz konsantrasyonunda sıcaklık artışı ile  $K_4$  sabitinde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir (Corzo 2007). Şeker kazanımı için  $R^2$  değerleri, ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda 0,9914 ile 0,9545 arasında değişmiştir. Ozmotik dehidrasyon işleminde ise  $R^2$  0,9541 ile 0,8511 arasında değişmiştir.  $R^2$  değerlerinin, 1'e yakın olması, regresyon model uyumunun iyi olduğunu göstermektedir. Ozmotik dehidrasyon uygulanan şeker pancarı melasında elmaların kütle aktarımının Peleg modeli ile uyumu araştırılmıştır. Bu çalışmada  $R^2$  değerinin 0.975-0.997 arasında değiştiğini ve hem şeker kazanımında hem su kaybında bu şekilde yüksek olmasının Peleg modeli ile uyumlu olduğunu gösterdiğini belirtmiştir (Mišljenović 2011).

Kayısının ozmotik dehidrasyon kinetiği üzerine yapılan bir çalışmada, şeker kazanımında sıcaklık artışı ile Peleg hız sabiti ( $K_3$ ) ve kapasite sabitinin ( $K_4$ ) belirsiz değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir (Khoyi 2007). Ozmotik kurutma yapılan kavunların mekanik özelliklerinin ve difüzyon katsayılarının değerlendirilmesinin yapıldığı bir çalışmada, sabit çözelti konsantrasyonunda artan sıcaklıkta su kaybı ve şeker kazanımı için, Peleg hız sabitleri ( $K_1$  ve  $K_3$ ) ve kapasite sabitlerinin ( $K_2$  ve  $K_4$ ) net bir eğilim göstermediğini gözlemlemişlerdir (Ferrari 2008). Corzo ve ark. (2007), ozmotik kurutma işlemi yapılan sardalyanın nem ve tuz içeriğini araştırdıkları çalışmalarında sıcaklık artışı ile Peleg hız sabiti  $K_1$  ve  $K_3$ 'ün azaldığını,  $K_1$  sabiti ile başlangıç nem içeriğinin ters orantılı olduğunu, Peleg kapasite sabiti olan  $K_4$ 'ün sıcaklık artışı ile azaldığını,  $R^2$  değerinin yüksek olmasının da Peleg modeli ile uyumlu bir çalışma olduğunu belirtmişlerdir.

**Tablo 7.2:** Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemlerinde 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta elma örneklerindeki şeker kazanımına ait Peleg model sabitleri ve istatistiksel değerler

Sıcaklık	Uygulanan işlem	K <sub>3</sub> (dakika. g toplam meyve ağırlığı / g kuru madde)	K <sub>4</sub> (g toplam meyve ağırlığı / g kuru madde)	R <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	RMSE
30°C	US+OD	64,312	11,024	0,9558	72041,34876	232,445717
	OD	82,805	9,7338	0,9222	102444,7553	277,188684
40°C	US+OD	3,0723	6,5034	0,9914	4702,115389	59,38507
	OD	34,507	8,8583	0,9541	48397,81242	190,521283
50°C	US+OD	210,57	5,2936	0,9545	17144,67168	113,395343
	OD	1116,2	4,2359	0,8511	83113,26228	243,652654

Farklı sıcaklıklarda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon uygulanan örneklerin denge su kaybı ve denge şeker kazanımı Tablo 7.3'te verilmiştir. Sabit şekerli su konsantrasyonunda denge su kaybı, ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda 30 °C'de 1,559786 iken, 40 °C'de 0,956703'e düşmüş, 50 °C'de 1,840997 değerine yükselmiştir. Denge şeker kazanımı ise ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda 30 °C'de 0,94727 iken, 50 °C'de 1,041767 değerine yükselmiştir. Buradan sıcaklığın artışı ile denge su kaybının tutarlı bir değişim göstermediği, şeker kazanımı değerlerinin arttığı ve dengeye ulaştığı görülmüştür. Corzo ve ark. (2006), sardalya balıkları üzerine yapılan bir çalışmada, sabit tuzlu su konsantrasyonunda sıcaklık artışıyla denge nem kaybı ve tuz kazanımının arttığını belirtmişlerdir.

Tablo 7.2'de verilen K<sub>4</sub> kapasite sabiti, her iki işlem için de azalmıştır. Buna bağlı olarak Tablo 7.3'te verilen şeker kazanımında artış görülmüştür. Ozmotik kurutma işlemi uygulanan çekirdeksiz guava meyvesinde Peleg modeli kullanılarak yapılan modelleme çalışmasında kapasite sabitinin denge kütle içeriği ile ters orantılı olduğu, sabit konsantrasyon ve artan sıcaklıkta kapasite sabiti azalırken denge şeker kazanımının artan eğilim gösterdiğini belirtmişlerdir (Ganjloo 2012).

**Tablo 7.3:** Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemlerinde 30°C-40°C-50°C sıcaklıkta denge su kaybı ve şeker kazanımı değerleri

Sıcaklık	Uygulanan işlem	Denge Su Kaybı $X_{we}$ (g su/g kuru madde)	Denge Şeker Kazanımı $X_{se}$ (g kuru madde/g toplam meyve ağırlığı)
30°C	US+OD	1,56	0,95
	OD	2,55	0,94
40°C	US+OD	0,96	0,98
	OD	1,79	0,91
50°C	US+OD	1,84	1,04
	OD	2,35	1,09

## 7.5 Yoğunluk ve Gözeneklilik

30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda toplamda 330 dakikalık gerçekleştirilen ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri sonucunda elde edilen örneklerin belirlenen katı yoğunluk, görünen yoğunluk ve gözeneklilik değerleri sırasıyla Tablo 7.4, Tablo 7.5 ve Tablo 7.6’da verilmiştir.

Tablo 7.4’de verilen 330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C’de ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki katı yoğunluk 1214 kg/m<sup>3</sup>’den 1401 kg/m<sup>3</sup>’e yükselmiş ve % 15,57 artmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki katı yoğunluk 40 °C’de 1258 kg/m<sup>3</sup>’den 1448 kg/m<sup>3</sup>’e yükselmiş ve % 15,10 artmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki katı yoğunluk 50 °C’de 1338 kg/m<sup>3</sup>’den 1491 kg/m<sup>3</sup>’e yükselmiş ve % 11,44 artmıştır. Buradan ozmotik dehidrasyon işleminde istatistiki açıdan katı yoğunlukta 30 °C ile 40 °C’de önemli bir fark oluşturmazken, 50 °C ile 40 °C arasında % 3,66’lık artış farkı meydana gelmiştir (p<0,05).

330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C’de ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki katı yoğunluk 1214 kg/m<sup>3</sup>’den 1711 kg/m<sup>3</sup>’e yükselmiş ve % 40,71 artmıştır. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki katı yoğunluk 40 °C’de 1258 kg/m<sup>3</sup>’den 1736 kg/m<sup>3</sup>’e yükselmiş ve % 38,02 artmıştır. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki katı yoğunluk 50 °C’de 1338 kg/m<sup>3</sup>’den 1692

kg/m<sup>3</sup>'e yükselmiş ve % 26,44 artmıştır. Buradan ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde istatistiki açıdan katı yoğunlukta 40 °C ile 30 °C arasında % 2,68 artış farkı varken, 50 °C ile 40 °C arasında % 11,58 artış farkı meydana gelmiştir (p<0,05).

Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminin ozmotik dehidrasyon işlemine göre sabit ön işlem süresinde sıcaklık artışının, elma örneklerinin katı yoğunluğunda istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye (daha az artış) sebep olduğu görülmüştür.

