

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

**ULTRASES ÖNİŞLEMİNİN SIĞIR BONFİLE VE TAVUK GÖĞÜS  
ETLERİNİN KURUTMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZLEM ZAMBAK**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2015**

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



**ULTRASES ÖNİŞLEMİNİN SIĞIR BONFİLE VE TAVUK GÖĞÜS  
ETLERİNİN KURUTMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÖZLEM ZAMBAK**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2015**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Özlem ZAMBAK** tarafından hazırlanan “Ultras Önişleminin Sığır Bonfile ve Tavuk Göğüs Etlerinin Kurutma Davranışları Üzerine Etkisi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 05.08.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Doç. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL

Üye  
Yrd. Doç Dr. Erkan KARACABEY  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
Üye  
Yrd. Doç. Dr. Haluk Ergezer  
Pamukkale Üniversitesi

  
.....  
  
.....  
  
.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
20.08.2015 tarih ve 31/3..... sayılı kararıyla onaylanmıştır..

  
.....

Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**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.**

**ÖZLEM ZAMBAK**



## ÖZET

**ULTRASES ÖNİŞLEMİNİN SIĞIR BONFILE VE TAVUK GÖĞÜS  
ETLERİNİN KURUTMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNE ETKİSİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÖZLEM ZAMBAK  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SAMİ GÖKHAN ÖZKAL)**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2015**

Bu çalışmanın amacı ultrases uygulamasının sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti kurutma davranışları üzerine etkisini incelemektir.

Bu amaçla 20 kHz frekansa sahip ultrases üreten prob kullanılarak örneklere önışlem uygulanmış ve önışlem sonrasında sıcak hava ile kurutma gerçekleştirilmiştir. Ultrases uygulaması % 100 genlikte, 5 ve 10 dakikalık sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi 0,3 m/s hava hızında 50°C ve 80°C olacak şekilde iki farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

Sıcak hava ile kurutma öncesi gerçekleştirilen ultrases önışleminin ürünün kuruma hızını, sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örneklerinin yapısal özelliklerine bağlı olarak bazı koşullarda arttırdığı saptanmıştır. Kuruma hızının en yüksek olduğu koşul hem sığır hem de tavuk eti örnekleri için % 100 genlikte 10 dakika ultrases uygulaması olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen veriler Lewis, Henderson ve Pabis, Page, Modifiye Page and Logaritmik Model olmak üzere beş ayrı modele uygulanmıştır. Bu modellerden sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örneklerinin kurutma kinetiğini en iyi açıklayan modelin Page model olduğu belirlenmiştir.

10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases uygulandıktan sonra 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerinin ve önışlem uygulanmadan 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerinin en yüksek rehidrasyon oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu koşullardaki rehidrasyon oranının sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti için sırasıyla 1,66 ve 1,72 olduğu tespit edilmiş ve örneklerin rehidrasyon kinetiğini ifade etmek için Peleg model kullanılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Ultrases, Kurutma, Rehidrasyon, Tavuk, Bonfile, Kinetik Modelleme

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF ULTRASOUND PRETREATMENT ON DRYING BEHAVIOR OF BEEF TENDERLOIN AND CHICKEN BREAST MEAT**

**MSC THESIS**

**ÖZLEM ZAMBAK**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**FOOD ENGINEERING**

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

**DENİZLİ, AUGUST 2015**

The objective of this study was to discover the effect of ultrasound treatment on drying behavior of beef tenderloin and chicken breast meat.

For this purpose, ultrasonic probe with 20 kHz frequency was used for pretreatment and after ultrasound pretreatment drying was performed by hot air. Ultrasound applications were made with 100 % amplitude during 5 and 10 minutes to beef tenderloin and chicken breast meat samples. Drying was performed at 0.3 m/s air velocity and at two different air temperatures of 50°C and 80°C.

It was found that ultrasound pretreatment prior to hot air drying increased the drying rate of samples at some conditions depending on the structural properties of beef tenderloin and chicken breast meat samples. Highest drying rate condition for both samples was obtained as 10 minutes ultrasound pretreatment having 100 % amplitude.

Data obtained in this study were fitted five mathematical model such as; Lewis, Henderson and Pabis, Page, Modified Page and Logarithmic Models. Amongst them Page model represented best the drying kinetics of the samples.

It was determined that the beef tenderloin samples dried at 80°C after 10 minutes ultrasound pretreatment having % 100 amplitude and chicken breast meat samples dried at 80°C without ultrasound pretreatment have the highest rehydration rate. Rehydration ratio values of beef tenderloin and chicken breast meat were determined in these conditions as 1.66 and 1.72, respectively and Peleg Model was used to represent rehydration kinetics of the samples.

**KEYWORDS:** Ultrasound, Drying, Rehydration, Chicken Breast Meat, Beef Tenderloin, Kinetic Modelling

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ULTRASES</b> .....	<b>2</b>
2.1    Ultrasesin Tanımı .....	2
2.2    Ultrasesin Oluşum Mekanizması.....	3
2.3    Kavitasyonu Etkileyen Parametreler .....	4
2.3.1    Sıcaklık .....	4
2.3.2    Frekans.....	5
2.3.3    Ultrases şiddeti.....	5
2.4    Ultrases Üreten Cihazların Mekanizması.....	5
2.5    Gıda Sanayinde Ultrases Kullanımı .....	6
2.5.1    Ultrasesin Et Ürünleri İşlemede Kullanımı .....	6
<b>3. GIDALARIN KURUTULMASI</b> .....	<b>8</b>
3.1    Kurutma Yöntemleri.....	8
3.1.1    Doğal Kurutma .....	8
3.1.2    Yapay Kurutma.....	9
3.2    Kurutma Evreleri .....	10
3.2.1    Isınma Evresi .....	10
3.2.2    Sabit Kurutma Hızı Evresi .....	10
3.2.3    Azalan Kurutma Hızı Evresi.....	11
3.3    Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler .....	12
3.3.1    Sıcaklık .....	12
3.3.2    Kurutma Havaasının Hızı .....	13
3.3.3    Ortamın Nem İçeriği .....	13
3.3.4    Kurutulan Gıdanın Yüzey Alanı .....	14
3.3.5    Gıdaya Özgü Nitelikler .....	15
3.4    Gıda Kurutmada Kullanılan Kurutucu Sistemeler .....	15
3.4.1    Kabin Tipi Kurutucu .....	15
3.4.2    Tünel Tipi Kurutucu .....	16
3.4.3    Akışkan Yatak Kurutucu .....	16
3.4.4    Valsli Kurutucular.....	17
3.4.5    Vakum Kurutucular .....	17
3.4.6    Püskürtmeli Kurutucular.....	17
3.4.7    Dondurulmuş Halde Kurutmanın Yapıldığı Kurutucular .....	18
3.4.8    Ozmotik Kurutucu .....	18
3.4.9    Dielektrik ve Mikrodalga ile Kurutucular .....	19
3.4.10    Infrared Kurutucular .....	19
3.5    Et Ürünlerinin Kurutulması.....	19
<b>4. GIDALARIN ULTRASES DESTEKLİ KURUTULMASINA YÖNELİK ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>21</b>

<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>25</b>
5.1 Materyal.....	25
5.2 Yöntem .....	25
5.2.1 Ultrases Önışlemi.....	25
5.2.2 Kurutma Denemeleri.....	26
5.2.3 Rehidrasyon Denemeleri.....	26
5.2.4 Su Tutma Kapasitesi .....	26
5.3 Hesaplamalar .....	27
5.3.1 Nem İçeriğinin Hesaplanması.....	27
5.3.2 Kuruma Hızının Hesaplanması.....	27
5.3.3 Nem Oranının Hesaplanması .....	27
5.3.4 Etkin Difüzyon Katsayısının Hesaplanması .....	28
5.3.5 Rehidrasyon Oranının Hesaplanması.....	28
5.3.6 Su Tutma Kapasitesinin Hesaplanması.....	29
5.4 Modelleme Çalışmaları .....	29
5.4.1 Kurutma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları.....	29
5.4.1.1 Page Model .....	29
5.4.1.2 Modifiye Page Model.....	29
5.4.1.3 Lewis Model .....	30
5.4.1.4 Henderson ve Pabis Model.....	30
5.4.1.5 Logaritmik Model .....	30
5.4.2 Rehidrasyon Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları.....	30
5.4.2.1 Peleg Model .....	31
5.4.3 Regresyon Analizleri .....	31
<b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>32</b>
6.1 Ultrasonik Önışlem Sırasında Meydana Gelen Değişimler .....	32
6.1.1 Sıcaklık Değişimi.....	32
6.1.2 Nem İçeriği Değişimi.....	32
6.2 Ultrasonik Önışlemin Sığır Bonfile Etinin Kurutulmasına Etkisi.....	34
6.2.1 Nem İçeriği Değişimi.....	34
6.2.2 Kuruma Hızı Değişimi.....	36
6.2.3 Kuruma Kinetiğinin Modellenmesi .....	37
6.2.4 Etkin Difüzyon Katsayısı.....	44
6.2.5 Ultrasonik Önışlemin Sığır Bonfile Eti Örneklerinin Rehidrasyonu Üzerindeki Etkisi .....	45
6.2.5.1 Nem içeriği değişimi .....	45
6.2.5.2 Rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi .....	47
6.2.6 Rehidrasyon Kinetiği Modellenmesi .....	48
6.3 Ultrasonik Önışlemin Tavuk Göğüs Etinin Kurutulması Üzerine Etkisi.....	49
6.3.1 Nem İçeriği Değişimi.....	49
6.3.2 Kuruma Hızı Değişimi.....	51
6.3.3 Kuruma Kinetiğinin Modellenmesi .....	52
6.3.1 Etkin difüzyon katsayısı.....	59
6.3.2 Ultrasonik Önışlemin Tavuk Göğüs Eti Örneklerinin Rehidrasyonu Üzerindeki Etkisi .....	60
6.3.2.1 Nem içeriği değişimi .....	60
6.3.2.2 Rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi .....	61
6.3.3 Rehidrasyon Kinetiği Modellenmesi .....	62
<b>7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>64</b>



<b>8. KAYNAKLAR.....</b>	<b>66</b>
<b>9. EKLER.....</b>	<b>71</b>
<b>10. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>94</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Sesin frekans aralığı.....	2
Şekil 2.2: Kavitasyon oluşumu, gelişimi ve patlama süreci.....	4
Şekil 3.1: Özgül nemin fonksiyonu olarak kuruma hızı eğrileri.....	12
Şekil 3.2: Gıdaların genel sorpsiyon izotermi.....	14
Şekil 3.3 : Paralel ve çapraz akışlı kabin kurutucu şematik gösterimleri.....	16
Şekil 6.1: Farklı koşullarda ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin nem içeriğinin zamanla değişimi.....	35
Şekil 6.2: Farklı koşullarda ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	37
Şekil 6.3: 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi .....	38
Şekil 6.4: 5 dakika süreyle %100 genlikte ultrases ön işlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	39
Şekil 6.5: 10 dakika süreyle %100 genlikte ultrases ön işlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	40
Şekil 6.6: 50°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	41
Şekil 6.7: 5 dakika süreyle %100 genlikte ultrases ön işlemi uygulanarak 50°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	42
Şekil 6.8: 10 dakika süreyle %100 genlikte ultrases ön işlemi uygulanarak 50°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	43
Şekil 6.9: Farklı koşullarda ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi.....	44
Şekil 6.10: Farklı koşullarda ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimi.....	46
Şekil 6.11: Farklı koşullarda ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin nem içeriğinin zamanla değişimi.....	50
Şekil 6.12: Farklı koşullarda ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi.....	51
Şekil 6.13: 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	53
Şekil 6.14: 5 dakika süreyle %100 genlikte ultrases ön işlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	54

Şekil 6.15: 10 dakika süreyle %100 genlikte ultrases ön işlemleri uygulanarak 80°C’de kurutulmuş tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	55
Şekil 6.16: 50°C’de kurutulmuş tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	56
Şekil 6.17: 5 dakika süreyle %100 genlikte ultrases ön işlemleri uygulanarak 50°C’de kurutulmuş tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	57
Şekil 6.18: 10 dakika süreyle %100 genlikte ultrases ön işlemleri uygulanarak 50°C’de kurutulmuş tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi.....	58
Şekil 6.19: Farklı koşullarda ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi.....	59
Şekil 6.20: Farklı koşullarda ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimi.....	61

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 6.1: Ultrasonik önişlem sırasında meydana gelen sıcaklık değişimi .....	32
Tablo 6.2: Sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örneklerinin ultrasonik önişlem uygulamasından önceki ve sonraki nem içeriği değerleri.....	33
Tablo 6.3: Sığır bonfile etinin 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde içeriğine gelene kadar geçen toplam süre (ultrasonik ön işlem + kurutma işlemi).....	36
Tablo 6.4: Önişlem uygulanmadan 80 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	38
Tablo 6.5: 5 dakika süreyle %100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	39
Tablo 6.6: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	40
Tablo 6.7: Önişlem uygulanmadan 50 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	41
Tablo 6.8: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	42
Tablo 6.9: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	43
Tablo 6.10: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin etkin difüzyon katsayısı değerleri.....	44
Tablo 6.11: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin rehidrasyon oranı ve su tutma kapasiteleri* .....	47
Tablo 6.12: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulan sığır bonfile eti örneklerinin nem içeriği değerleri kullanılarak Peleg modele ait model sabitleri ve istatistik değerler.....	48
Tablo 6.13: Tavuk göğüs etinin 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde içeriğine gelene kadar geçen toplam süre (ultrasonik ön işlem + kurutma işlemi).....	50
Tablo 6.14: Önişlem uygulanmadan 80 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler.....	53
Tablo 6.15: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	54
Tablo 6.16: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	55
Tablo 6.17: Önişlem uygulanmadan 50 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler.....	56

Tablo 6.18: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	57
Tablo 6.19: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler .....	58
Tablo 6.20: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin etkin difüzyon katsayısı değerleri .....	60
Tablo 6.21: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin rehidrasyon oranları ve su tutma kapasiteleri* .....	62
Tablo 6.22: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulan tavuk göğüs eti örneklerinin nem içeriği değerleri kullanılarak Peleg modele ait model sabitleri ve istatistik değerler .....	63

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada ultrasesin sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti kurutması üzerine etkisi araştırılmış, bu amaçla farklı sürelerde ultrases örneklerine uygulanmış ve nem içeriği, kuruma hızı, etkin difüzyon katsayısı, rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi gibi parametreler incelenmiş kurutma ve rehidrasyon kinetiği için modelleme çalışmaları yapılmıştır.

Çalışmam sırasında sırasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren hocam Doç. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL'a çalışmam süresince hiçbir yardımdan kaçınmayan Doç. Dr. Ramazan GÖKÇE, Yrd. Doç. Dr. Haluk ERGEZER, Araş. Gör. Dr. Engin DEMİRAY've Öğr. Gör. Senem TÜFEKÇİ'ye, laboratuvar çalışmaları aşamasında her türlü yardımı esirgemeyen Yeliz KARA'ya, bugüne kadar aldığım bütün kararlarımda beni maddi manevi destekleyen aileme ve her anlamda yol göstericim olan abim Ender ZAMBAK'a teşekkürü borç bilirim.

Ağustos 2015

Özlem ZAMBAK

## 1. GİRİŞ

Gıdaların muhafazası geçmişten günümüze tüm toplumlar tarafından önemsenmiş bir olgudur. Gıda muhafazasındaki temel prensip mikroorganizma ve enzim faaliyetlerinin durdurulması ya da sınırlandırılmasına dayanır. Bu kapsamda değerlendirdiğimizde pek çok gıda muhafaza yönteminin yanında kurutmanın yeri büyük önem arz etmektedir. Kurutma ile mikroorganizma ve enzim faaliyeti bir ortam olan su uçurulmakta ve böylece gıdaların raf ömrü uzatılmaktadır.

Kurutma geleneksel bir yöntem olması nedeniyle yüzyıllardır kullanılmaktadır. Gıda muhafaza açısından en güvenli yöntemlerden biri olduğu halde bir takım yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bazı gıdalar söz konusu olduğunda; işlem süresinin uzun olması, gıda yüzeyinde kabuk oluşması, gıdanın yapısının bozulması, istenmeyen renk değişimleri gibi olumsuzluklar meydana gelebilmektedir. Bu yüzden kurutma teknolojisinin yeni teknikler ile desteklenmesi gerekmektedir. Ultrases de bu yeni tekniklerden birisidir. Yapılan çalışmalar, ultrases destekli kurutma işleminin kurutulan üründe kabuk oluşumunu azalttığını buna bağlı olarak istenmeyen renk değişimlerini giderdiğini, oluşan mikro kanalcıklar sayesinde suyun difüzyonunun arttığını bu nedenle kurutma süresinin kısaldığını göstermiştir. Fakat gıda kurutulmasında ultrases kullanımının yaygınlaşması ve alternatif bir yöntem olarak kabulü için daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

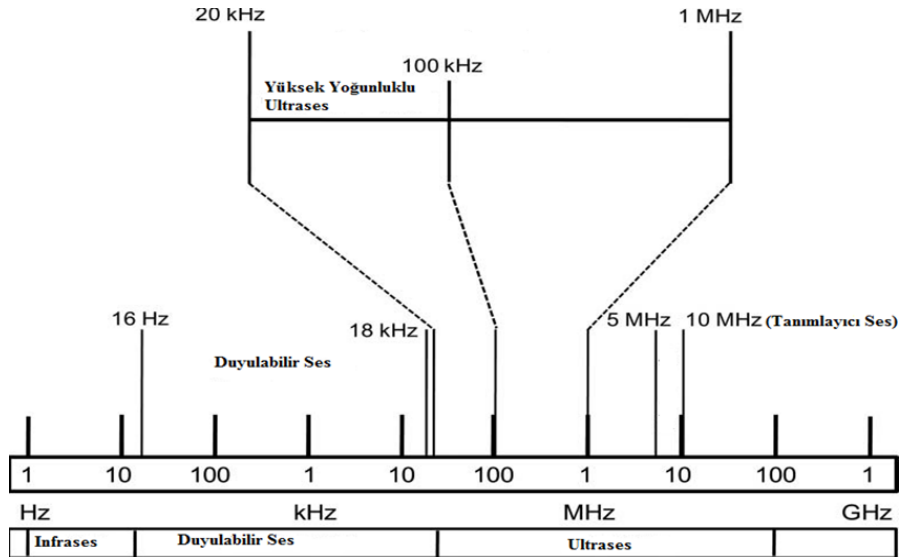
Yapılan literatür çalışması sonucunda ultrases önışleminin meyve ve sebzelerin kurutulmasında oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Fakat ultrasesin etin kurutulmasına olan etkisi konusunda yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada ultrasesin önışlem olarak kullanımının tavuk göğüs eti ve sığır bonfile etinin kuruma kinetiğine ve bazı kalite özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

## 2. ULTRASES

### 2.1 Ultrasesin Tanımı

Ses frekansları Hertz birimi ile ifade edilmekte ve ses dalgalarının saniyede yaptığı bir döngü olarak tanımlanmaktadır. İnsan kulağının 20 Hz ile 20 kHz arasında değişmektedir. Diğer türler daha geniş bir duyma aralığına sahiptirler (Mason and Lorimer, 2002). Sesin frekans aralıkları Şekil 2.1’ de verilmiştir (Rastogi 2011).

Ultrases insan kulağının algılayamayacağı bir aralıkta frekansa sahip olan ses dalgalarına verilen ad olarak tanımlanabilmektedir. Bu ses dalgaları, yayılmak için elastik bir ortama ihtiyaç duyar ve 20 kHz ile 10 MHz arasındaki frekanslarda çalışır. Ultrases bir ortam boyunca ilerlediğinde ortamdaki parçacıkların sıkışma ve genişmesine neden olarak ortamda büyük miktarda enerji açığa çıkmasını sağlamaktadır (Awad ve diğ. 2012, Pingret ve diğ. 2013, Zbigniew ve diğ. 2007 ).



Şekil 2.1: Sesin frekans aralığı (Rastogi, 2011).



Ultrases temel olarak yüksek frekans düşük güç ve düşük frekans yüksek güç uygulaması olarak ikiye ayrılmaktadır. Yüksek frekans düşük güç uygulaması MHz aralığındaki frekanslarda çalışırken, düşük frekans yüksek güç uygulaması ise kHz frekans aralıklarında çalışmaktadır (Mason and Lorimer 1996).

Balina ve yarası gibi bazı hayvanlar doğada ultrasesi avlanmada veya yön bulmada kullanırlarken; gıda, çevre, ilaç, kimya, makine ve madencilik gibi pek çok sektörde bu teknolojiye yararlanılmaktadır (Zbigniew ve diğ. 2007, Başlar 2011).

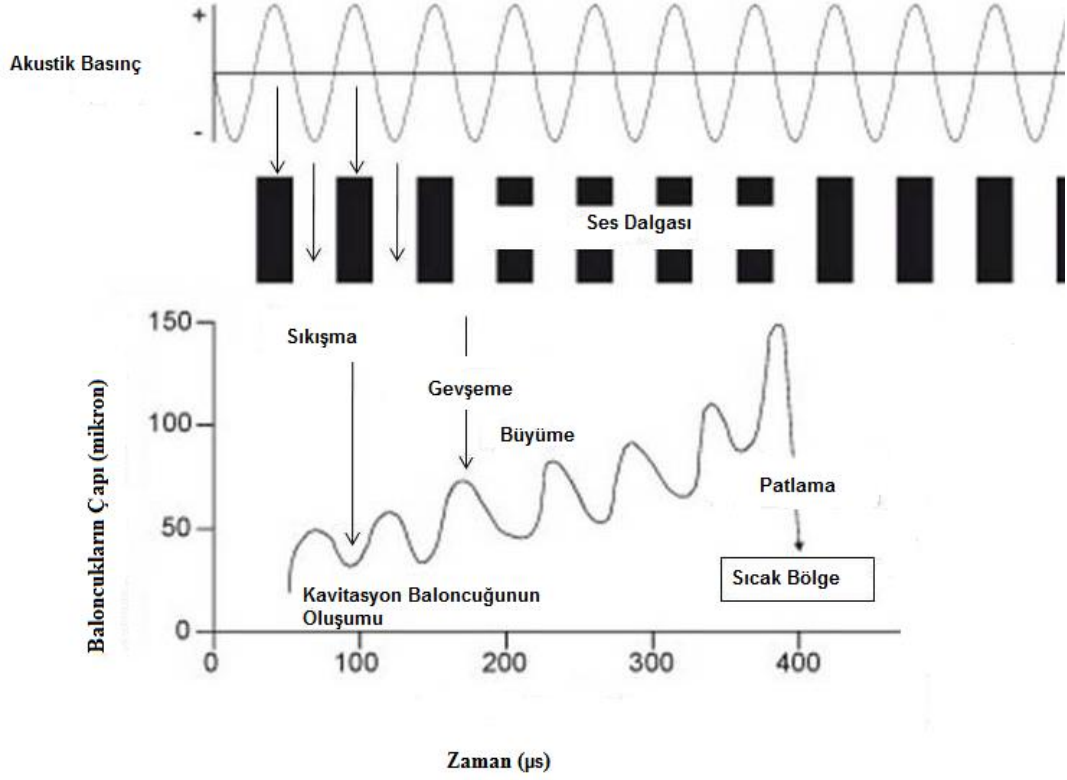
## 2.2 Ultrasesin Oluşum Mekanizması

Mekanik bir dalga çeşidi olarak, ultrases dalgaları bir ortamdan geçtiklerinde ortamda sıkışma ve genişleme serilerine neden olmaktadır. Sıvı fazdaki dolaşımını sırasında dalgaların genliği belli bir seviyeyi aştığında ortamda mikrometre çapında baloncuklar oluşmaktadır. Bu baloncuklar belli bir seviyeye kadar ortamdan enerji absorblarlar ve enerji absorblayamayacakları düzeye geldiklerinde ise patlayarak içe doğru çökerler. Bu olaya kavitasyon adı verilmektedir. Yaklaşık 400 µs içerisinde gerçekleşen bu olay ultrasesin oluşum mekanizmasını anlamak için en önemli olgu kabul edilmektedir (Şekil 2.2) (Tao and Sun 2015, Garcia and Castro 2003, Mason ve diğ., 1996).

Patlayarak içe çökme sırasında kabarcıkların sıcaklığının 5000°C, basıncının ise 1000 atm olabileceği tahmin edilmektedir. Kabarcıkların boyutu toplam sıvı hacmiyle karşılaştırıldığı zaman çok küçüktür. Bu yüzden kabarcıkların ürettiği ısı çevresel koşullarda fark edilmeyecek şekilde hızlıca dağılır (Garcia and Castro, 2003, Chemat ve diğ. 2011).

Kavitasyon; geçici kavitasyon ve kararlı kavitasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Kararlı kavitasyonda baloncuklar, patlayarak içe çökmek için yeterli seviyeye ulaşamadıklarından her ultrases döngüsünde oluşurlar ve herhangi bir çöküş olmadan oluşumuna devam ederler. Bu baloncuklar düşük akustik basınçlarda meydana gelir. Yüksek akustik basınçta ise baloncuklar hızlı bir şekilde büyürler ve belli bir ölçüye geldiklerinde patlayarak içe doğru çökme gerçekleşir. Bu olay geçici kavitasyon olarak adlandırılır. Bu baloncukların anlık olarak patlayarak içe doğru çökmesi

yüksek sıcaklık (yaklaşık 5000 °C) ve yüksek basınç (yaklaşık 1000 atm) oluşumuna neden olmaktadır (Tao and Sun 2015, Garcia and Castro 2003).



Şekil 2.2: Kavitezyon oluşumu, gelişimi ve patlama süreci (Latheef, 2012).

## 2.3 Kavitezyonu Etkileyen Parametreler

### 2.3.1 Sıcaklık

Yüksek sıcaklıklarda, buhar basıncı artmakta ve gerilim kuvveti azalmakta, daha fazla kabarcık meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda daha fazla kabarcık oluşmasına rağmen kabarcıkların patlayarak içe doğru çöktükleri andaki şiddeti dolayısıyla etkinlikleri azalmaktadır (Mason and Lorimer 2002).

### **2.3.2 Frekans**

Ultrases frekansı kavitasyon oluşumunda oldukça etkilidir. Yüksek şiddete sahip ultrases ekipmanları 20 kHz gibi düşük frekanslarda daha etkilidir. Ayrıca düşük frekanslarda yüksek akustik basınca sahip yüksek genlikte akustik dalga üretmek kolaydır. Fakat 1 MHz ve üzerindeki yüksek frekansta akustik basınçlar daha düşüktür ve bu genlik içerisinde çok daha kolay bir şekilde dağılır (Başlar 2011).

### **2.3.3 Ultrases şiddeti**

Kavitasyon olayının gerçekleşmesi için gereken eşik şiddetinin aşılması gereklidir. Eşik şiddeti ultrasesin frekans değerine ve gıdanın özelliklerine bağlı olarak değişir. Ultrases şiddetinin artmasıyla üretilen kabarcık miktarı da artacaktır. Fakat kabarcık miktarının artması her zaman olumlu sonuçlar getirmeyebilir. Bazı durumlarda kavitasyon kabarcıkları arttığında birbirleriyle kaynaşmak istemekte ve bu da patlamanın geç olmasına sebep olarak kavitasyon oluşum süresinin uzamasına neden olmaktadır (Başlar 2011).

## **2.4 Ultrases Üreten Cihazların Mekanizması**

Ultrasonik özellik gösteren ses dalgalarını üreten cihazlar, alternatif akımı, mekanik titreşime dönüştürmektedir. Mekanik titreşimler mekanik basınç dalgalarına dönüşerek ortamdaki maddeye iletilmektedir. Bu işlemi gerçekleştiren ekipmanlara transduser denir. Gaz zorlamalı transduser, sıvı zorlamalı transduser, elektromekanik transduser olmak üzere yaygın olarak kullanılan üç tip transduser vardır (Kantaş 2007).

Elektromekanik transduserlar, piezoelektrik ve magnetostriktif transduserlar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Piezoelektrik transduserlar ultrases iletiminde en çok kullanılan cihazlardır ve seramik içeren piezoelektrik materyal kullanırlar. Aktif element elektrik enerjisini akustik enerjiye dönüştürdüğü için transduserin en önemli parçası olarak düşünülmektedir (Rastogi 2011, Kantaş 2007).

Aktif element temel olarak iki karşılıklı uca bağlanmış elektrotlar ile bir parça polarize bir materyalden oluşur. Materyale elektrik alan uygulandığında polarize moleküller kendilerini elektrik alana uygun hale getireceklerdir. Bu da maddenin moleküller ya da kristal yapısında oluşturulan çift kutuplar ile sonuçlanır. Bu uyum materyalin boyut değiştirmesine neden olur, bu olay elektrostriksiyon olarak bilinir. Materyale empoze edilen mekanik gücün sonucu olarak materyalin boyutları değiştiğinde kuartz ve baryum titanat gibi sürekli polarize moleküller elektrik alan üretirler. Bu olay piezoelektrik etki olarak bilinir. Bu olay sonucunda ise ultrases oluşur (Rastogi 2011).

## **2.5 Gıda Sanayinde Ultrases Kullanımı**

Gıda sanayinde ultrases; filtrasyon, köpük giderme (defoaming), gaz giderme (degassing) ve hava alma (deaeration), depolimerizasyon, pişirme, kesme, kalıptan çıkarma ve ekstrüzyon, dondurma ve kristalizasyon, kurutma, eritme ve çözündürme, salamura kurma, turşu yapımı, marinasyon, sterilizasyon ve pastörizasyon, tenderizasyon, emülsifikasyon ve homojenizasyon, ekstraksiyon gibi işlemlerde kullanılır (Chemat 2011). Gıda sanayinde ses dalgasının şiddetine göre ultrases uygulaması; düşük yoğunluk-yüksek frekans-düşük güç ve yüksek yoğunluk-düşük frekans-yüksek güç olarak ikiye ayrılmaktadır. Düşük yoğunluk yüksek frekans düşük güç uygulaması 100 kHz ile 1 MHz arasındaki frekanslarda uygulanır. Kullanılan güç değeri  $1 \text{ W/m}^2$ 'den küçüktür. Bu uygulama ile ürünün yapısında herhangi bir bozulmayı gerektirmeyecek sertlik, olgunluk derecesi, şeker içeriği ve asitliğin belirlenmesi gibi analizlerde gerçekleştirilebilir. Yüksek yoğunluk düşük frekans yüksek güç uygulamasında ise 16 - 100 kHz arasındaki frekanslarda ve  $10 - 1000 \text{ W/m}^2$  arasındaki güçlerde çalışılmaktadır. Bu tür uygulamalarla gıdanın kimyasal ve fiziksel özellikleri değiştirilebilmektedir (Pico 2013).

### **2.5.1 Ultrasesin Et Ürünleri İşlemede Kullanımı**

Ultrasesin gıda sanayinde kullanıldığı alanlardan biri de et işleme teknolojisidir. Ultrases etin miyofibriler yapısını değiştirdiğinden etin

gevrekleştirilmesi, salamura edilmesi, çözündürülmesi ve dondurulması gibi işlemleri kolaylaştırmaktadır. Semimembranosus kaslarına, 20 kHz frekansa 62 W/ m<sup>2</sup> güce sahip bir prob vasıtasıyla 15 saniye aralıklarla 2 dakika boyunca ultrases uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda gevreklikle doğrudan ilgisi olan miyofibrillerin mekanik dayanıklılığının arttığı gözlemlenmiştir (Lyng ve diğ. 1998). Semitendinosus kası üzerine yapılan farklı bir çalışmada ise 200 g ağırlığında ve 2,54 cm kalınlığında hazırlanan örneklere 29 kHz frekansta 0, 2, 4, 8, 16 dakika boyunca ultrases uygulanmış ve bu uygulamanın etin gevrekliği üzerine olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Smith ve diğ. 1991). Benzer olarak *Longissimus thoracis*, *Semimembranosus* ve *Biceps femoris* olmak üzere üç farklı kas örneği seçilip 30 ve 40 kHz frekansa, 62 W/cm<sup>2</sup> güce sahip bir ultrasonik banyo vasıtasıyla seçilen kas örneklerine ultrases uygulanmış fakat gevreklik üzerine bir etkisi olmadığı belirtilmiştir (Lyang and Allen 1996). 45 dakika boyunca 20 kHz frekansta 0 – 100 W/ cm<sup>2</sup> arasındaki güçlerde ultrasonik banyo ve prob vasıtasıyla salamura uygulaması gerçekleştirilen *Longissimus dorsi* kaslarının belli bir eşik altında ultrases uygulandığında NaCl transferinin arttığı belirlenmiştir (Carcel ve diğ. 2007). 40 kHz frekansa ve 37,4 W/ dm<sup>3</sup> güce sahip ultrasonik banyo kullanılarak salamura edilen *Longissimus Dorsi* kaslarının son NaCl içeriğinin ve tekstürünün değişmesinin yanı sıra salamura işleminde NaCl ve su geçişinin arttığı tespit edilmiştir (Ozuna ve diğ. 2013). *Longissimus thotacis* et lumborum kaslarının belli bir NaCl içeriğine gelmesini sağlamak amacıyla ultrasonik uygulama gerçekleştirilmiş ve istenilen NaCl konsantrasyonuna kontrol grubuna göre daha kısa sürede ulaşılmıştır (McDonnell 2014). 20 kHz frekansa ve 100 W/ cm<sup>2</sup> güce sahip bir proba *Longissimus Dorsi* kaslarının salamura edilmesi incelenmiş ve NaCl içeriğinde ultrases yoğunluğu ile doğru orantılı bir değişim tespit edilmiştir (Carcel ve diğ. 2003). Kesimden sonra sığır etinin *Semimembranosus* kaslarına 2 W/cm<sup>2</sup> güce ve 25 kHz frekansa sahip ultrasonik muamele gerçekleştirilmiş ve daha sonra dondurma ve çözündürme işlemi gerçekleştirilerek kalite parametreleri incelenmiş, ultrasonik dondurulup çözündürülen etin damlama kaybının azaldığı, et liflerinin birbirine tutunma kuvvetinin arttığı, sertlik ve elastikiyetinin azaldığı, su tutma kapasitesin arttığı belirlenmiştir (Dolatowski 2000).