**Tablo 7.4:** Ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örneklerin katı yoğunluk değerleri.

Sıcaklık (°C)	Dehidrasyon İşlemi	Katı yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Katı yoğunluk Değişim <sup>1</sup> (%)
30°C	İşlemsiz	1214	
	US+OD	1711	40,71±4,71 <sup>a</sup>
	OD	1401	15,57±3,75 <sup>cd</sup>
40°C	İşlemsiz	1258	
	US+OD	1736	38,02±4,97 <sup>ab</sup>
	OD	1448	15,10±2,00 <sup>cd</sup>
50°C	İşlemsiz	1338	
	US+OD	1692	26,44±1,09 <sup>bc</sup>
	OD	1491	11,44±1,96 <sup>d</sup>

<sup>1</sup>Farklı harfler, ortalamaların birbirinden P<0,05 düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.

Tablo 7.5'de verilen 330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C'de ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki görünen yoğunluk 809,74 kg/m<sup>3</sup>'den 796,71 kg/m<sup>3</sup>'e düşmüş ve % 1,59 azalmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki görünen yoğunluk 50 °C'de 834,17 kg/m<sup>3</sup>'den 816,02 kg/m<sup>3</sup>'e düşmüş ve % 2,17 azalmıştır. Buradan ozmotik dehidrasyon işleminde sıcaklık artışının görünen yoğunlukta önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür ve istatistiki açıdan bir farkı yoktur (p<0,05).

330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C'de ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki görünen yoğunluk 809,74 kg/m<sup>3</sup>'den 751,20 kg/m<sup>3</sup>'e düşmüş ve % 7,18 azalmıştır. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki görünen yoğunluk 50 °C'de 834,17 kg/m<sup>3</sup>'den 752,36 kg/m<sup>3</sup>'e düşmüş ve % 9,80 azalmıştır. Buradan ultrases



destekli ozmotik dehidrasyon işleminde sıcaklık artışıyla görünen yoğunlukta % 2,62 daha fazla azaldığı ve istatistiksel olarak bakıldığında azalma görüldüğü belirlenmiştir ( $p<0,05$ ).

Ultras ses destekli ozmotik dehidrasyon işleminin ozmotik dehidrasyon işlemine göre sabit ön işlem süresinde sıcaklık artışının, elma örneklerinin görünen yoğunluğunda istatistiksel olarak anlamlı değişime (azalmaya) sebep olduğu görülmüştür.

**Tablo 7.5:** Ozmotik dehidrasyon ve ultras ses destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örneklerin görünen yoğunluk değerleri.

Sıcaklık (°C)	Dehidrasyon İşlemi	Görünen Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Görünen Yoğunluk Değişim <sup>1</sup> (%)
30°C	İşlemsiz	809,74	
	US+OD	751,20	-7,18±2,20 <sup>ab</sup>
	OD	796,71	-1,59±1,01 <sup>a</sup>
40°C	İşlemsiz	809,91	
	US+OD	726,64	-10,29±2,17 <sup>b</sup>
	OD	797,54	-1,52±1,34 <sup>a</sup>
50°C	İşlemsiz	834,17	
	US+OD	752,36	-9,80±1,51 <sup>b</sup>
	OD	816,02	-2,17±1,48 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Farklı harfler, ortalamaların birbirinden  $P<0,05$  düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.

Tablo 7.6’da verilen 330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C’de ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki gözeneklilik 0,33’den 0,43’e yükselmiş ve % 14,95 artmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki gözeneklilik 50 °C’de 0,38’den 0,45’e yükselmiş ve % 24,02 artmıştır. Ozmotik dehidrasyon işleminde sıcaklık artışıyla gözeneklilikte % 9,07 daha fazla arttığı, istatistiki açıdan ise önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür ( $p<0,05$ ).

330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C’de ultras ses destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki gözeneklilik 0,33’den 0,56’e yükselmiş ve % 51,47 artmıştır. Ultras ses destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki gözeneklilik 40 °C’de 0,36’dan 0,58’e yükselmiş ve

% 57,20 artmıştır. Buradan ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde sıcaklık artışıyla gözeneklilik % 5,73 daha fazla arttığı ve istatistik olarak bakıldığında herhangi bir fark olmadığı görülmüştür ( $p<0,05$ ).

Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminin ozmotik dehidrasyon işlemine göre sabit ön işlem süresinde sıcaklık artışının, elma örneklerinde gözeneklilik değişiminde daha fazla artış meydana getirdiği görülmüştür.

**Tablo 7.6:** Ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örneklerin gözeneklilik değerleri.

Sıcaklık (°C)	Dehidrasyon İşlemi	Gözeneklilik	Gözeneklilik Değişim <sup>1</sup> (%)
30°C	İşlemsiz	0,33	
	US+OD	0,56	51,47±5,01 <sup>a</sup>
	OD	0,43	14,95±6,32 <sup>b</sup>
40°C	İşlemsiz	0,36	
	US+OD	0,58	57,20±1,13 <sup>a</sup>
	OD	0,45	19,01±6,71 <sup>b</sup>
50°C	İşlemsiz	0,38	
	US+OD	0,56	52,46±1,74 <sup>a</sup>
	OD	0,45	24,02±0,21 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Farklı harfler, ortalamaların birbirinden  $P<0,05$  düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.

Genel olarak ultrases uygulaması ozmotik dehidrasyona göre 330 dakikalık işlemlerin sonunda katı yoğunluk ve gözeneklilik değerlerinde daha fazla artışa, görünen yoğunluk değerlerinde daha fazla azalmaya neden olmuştur. Bu durum ultrasesin etkisiyle oluşan mikrokanalların suyun difüzyonunu artırarak kurutma performansının artışına sebep olduğunu göstermektedir (Topdaş 2011).

## 7.6 Renk Analizi Bulguları

İşlem yapılan sıcaklıklarda toplamda 330 dakikalık gerçekleştirilen ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri sonucunda elde edilen örneklerin belirlenen renk değerleri sırasıyla Tablo 7.7’de verilmiştir. L\* değeri beyazlığı, b\* değeri sarılığı, a \* değeri kırmızılığı ifade etmektedir.

L\* değeri 330 dakikalık uygulanan süre sonunda ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C'de 76,26'dan % 1,91 artışla 77,72'ye yükselmiştir. 40 °C'de 79,69'dan % 0,75'lik azalmayla 79,08 değerine düşmüştür. 50 °C'de ise 75,31'den % 2,68 artışla 77,33 değerine gelmiştir. Sıcaklık artışının ozmotik dehidrasyon işleminde L\* değerinde istatistiki açıdan herhangi bir farklılık ortaya koymadığı belirlenmiştir (p<0,05). L\* değeri 330 dakikalık uygulanan süre sonunda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C'de 76,26'dan % 8,45 artışla 82,70'e yükselmiştir. 40 °C'de 79,69'dan % 2,20'lik artışla 81,44 değerine gelmiştir. 50 °C'de ise 75,31'den % 6,14 artışla 79,93 değerine ulaşmıştır. Sıcaklık artışının ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde L\* değerinde olumlu bir etki oluşturduğu ancak istatistiki açıdan anlamlı bir değişiklik olmadığı görülmüştür (p<0,05). L\* değeri 330 dakikalık süre sonunda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde ozmotik dehidrasyon işlemine göre daha fazla artmıştır.