### 3. GIDALARIN KURUTULMASI

Gıdaların kurutulularak dayandırılma yöntemi gıda maddelerini dayanıklı hale getirmek için kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Kurutulmuş gıdaların içeriğindeki su, enzimatik ve mikrobiyal faaliyetler açısından güvenilir sınırdadır olduğundan bu gıdalar uzun süre depolanabilmektedir. Kurutma işleminin esas amacı gıda maddesini dayanıklı hale getirmektir (Gürses 1986).

Birçok gıda muhafaza yöntemi açısından kurutmanın yeri ayrıcalıklıdır. Kurutma işlemiyle gıdadaki mevcut su, onun bozulmasına izin vermeyecek düzeye kadar azaltıldığı için kesin bir muhafaza olanağı sağlanmaktadır. Kurutulmuş gıdalar diğer yöntemlerle dayandırılanlardan farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmışlardır. Maliyet açısından değerlendirildiğinde de kurutma; en ucuz muhafaza yöntemidir. Kurutulmuş gıda üretiminde işçilik ve ekipman maliyeti düşük olduğu gibi son ürünü taşıma ve depolama maliyetleri de oldukça azdır. Kurutulmuş ürünler kuru olarak tüketilebildiği gibi, hazır çorba, bebek maması, hazır yemekler gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Cemeroğlu 2004).

17. yüzyılda özellikle savaşlarda gıdaların uzun süreli olarak depolanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Fransızlar ilk kurutucunun üretimini gerçekleştirerek gıdaların kurutulması konusunda ilk adımı atmışlardır. Kurutulmuş gıdaların kolay taşınabilir ve depolanabilir olması özellikle savaş zamanlarında oldukça büyük yarar sağlamıştır (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado 1996).

#### 3.1 Kurutma Yöntemleri

##### 3.1.1 Doğal Kurutma

Güneş ısısından yararlanılarak ürünün yapısındaki su oranının azaltılması işlemi doğal kurutma olarak adlandırılır. Geleneksel olarak güneşte kurutma gıda kurutmada kullanılan en yaygın yöntemdir. Fakat kurutma için geniş alanların gerekmesi, kurutulan ürünün haşere, kuş, böcek, toz gibi zararlılara maruz kalması

bu yöntemin en büyük dezavantajlarından. Ayrıca kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kurutma süresi uzundur. Bu kurutma yönteminde genellikle % 15'in altındaki su oranlarına inilemez. Fakat herhangi bir ekipmana ihtiyaç duyulmadığından diğer kurutma yöntemlerine göre maliyet açısından daha elverişlidir (Soysal 2004, Er 2011).

### 3.1.2 Yapay Kurutma

Kurutma işlemi, kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda gerçekleştiriliyorsa, buna yapay kurutma adı verilir. Bu uygulamada ürünün yapısında önemli değişiklikler olmaksızın yapıdaki suyun tamamının ya da tamamına yakın kısmının uzaklaştırılması söz konusudur. Kurutma işleminde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri kurutulmuş ürünün rehidrasyon işlemi sonrasında eski haline ya da eski haline en yakın duruma dönmesidir (Dadalı 2007).

Kurutma yöntemini temel olarak doğal ve yapay kurutma şeklinde kategorize edebiliriz fakat kurutma yöntemlerinin farklı şekillerde sınıflandırılması da söz konusudur. Bunlardan biri gıdayı kurutmak amacıyla gerekli ısının gıdaya ulaşma şekline göre sınıflandırmadır. Buna göre "*konveksiyon kurutma*", "*kontakt kurutma*" ve "*radyasyon kurutma*" olmak üzere başlıca üç farklı kurutma yönteminden söz edilebilir (Cemeroğlu 2004).

Konveksiyon kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından, çoğunlukla hava tarafından taşınır. Sıcak hava, kurutulacak materyalin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak "*sıcak hava kurutma*" tekniği olarak bilinir (Cemeroğlu 2004).

Kontakt kurutmada ise evaporasyon için gerekli ısı, kondüksiyonla taşınır. Yani, kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır (Cemeroğlu 2004).

Radyasyon kurutmada kurutulacak materyale ısı; herhangi bir maddi taşıyıcıya ihtiyaç olmaksızın sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile ulaştırılmaktadır (Cemeroğlu 2004).

### **3.2 Kurutma Evreleri**

Birim zamanda birim alandan buharlaşan su kütlesi "kurutma hızını" belirler. Kaliteli ürün eldesi ve ısı ekonomisi bakımlarından kurutma hızı büyük önem taşımaktadır. Katı bir maddenin hava ile kurutulmasına dış koşulların etkisini inceleyen çalışmalardan elde edilen deneysel bilgiler, sabit kurutma koşulları (hava hızı, nem, sıcaklık ve basınç) altında katıya ait nem miktarının zamanın bir fonksiyonu olduğunu ortaya koymuştur. Deney sonuçlarının ya grafik ya da sayısal yoldan türevi, kurutma hızını verir ve bu ya serbest nem ya da zamana karşı olarak çizilir. Bu eğri incelendiğinde kurutma hızının dört evreden oluştuğu gözlemlenmektedir. Fakat bazı kaynaklar azalan hız evresini kendi arasında ikiye ayırmadan incelediklerinden toplamda üç evre olduğundan bahsedilebilir. Bunlar ısınma evresi, sabit kuruma hızı evresi ve azalan kuruma hızı evresidir. Azalan kuruma hızı evresi ise azalan hız ön evresi ve azalan hız son evresi olmak üzere ikiye ayrılabilir. Kurumakta olan bir maddenin nem miktarındaki değişim Şekil 3.1'de verilmiştir (Doğantan 1986, Güneş 1994).

#### **3.2.1 Isınma Evresi**

Bu evre yükselen hız evresi olarak da adlandırılmakta ve bu evrede verilen ısı miktarı, malzemenin ve bu malzemenin bünyesinde bulunan sıvının sıcaklığını yükseltmeye yarar. Bu evrede buharlaşma sıcaklıkla birlikte artar. Şekil 3.1'de AB arası ile bu evre gösterilmiştir (Güneş 1994).

#### **3.2.2 Sabit Kurutma Hızı Evresi**

Sabit kurutma hızı evresi Şekil 3.1'de BC çizgisi şeklinde gösterilmiştir. Bu evrede ürünün üzeri ince bir su tabakası ile kaplı olduğundan, önce su tabakası buharlaşmaya başlar. Başlangıçta çok hızlı olan buharlaşma, bir süre sonra yüzeyin hemen üzerinde oluşan buhar tabakası nedeniyle yavaşlar. Bu evrede kurutma hızı sabittir ve sadece katı maddenin yüzeyine etki eden hava hızı, akış şekli, sıcaklık ve nem gibi değişkenler tarafından kontrol edilir (Özel 2010).

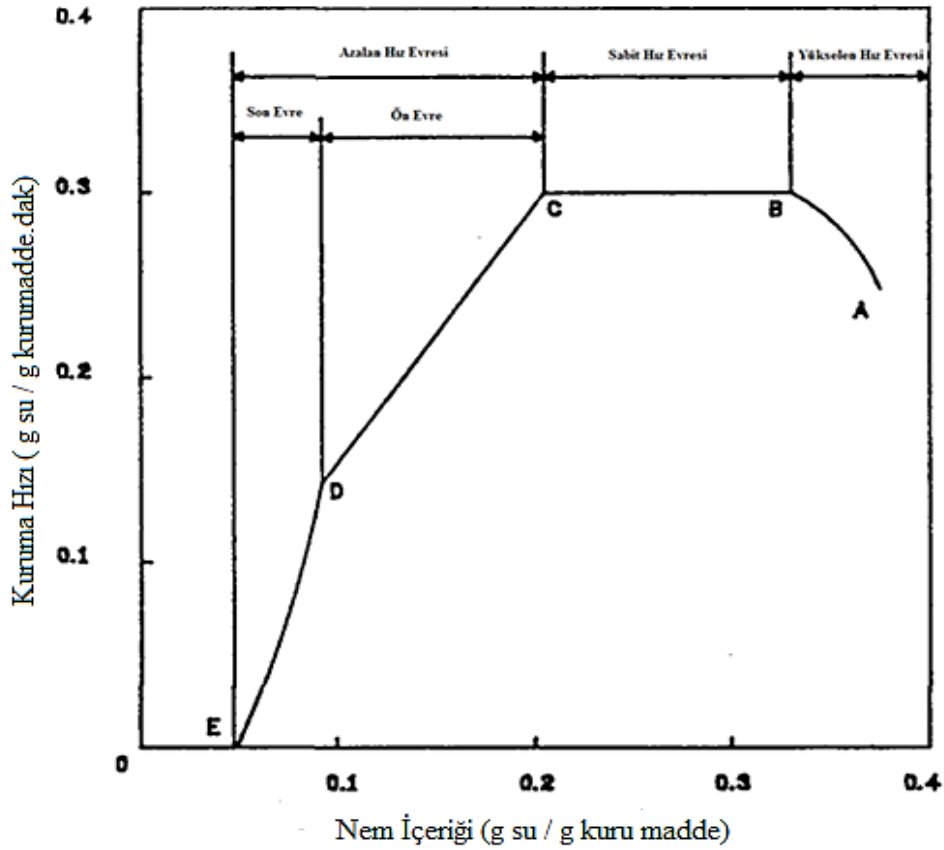


Sıcak havadan katı maddeye aktarılan ısı katının içindeki nemi buharlaştırmada dengeli bir biçimde kullanıldığı için sabit kurutma hızı evresinde ısı ve kütle transferi arasında dinamik bir denge kurulur. Bu süreç esnasında katının iç nem hareketi tüm dış yüzeyi yaş olarak korumaya yeter çabukluktadır. Yani bu süreç boyunca dış yüzey her an neme doymuş durumdadır. Dolayısıyla yaş katının kütle transfer alanı ısı transfer alanına eşittir. Yani kurutma hızı ısı transferi tarafından kontrol edilir. Şekil 3.1'deki C noktası, ürünün yüzeyinde serbestçe buharlaşabilen nemin sona erdiği noktayı belirtir, bu noktada sabit hızda kuruma evresi sona erer ve bu noktadaki neme "kritik nem" adı verilir (Güneş 1994, Doğantan 1986).

### 3.2.3 Azalan Kurutma Hızı Evresi

Şekil 3.1'de CE çizgisi ile gösterilen evredir. Bu evrede kritik nem içeriğine gelen gıda maddesi sabit hızda kurutma evresinden azalan hızda kurutma evresine geçer. Artık sıcak havanın özelliklerinin kurutma hızına etkisi azalmış olup onun yerini gıdanın iç yapı özellikleri almıştır. Kritik noktadan sonra gıdanın yüzeyi kurudur ve bu yüzden gıdanın iç kısımlarında bulunan su, buhar olarak yüzeye taşınarak gıdadan uzaklaştırılır. Bu evrede gıdanın nem kaybı az olmasına rağmen sabit hızda kurutma evresine göre daha uzun zaman alır. Bunun nedeni gıdanın içindeki su oranının azalmış olmasıdır. Bu evreyi azalan hızda kurutma ön evresi (Şekil 3.1 de CD arası) ve azalan hızda kurutma son evresi (Şekil 3.1'de DE arası) olarak ikiye ayırmak da mümkündür (Güneş 1994, Dadalı 2007).

Azalan hız kurutma evresinde kütle transferi temel olarak "Sıvı Difüzyon Teorisi" ve "Kılcal Hareket Teorisi" olmak üzere iki teoriye göre açıklanmaktadır. Sıvı Difüzyon Teorisine göre; yüzey ile katı arasında var olan konsantrasyon farkından dolayı sıvı difüzyonu gerçekleşmektedir. Bu tür nem transferi tek fazlı çözeltiler oluşturan püre ve jelatin gibi gözeneksiz gıdalarda gözlemlenmektedir. Kılcal Hareket Teorisinde ise; serbest nemin kılcal borulara doğru hareket etmesi ve bu yolla yapıyı terk etmesi söz konusudur (Geankoplis 2003).



Şekil 3.1: Özgül Nemin Fonksiyonu Olarak Kuruma Hızı Eğrileri (Güneş, 1994).

### 3.3 Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler

Kuruma hızı; doğrudan doğruya, ısı ve kütle transferine etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Bu faktörlerden başlıcaları havanın sıcaklık, nem ve kurutucudaki hızı, kurutulan materyale en geniş yüzey alanı kazandıracak geometrik düzenleme (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vb.), kurutulan materyalin bileşimi gibi kendine özgü özellikleridir (Cemeroğlu 2004).

#### 3.3.1 Sıcaklık

Kuruma hızını etkileyen en önemli faktörlerden birisi, kurutmada kullanılan sıcak havanın kuru ve ıslak termometre dereceleri arasındaki farktır. Eğer kullanılan

sıcak havanın ıslak ve kuru termometre sıcaklığı arasında bir fark yoksa bu havanın sıcaklığı ne olursa olsun herhangi bir kurutma potansiyeli olduğunu söyleyemeyiz. Islak ve kuru termometre arasındaki sıcaklık farkı arttıkça kuruma hızı da artar. Diğer taraftan ıslak ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki farkın sabit olduğu durumlarda kuru termometre sıcaklığı arttıkça difüzyon hızı artar buna bağlı olarak kuruma hızı artar ve kuruma süresi kısalır. Kurutma işlemi sırasında yüksek sıcaklıklarda çalışmanın ısı kayıplarını en aza indirmesi, yüksek buhar basıncı sağladığından hızlı bir kurutma işlemi gerçekleştirmesi, denge nem içeriğini yükseltmesi gibi faydalarının olmasının yanı sıra ince tabaka halinde kurutulan gıdaların yanması ve besin kayıpları gibi zararları da mevcuttur (Cemeroğlu 2004, Dadalı 2007).

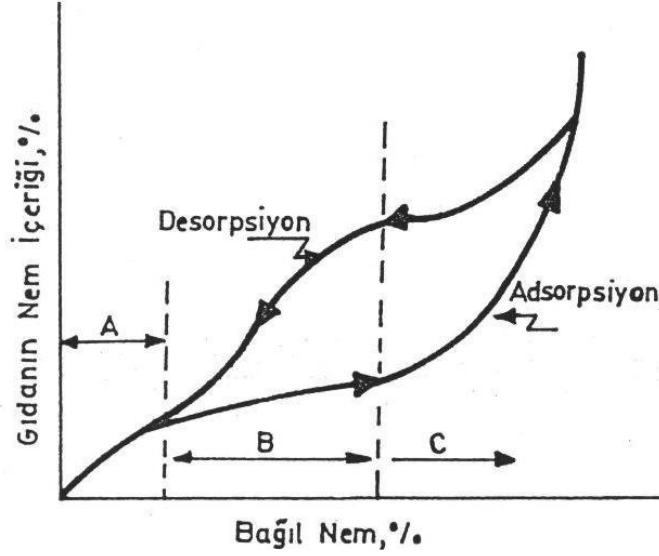
### **3.3.2 Kurutma Havaının Hızı**

Kurutucudaki kurutma havaının hızı, gıdaların kurutulmasında kuruma hızına etki eden faktörlerden birisidir. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma sırasında, daima durgun bir buhar filmi oluşur. Eğer bu filmin sürekli olarak uzaklaştırılması sağlanırsa, suyun evaporasyonunda bir hızlanma belirir. İşte hava hızı, bu buhar filmini sürekli olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunmaktadır. Ancak bu etki belli bir hava hızına ulaşılan kadar görülmektedir. 300 m/dak'dan fazla bir hava hızının kuruma hızı üzerine bir etkisi yoktur. Ayrıca kuruma havaının hızı kurumanın bulunduğu aşamaya göre değişmektedir. Kurumanın başlangıcında kuruma havaının hızı oldukça etkili olmasına rağmen kurumanın ileri aşamalarında alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınması sınırlayıcı etki yaptığından hava hızının etkisinin azaldığı gözlemlenmektedir (Cemeroğlu 2004).

### **3.3.3 Ortamın Nem İçeriği**

Kurutulan gıdanın içerdiği nem miktarı ortamda bulunan su buharı miktarına göre değişiklik gösterir. Ortamın nem içeriği değiştirildiğinde maddedeki nem değişimi farklı karakteristiklere sahip olmaktadır. Sabit sıcaklıkta maddenin içinde

bulunduğu ortamın nem miktarının değiştirilmesi ile maddedeki nem miktarının değişimini gösteren eğrilere sorbsiyon izotermi denilmektedir (Dadalı 2007). Şekil 3.2'de gıdaların genel sorbsiyon izotermi gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Gıdaların genel sorbsiyon izotermi (Cemeroğlu 2004).

Sabit sıcaklıkta ortamdaki nem içeriğinin artırılmasıyla meydana gelen, maddenin nem miktarındaki değişim adsorpsiyon (maddenin nem alması), sabit sıcaklıkta ortamdaki nem içeriğinin azaltılması ile maddenin içerdiği nem miktarında meydana gelen değişime ise desorpsiyon (maddenin nem kaybetmesi) adı verilmektedir (Baker 1997).

Bir gıdanın sorbsiyon izotermi, adsorpsiyon ya da desorpsiyon izotermi olarak belirlenebilmektedir. Yaş bir gıdanın desorpsiyon ile adsorpsiyon olayı ters yönde gelişen iki olay da olsa aynı yolu izlememektedirler. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi çoğunlukla A bölgesinin başlangıcında sona eren bir bombe oluşmaktadır. Buna "desorpsiyon histeresiz'i" denilmektedir (Cemeroğlu 2004).

### 3.3.4 Kurutulan Gıdanın Yüzey Alanı

Kuruma hızı; parçacıkların yüzey alanı ile doğru, kalınlıklarıyla ters orantılıdır. Gıdanın yüzey alanının fazla olması ısı geçişi ve buharlaşma için daha geniş bir alan oluşturacağından kurutma hızını arttıran bir parametredir. Daha büyük

yüzey alanı elde ederek daha geniş bir ısıtıcı yüzeyde ısı transferini sağlayabilmek için, ürün küçük parçalar ya da ince dilimlere bölünmelidir. Bu şekilde nemin uzaklaşacağı alan arttırılmış olur. Çok ince dilimler seçildiğinde kurutma esnasında yanma problemiyle karşılaşılacağından, kullanılacak optimum kalınlık tercih edilmelidir (Cemeroğlu 2004, Kartal, 2011, Demiray 2009).

### **3.3.5 Gıdaya Özgü Nitelikler**

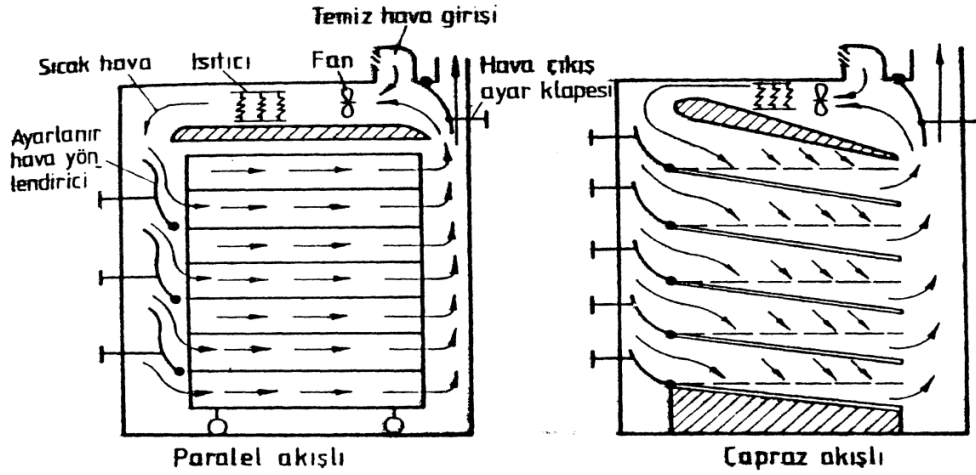
Kurutulan gıdanın kendine özgü nitelikleri kuruma hızına etki eden faktörlerden bir diğeridir. Ürünün kimyasal bileşimi özellikle önem taşımaktadır. Eğer, şeker, tuz ve benzerleri gibi küçük moleküllü çözülmüş maddelerce zengin bir materyal, bu maddelerce daha fakir bir materyalle kuruma açısından kıyaslanırsa, çözülmüş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür. Çözülmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmekte, dolayısıyla suyun buharlaşması güçleşmektedir. Diğer taraftan materyalin bileşimi onun suyu bağlama gücüyle de yakından ilişkilidir. Nitekim, serbest su, gıdada öncelikle ve kolaylıkla uzaklaşabilen su olduğu halde, katı parçacıklarla adsorpsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaşmaktadır. En zor uzaklaştırılan su ise kimyasal olarak bağlı olan sudur (Cemeroğlu 2004).

## **3.4 Gıda Kurutmada Kullanılan Kurutucu Sistemler**

### **3.4.1 Kabin Tipi Kurutucu**

Bu tip kurutucularda, kurutulacak ürün tabanı delikli ya da ızgaralı tepsilere serildikten sonra, kabin içindeki raflara yerleştirilir. Kuru hava bu odalara fan yardımıyla verilir. Raflar ve tepsiler hava dolaşımını engellemeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Gıdaların yüzeyini dolaşan hava aldığı nemle birlikte dışarı atılır. Kurutucu sistemi yükleme ve boşaltmada iş gücünden tasarruf amaçlı arabalı sistemler kullanılabilir. Kabin tipi kurutucular, kurutma havasının kabin içinde dolaşırken izlediği akış yönüne göre paralel ve çapraz akışlı olmak üzere iki şekilde

tasarlanabilir. Paralel akışlı kabin kurutucular hassas ürünler için kullanılmaktadır. Şekil 3.3'te paralel ve çapraz akışlı kabin kurutucular gösterilmiştir (Kartal 2011).



Şekil 3.3: Paralel ve çapraz akışlı kabin kurutucu şematik gösterimleri (Kartal, 2011)

### 3.4.2 Tünel Tipi Kurutucu

Sürekli ve yarı sürekli olarak kullanılabilen tünel kurutucular, kabin kurutucuların geliştirilmiş şeklidir. Bu sistemde ürünler yine kabin kurutucudaki gibi raflar üzerine dizilmiştir, fakat raflı sistem raylar vasıtasıyla hareket halindedir. Bu raflı sistem tünelin bir ucundan girer, diğer ucundan çıkıncaya kadar ters akım prensibine göre üflenen sıcak hava ile kurutulur. Kurutucuda, havanın tekrar ısıtılması veya tekrar dolanımı ile kurutucudan çıkmadan önce daha fazla nem alması sağlanabilir. Tünel kurutucularda değişik hava hızı ve yönü, sıcaklık ve nem uygulamaları ile farklı özelliklere sahip pek çok ürün kurutulabilirken tünel girişi ve çıkışında sıcak hava kayıplarını önlemek için gereken önlemler alınmalıdır (Erçetin 2007, Kartal 2011).

### 3.4.3 Akışkan Yatak Kurutucu

Akışkan yatak kurutucular gerçekte, tekne şeklindeki bantlı kurutucuların geliştirilmiş şekilleridir. Tekne şeklindeki bantlı kurutucularda, tekneyi oluşturan elek şeklindeki bant, yavaş bir hızla sonsuz bir dönüş yaparken, kurumakta olan

materyal tekne içinde devamlı olarak hareket halinde kalır. Bu şekilde parçacıklar hızla kururlar. Bu tip kurutucularda kurutulacak ürün, alttan yüksek bir hızla verilen sıcak hava ile adeta askıda kalır, akışkan bir yatak halinde bulunur. Parçacıkların akışkan bir halde kalabilmesi için, havanın belli bir hızda verilmesi gerekmektedir. Akışkan yatak kurutucularda sıcak hava ile kurutulacak materyalin teması etkin bir şekilde sağlanabildiğinden ısı transferi statik yatağa göre oldukça hızlıdır (Cemeroğlu 2004).

#### **3.4.4 Valsli Kurutucular**

Bu tip kurutucular içten ısıtılan bir silindir (vals) vasıtasıyla kurutmayı gerçekleştirirler. Bu valsın üzerine ince bir tabaka halinde yayılan sıvı veya lapa halindeki gıda, valsın yaklaşık 300 derecelik dönüşü sonunda kurumuş bir halde yüzeyden kazınarak alınır. Silindirlerin ısıtılması; içerisine verilen buhar, sıcak su veya ısı iletimi yüksek bir sıvı vasıtasıyla sağlanır (Cemeroğlu 2004).

#### **3.4.5 Vakum Kurutucular**

Bu tip kurutucular sıcaklığa duyarlı, kolay okside olabilen gıdaların kurutulması amacıyla kullanılır. Vakum kurutucularda gıdalardaki serbest su, düşük basınç altında uzaklaştırılır. Vakum uygulaması ile düşük sıcaklıklarda kurutma işlemi gerçekleştirildiğinden daha yüksek kalitede ürün elde etmek mümkündür. Ayrıca bu yöntem sıcak hava ile kurutma yöntemiyle karşılaştırıldığında, daha yüksek kurutma hızına sahiptir ve bu yüzden kurutma süresi de kısadır. İşlem süresinin kısılmasının yanı sıra gıdadan su ile birlikte oksijeni de uzaklaştırdığı için oksijenin neden olduğu zararları engellemektedir (Gözükara 2013).

#### **3.4.6 Püskürtmeli Kurutucular**

Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, sabun, kahve ve deterjan gibi malzemelerin üretiminde kullanılır. Kullanılan ürünler homojendirler ve kuruma süreleri 5-15 saniye arasında değişmektedir. Bu tip kurutucularda sıcak kurutma

ortamına, malzeme bir püskürtücü vasıtasıyla gönderilir. Kurutma havasının sıcaklığı 93°C ile 760°C arasında değişmektedir. Püskürmeli kurutucular, kurutma süresinin kısa olması nedeniyle ısıya duyarlı gıdaların kurutulması için oldukça uygun sistemlerdir. Kurutma ortamı, besleme akımı ile paralel ya da zıt yönde sistemden geçirilebilir (Özel 2010).

### **3.4.7 Dondurulmuş Halde Kurutmanın Yapıldığı Kurutucular**

Dondurulmuş halde kurutma yönteminde, donmuş haldeki su süblimleştirilerek, doğrudan buhar haline geçer. Bu yöntemde ürünün yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmadan kurutma işleminin gerçekleştirilmesi, yöntemin diğer kurutma yöntemlerine olan en belirgin üstünlüğüdür. Ürün önce dondurulur daha sonra da yüzeyine ısı uygulanarak buzun süblimleşmesi sağlanır. İşlem başlangıcında, ürünün yüzeyine uygulanan ısı o noktada süblimleşmeye neden olur. Başlangıçta gözlenen bu süblimleşme ile buharın uzaklaşması, buz yüzeyinin geri çekilmesine neden olur. Dondurulmuş halde kurutma işlemi gerçekleştirilirken, dondurulma sıcaklığının -40°C'den düşük olması büyük buz kristallerinin oluşumuna neden olmayarak hızlı bir şekilde dondurma sağladığından tercih edilir (Dadalı 2007, Gözükara 2013).

### **3.4.8 Ozmotik Kurutucu**

Ozmotik kurutucu sistemlerde gıda maddelerinin konsantre çözeltiler içerisinde sularının uzaklaştırılması sağlanır. Ozmotik kurutmada temel olarak üç aktarımdan söz edilebilir. Bunlar; üründen çözeltiye doğru olan su akışı, çözeltiden ürüne çözünen aktarımı ve üründen çözeltiye çözünen aktarımıdır. Üründeki çözünenlerin çözeltiye geçmesi, su kaybı ve çözünen kazancının yanında çok az miktarda olmalarına rağmen son ürünün bileşimi açısından önemlidir. Bu sayede ozmotik kurutma ile suyun uzaklaştırılması ve çözünür kuru madde katılımı ile formülasyon etkisi sağlanabilir. Fakat ozmotik kurutma vasıtasıyla üründeki su belli bir seviyeye kadar uzaklaştırılabilir. Bu yüzden ozmotik kurutma dondurma,



pastörizasyon, kurutma ve konserveleme gibi işlemlere bir önışlem olarak kullanılır (Kartal 2011).

### **3.4.9 Dielektrik ve Mikrodalga ile Kurutucular**

Mikrodalga ve dielektrik kurutma, kurutulacak ürüne elektromanyetik sinyaller gönderilmesiyle, ürün içindeki iyonların veya çift kutuplu maddelerin moleküllerinin hareket etmesi ve bunun sonucunda madde içinde ısı üretilmesi esasına dayanır. İyonlar, elektrik yüklü atomlar olduklarından herhangi bir elektriksel alana girdiklerinde, bu alanın etkisiyle kendi kutuplarının tersi yönde hareket ederler. Bu hareket esnasında yüksüz atomlarla çarpışan iyonlar kinetik enerjilerini kaybederler. Elektriksel alanın yönü değiştğinde ise bu işlem ters yönde gerçekleşir ve elektriksel alanın frekansına bağlı olarak saniyede milyonlarca kez gerçekleşir. Böylelikle elektrik alan enerjisi kinetik enerjiye, kinetik enerji de çarpışma anında ısı enerjisine dönüşür (Erçetin 2007).

### **3.4.10 Infrared Kurutucular**

Termal radyasyon, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar, elektrikle ısıtılmış yüzeyler tarafından sağlanır. Bu mekanizma ile malzemenin yüzeyine yakın bölgeleri ısındığından, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulması için uygundur. Isı transferi termal radyasyon yayan malzemenin yapısı ve karakteristiği ile kurutulan maddenin özelliklerine bağlıdır ve ısı verim düşük olabilir (Özel 2010).

## **3.5 Et Ürünlerinin Kurutulması**

Et muhafazasının en eski bilinen yöntemlerinden biri etin doğal koşullarda kurutulmasıdır. Karkasın tüm parçaları belli boyutlarda parçalanarak kurutulma gerçekleştirilirse tüm karkasın kurutulması sağlanabilir. Etin kurutulma süresi, kurutulacak parçaların büyüklüğüne, kalınlığına, ortamın sıcaklığı, nemi ve hava hızına bağlı olarak değişmektedir (Gökalp ve diğ. 1994).

Kurutulmuş et tüketiminin tarihi; antik Sümer ve Moğolistan'ın kuzey ve doğu bölgelerine kadar dayanmaktadır. Bu dönemlerde et, muhafazasının kolay olması amacıyla kurutulmaktadır. Et kurutma işlemi sadece koruma amaçlı değil ayrıca taşıma ve depolama açısından da kolaylık sağlamaktadır. Günümüzde ise kurutulmuş et ürünleri çeşitli formülasyonlara ilave amaçlı kullanılabilir. Hızlı bir şekilde tüketimi sağlanan noodle vb. ürünlere kurutulmuş et küpleri ilavesi söz konusu olabilmektedir. Kurutulmuş et ürünlerinin renk, tekstür, büzüşme, gözeneklilik ve rehidrasyon kapasitesi gibi kalite parametreleri kurutma şekline etkilenmektedir. Bu yüzden etlerin güneşte kurutulmasına ilave olarak sıcak hava ile kurutma, dondurulmuş halde kurutma, mikrodalga destekli kurutma gibi kurutma işlemini hızlandırıcı aynı zamanda ürün kalitesini arttırıcı yeni yöntemler de geliştirilmektedir (Hii ve diğ. 2014).

Etin kurutulmasının amacı etteki serbest suyun uzaklaştırılmasıdır. Kurutma işlemi ile belli bir su aktivitesi değerinin altına düşülür ve bu sayede etin dayanıklılığı arttırılmış olur. Kurutma işlemi gerçekleştirilerek mikroorganizmaların gelişimi açısından güvenliği sağlanan etin soğukta muhafazasına ya da dondurulmasına gerek kalmamaktadır. Kurutma işlemi genellikle diğer bir temel işlemle beraber kullanılmaktadır. Kurutulan ürünler doğal olarak taze ürüne göre renk, koku, yapı ve kullanım amaçları açısından farklılık göstermektedir. Kurutma teknolojisinden çoğunlukla çorba üretiminde yararlanılmaktadır (Özcan 1993).

#### 4. GIDALARIN ULTRASES DESTEKLİ KURUTULMASINA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Kantaş (2007), 24 kHz frekansa sahip prob vasıtasıyla elma, kereviz, havuç ve patates örneklerine yüksek güçlü doğrudan temas ile ultrases uygulamış ve 30, 40 ve 50°C hava sıcaklıkları ve 3,9 m/s hava hızı koşullarında kurutma işlemini gerçekleştirmiştir. Kurutma kinetiği üzerine genlik, sıcaklık ve vurgunun etkisini incelemiştir. En uygun kurutma koşullarının elma için 30°C, % 100 genlik, 1,0 vuruş; kereviz için 30°C, % 100 genlik, 1,0 vuruş; havuç için 50°C, % 70 genlik, 1,0 vuruş ve patates için 50°C, % 70 genlik, 0,7 vuruşta gerçekleştiği belirlenmiştir. Ultrasesin kuruma hızı üzerine etkisinin, elma > kereviz > havuç > patates şeklinde olduğu; yapı ve bileşimdeki hava boşluklarının ultrasesin etkisini artırıcı, nişasta ve şeker varlığının ise etkiyi azaltıcı özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

Fernandes and Rodrigues (2007), muz örneğine 25 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo ile 30°C sıcaklıkta 10, 20, 30 dakika boyunca ultrases ön işlemleri uygulayıp örnekleri 60°C sıcaklıkta sıcak hava vasıtasıyla kurutmuşlardır. Yapılan çalışmaya göre 20 dakikalık ultrases ön işleminin suyun difüzyonunu artırarak kurutma süresini % 10,3 oranında azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca 30 dakikalık ultrases ön işlemleri muzların toplam indirgen şeker miktarında % 21,3 oranında azalma gerçekleşmiştir. Böylece ultrases uygulamasıyla şeker oranı azaltılmış kurutulmuş ürünler üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

Fernandes ve diğ. (2008), papaya meyvesi ile yaptıkları bir çalışmada, papaya meyvesine 25 kHz frekansta 100 W/ m<sup>3</sup> güçte ultrasonik banyo ile 30°C'de 10, 20, 30, 45, 90 dakika sürelerinde ultrases ön işlemleri uyguladıktan sonra meyveleri 60°C'lik sıcak hava ile kurutmuşlardır. 30 ve 90 dakika boyunca ultrases uygulanan örneklerin şeker içeriğinin sırasıyla % 13,8 ve % 30,6 oranında azaldığını belirtmişlerdir. 20 dakika boyunca ultrasese maruz bırakılan örnekte ise mikro kanal oluşumuna bağlı olarak su difüzyon katsayısının % 28,8 oranında arttığı ve kuruma süresinin % 16 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

Deng and Zhao (2008), 50 ve 60 kHz frekansa sahip, 185 W güçte ultrasonik banyo vasıtasıyla 3 saat boyunca yüksek fruktozlu mısır şurubu içerisinde ultrases uygulaması gerçekleştirilen elma örneklerini 55 °C’de 3,86 m/s hava hızında sıcak havada ve -45°C’ de dondurulmuş halde kurutmuşlardır. Yapılan bu çalışmalar darbeli vakum yöntemiyle kıyaslandığında; su aktivitesi ve nem içeriğinin azaldığı, camsılaşma sıcaklığının ve rehidrasyon oranının arttığı, yapıda ciddi bozulmalar gerçekleştiği bildirilmiştir.