a\* değeri 330 dakikalık uygulanan süre sonunda ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C'de 0,65'den % 380,66 artışla 3,12'ye yükselmiştir. 40 °C'de 0,76'den % 389,58 artışla 3,72'ye yükselmiştir. 50 °C'de ise 0,49'dan % 458,21 artışla 2,73 değerine gelmiştir. Sıcaklık artışının, ozmotik dehidrasyon işleminde a\* değerinde, istatistik bakımından artışa neden olduğu belirlenmiştir (p<0,05). a\* değeri 330 dakikalık uygulanan süre sonunda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C'de 0,65'den % 392,36 artışla 3,20'ye yükselmiştir. 40 °C'de 0,76'dan % 354,14 artışla 3,45'e gelmiştir. 50 °C'de ise 0,49'dan % 464,18 artışla 2,76 değerine ulaşmıştır. Sıcaklık artışının, ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde a\* değerinde istatistik bakımından artışa sebep olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Sıcaklık artışının her iki işlem için de istatistiksel olarak a\* değerinde artış meydana getirdiği, bu artışın ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda ozmotik dehidrasyona göre daha az olduğu, 50 °C'de istatistik açıdan iki işlem arasında herhangi bir fark olmadığı görülmüştür (p<0,05).

b\* değeri 330 dakikalık uygulanan süre sonunda ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C'de 26,04'den % 17,62 artışla 30,64'e yükselmiştir. 40 °C'de 28,72'den % 26,84 artışla 36,42'e gelmiştir. 50 °C'de ise 28,14'den % 19,81 artışla 33,71 değerine gelmiştir. Sıcaklık artışının ozmotik dehidrasyon işleminde b\* değerinde istatistiki açıdan artış meydana getirdiği belirlenmiştir (p<0,05). b\* değeri

330 dakikalık uygulanan süre sonunda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C’de 26,04’den % 20,16 artışla 31,28’e yükselmiştir. 40 °C’de 28,72’den % 15,43 artışla 33,13’e gelmiştir. 50 °C’de ise 28,14’den % 22,17 artışla 34,36 değerine ulaşmıştır. Sıcaklık artışının ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde b\* değerinde istatistiki açıdan herhangi bir farklılık ortaya koymadığı belirlenmiştir (p>0,05). Ultrases destekli ozmotik dehidrasyonun ozmotik dehidrasyon işlemine göre sıcaklık değişimi ile 330 dakikalık süre sonunda b\* değerini istatistiksel olarak daha az etkilediği görülmüştür.

$\Delta E$  değeri 330 dakikalık uygulanan süre sonunda ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C’de 5,77 iken, 40 °C’de 8,43 ve 50 °C’de ise 6,65 değerine gelmiştir. Sıcaklık artışının ozmotik dehidrasyon işleminde  $\Delta E$  değerinde istatistiki açıdan artış meydana getirdiği belirlenmiştir (p<0,05).  $\Delta E$  değeri 330 dakikalık uygulanan süre sonunda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde 30 °C’de 8,75 iken, 40 °C’de 5,47 ve 50 °C’de ise 8,25 değerine ulaşmıştır. Sıcaklık artışının ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminde  $\Delta E$  değerinde istatistiki açıdan anlamlı bir değişim ortaya koymadığı belirlenmiştir (p<0,05). Ozmotik dehidrasyonun ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemine göre sıcaklık değişimi ile 330 dakikalık süre sonunda  $\Delta E$  değerini istatistiksel olarak daha fazla etkilediği görülmüştür.

**Tablo 7.7:** Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemlerine ait 30 °C-40 °C-50 °C’de elma örneklerinde L\*, a\*, b\*,  $\Delta E$  istatistik değerleri.

Sıcaklık (°C)	Dehidrasyon İşlemi	% Değişim <sup>1</sup>						
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	$\Delta E$ <sup>1</sup>
30°C	İşlemsiz	76,26	0,65	26,04				
	US+OD	82,7	3,2	31,28	8,45±1,87 <sup>a</sup>	392,36±0,92 <sup>b</sup>	20,16±3,27 <sup>ab</sup>	8,75±0,54 <sup>a</sup>
	OD	77,72	3,12	30,64	1,91±3,56 <sup>a</sup>	380,66±2,78 <sup>c</sup>	17,62±1,7 <sup>b</sup>	5,77±0,33 <sup>b</sup>
40°C	İşlemsiz	79,69	0,76	28,72				
	US+OD	81,44	3,45	33,13	2,20±1,03 <sup>a</sup>	354,14±2,01 <sup>d</sup>	15,43±2,95 <sup>b</sup>	5,47±0,86 <sup>b</sup>
	OD	79,08	3,72	36,42	-0,75±2,90 <sup>a</sup>	389,58±2,52 <sup>b</sup>	26,84±1,30 <sup>a</sup>	8,43±0,13 <sup>a</sup>
50°C	İşlemsiz	75,31	0,49	28,14				
	US+OD	79,93	2,76	34,36	6,14±1,76 <sup>a</sup>	464,18±2,14 <sup>a</sup>	22,17±2,76 <sup>ab</sup>	8,25±1,05 <sup>a</sup>
	OD	77,33	2,73	33,71	2,68±3,21 <sup>a</sup>	458,21±0,27 <sup>a</sup>	19,81±0,61 <sup>ab</sup>	6,65±1,60 <sup>ab</sup>

<sup>1</sup>Farklı harfler, ortalamaların birbirinden P<0,05 düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.

Ultras ses destekli ozmotik dehidrasyon işlemi ozmotik dehidrasyon işlemine göre L\* değerleri ve b\* değerlerini etkilemiştir. Kırmızılık değerini ifade eden a\* değerinin ise ultras ses destekli ozmotik dehidrasyonda ozmotik dehidrasyona göre daha az arttığı saptanmıştır. Toplam renk değişimini ifade eden  $\Delta E$  değeri ozmotik dehidrasyonda ultras ses destekli ozmotik dehidrasyon işlemine göre daha fazla değişmiştir. Bu sonuçlara göre ultras ses işlemi ile örneğin daha açık renkli olduğu ve büzüldüğü görülmüştür (Tablo 7.7).

Ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan balkabağı dilimlerinde, sıcaklık (35, 50, 65 °C) ve uygulama süresinin (90, 120, 150 dakika) artması, L\* ve b\* değerlerinde değişime neden olurken, a\* değerlerinde belirgin bir değişim göstermediği belirtilmiştir. Bu değişim, örnek dokusunun büzülmesi sonucunda opaklığın artmasına neden olmaktadır (Lee 2011). Küp şeklinde dilimlenmiş olan balkabağı örneklerinin farklı uygulama süreleri (40, 80, 120 dakika) ve farklı konsantrasyonlarda (%40, %60 sakkaroz çözeltisi) ozmotik kurutmaya tabi tutulan çalışmada, sabit konsantrasyonda artan uygulama sürelerinde L\* ve b\* değerlerinde istatistik olarak fark yokken, a\* değerlerinde artışa neden olduğunu belirtmiştir (Yıldız 2019). Ultras ses destekli ozmotik kurutma uygulanan hurmalarda, (30 °C, 45 °Brix, 35 kHz) sabit sıcaklıkta farklı işlem sürelerinde (10, 20, 30 dakika),  $\Delta E$  değerlerinde belirgin bir değişim görülmediğini belirtmişlerdir (Bozkir 2019). Kızılcık meyvesinin ultras ses desteği ile ozmotik dehidrasyonu üzerine yapılan çalışmada, ultras ses desteğinin işlem süresini kısalttığı ve buna bağlı olarak toplam renk değişiminin artışında ozmotik dehidrasyonun daha etkin olduğu belirtilmiştir (Shamaei 2012).

## 7.7 Tekstür Analizi Bulguları

30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarda toplamda 330 dakikalık gerçekleştirilen ozmotik dehidrasyon ve ultras ses destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri sonucunda elde edilen örneklerin delme ve sıkıştırma testi istatistik değerleri Tablo 7.8'de verilmiştir.