Oliviera ve diğ. (2010), jambu meyvesine 10, 20, 30, 45 ve 60 dakika boyunca 25 kHz frekans ve 60 W gücünde ultrasonik banyo ile 25 ve 50 °Briks’lik sakkaroz çözeltileri içerisinde ultrases önışlemi uygulamış ve daha sonra örnekleri 60°C’lik sıcak hava ile kurutmuşlardır. Bunun sonucunda, 25°Briks’lik sakkaroz çözeltisi içerisinde 30 dakika ultrasese tabi tutulan örneğin suyun difüzyon katsayısının % 28,1 oranında 60 dakika önışleme maruz kalan örnekte ise; % 27,3 oranında azaldığını bildirmişlerdir.

Azoubel ve diğ. (2010), 25 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo vasıtasıyla 30 °C sıcaklıkta 10, 20, 30 dakika boyunca ultrases önışlemi uyguladıkları muz örneklerini 50 ve 70 °C sıcaklığa ve 3 m/s hava hızına sahip akışkan yatak kurutucuda kurutmuşlardır. 30 dakikalık önışlem uygulaması sonucunda örneklerin su içeriğinin % 5 ve 17 oranında arttığı; 20 dakikalık ultrases önışlemi sonrasında 50 °C’de kurutulan örneklerin kurutma süresi 345 dakikadan 207 dakikaya düşerken; 70 °C’de kurutulan örneklerin kurutma süresinin 111 dakikadan 106 dakikaya düştüğü belirlenmiştir.

Garcia-Perez ve diğ. (2010) yaptıkları bir çalışmada; 15 ve 90 W güçte ultrases uyguladıkları 2 cm kalınlığında 2,4 cm çapında silindirik olarak kesilmiş patlıcanları 40°C’de 1 m/s hızda sıcak hava ile kurutmuşlardır. Ultrasesin gücü arttıkça kurutma süresinin kısaldığı, kurutma kinetiğinin hızlandığı belirtilmiştir. Kurutma süresindeki azalmanın 90 W güçte ultrases uygulanan örneklerde % 70 oranında olduğu tespit edilmiştir.

Ozuna ve diğ. (2011), 21,8 kHz frekansta ve 37 kW/m<sup>2</sup> güçte ultrases önişleminin patatesin kurutma kinetiği üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, ultrases uygulanan örneklerin ultrases uygulanmayanlara göre kurutma sürelerinde % 40 oranında bir azalma, su difüzyon katsayısında ve kütle transfer katsayısında sırasıyla % 64 ve % 58 oranında bir artış olduğunu belirlemişlerdir.

Izidoro ve diğ. (2011), ham muzdan izole edilen nişastanın kurutulmasında, 20 kHz frekansta 24 W enerjiye sahip ultrases önişlemini 1 saat süre ile uygulamış daha sonra nişasta örneğini mini spreyci kurutucuda (130 °C giriş – 47 °C çıkış) kurutmuşlardır. Sonuç olarak; ultrases uygulaması nişasta moleküllerinin yapısında bozulma gerçekleştirmiş, suyun difüzyonunu, nişastanın şişme özelliğini ve su emme kapasitesini arttırmıştır.

Schössler ve diğ. (2012) kırmızı dolma biber ve elma ile yaptıkları çalışmalarında ultrasesi sıcak hava ile kurutmaya destek olarak uygulamışlardır. Elma örnekleriyle gerçekleştirdikleri çalışmada ultrases desteğini hem sürekli hem de kesikli olarak kullanmışlardır. Kesikli olarak gerçekleştirdikleri uygulamayı iki şekilde sürdürmüşlerdir. Bunlardan biri 10 saniye ultrases uygulayıp 10 saniye ara vermek şeklinde iken diğeri ise 10 saniye ultrases uygulayıp 90 saniye ara vermek şeklindedir. Kesikli olarak kullandıkları sistemde istedikleri nem içeriğine ulaşmaları için gereken sürenin sürekli uygulamaya göre toplamda daha kısa olduğunu fakat kuruma hızı eğrisinde herhangi bir değişim olmadığını tespit etmişlerdir. Kırmızı dolma biber örneklerinde ultrases uygulaması ile etkin difüzyon katsayısının  $0,71 \times 10^{-10}$ 'dan  $0,78 \times 10^{-10}$ 'a arttığı, elma örneklerinde ise sürekli ultrases desteğinde  $0,28 \times 10^{-10}$ 'dan  $0,37 \times 10^{-10}$ 'a, kesikli ultrases desteğinde ise  $0,35 \times 10^{-10}$ 'a yükseldiği belirtilmiştir. Ayrıca ultrases desteğinin ürünün kalite özelliklerini ve rehidrasyon karakteristiklerini geliştirdiği saptanmıştır.

Nowacka ve diğ. (2012) 35 kHz frekansına sahip ultrasonik banyo vasıtasıyla elma örneklerine 10, 20 ve 30 dakika boyunca ultrases uyguladıktan sonra 1,5 m/s hıza sahip sıcak havalı kurutma fırınında 70°C'de kurutma gerçekleştirmişlerdir. Ultrases desteğinin kurutma süresini % 31 oranında azalttığını, ultrases uygulanan örneklerin büzüşme oranının % 9 ve % 11 oranında arttığını, göznekliliğinde ultrases uygulanmayan örneklere göre %9 - 14 oranında arttığını tespit etmişlerdir.

Ozuna ve diğ. (2014) morina balığı salamurası üzerine yaptıkları bir çalışmada 21,9 kHz frekansa sahip ultrasonik çemberden sıcak hava ile kurutmaya destek olarak yararlanmışlardır. Bu kapsamda -10, 0, 10 ve 20°C'de kurutma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre ultrases desteği kurutma süresini % 35 - 54 oranında azaltmıştır. Kurutma süresindeki en yüksek orandaki azalmalar -10 °C ve 20 °C'de tespit edilmiştir. Ayrıca ultrases uygulaması uygulanan her sıcaklıkta etkin difüzyon katsayısını % 42 - 110 oranında arttığı belirtilmiştir. Ultrases desteği ile kurutulan Morina balığı salamuralarının rehidrasyon kapasitelerinin ve renk değerlerinin de olumlu yönde değiştiği tespit edilmiştir.

Başlar ve diğ. (2014) ultrases ve vakum kurutmayı birlikte kullandıkları çalışmalarında ultrases vakum kurutma, vakum kurutma ve sıcak hava ile kurutma olmak üzere üç farklı teknik ile tavuk ve sığır eti kurutmuşlardır. 55, 65 ve 75°C olmak üzere üç farklı sıcaklık kullanan araştırmacılar sığır eti için 75°C'deki kurutma süresini ultrases vakum kurutma, vakum kurutma ve sıcak hava ile kurutma için sırasıyla; 300, 480, 750 dakika olarak tespit ederken bu süreyi tavuk etinde sırasıyla 330, 570, 780 dakika olarak tespit etmişlerdir. En düşük enerji tüketimi ultrases vakum kurutmada tespit edilmiştir. Sonuçlara göre ultrases vakum kurutma tavuk ve sığır etinin kuruma süresini kısaltmıştır.

Gamboa- Santos ve diğ. (2014) çilek örneği üzerine yaptıkları bir çalışmada 2 m/s hava hızına sahip ultrases destekli kurutucuda çilek örneklerini kurutmuşlardır. Yapılan çalışmada 0, 30, 60 W güçte farklı ultrases uygulamaları gerçekleştirilirken, 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda çalışılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre akustik güç ve sıcaklık arttırıldığında kurutma süresi % 13 - 44 oranında azalmıştır. Ayrıca ultrases desteğinin etkin difüzyon katsayısı ve kütle transfer katsayısı üzerine olumlu etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1 Materyal

Bu çalışmada materyal olarak seçilen sığır bonfile eti (*Longissimus Dorsi*) örnekleri ve tavuk göğüs eti (*Pectoralis Major*) Denizli’de yerel bir marketten toplu olarak temin edilmiştir. Örnekler kurutma denemelerinde kullanılmaya kadar  $-18^{\circ}\text{C}$  depolanmış ve kullanılmadan 24 saat önce  $+4^{\circ}\text{C}$ ’de çözündürülmüştür. Örneklerin başlangıç nem içerikleri  $105^{\circ}\text{C}$ ’deki etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuş ve belirlenmiştir. Başlangıç nem içerikleri; ultrases uygulanmadan önce ve sonra olmak üzere ayrı ayrı belirlenmiştir.

### 5.2 Yöntem

#### 5.2.1 Ultrases Önişlemi

Önişlemler, 1:4 (w/v) ürün/su oranında beher içerisinde saf su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örnekleri  $1\text{ cm}^3$ ’lük küpler halinde kesilerek vakum ambalajlanmıştır. Ultrases uygulaması 20 kHz frekansa ve 400W güce sahip Bandelin HD 3400 model ultrasonik homojenizatör cihazı ile VS 200 T nolu uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tavuk göğüs eti ve sığır bonfile eti örnekleri 5 ve 10 dakika olmak üzere iki farklı sürede ultrases önişlemine maruz bırakılmıştır.

Ultrases önişlemini öncesinde, sonrasında ve 1’er dakikalık aralıklarda gerçekleştirilen uygulamaların arasında (yaklaşık 20-30 saniye gibi bir süre içerisinde) kullanılan saf suyun sıcaklığının ölçümü yapılarak sıcaklık artışı kontrol edilmiş ve önişlem sırasında meydana gelen sıcaklık değişimi belirlenmiştir.

### **5.2.2 Kurutma Denemeleri**

Önişlemin ardından kurutulacak olan sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örnekleri her bir paralel için tepsiler 35 adet küp alacak şekilde sıralanmıştır. Kurutma denemeleri, Yücebaş Makine Tic. Ltd. Şti. (İzmir) tarafından üretilen ve bölüm laboratuvarında bulunan tepsili kurutma kabininde 50°C ve 80°C'de gerçekleştirilmiştir. Kurutma süresince ilk 30 dakika her 5 dakikada bir, sonrada her 30 dakikada bir tartım gerçekleştirilmiştir. Kurutma denemeleri, 0,3 m/s hava hızında 2 paralel 2 tekerrür olarak gerçekleştirilmiştir.

### **5.2.3 Rehidrasyon Denemeleri**

Ultrases önişleminin örneklerin su geri kazanım özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla; kurutulmuş tavuk göğüs eti ve sığır bonfile eti örnekleri 1: 50 (w/w) ürün/su oranında bir beher içerisinde 80°C'de su banyosunda rehidrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Rehidrasyon denemeleri boyunca ilk 30 dakikada her 5 dakikada bir sonrasında ise her 30 dakikada bir tartım gerçekleştirilmiştir. İşlem örneklerin su alımının durması ile sona erdirilmiştir. Rehidrasyon denemeleri 2 paralel 2 tekerrür halinde gerçekleştirilmiştir.

### **5.2.4 Su Tutma Kapasitesi**

Rehidre edilmiş sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örneklerinin su tutma kapasiteleri, 5°C'de 4000 rpm'de 10 dakika boyunca özel olarak tasarlanmış santrifüj tüpleri ile santrifüj edilmesi sonucunda belirlenmiştir. Santrifüj tüplerine yerleştirilen tel elekler vasıtasıyla suyun örneklerden ayrılması mümkün olmuştur. Su tutma kapasitesi denemeleri 2 paralel ve 2 tekerrür şeklinde gerçekleştirilmiştir.



### 5.3 Hesaplamalar

#### 5.3.1 Nem İçeriğinin Hesaplanması

Sığır bonfile eti ve Tavuk göğüs eti örneklerinin ultrasonik önişlem sonrasında kurutulması sırasında, nem içeriğı aşığıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$M_t = (m - KM) / KM \quad (3.1)$$

$M_t$  herhangi bir  $t$  anındaki nem içeriğı (g su/ g kuru madde) iken,  $m$  örneğın ağırlığı (g),  $KM$  örneğın kuru madde içeriğı (g) olarak tanımlanmıştır (Demiray 2009).

#### 5.3.2 Kuruma Hızının Hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zaman eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur. Kuruma hızı g su/ g kuru madde.dak olarak ifade edilmektedir.

$$\text{Kuruma Hızı} = (M_{t+dt} - M_t) / dt \quad (3.2)$$

$M_{t+dt}$  herhangi bir  $t+dt$  anındaki nem içeriğı (g su / g kuru madde),  $M_t$  herhangi bir  $t$  anındaki nem içeriğı (g su / g kuru madde),  $dt$  kuruma zamanı (dakika) olarak ifade edilmiştir (Dadalı 2007).

#### 5.3.3 Nem Oranının Hesaplanması

Denklem 3.3'te verilen nem oranı birimsizdir.

$$MR = (M_t - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (3.3)$$

$MR$  nem oranı (birimsiz),  $M_t$  herhangi bir  $t$  anındaki nem içeriğı (g su / g kuru madde),  $M_e$  denge anındaki nem içeriğı (g su / g kuru madde),  $M_0$  başlangıç nem içeriğı (g su / g kuru madde) olarak tanımlanmıştır (Demiray 2009).

### 5.3.4 Etkin Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferinin en önemli ölçütlerinden biri olan etkin difüzyon katsayısı sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örnekleri için, Fick'in ikinci yasasının küp geometri için hesabı Denklem 3.4'te verilmiştir.

$$MR = \left( \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)\pi^2} \exp\left(-Def f \frac{(2n+1)^2 \pi^2 t}{4a^2}\right) \right)^3 \quad (3.4)$$

$Def f$  etkin difüzyon katsayısı ( $m^2/saniye$ ),  $a$  dilim kalınlığının yarısı (merkezinden dilimin yüzeyine olan mesafe) ( $m$ ) ve  $t$  kuruma zamanı ( $saniye$ ) olarak tanımlanmıştır (Schösler 2012).

Uzun kurutma süreleri için denklemin ilk terimleri çözüm için kullanıldığında, Denklem 3.5 elde edilir (Schösler 2012).

$$\ln MR = \frac{8^3}{\pi^6} \exp\left(-Def f \frac{3\pi^2 t}{4a^2}\right) \quad (3.5)$$

DeneySEL MR değerlerinin doğal logaritmasına karşılık kuruma zamanı grafiği çizildiğinde elde edilen doğrunun eğimi (Denklem 3.6) etkin difüzyon katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$eğim = \frac{3\pi^2 Def f}{4L^2} \quad (3.6)$$

### 5.3.5 Rehidrasyon Oranının Hesaplanması

Rehidrasyon oranı birimsizdir ve Denklem 3.7'de verilmiştir.

$$RR = M_s/M_0 \quad (3.7)$$

RR rehidrasyon oranı (birimsiz),  $M_0$  rehidrasyon işleminden önceki örnek ağırlığı ( $g$ ),  $M_s$  rehidrasyon sonrası örnek ağırlığı ( $g$ ) olarak tanımlanmıştır (Deng and Zhao 2008).

### 5.3.6 Su Tutma Kapasitesinin Hesaplanması

Su tutma kapasitesi birimsizdir ve Denklem 3.8 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$STK = [(Mr \cdot X_r - M_s)/(Mr \cdot X_r)] \cdot 100 \quad (3.8)$$

STK su tutma kapasitesi, Mr rehidrasyon işlemi sonundaki örnek ağırlığı (g), Ms: Santrfüj işleminin sonunda örnekten ayrılan su miktarı (g), X<sub>r</sub>: Rehidre ürünün yaş bazdaki nem içeriği (g/g) (Vega-Galvez ve diğ. 2009).