330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C'de ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki delme testi değeri 0,47'den 0,39'a düşmüş ve %

17,43 azalmıştır. Delme testi değeri 40 °C'de 0,36'dan 0,29'a gerilemiş ve % 18,17 azalmıştır. Ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki delme testi değeri 50 °C'de 0,30'dan 0,18'e inmiş ve % 40,76 azalmıştır. 330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C'de ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki delme testi değeri 0,47'den 0,38'e düşmüş ve % 19,56 azalmıştır. 40 °C'de ise delme testi değeri 0,36'dan 0,28'e gerilemiş ve % 22,83 azalmıştır. 50 °C'de ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki delme testi değeri 0,30'dan 0,18'e inmiş ve % 40,76 azalmıştır. Her iki işlem için de sıcaklık artışı ile delme testi değerleri azalmış olup 30 °C ve 40 °C delme testi değerlerinde istatistiki bir fark görülmemiş, 50 °C'de ise istatistiksel olarak azalmanın arttığı belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Ultrases desteğinin delme testi değerinde ozmotik dehidrasyona göre azalmayı daha fazla arttırdığı görülmüştür.

330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C'de ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki sıkıştırma testi değeri 21,73'den 5,20'ye düşmüş ve % 76,17 azalmıştır. 40 °C'de ise sıkıştırma testi değeri 19,94'den 3,10'a gerileyerek % 84,52 azalmıştır. 50 °C'de ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki sıkıştırma testi değeri 19,94'den 3,10'a inmiş ve % 89,49 azalmıştır. 330 dakikalık işlem sonrasında 30 °C'de ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki sıkıştırma testi değeri 21,73'den 3,67'ye düşmüş ve % 83,22 azalmıştır. 40 °C'de ise delme testi değeri 19,94'den 2,63'e gerileyerek % 86,86 azalmıştır. 50 °C'de ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan elma örneklerindeki sıkıştırma testi değeri 25,77'den 2,47'ye inmiş ve % 90,36 azalmıştır. Her iki işlem için de sıcaklık artışı ile sıkıştırma testi değerleri azalmış olup 30 °C ve 40 °C'de sıkıştırma testi değerlerinde istatistik açıdan azalmanın arttığı görülmüş, 50 °C'de ise istatistiksel herhangi bir değişim görülmemiştir. Ultrases desteğinin sıkıştırma testi değerinde ozmotik dehidrasyona göre azalmayı daha fazla arttırdığı ve sıcaklık arttıkça ozmotik dehidrasyona göre azalma oranını daha az arttırdığı belirlenmiştir ( $p<0,05$ ).

**Tablo 7.8:** Ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanmış örneklerin 30 °C-40 °C-50 °C'de sertlik istatistik değerleri.

Sıcaklık (°C)	Dehidrasyon İşlemi	Delme Testi Sonucu (N)	Delme Testi Değişim (%)	Sıkıştırma Testi Sonucu	Sıkıştırma Testi Değişim <sup>1</sup> (%)
30°C	İşlemsiz	0,47		21,73	
	US+OD	0,38	19,56±3,69 <sup>b</sup>	3,67	83,22±2,75 <sup>ab</sup>
	OD	0,39	17,43±2,19 <sup>b</sup>	5,20	76,17±2,97 <sup>b</sup>
40°C	İşlemsiz	0,36		19,94	
	US+OD	0,28	22,83±0,40 <sup>b</sup>	2,63	86,86±2,43 <sup>a</sup>
	OD	0,29	18,17±0,47 <sup>b</sup>	3,10	84,52±2,28 <sup>ab</sup>
50°C	İşlemsiz	0,30		25,77	
	US+OD	0,18	40,76±4,50 <sup>a</sup>	2,47	90,36±0,31 <sup>a</sup>
	OD	0,18	40,76±4,50 <sup>a</sup>	2,70	89,49±1,75 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Farklı harfler, ortalamaların birbirinden P<0,05 düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.

Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemine tabii tutulan örneklerin ozmotik dehidrasyon işlemi uygulanan örneklere göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ultrases desteğinin dehidrasyon işleminin performansını arttırdığı, daha fazla suyun yapıdan ayrılmasını sağlayarak örneğe daha sert bir yapı kazandırdığı düşünülmektedir. Ultrasonik ses dalgalarının et proteinlerine etkisine ait bir çalışmada, uygulama süresi arttırıldığında et dokusunda daha sert (gevrek) yapı sağladığı belirtilmiştir (McClements 1995).

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Golden cinsi elma dilimlerine farklı sıcaklıklarda (30, 40 ve 50 °C), farklı işlem sürelerinde, sabit konsantrasyonda (% 70 sakkaroz çözeltisi) ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri uygulanmıştır. Ozmotik dehidrasyon ve ultrases desteğinin örneklerin dehidrasyon kinetiklerine (su kaybı, şeker kazanımı ve ağırlık azalması değerlerinin işlem süresince değişimine), yoğunluklarına, tekstürüne ve renk değerlerine etkileri araştırılmıştır.

Araştırma bulgularına göre örneklerin ozmotik kurutulması sırasında ultrases desteğinin uygulanması, örneklerin dehidrasyon kinetiğinde olumlu etkilere sahip olmuş ve dehidrasyon performansını artırmıştır. 30, 40 ve 50 °C sıcaklıklarının hepsinde ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işleminin ultrases desteği ile yapılması örneklerin su kaybı, şeker kazanımı ve ağırlık azalması değerlerinin artmasını sağlamıştır ve en yüksek artışlar 50 °C sıcaklıkta 330 dakikalık ön işlemde görülmüştür.

30 °C, 40 °C ve 50 °C sıcaklıklarda ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemi yapılan elma örneklerinin dehidrasyon sırasında elde edilen su kaybı ve şeker kazanımı değerlerinin ön işlem süresine göre değişimlerini içeren deneysel verilerin Peleg modeline uygunluğu araştırılmıştır. Her iki işlem için de su kaybında sıcaklık artışıyla Peleg hız sabiti  $K_1$ 'in arttığı, kapasite sabiti  $K_2$ 'nin dengesiz bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Şeker kazanımında her iki işlemde sıcaklık artışı ile  $K_3$  Peleg hız sabitinin tutarlı bir değişkenlik göstermediği,  $K_4$  kapasite sabitinin ise azaldığı görülmüştür.

Örneklerin farklı sıcaklıklarda 330 dakikalık uygulanan ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri sonucunda, yoğunlukları incelenmiş katı yoğunluk, görünen yoğunluk ve gözeneklilik değerleri ölçülmüştür. Ultrases desteği farklı sıcaklıklarda katı yoğunluk ve gözeneklilik değerlerinde artışa, görünen yoğunlukta azalmaya neden olmuştur. 330 dakikalık ön işlem sonunda en yüksek değişimler, katı yoğunlukta her iki işlem için de 30 °C'de, ultrases destekli



ozmotik dehidrasyon işleminde görünen yoğunluk ve gözeneklilik değerlerinde 40 °C’de, ozmotik dehidrasyon işleminde görünen yoğunluk ve gözeneklilik değerlerinde 50 °C’de olduğu tespit edilmiştir.

Elma dilimlerinde uygulanan ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ve ozmotik dehidrasyon işlemleriyle örneklerin renk değerlerinde değişimler görülmüştür. Sıcaklık ve uygulama süresi arttıkça L\*(beyaz), b\*(sarı), a\*(kırmızı) değerlerinde artış meydana gelmiştir. a\* değerinin ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda ozmotik dehidrasyona göre daha az arttığı, 50 °C’de en yüksek değere ulaştığı ve bunun rengi olumsuz etkilediği görülmüştür. Ultrases uygulamasının L\* ve b\* değerlerini olumlu etkilediği ve istatistik açısından fark olmadığı tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı ve 330 dakikalık uygulama süresi ozmotik dehidrasyonda örneklerin  $\Delta E$  değerlerinde istatistiki açıdan artış meydana getirmiştir. Ultrases destekli ozmotik dehidrasyonda  $\Delta E$  değerinde istatistiki açıdan anlamlı bir değişim gerçekleşmemiştir. Ozmotik dehidrasyonun ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemine göre  $\Delta E$  değerini daha fazla etkilediği görülmüştür.

Elma örnekleri 330 dakikalık uygulanan ozmotik dehidrasyon ve ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işlemleri sonucu tekstürel olarak sert bir yapı kazanmıştır. Sıcaklığın artması ile örneğin yapısındaki sertlikte artmıştır. Ozmotik dehidrasyonun ultrases desteği ile yapılması sıcaklık arttıkça sertlik artışının daha az olmasını sağlamıştır. En düşük sertliğin 30 °C’de ultrases destekli ozmotik dehidrasyon uygulamasında olduğu belirlenmiştir.

Ultrases destekli ozmotik dehidrasyon ön işlem uygulamasının suyun difüzyon katsayısını artırması nedeniyle işlem sürelerini kısalttığı, besin değerlerini koruduğu, renk ve tekstürel olarak olumlu etkiler oluşturduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, ultrases destekli ozmotik dehidrasyon işleminin yatırım maliyetlerinin düşürülmesi ile gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılabileceğini ve katkı sağlayabileceğini göstermiştir.

Çalışma sonuçlarına göre ozmotik dehidrasyon işlemine ultrases desteğinin dehidrasyon oranı, renk, tekstür, yoğunluk parametrelerine olumlu yönde etkisi olduğu görülmüştür. Farklı örneklerde ultrases desteği kullanılarak yapılacak

ozmotik dehidrasyonun örneklerin kalite özelliklerine ve dehidrasyon yeteneklerine etkisi araştırılabilir.

## 9. KAYNAKLAR

Anonim, Gıda Muhafaza Yöntemleri, (24.03.2020), [http://www.diatek.com.tr/Makale-Yontem/Genel/Gida-Muhafaza-Yontemleri\\_127.htm](http://www.diatek.com.tr/Makale-Yontem/Genel/Gida-Muhafaza-Yontemleri_127.htm), (2011).

Barbosa-Canovas, G.V. ve Vega-Mercado, H., Dehydration Of Foods, USA : International Thomson Publishing, 1996.

Bozkir, H., Ergün, A. R., Serdar, E., Metin, G., Baysal, T., “Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit”, *Ult – Sonch*, 54, 135–141, (2019).

Cárcel, J. A., Benedito, J., Rossello, C., Mulet, A., “Influence Of Ultrasound Intensity On Mass Transfer In Apple Immersed In A Sucrose Solution”, *J Food Eng*, 78, 472-479, (2007).

Cemeroğlu, B. S., Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 2.Cilt, Ankara, 364-371, (2004).

Cobley, A. ve Mason, T., “The evaluation of sonochemical techniques for sustainable surface modification in electronic manufacturing”, *Faculty of Health and Life Sciences*, 33 (0305-6120), 29-34, (2007).

Corzo, O. ve Bracho, N., “Application of Peleg model to study mass transfer during osmotic dehydration of sardine sheets”, *J Food Eng*, 75, 535–541, (2006).

Corzo, O., Bracho, N., Rodriguez, J., “Predicting the moisture and salt contents of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration”, *J Food Eng*, 80, 781–790, (2007).

Çınar,İ., “Ozmotik Dehidrasyon, Mekanizması Ve Uygulamaları”, *GIDA*, 34 (5), 325-329, (2009).

Çiçekdağı, F., “Ultrasonik Ses Dalgalarının Oluşturduğu Akustik Kaviteasyonu Etkileyen Değişkenler Ve Kaviteasyon Enerjisi Ölçümü”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2011).

Dadalı, G., “Bamya ve Ispanağın Mikrodalga tekniği Kullanılarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).

Derossi, A., Pilli, T.D., Severini, C., “Mass transfer during osmotic dehydration of apples”, *J Food Eng*, 86, 519-528, (2008).

Doymaz İ., “Convective Air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots”, *J Food Eng*, 61, 359–364, (2003).

Er, T., “Kırmızı Pancarın Bazı Fiziksel ve Fitokimyasal Özellikleri Üzerine Farklı Kurutma Sıcaklıklarının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2011).

Erbay, B., Küçüköner, E., Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri, 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs 2008, Erzurum, Türkiye

Eren, Z., “Su Kaynaklarında İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) ile Ötrofikasyon Kontrolü”, *Ordu Univ. J. Sci. Tech*, 8(2), 243-253, (2018)

Eroğlu, E. ve Yıldız, H., “Recent Developments in Osmotic Dehydration”, *Akademik Gıda*, 8(6), 24-28 (2010)

Fernandes, F. A. N., Gallao, M. I., Rodrigues, S., “Effect Of Osmotic Dehydration And Ultrasound Pre-Treatment On Cell Structure: Melon Dehydration”, *LWT-Food Sci. Technol*, 41, 604-610, (2008).

Fernandes, F. A. N., Gallao, M. I., Rodrigues, S., “Effect of Osmosis And Ultrasound On Pineapple Cell Tissue Structure During Dehydration”, *J Food Eng*, 90, 186-190, (2009).

Fernandes, F. A. N. ve Rodrigues, S., “Application of Ultrasound and Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration in Drying of Fruits”, *Drying Technology: An International Journal*, 26(12), 1509-1516, (2008).

Ferrari, C.C. ve Hubinger, M.D., “Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes”, *Int J Food Sci Technol*, 43, 2065–2074, (2008).

Ganjloo, A., Rahman, R.A., Bakar, J., “Kinetics modeling of mass transfer using Peleg’s equation during osmotic dehydration of seedless guava (psidium guajava l.): effect of process parameters”, *Food Bioprocess Technol*, 5, 2151-2159, (2012).

Garcia-Noguera, J., Oliveira, F. I. P., Gallao, M. I., Weller, C. L., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., “Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration Of Strawberries: Effect Of Pretreatment Time And Ultrasonic Frequency”, *Drying Technology: An International Journal*, 28(2), 294-303, (2010).

Güngör, A., Özbalta, N., 3. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi, Ege Üniversitesi, İzmir, (1997).

Güngör, A., “Endüstriyel Kurutma Sistemleri”, *3.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, TES 046, 737-747, (1997).*

İçier, Filiz; Yıldız, Hasan; Eroğlu, Salih; Sabancı, Serdal; Eroğlu, Ebru. “Ayva Dilimlerinin Ozmotik Kurutulmasında Elektriksel ve Ultrasonik Ön İşlemlerin Etkileri”, *Academic Food Journal / Akademik GIDA.*, nis-haz2013, Vol. 11 Issue 2, p60-69. 10p, (2013).

Kantaş, Y., “Effect Of Ultrasound On Drying Rate of Selected Produce”, Middle East Technical University, Natural and Applied Sciences, Ankara, (2007).

Khoyi, M.R. ve Hesari, J., “Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution”, *J Food Eng*, 78, 1355–1360, (2007).