## 5.4 Modelleme Çalışmaları

### 5.4.1 Kurutma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

#### 5.4.1.1 Page Model

Page model Denklem 3.9'de verilmiştir.

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (3.9)$$

Burada k kinetik sabit (1/dakika), n modele ait katsayı ve t kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır (Özel 2010).

#### 5.4.1.2 Modifiye Page Model

Modifiye Page model Denklem 3.10'de verilmiştir.

$$MR = \exp(-(kt)^n) \quad (3.10)$$

Bu modelde k kinetik sabit (1/dakika), n modele ait katsayı ve t kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır (Kantaş 2007).

#### **5.4.1.3 Lewis Model**

Bu model Denklem 3.11’de verilmiştir.

$$MR= \exp(-kt) \quad (3.11)$$

Bu modelde k kinetik sabit veya kuruma hızı (1/ dakika), t kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır (Demiray 2009).

#### **5.4.1.4 Henderson ve Pabis Model**

Henderson ve Pabis model Denklem 3.12’te verilmiştir.

$$MR= a \exp (-kt) \quad (3.12)$$

Burada a modele ait katsayı (birimsiz), k kinetik sabit (1/ dakika) ve t kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır (Kantaş 2007). Bu model, a=1 olduğunda Lewis modele indirgenir.

#### **5.4.1.5 Logaritmik Model**

Logaritmik model Denklem 3.13’te verilmiştir.

$$MR= a \exp (-kt) + c \quad (3.13)$$

Bu modelde a modele ait katsayı (birimsiz), c modele ait katsayı (birimsiz), k kinetik sabit (1/dakika) ve t kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır (Özel, 2010).

### **5.4.2 Rehidrasyon Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları**

### 5.4.2.1 Peleg Model

Peleg model Denklem 3.14'de sunulmuştur.

$$M = M_0 + t/(k_1 + k_2t) \quad (3.14)$$

Burada M herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su / g kuru madde),  $M_0$  başlangıç nem içeriği (g su / g kuru madde),  $k_1$  Peleg modele ait kinetik sabit (saat . g kuru madde / g su),  $k_2$  Peleg modele ait kinetik sabit (g kuru madde / g su) ve t Rehidrasyon zamanı (saat) olarak tanımlanmıştır (Apar ve diğ. 2008).

### 5.4.3 Regresyon Analizleri

Tahmini standart hata (RMSE) ve  $X^2$  değerleri denklem 3.15 ve 3.16 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini,i} - MR_{deneysel,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3.15)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{N-n} \quad (3.16)$$

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 6.1 Ultrasonik Önişlem Sırasında Meydana Gelen Değişimler

#### 6.1.1 Sıcaklık Değişimi

Ultrasonik önişlem beher içinde 1:4 (w/v) ürün/su oranında gerçekleştirilmiştir. Önişlem sonucunda beher içerisindeki saf suyun sıcaklığında belli oranlarda bir artış meydana gelmiş ve bu artış Tablo 6.1’de verilmiştir. Her iki süre için de ultrasonik önişlem uygulanan örneklerin içinde bulunduğu saf suyun sıcaklığındaki artışların tavuk göğüs eti ve sığır eti için birbirlerine benzer oldukları saptanmıştır. Ayrıca artan işlem süresi sıcaklık farkını arttırmıştır.

Tablo 6.1: Ultrasonik önişlem sırasında meydana gelen sıcaklık değişimi

Ultrasonik Önişlem Süresi (dakika)	Sıcaklık Artışı (°C)	
	Sığır Bonfile Eti	Tavuk Göğüs Eti
5	23,63±0,13	23,88±0,12
10	41,13±0,13	39,63±0,37

#### 6.1.2 Nem İçeriği Değişimi

Sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örneklerinin nem içerikleri ultrasonik önişlem uygulamasından önce ve sonra belirlenerek Tablo 6.2 oluşturulmuştur. Elde edilen verilere göre ultrasonik önişlem uygulanacak olan sığır bonfile etinde başlangıç nem içeriği değerlerinin 3,02 - 3,19 g su / g kuru madde değerleri arasında değiştiği ve ultrasonik önişlem uygulaması sonrasında ise nem içeriği değerlerinin azalarak 2,31-2,85 g su / g kuru madde arasında değiştiği belirlenmiştir. Tavuk göğüs etinde ultrasonik önişlem öncesindeki nem içeriği değerlerinin 2,95 - 3,01 g su / g kuru madde arasında değiştiği ve ultrasonik önişlem sonrasında bu değerlerin 2,65 -

2,89 g su / g kuru madde aralığına düştüğü belirtilmiştir. Ultrasonik önişlemin ürünün yapısına göre değişiklik göstermekle birlikte önişlem sonrasında oluşan mikro kanalcıklar nedeniyle üründe kütle kaybına neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6.2: Sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örneklerinin ultrasonik önişlem uygulamasından önceki ve sonraki nem içeriği değerleri

<b>Örnek</b>	<b>Ultrasonik Önişlem Süresi (dakika)</b>	<b>Kurutma Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Başlangıç Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Ultrasonik Önişlemden Sonraki Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
<b>Sığır Bonfile Eti</b> <i>(Longissimus Dorsi)</i>	-	80	2,91±0,00	-
	5	80	3,19±0,11	2,82±0,10
	10	80	3,02±0,17	2,31±0,17
	-	50	3,29±0,14	-
	5	50	3,14±0,10	2,85±0,02
	10	50	3,12±0,25	2,48±0,12
<b>Tavuk Göğüs Eti</b> <i>(Pectoralis Major)</i>	-	80	2,86±0,05	-
	5	80	2,98±0,14	2,86±0,02
	10	80	2,98±0,02	2,66±0,20
	-	50	3,20±0,10	-
	5	50	3,01±0,06	2,89±0,07
	10	50	2,95±0,04	2,65±0,00

## 6.2 Ultrasonik Önişlemin Sığır Bonfile Etinin Kurutulmasına Etkisi

### 6.2.1 Nem İçeriği Değişimi

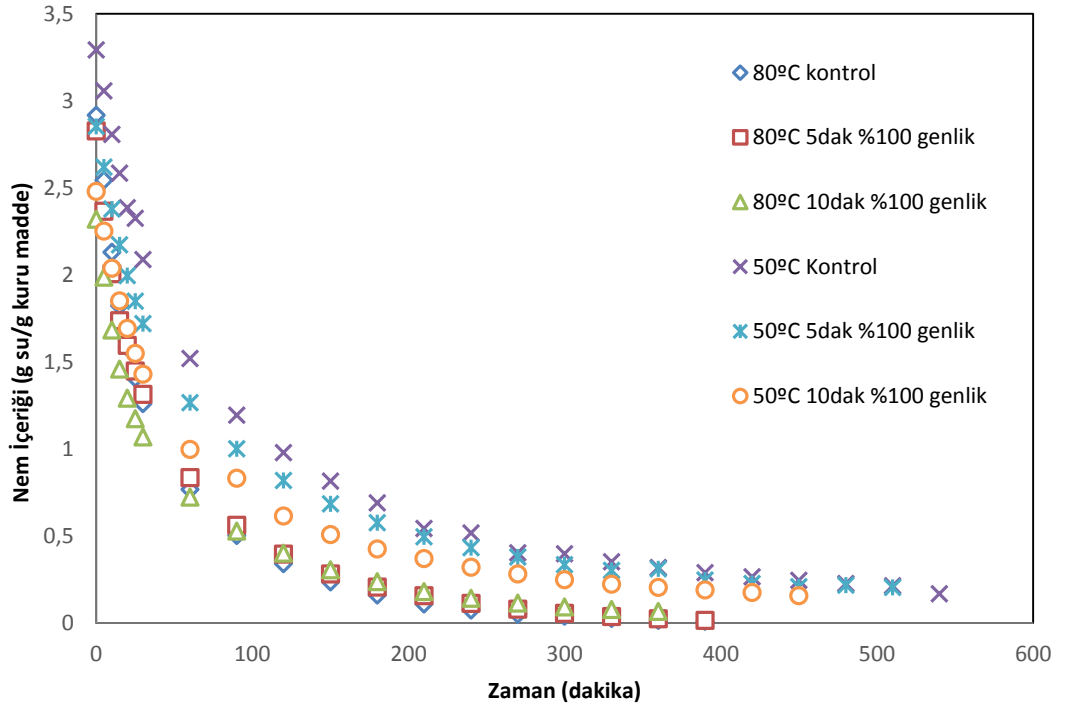
Bu çalışmada önişlem uygulanmamış sığır bonfile eti örneklerinin başlangıç nem içeriği, 80°C’de kurutulan örnekler için 2,91 g su / g kuru madde, 50°C’de kurutulan örnekler için ise; 3,29 g su / g kuru madde olarak belirlenmiştir. Ultrasonik önişlem uygulanan örneklerde ise başlangıç nem içeriğinin 2,31 ile 2,82 g su / g kuru madde arasında değiştiği belirlenmiştir. Ultrasonik önişlemin kurutma sırsındaki nem içeriği üzerine etkisini incelemek için % 100 genlikte farklı sürelerde ultrasonik muameleye tabi tutulduktan sonra kurutulan sığır bonfile eti örneklerinin nem içeriği değerleri Şekil 6.1’de verilmiştir.

50 °C’de önişlem uygulamadan kurutulan örneklerin 3,29 g su / g kuru madde nem içeriğinden 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde nem içeriğine düşmesi sırasıyla 510 ve 240 dakika sürmüştür. Fakat % 100 genlikte 10 dakika boyunca ultrases uygulandıktan sonra 50 °C’de kurutma işlemi gerçekleştirilen başlangıç nem içeriği değeri 3,12 g su / g kuru madde olan örneklerin ultrasonik ön işlemden sonra nem içeriği 2,48 g su/ g kuru madde değerine düşmüş ve nem içeriğinin 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde değerine düşmesi için gereken ön işlem dahil toplam süre sırasıyla 360 ve 160 dakika olmuştur. 80 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerinde ise başlangıç nem içeriği 2,91 g su / g kuru madde olan örneklerin 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde nem içeriği değerine ulaşması sırasıyla 155 ve 90 dakikada gerçekleşirken, başlangıç nem içeriği 3,02 g su / g olan örneklerin 10 dakika boyunca ultrasonik önişlem uygulandıktan sonra nem içeriği 2, 31 g su / g kuru maddeye düşmüş ve 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde nem içeriği değerine ulaşması sırasıyla 190 ve 100 dakikada gerçekleşmiştir. Bu durumda ultrasonik ön işlemin sığır bonfile eti başlangıç nem içeriği değerlerini oldukça yüksek oranda azalttığı ve 50°C için toplam kurutma süresini önemli oranda düşürdüğü sonucuna varılmıştır (Şekil 6.1, Tablo 6.2 ve 6.3).

Ultrases destekli kurutma işleminde uygulama süresi arttıkça sığır bonfile etinin nem içeriğinin daha hızlı bir şekilde azaldığı ve kuruma süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Başlar ve diğ. (2014) tavuk ve sığır etini ultrases ve vakum



sistemlerini kombine ederek 55, 65 ve 75 °C’de kurutmuşlar ve ultrases ile vakumun kombine edildiği kurutma işleminde kuruma süresinin vakum kurutmaya ya da herhangi bir önışlem uygulanmadan gerçekleştirilen kurutmaya göre daha kısa sürede gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca meyve ve sebzelerin kuruma kinetiği üzerine yapılmış bazı çalışmalarda da ultrasesin uygulama süresi arttıkça kuruma süresinin kısaldığına dair sonuçlar elde edilmiştir. Fernandes ve diğ. (2008) ananas meyvesinin ultrases destekli kurutulması üzerine yaptıkları çalışmalarında saf su içerisinde 10, 20, 30 dakika boyunca 25 kHz frekansa ve 4870 W/ m<sup>2</sup> güce sahip bir ultrasonik banyo ile önışlem uyguladıkları ananas meyvesini 60°C’de sıcak hava ile kurutmuşlardır. Bu çalışma sonucunda ultrases önışleminin süresi arttırıldıkça kurutma süresinin kısaldığını belirtmişlerdir.



Şekil 6.1: Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin nem içeriğinin zamanla değişimi

Tablo 6.3: Sığır bonfile etinin 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde içeriğine gelene kadar geçen toplam süre (ultrasonik ön işlem + kurutma işlemi)

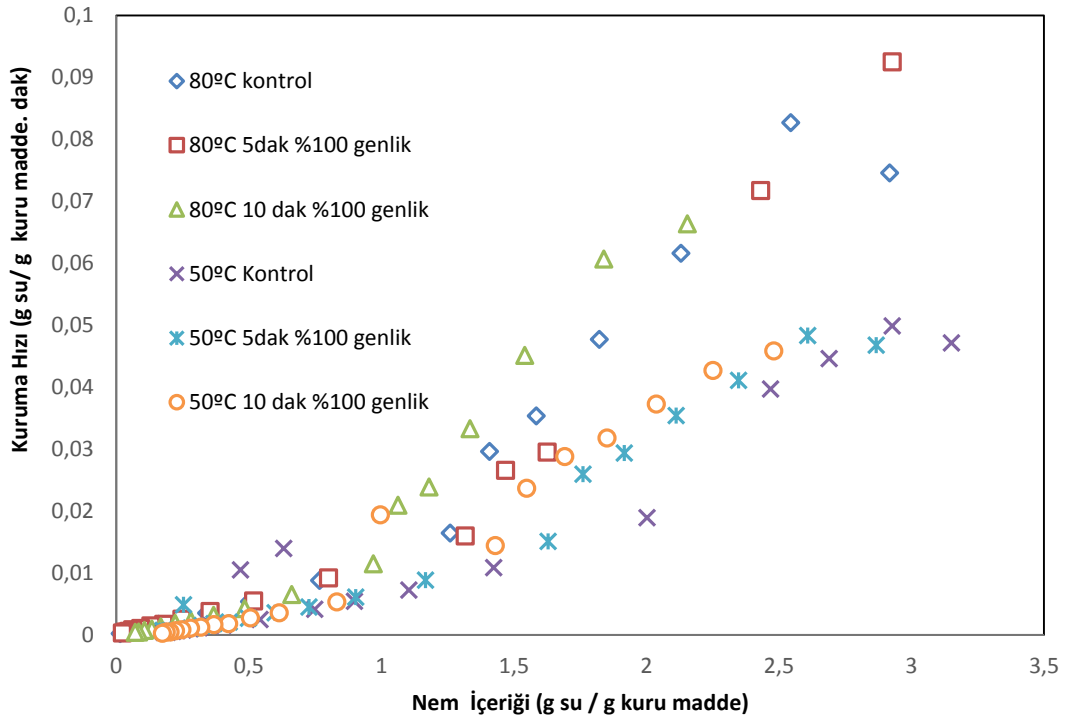
<b>Kurutma Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Ultrasonik Önışlem Süresi (dakika)</b>	<b>0,2 g su / g Kuru Madde Nem İçeriğine Gelme Süresi (dakika)</b>	<b>0,5 g su / g Kuru Madde Nem İçeriğine Gelme Süresi (dakika)</b>
80	-	155	90
80	5	185	95
80	10	190	100
50	-	510	240
50	5	515	195
50	10	360	160

### 6.2.2 Kuruma Hızı Değişimi

Ultrasonik önışlemin nem içeriği değişimine etkisini incelemek amacıyla farklı sürelerde ultrases önışlemine tabi tutulduktan sonra kurutulan sığır bonfile eti örneklerinin kuruma hızları Denklem 3.2'den hesaplanmış, bu değerler Şekil 6.2'de verilmiştir.

Sığır bonfile etlerinin kurutulmasının azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Önışlem koşullarına bağlı olarak kuruma hızları arasında farklılıklar saptanmış bu farklılıklar nem içeriği azaldıkça azalmıştır ve 1 g su / g kuru madde değerinden düşük nem içeriklerinde farkın sifıra yaklaştığı belirlenmiştir (Şekil 6.2).