Kutlu, N. (2012). Gıdalarda Kurutma Teknolojisi, <http://www.gidagundemi.com/gidalarda-kurutma-teknolojisi-makale,77.html> , 23.01.2014

Leadley, C. E., Williams, A., Pulsed electric field processing, power ultrasound and other emerging technologies. In: Food processing handbook, Brennan, J. G., (Editor) 201-235, (2006).

Lee, J. S. ve Lim, L. S., “Osmo-dehydration pretreatment for drying of pumpkin slice”, *International Food Research Journal*, 18, 1223-1230, (2011).

Li, H. ve Ramaswamy, H.S., “Osmotic Dehydration of Apple Cylinders: III. Continuous Medium Flow Microwave Heating Conditions”, *Drying Technology*, 24, 643–651, (2006).

Maskan, M., “Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying”, *J Food Eng*, 48, 169-175, (2001).

Mason, T. J. ve Lorimer, J.P., “Ultrasound in synthetic organic chemistry”, *Chemical Society Reviews*, 26, 443-451, (1997).

Mason, T. J. ve Lorimer, J.P., “Applied Sonochemistry(The Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing”, *Wiley –VCH Verlag GmbH, Weinheim*, (2002).

Maynard, B.J., “Sonochemistry”, *Chemistry Summer 2000*, 17-22, (2000).

- McClements, D.J., “Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing”, *Trends in Food Sci and Technol*, 6 (9), 293-299, (1995).
- Mišljenović, N.M., Koprivica, G.B., Pezo, L.L., “Application of Peleg model to study mass transfer during osmotic dehydration of apple in sugar beet molasses”, *APTEFF*, 42, 1-288, (2011).
- Nowacka, M., Tylewicz, U., Laghi, L., Dalla Rosa, M. Witrowa-Rajchert, D., “Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration”, *Food Chem*, 144, 18–25, (2014)
- Pavelkić, V.M., Brdarić, T.P., Petrović, M.J., “Application Of Peleg Model On Mass Transfer Kinetics During Osmotic Dehydration Of Pear Cubes In Sucrose Solution”, *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, 21:4, 485–492, (2015).
- Piyasena, P., Mohareb, E., McKellar, R. C., “Inactivation of microbes using ultrasound: A review.”, *Int J Food Micro*, 87, 207-216, (2003).
- Rastogi, N.K., Angersbach, A., Knorr, D., “Evaluation of Mass Transfer Mechanisms During Osmotic Treatment of Plant Materials”, *J Food Sci*, Vol. 65, (2000).
- Ratti C., “Hot-air and Freeze-drying of High Value Foods: A Review”, *J Food Eng*, 49, 311-319, (2001).
- Rodrigues, S., Oliveira, F., Gallão, M., Fernandes, F., “Effect of Immersion Time in Osmosis and Ultrasound on Papaya Cell Structure during Dehydration”, *Drying Technology: An International Journal*, 27:2, 220-225, (2009)
- Sabancı, S. ve İçier, F., “Kurutma ve İşletmede Hijyen”, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 29-36, (2013).
- Sacilik, K., “Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.)”, *J Food Eng*, 79, 23–30, (2007).
- Seerangurayar, T., Al-Ismaili, A. M., Jeewantha, L. J., ve Al-Habsi, N. A., “Effect of solar drying methods on color kinetics and texture of dates”, *Food and Bioproducts Processing*, 116, 227-239, (2019).
- Shamaei, S., Emam-Djomeh, Z. and Moini, S., “Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration Of Cranberries: Effect Of Finish Drying Methods And Ultrasonic Frequency On Textural Properties”, *Journal Of Texture Studies*, 43, 133-141, (2012).
- Simal, S., Benedito, J., Sanchez, E. S., Rossello, C., “Use Of Ultrasound To Increase Mass Transport Rates During Osmotic Dehydration”, *J Food Eng*, 36, 323-336, (1998).

Soysal, Y., “Microwave Drying Characteristics of Parsley”. *Biosystems Engineering*, 89: (2)167 – 173, (2004).

Stojanovic, J. ve Silva, J. L., “Influence of Osmoconcentration, Continuous High-Frequency Ultrasound and Dehydration on Properties and Microstructure of Rabbiteye Blueberries”, *Drying Technology: An International Journal*, 24(2), 165-171, (2006).

Suslick, K., The Chemistry Of Ultrasound, (24.03.2020), <http://suslick.scs.illinois.edu/sonochembritannica.html>, (2000).

Şahin, S. ve Sumnu, S.G., *Physical Properties of Foods*, Springer Science & Business Media, (2006).

Tao, Y., Sun, D.W., “Enhancement of Food Processes by Ultrasound A Review”, *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 55(1040-8398), 570–594, (2015).

Topdaş, E.F., Başlar, M., Ertugay, M.F., “Elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultrases işleminin etkisi”, *Akademik Gıda*, 9(5): 6-10, (2011).

Topdaş, E. F., ve Ertugay, M. F., “Kayısların Ultrases Yardımlı Ozmotik Kurutulması”, *The Journal Of Food*, 38(5): 299-306, (2013).

Tüfekçi, S., “Ultrases Ön İşleminin Bamyaya Ve Elma Örneklerinin Kurutma Performansları Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2014).

Tüfekçi, S. ve Özkal, S.G., “Ultrases Ön İşleminin Havuç Dilimlerinin Kuruma Karakteristikleri Üzerine Etkisi”, *Akademik Gıda*, 16(1), 11-19, (2018).

Ulusoy, K. ve Karakaya, M., “Gıda Endüstrisinde Ultrasonik Ses Dalgalarının Kullanımı”, *The Journal Of Food*, 36, 113-120, (2011).

Us, F., Ozmotik Kurutma, Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu, 65-68, (2006).

Uzunoğlu, T.P., “Yüksek Güçlü Ultrases İşleminin Kısa ve Uzun Ömürlü Ayrarın Mikrobiyolojik ve Duyusal Özelliklerine Etkisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2012).

Üstündağ, M., Ses Dalgaları Neden Maddesel Ortamda Yayılır, (24.03.2020), [https://www.fenokulu.net/yeni/Fen-Konulari/Konu/Ses-Dalgaları-Neden-Maddesel-Ortamda-Yayılır-Konu-Anlatimi\\_453.html](https://www.fenokulu.net/yeni/Fen-Konulari/Konu/Ses-Dalgaları-Neden-Maddesel-Ortamda-Yayılır-Konu-Anlatimi_453.html), (2015).

YILDIZ, D., 'Balkabağı Dilimlerinin Farklı Kurutma Yöntemleri İle Kurutulmasında Önişlem Olarak Ultrases Destekli Ozmotik Kurutma Kullanımı', Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Ordu, Türkiye, (2019)



# **EKLER**

## 10. EKLER

### EK A: 30 °C, 40 °C ve 50 °C’de Ultrases Destekli Ozmotik Kurutma ve Ozmotik Kurutma İşlemi Uygulanmış Elma Örneklerinin L\*, a\*, b\* ve ΔE Değerleri, Tek Yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

Descriptives								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
L 30								
Derece	2	8,446388	1,8698959	1,3222161	-8,353960	25,246736	7,1242	9,7686
US+OD								
40								
Derece	2	2,203801	1,0331331	,7305354	-7,078531	11,486134	1,4733	2,9343
US+OD								
50								
Derece	2	6,136361	1,7585982	1,2435167	-9,664017	21,936739	4,8928	7,3799
US+OD								
30								
Derece	2	1,909179	3,5645797	2,5205385	-30,117299	33,935657	-,6114	4,4297
OD								
40								
Derece	2	-,751823	2,8989475	2,0498654	-26,797833	25,294187	-2,8017	1,2980
OD								
50								
Derece	2	2,683555	3,2127522	2,2717589	-26,181878	31,548988	,4118	4,9553
OD								
Total	12	3,437910	3,6654075	1,0581120	1,109021	5,766799	-2,8017	9,7686
a 30								
Derece	2	392,364383	,9228005	,6525185	384,073349	400,65541	391,7119	393,0169
US+OD						7		

40									
Derece	2	354,136933	2,0062357	1,4186228	336,111620	372,16224	352,7183	355,5556	
US+OD						5			
50									
Derece	2	464,180108	2,1403286	1,5134408	444,950018	483,41019	462,6667	465,6935	
US+OD						7			
30									
Derece	2	380,658630	2,7838637	1,9684889	355,646607	405,67065	378,6901	382,6271	
OD						3			
40									
Derece	2	389,575726	2,5205511	1,7822987	366,929473	412,22197	387,7934	391,3580	
OD						9			
50									
Derece	2	458,206048	,2742890	,1939516	455,741660	460,67043	458,0121	458,4000	
OD						7			
Total	12	406,520305	42,4440587	12,2525444	379,552636	433,48797	352,7183	465,6935	
						3			
b 30									
Derece	2	20,1686	3,27304	2,31439	-9,2385	49,5757	17,85	22,48	
US+OD									
40									
Derece	2	15,4283	2,95073	2,08648	-11,0829	41,9396	13,34	17,51	
US+OD									
50									
Derece	2	22,1653	2,76306	1,95378	-2,6598	46,9905	20,21	24,12	
US+OD									
30									
Derece	2	17,6212	1,70002	1,20209	2,3471	32,8952	16,42	18,82	
OD									
40									
Derece	2	26,8402	1,30409	,92213	15,1234	38,5570	25,92	27,76	
OD									
50									
Derece	2	19,8105	,60702	,42923	14,3566	25,2644	19,38	20,24	
OD									
Total	12	20,3390	4,12127	1,18971	17,7205	22,9576	13,34	27,76	

**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L	Between Groups	108,699	5	21,740	3,337	,087
	Within Groups	39,088	6	6,515		
	Total	147,787	11			
A	Between Groups	19792,843	5	3958,569	1004,889	,000
	Within Groups	23,636	6	3,939		
	Total	19816,479	11			
B	Between Groups	154,821	5	30,964	5,803	,027
	Within Groups	32,013	6	5,336		
	Total	186,834	11			

**L**

	ornek	N	Subset for alpha = 0.05
			1
Tukey B <sup>a</sup>	40 Derece OD	2	-,751823
	30 Derece OD	2	1,909179
	40 Derece US+OD	2	2,203801
	50 Derece OD	2	2,683555
	50 Derece US+OD	2	6,136361
	30 Derece US+OD	2	8,446388

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.

**a**

	ornek	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Tukey B <sup>a</sup>	40 Derece US+OD	2	354,136933			
	30 Derece OD	2		380,658630		
	40 Derece OD	2			389,575726	
	30 Derece US+OD	2			392,364383	
	50 Derece OD	2				458,206048
	50 Derece US+OD	2				464,180108

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.

**b**

	ornek	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey B <sup>a</sup>	40 Derece US+OD	2	15,4283	
	30 Derece OD	2	17,6212	
	50 Derece OD	2	19,8105	19,8105
	30 Derece US+OD	2	20,1686	20,1686
	50 Derece US+OD	2	22,1653	22,1653
	40 Derece OD	2		26,8402

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.

**Descriptives**

ΔE

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
30 derece 330 US+OD	2	8,7458	,54021	,38199	3,8922	13,5994	8,36	9,13
30 derece 330 OD	2	5,7682	,33161	,23448	2,7888	8,7476	5,53	6,00
40 derece 330 US+OD	2	5,4665	,86204	,60955	-2,2786	13,2116	4,86	6,08
40 derece 330 OD	2	8,4340	,13193	,09329	7,2487	9,6193	8,34	8,53
50 derece 330 US+OD	2	8,2494	1,04729	,74055	-1,1601	17,6590	7,51	8,99
50 derece 330 OD	2	6,6462	1,60416	1,13431	-7,7666	21,0589	5,51	7,78
Total	12	7,2183	1,52492	,44021	6,2495	8,1872	4,86	9,13

**ANOVA**

ΔE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	20,747	5	4,149	5,152	,035
Within Groups	4,832	6	,805		
Total	25,579	11			

**ΔE**

Duncan<sup>a</sup>

örnek	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
40 derece 330 US+OD	2	5,4665	
30 derece 330 OD	2	5,7682	
50 derece 330 OD	2	6,6462	6,6462
50 derece 330 US+OD	2		8,2494
40 derece 330 OD	2		8,4340
30 derece 330 US+OD	2		8,7458
Sig.		,251	,068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.

**EK B: Ozmotik kurutma ve ultrases destekli ozmotik kurutma işlemi  
uygulanmış örneklerin 30 °C-40 °C-50 °C'de sertlik istatistik değerleri, Tek  
Yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları**

**Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
delme 30								
Derece	2	19,563815	3,6925472	2,6110252	-	52,740036	16,9528	22,1748
US+OD					13,612406			
40								
Derece	2	22,825730	,3993425	,2823778	19,237781	26,413680	22,5434	23,1081
US+OD								
50								
Derece	2	40,762127	4,5007480	3,1825094	,324511	81,199744	37,5796	43,9446
US+OD								
30								
Derece	2	17,428187	2,1897100	1,5483588	-2,245576	37,101950	15,8798	18,9765
OD								
40								
Derece	2	18,167474	,4661757	,3296360	13,979051	22,355896	17,8378	18,4971
OD								
50								
Derece	2	40,762127	4,5007480	3,1825094	,324511	81,199744	37,5796	43,9446
OD								
Total	12	26,584910	10,869247 6	3,1376815	19,678920	33,490901	15,8798	43,9446
tpa 30								
Derece	2	83,224194	2,7542801	1,9475701	58,477969	107,970419	81,2766	85,1718
US+OD								
40								
Derece	2	86,864161	2,4324233	1,7199830	65,009705	108,718617	85,1442	88,5841
US+OD								
50								
Derece	2	90,364904	,3108352	,2197937	87,572160	93,157647	90,1451	90,5847
US+OD								
30								
Derece	2	76,174665	2,9732144	2,1023800	49,461394	102,887936	74,0723	78,2770
OD								

40								
Derece	2	84,521999	2,2758038	1,6092363	64,074713	104,969286	82,9128	86,1312
OD								
50								
Derece	2	89,487512	1,7534009	1,2398417	73,733829	105,241194	88,2477	90,7274
OD								
Total	12	85,106239	5,2038861	1,5022325	81,799848	88,412631	74,0723	90,7274

**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
delme	Between Groups	1240,226	5	248,045	25,089	,001
	Within Groups	59,320	6	9,887		
	Total	1299,546	11			
tpa	Between Groups	267,192	5	53,438	10,446	,006
	Within Groups	30,693	6	5,116		
	Total	297,885	11			

**delme**

	ornek	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a</sup>	30 Derece OD	2	17,428187	
	40 Derece OD	2	18,167474	
	30 Derece US+OD	2	19,563815	
	40 Derece US+OD	2	22,825730	
	50 Derece US+OD	2		40,762127
	50 Derece OD	2		40,762127
	Sig.			,567

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.



tpa

	ornek	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a</sup>	30 Derece OD	2	76,174665	
	30 Derece US+OD	2	83,224194	83,224194
	40 Derece OD	2	84,521999	84,521999
	40 Derece US+OD	2		86,864161
	50 Derece OD	2		89,487512
	50 Derece US+OD	2		90,364904
	Sig.			,068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.