En yüksek kuruma hızının 80 °C'de 10 dakika süre ile % 100 genlikte ultrases uygulanan örneklerde olduğu, 50 °C'de kurutulan örnekler kendi aralarında sınıflandırıldığında ise en yüksek kuruma hızına 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases uygulanan sığır bonfile etinin sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.2: Farklı koşullarda ultrasonik önileme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi

### 6.2.3 Kuruma Kinetiğinin Modellenmesi

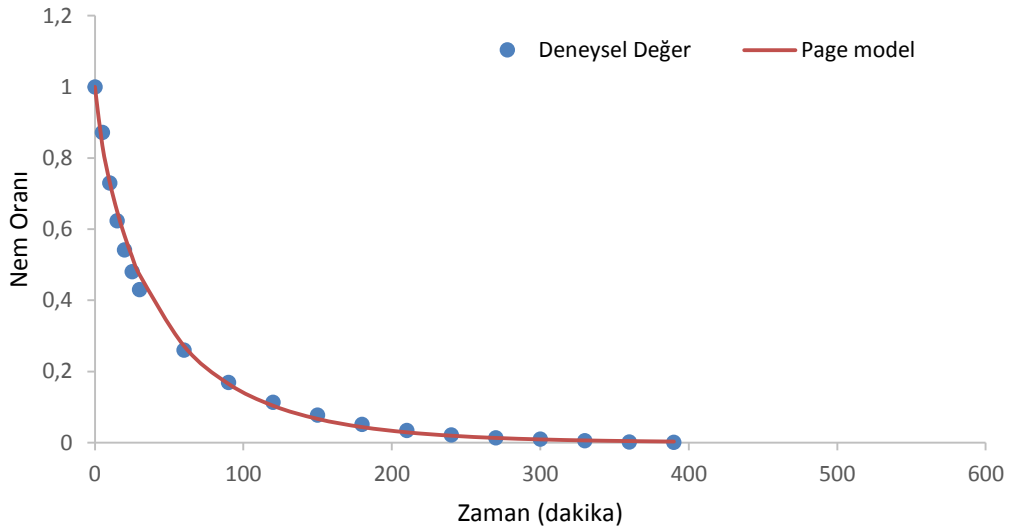
Farklı koşullarda ultrasonik önileme tabi tutulan sığır bonfile eti örneklerinin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren veriler beş ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait katsayı ve sabitleri ile istatistiksel değerler Tablo 6.1 - 6.5'te verilmiştir. Elde edilen  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine göre sığır bonfile etinin kurutulmasını en iyi ifade eden modelin Page model olduğu belirlenmiştir. Kurutmada uygulanan her bir koşul için nem oranları değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan Page modelden elde edilen değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 6.3 – 6.8'de verilmiştir.

Page modele ait kinetik sabitin (k) 80 °C ve 50 °C için sırasıyla;  $4,9 \times 10^{-2}$  -  $6,6 \times 10^{-2} \text{ dak}^{-1}$  ve  $3,1 \times 10^{-2}$  -  $4,2 \times 10^{-2} \text{ dak}^{-1}$  arasında değiştiği ve kinetik sabitin işlem

süresi arttıkça arttığı belirlenmiştir. Page modele ait n değeri ise; 0,6903 - 0,7779 arasında değişmiştir (Tablo 6.4 – 6.9).

Tablo 6.4: Önışlem uygulanmadan 80 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
<b>Lewis Model</b>	k= 0,0162	0,9839	0,00911	0,02132
<b>Henderson ve Pabis Model</b>	a= 1, 297968 k= 0,0059	0,9950	0,22485	0,10290
<b>Page Model</b>	k= 0,049737 n= 0,7977	0,9921	0,00045	0,00460
<b>Modifiye Page Model</b>	k= 0,023236 n= 0,7977	0,9921	0,00591	0,01669
<b>Logaritmik Model</b>	a= 0,778879 k= 0,0153 c= 0,00065	0,9952	0,00537	0,01543



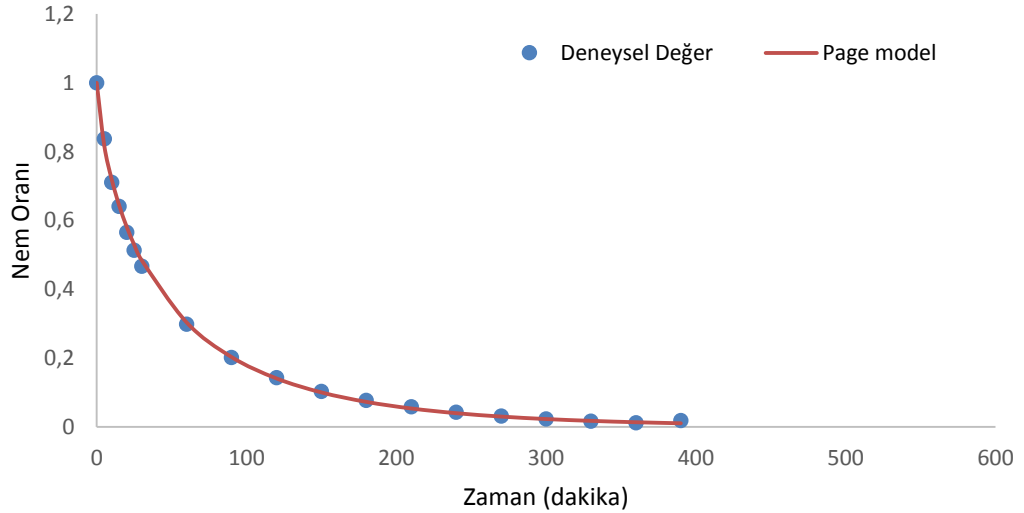
Şekil 6.3: 80 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Başlar ve diğ. (2014) vakum ile kombineli olarak ultrases desteği kullandıkları tavuk ve sığır eti kurutma üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada 55, 65 ve 75 °C’de çalışmışlar ve sırasıyla etin kurutulmasını en iyi ifade eden modellerin logaritmik, çift terimli ve logaritmik modeller olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada

10 modelle çalışılmış olup  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerini incelendiğinde sığır eti kurutma kinetiğini iyi bir şekilde ifade eden modellerden birinin de Page model olduğu ancak en uygun modellerin 55, 65 ve 75 °C için sırasıyla Logaritmik, Çift Terimli ve Logaritmik modeller olduğu saptanmıştır.

Tablo 6.5: 5 dakika süreyle %100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

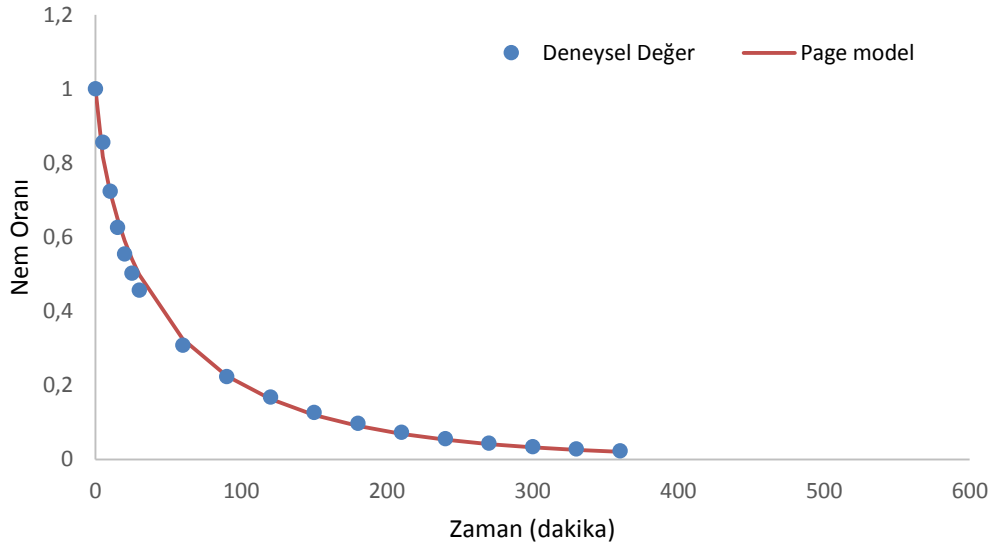
Modeller	Model Katsayıları	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,0131	0,9650	0,01331	0,02577
Henderson ve Pabis Model	a= 1,39445 k= 0,006	0,9895	0,26154	0,11098
Page Model	k= 0,063027 n= 0,718	0,9983	0,00008	0,00198
Modifiye Page Model	k= 0,021283 n= 0,718	0,9983	0,00901	0,02060
Logaritmik Model	a= 0,775614 k= 0,0147 c= 0,018124	0,9952	0,00378	0,01294



Şekil 6.4: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Tablo 6.6: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

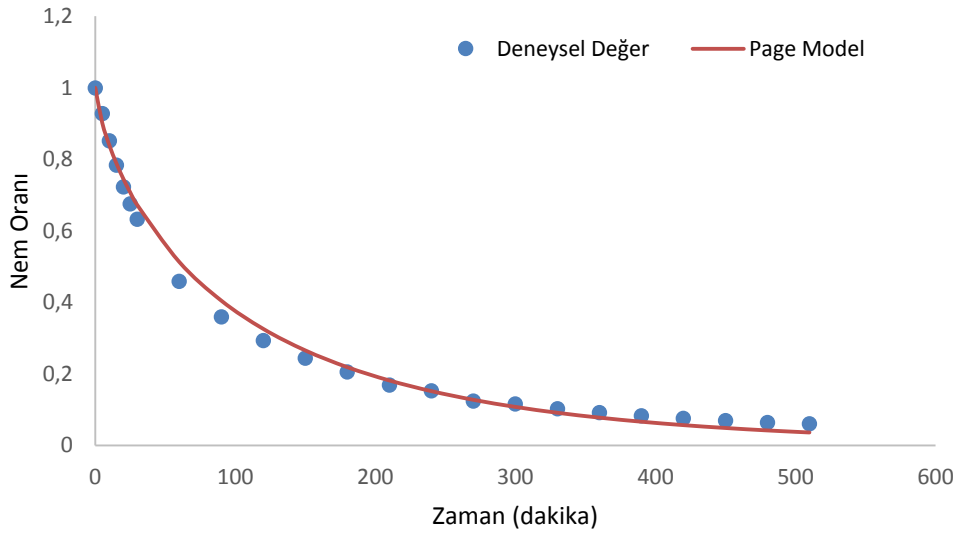
Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,0117	0,9393	0,01866	0,03129
Henderson ve Pabis Model	a= 1,45441 k= 0,0077	0,9806	0,24264	0,10946
Page Model	k= 0,066657 n= 0,6903	0,9915	0,00044	0,00464
Modifiye Page Model	k= 0,019777 n= 0,6903	0,9915	0,01362	0,02594
Logaritmik Model	a= 0,756389 k= 0,0135 c= 0,023106	0,994	0,00537	0,01577



Şekil 6.5: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Tablo 6.7: Önışlem uygulanmadan 50 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

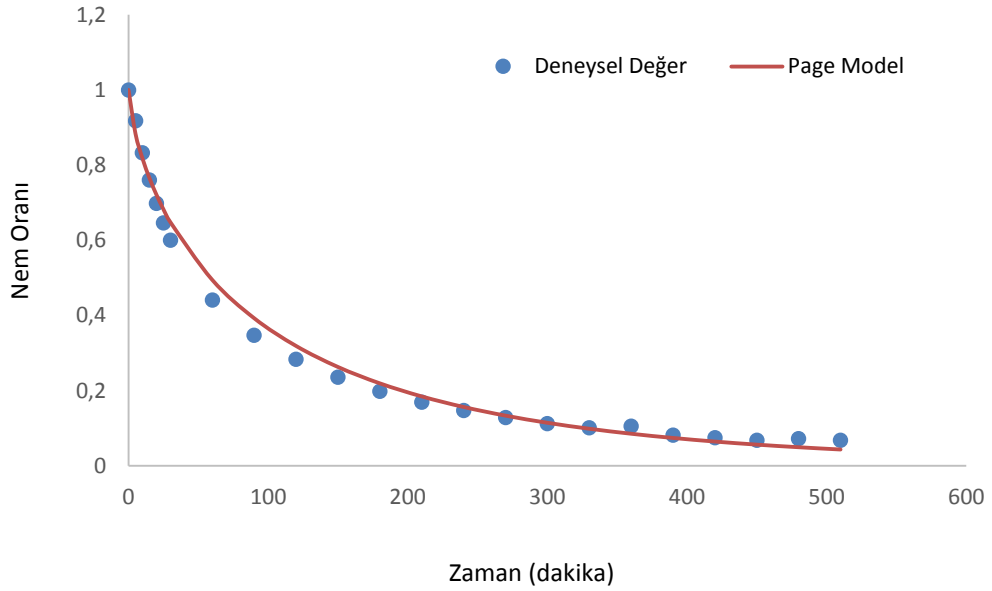
Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,0069	0,9160	0,01025	0,02065
Henderson ve Pabis Model	a= 1,338434 k= 0,0151	0,9597	0,03260	0,35980
Page Model	k= 0,031189 n= 0,7482	0,9876	0,00064	0,00503
Modifiye Page Model	k= 0,009709 n= 0,7482	0,9876	0,00914	0,01905
Logaritmik Model	a= 0,806541 k= 0,0094 c= 0,061064	0,9940	0,00199	0,00868



Şekil 6.6: 50 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Tablo 6.8: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,0071	0,9031	0,01210	0,02243
Henderson ve Pabis Model	a= 1,357575 k= 0,0117	0,9566	0,05096	0,03598
Page Model	k= 0,040353 n= 0,6985	0,9847	0,00071	0,00532
Modifiye Page Model	k= 0,010095 n= 0,6985	0,9847	0,01291	0,02264
Logaritmik Model	a= 0,800435 k= 0,0101 c= 0,068018	0,9786	0,00199	0,00868

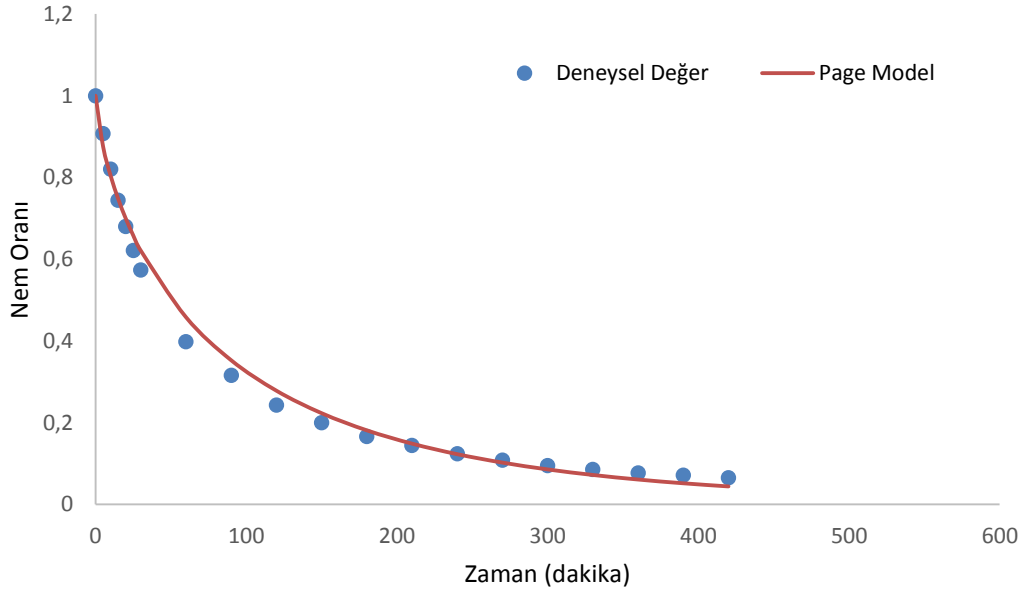


Şekil 6.7: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi



Tablo 6.9: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

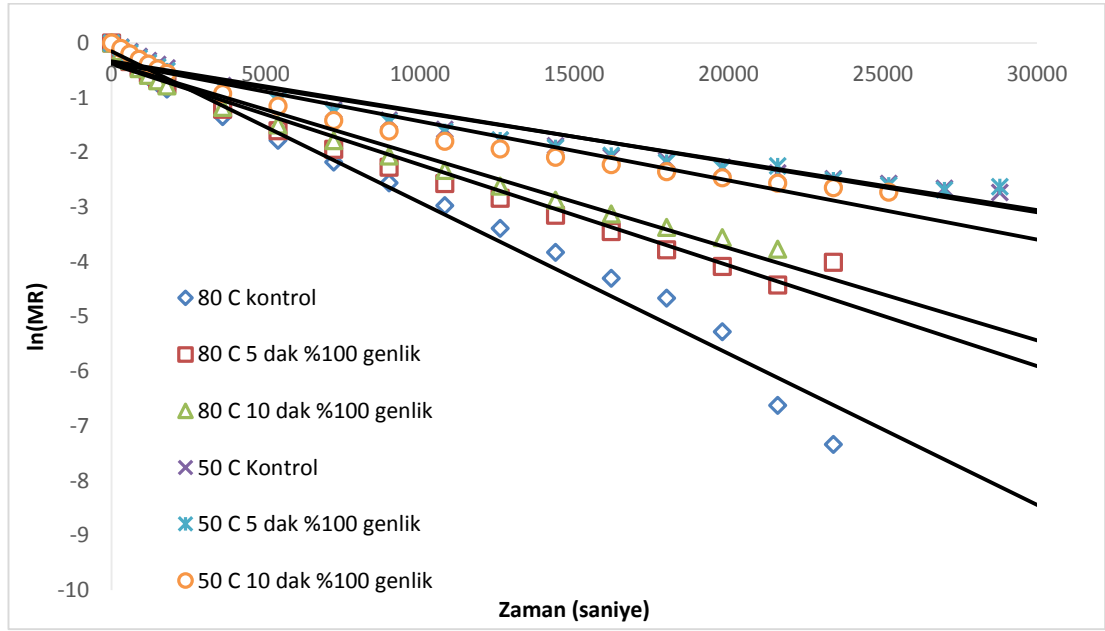
Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,0065	0,9487	0,02418	0,03389
Henderson ve Pabis Model	a= 1,416232 k= 0,0101	0,8890	0,09683	0,06601
Page Model	k= 0,042214 n= 0,7125	0,9860	0,00076	0,00584
Modifiye Page Model	k= 0,01171 n= 0,7125	0,9860	0,01291	0,02411
Logaritmik Model	a= 0,785842 k= 0,0122 c= 0,065507	0,9942	0,00247	0,01024



Şekil 6.8: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi

## 6.2.4 Etkin Difüzyon Katsayısı

Etkin difüzyon katsayısı küp geometrideki sığır bonfile eti örnekleri için Denklem 3.5’de verilen lineer denklemin eğiminden hesaplanmıştır (Şekil 6.9). Sığır bonfile etine ait etkin difüzyon katsayıları Tablo 6. 10’da verilmiştir.