**EK C: Farklı sıcaklıklarda ozmotik kurutma ve ultrases destekli ozmotik kurutma işlemi uygulanmış örneklerin görünen yoğunluk, katı yoğunluk ve gözeneklilik istatistik değerleri, Tek Yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları**

**Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
apparent 30								
Derece US+OD 40	2	-7,183065	2,1975423	1,5538971	-26,927199	12,561070	-8,7370	-5,6292
Derece US+OD 50	2	-10,293513	2,1669885	1,5322922	-29,763131	9,176106	-11,8258	-8,7612
Derece US+OD 30	2	-9,797819	1,5081449	1,0664195	-23,347964	3,752325	-10,8642	-8,7314
Derece OD 40	2	-1,587993	1,0063680	,7116097	-10,629851	7,453865	-2,2996	-,8764
Derece OD 50	2	-1,518483	1,3434371	,9499535	-13,588787	10,551820	-2,4684	-,5685
Derece OD	2	-2,166124	1,4821267	1,0480218	-15,482504	11,150255	-3,2141	-1,1181
Total	12	-5,424500	4,1544157	1,1992765	-8,064089	-2,784910	-11,8258	-,5685
true 30								
Derece US+OD 40	2	40,713164	4,7050293	3,3269581	-1,559846	82,986175	37,3862	44,0401
Derece US+OD 50	2	38,023417	4,9740865	3,5172103	-6,666977	82,713811	34,5062	41,5406
Derece US+OD 30	2	26,440294	1,0920751	,7722137	16,628389	36,252199	25,6681	27,2125
Derece OD	2	15,566934	3,7495519	2,6513336	-18,121453	49,255322	12,9156	18,2183

40									
Derece	2	15,098066	2,0041318	1,4171352	-2,908345	33,104476	13,6809	16,5152	
OD									
50									
Derece	2	11,434624	1,9556763	1,3828720	-6,136430	29,005678	10,0518	12,8175	
OD									
Total	12	24,546083	12,235473 7	3,5320770	16,772034	32,320132	10,0518	44,0401	
porosity 30									
Derece	2	51,4681	5,00737	3,54074	6,4786	96,4575	47,93	55,01	
US+OD									
40									
Derece	2	57,1953	1,13010	,79910	47,0418	67,3489	56,40	57,99	
US+OD									
50									
Derece	2	52,4644	1,74370	1,23298	36,7979	68,1310	51,23	53,70	
US+OD									
30									
Derece	2	14,9451	6,32292	4,47098	-41,8642	71,7543	10,47	19,42	
OD									
40									
Derece	2	19,0118	6,70598	4,74184	-41,2390	79,2626	14,27	23,75	
OD									
50									
Derece	2	24,0195	,21442	,15162	22,0930	25,9460	23,87	24,17	
OD									
Total	12	36,5174	18,54042	5,35216	24,7374	48,2974	10,47	57,99	

#### ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
apparent	Between Groups	173,037	5	34,607	12,350	,004
	Within Groups	16,814	6	2,802		
	Total	189,851	11			
true	Between Groups	1576,803	5	315,361	27,042	,000
	Within Groups	69,972	6	11,662		
	Total	1646,775	11			
porosity	Between Groups	3666,831	5	733,366	38,468	,000
	Within Groups	114,387	6	19,064		
	Total	3781,218	11			

**apparent**

	ornek	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a</sup>	40 Derece US+OD	2	-10,293513	
	50 Derece US+OD	2	-9,797819	
	30 Derece US+OD	2	-7,183065	-7,183065
	50 Derece OD	2		-2,166124
	30 Derece OD	2		-1,587993
	40 Derece OD	2		-1,518483
	Sig.			,498

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.

**true**

	ornek	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Tukey HSD <sup>a</sup>	50 Derece OD	2	11,434624			
	40 Derece OD	2	15,098066	15,098066		
	30 Derece OD	2	15,566934	15,566934		
	50 Derece US+OD	2		26,440294	26,440294	
	40 Derece US+OD	2			38,023417	38,023417
	30 Derece US+OD	2				40,713164
	Sig.			,819	,102	,095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.

**porosity**

	ornek	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a</sup>	30 Derece OD	2	14,9451	
	40 Derece OD	2	19,0118	
	50 Derece OD	2	24,0195	
	30 Derece US+OD	2		51,4681
	50 Derece US+OD	2		52,4644
	40 Derece US+OD	2		57,1953
	Sig.			,401

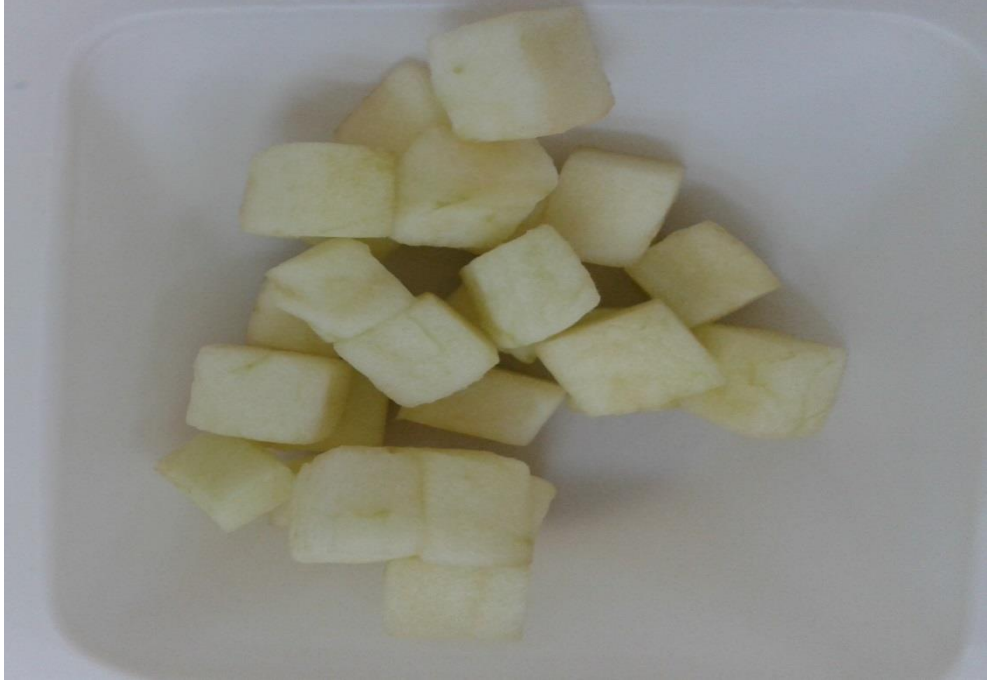
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.

**EK D: Resimler**



**EK D. 1:** İşlem görmemiş elma dilimi



**EK D. 2:** 330 dakika 50 °C'de ozmotik kurutma işlemi uygulanan elma dilimi



**EK D. 3:** 330 dakika 50 °C’de ultrases destekli ozmotik kurutma işlemi uygulanan elma dilimi

## 11. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatma GÜLER YARANLI

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli ve 24.09.1989

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : fatmaguler\_89@hotmail.com

İletişim Adresi : Şemikler Mah. 4836 Sok. No:9/C  
Gökyüzü Konutları K:2 D:6  
Merkezefendi / DENİZLİ

### **Bildiri Listesi**

Guler, F., Ozkal, S.G., “Ultrasound Destekli Osmotik Kurutmanın Fuji Cinsi Elmalara Uygulanması”, Pamukkale Gıda Sempozyumu III, 2015, (Pamukkale Üniversitesi)