Şekil 6.9: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

Tablo 6.10: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin etkin difüzyon katsayısı değerleri

Ultrases önişlemi	Kurutma sıcaklığı (°C)	$D_{eff} \cdot 10^{-10}$ ( $m^2 / s$ )
-	80	10,01
5 dakika %100 genlik	80	6,68
10 dakika %100 genlik	80	6,68
-	50	3,04
5 dakika %100 genlik	50	3,04
10 dakika %100 genlik	50	3,37

Etkin difüzyon katsayısı; 50 °C’de kurutulan örneklerde  $3,04 \times 10^{-10}$  –  $3,37 \times 10^{-10}$   $m^2/s$  arasında 80 °C’de kurutulan örneklerde ise  $6,68 \times 10^{-10}$  –  $10,01 \times 10^{-10}$   $m^2/s$

arasında değişmiştir. Aynı sıcaklıkta kurutulan örnekler için ultrases işleminin etkin difüzyon katsayısında önemli bir etkiye (belirgin bir artış veya azalışa) sebep olmadığı saptanmıştır (Tablo 6.10).

Nowacka ve diğ. (2012) ultrasonik önişleme tabi tutulan elmaların kuruma kinetiğini inceledikleri çalışmalarında 35 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo vasıtasıyla 10, 20, 30 dakika boyunca ultrasonik önişlem gerçekleştirmiş ve örnekleri 1,5 m/s hava hızında 70 °C’de kurutmuşlardır. Çalışmalarının sonucunda etkin difüzyon katsayısının önişlem uygulanmamış örneğe göre ultrasonik önişlem uygulanan örnekte daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Fakat 10 ile 30 dakika ile gerçekleştirilen ultrasonik önişlem uygulamalarının etkin difüzyon katsayıları arasında herhangi bir fark tespit edememişlerdir. Fernandes ve diğ. (2007) muzun ultrases destekli kurutulması üzerine yaptıkları çalışmalarında 1:4 ürün/su oranında çalıştıkları 25 kHz frekansta ve 4870 W/ m<sup>2</sup> güçte ultrasonik banyo kullanmış ve 10, 20, 30 dakika boyunca ultrasonik önişlem uyguladıkları muz örneklerini 60°C’de sıcak hava ile kurutmuşlardır. Muzun etkin difüzyon katsayısının 20 dakikalık ultrases uygulamasında en yüksek değer olan 5,28x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s değerine ulaştığını fakat 30 dakika boyunca ultrases uygulanan örneklerin etkin difüzyon katsayısının 5,08 x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s şeklinde değiştiiği tespit etmişlerdir. Bu iki değerde herhangi bir önişlem uygulanmadan kurutulan muz örneklerine göre daha yüksek olduğu belirtilirken 10 dakika boyunca ultrases uygulana örneklerin etkin difüzyon katsayısı 3,90 x10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s olarak tespit edilmiş ve bu değerin önişlem uygulanmadan kurutulan örneklerin etkin difüzyon katsayısından daha düşük olduğu vurgulanmıştır.

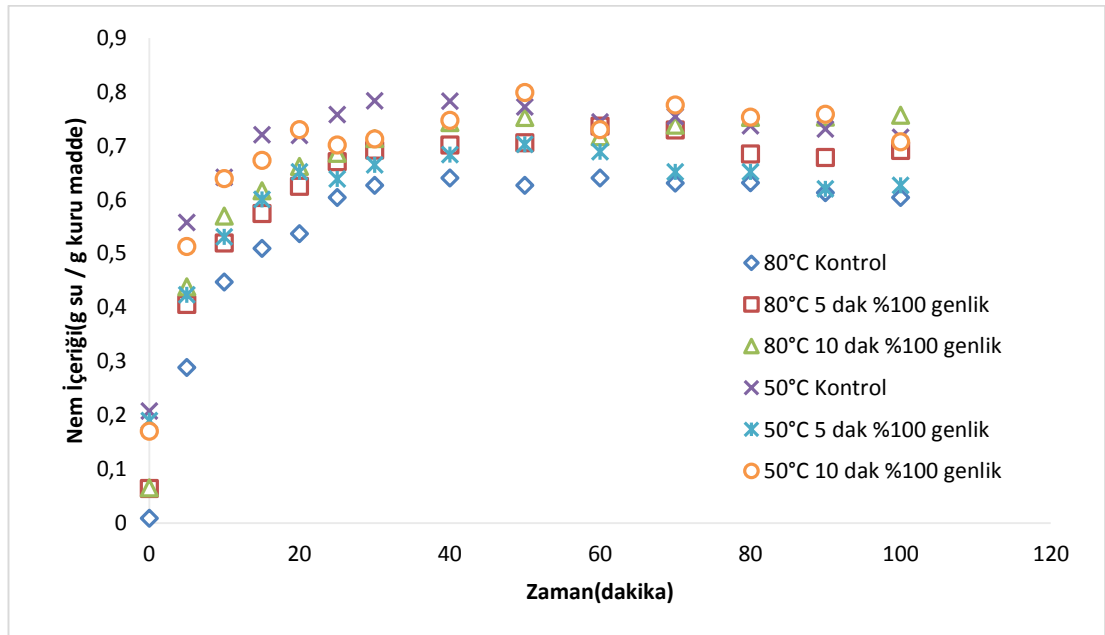
## **6.2.5 Ultrasonik Önişlemin Sığır Bonfile Eti Örneklerinin Rehidrasyonu Üzerindeki Etkisi**

### **6.2.5.1 Nem içeriği değişimi**

Önişlem uygulanmadan kurutulan sığır bonfile etlerinin rehidrasyon öncesi başlangıç nem içeriği değerleri 80°C’de kurutulan örnekler için yaklaşık olarak 0,008 g su / g kuru madde ve 50 °C’de kurutulan örnekler için yaklaşık 0,200 g su / g kuru madde olarak hesaplanmıştır. Ultrasonik önişleme tabi tutularak kurutulmuş

örneklerin rehidrasyon öncesi başlangıç nem içerikleri değerleri ise 0,06-0,19 g su / g kuru madde arasındadır. Ultrasonik önışlemin rehidrasyon süresince nem içeriği değişimi üzerine etkisini incelemek için 80 °C sıcaklıkta 1:50 (w/w) kuru ürün / su oranında rehidrasyon işlemleri gerçekleştirilmiş olup rehidrasyon işlemi sırasındaki nem içeriğinin zamanla değişimi Şekil 6.10’da verilmiştir.

5 dakika süre ile % 100 genlikte ultrasonik önışlem uygulandıktan sonra 80 °C’de kurutulan örnek 0,06 g su / g kuru madde nem içeriğinden 0,73 g su / g kuru madde nem içeriğine 60 dakikada ulaşırken, 10 dakika süre ile ultrases önışlemi uygulandıktan sonra 80 °C’de kurutulan örnek 0,06 g su / g kuru madde nem içeriğinden 0,73 g su / g kuru madde nem içeriğine 70 dakikada ulaşmıştır. 5 dakika süre ile ultrasonik önışlem uygulandıktan sonra 50°C’de kurutulan örnekler 50 dakika süre ile rehidre edildiklerinde nem içeriği değerinin 0,19 g su / g kuru maddeden 0,70 g su / g kuru madde nem içeriğine yükseldiği gözlemlenirken 10 dakika süre ile ultrases önışlemi uygulanarak aynı sıcaklıkta kurutulan örneklerin ise aynı süre içerisinde 0,17 g su / g kuru madde nem içeriğinden 0,79 g su / g kuru madde nem içeriğine yükseldiği tespit edilmiştir. Sıcaklıklar birbirleriyle kıyas edildiğinde 50°C’de kurutulan örneklerin 80°C’de kurutulan örneklere göre daha hızlı bir şekilde denge nem içeriklerine ulaştıkları belirlenmiştir.



Şekil 6.10: Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimi

### 6.2.5.2 Rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi

Rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi değerleri sırasıyla Denklem 3.7 ve Denklem 3.8'den hesaplanarak, farklı koşullarda ultrasonik önışlem uygulanan sığıır bonfile eti örneklerinin rehidrasyon oranları ve su tutma kapasiteleri Tablo 6.11'de verilmiştir.

Tablo 6.11'de de görüldüğü üzere 10 dakika süreyle ultrases önışlemi uygulandıktan sonra 80°C'de kurutulan sığıır bonfile eti örneğinin rehidrasyon oranının 1,66 ile en yüksek değer olduğı ve ön işlemler uygulanmadan ve 5 dakika süre ile önışlem uygulanarak 50°C'de kurutulan sığıır bonfile eti örneklerinin rehidrasyon oranların ise 1,48 ve 1,46 ile en düşük değerler olduğı ve istatistiksel olarak bu en yüksek ve en düşük değerlerin birbirlerinden farklı olduğı belirlenmiştir (P<0,05). Statistikselsel olarak ultrases önışleminin sığıır bonfile etinin rehidrasyon oranı üzerine önemli bir etkisi olmadığı, ancak önışlem süresindeki artışla rehidrasyon oranı değerlerinde artma eğilimi olduğı saptanmıştır.

Tablo 6.11: Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulmuş sığıır bonfile eti örneklerinin rehidrasyon oranı ve su tutma kapasiteleri\*

Ultrases önışlemi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Rehidrasyon Oranı	Su Tutma Kapasitesi (%)
-	80	1,64 <sup>bc</sup>	70,69 <sup>b</sup>
5 dakika %100 genlik	80	1,64 <sup>bc</sup>	68,54 <sup>b</sup>
10 dakika %100 genlik	80	1,66 <sup>c</sup>	72,33 <sup>b</sup>
-	50	1,48 <sup>a</sup>	55,75 <sup>a</sup>
5 dakika %100 genlik	50	1,44 <sup>a</sup>	56,61 <sup>a</sup>
10 dakika %100 genlik	50	1,54 <sup>ab</sup>	71,88 <sup>b</sup>

\*Farklı harfler, ortalamaların birbirinden P<0,05 düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.

10 dakika süreyle ultrasonik önışlem uygulandıktan sonra 80 °C'de kurutulan sığıır bonfile eti örneklerinin % 72,33 oranında rehidrasyonla kazandığı suyu yapısında tutarak en yüksek su tutma kapasitesine sahip olmuştur. 80°C sıcaklıkta kurutulan örnekler arasında istatistiki açıdan bir fark bulunmazken, 50°C sıcaklıkta kurutulan örneklerden 10 dakika önışlem uygulanan örnek diğerlerinden daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğı bulunmuştur (P<0,05). Ayrıca sıcaklıklar kendi aralarında gruplandırıldığında artan önışlem süresi ile su tutma kapasitesinin artma eğiliminde olduğı tespit edilmiştir. Su tutma kapasitesi değerleri önışlem süresi 10 dakikaya

yükselince 80°C’de kurutulan örneklerde % 70,69’dan % 72,33’e yükselmiş, 50°C’de kurutulan örneklerde ise % 55,75’ten % 71,88’e yükselmiştir.

### 6.2.6 Rehidrasyon Kinetiği Modellenmesi

Farklı koşullarda ultrasonik önışlem uygulanan ve ardından 0,3 m/s hava hızına sahip tepsili kurutucuda 50 ve 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerinin rehidrasyon kinetiğinin Peleg modeline uygunluğu araştırılmıştır. 80°C’de rehidre edilen sığır bonfile eti örneklerinin Peleg modeline ait matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Tablo 6.12’de verilmiştir. 50°C’de kurutulan örneklerin kinetik sabitlerinin değerleri ultras es önışleminin süresi arttıkça artış eğilimi göstermiştir. 80°C’deki örneklerde önışlem süresi arttıkça kinetik sabitlerde bir artış belirlenmemiştir.

Tablo 6.12: Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulan sığır bonfile eti örneklerinin nem içeriği değerleri kullanılarak Peleg modele ait model sabitleri ve istatistik değerler

Ultras es önışlemi	Kurutma sıcaklığı (°C)	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	RMSE	χ <sup>2</sup>
-	80	8,6031	1,4152	0,9957	0,006258	0,000490
5 dakika %100 genlik	80	8,4962	1,4410	0,9987	0,009474	0,001122
10 dakika %100 genlik	80	5,5962	1,3911	0,9990	0,003797	0,000236
-	50	7,2648	1,5207	0,9960	0,004443	0,000019
5 dakika %100 genlik	50	11,646	1,7181	0,9977	0,003722	0,000160
10 dakika %100 genlik	50	7,4651	1,5033	0,9923	0,006569	0,000499

### **6.3 Ultrasonik Önışlemin Tavuk Göğüs Etinin Kurutulması Üzerine Etkisi**

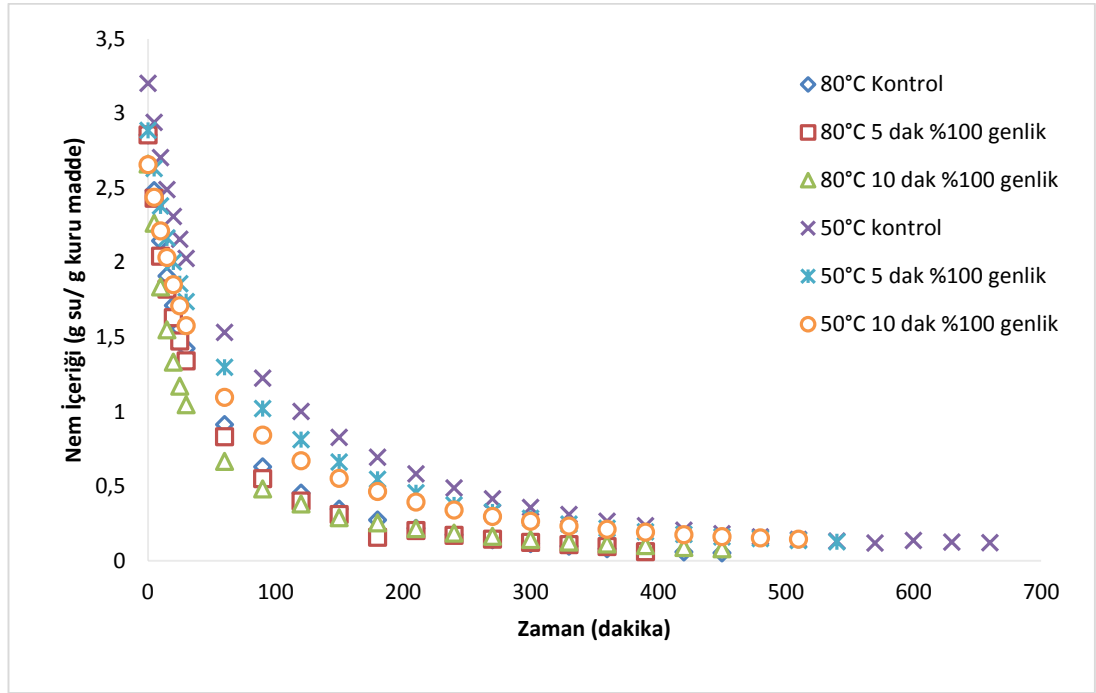
#### **6.3.1 Nem İçeriğı Değışimi**

Bu çalışmada önışlem uygulanmamış tavuk göğüs eti örneklerinin başlangıç nem içeriğı, 80°C’de kurutulan örnekler için 2,85 g su/ g kuru madde, 50 °C’de kurutulan örnekler için ise; 3,2 g su/ g kuru madde olarak belirlenmiştir. Ultrasonik önışlem uygulanan örneklerde ise başlangıç nem içeriğinin 2,66 ile 2,88 g su / g kuru madde arasında değıştiğı belirlenmiştir. Ultrasonik önışlemin nem içeriğı üzerine etkisini incelemek için % 100 genlikte farklı sürelerde ultrasonik muameleye tabi tutulduktan sonra kurutulan tavuk göğüs eti örneklerinin nem içeriğı değışimi ile elde edilen değerler Şekil 6.13’de verilmiştir.

50 °C’de önışlem uygulanmadan kurutulan örneklerin 3,20 g su/ g kuru madde nem içeriğinden 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde nem içeriğine düşmesi için sırasıyla 420 ve 210 dakika boyunca kurutulmasının gerektiğı saptanmıştır. Fakat % 100 genlikte 10 dakika boyunca ultrases uygulandıktan sonra 50 °C’de kurutma işlemi gerçekleştirilen örneklerin 2,95 g su / g kuru madde başlangıç nem içeriğinden ultrasonik ön işlem sonrasında 2, 65 g su/ g kuru madde nem içeriğine ulaştığı ve bu örneklerin 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde değerine düşene kadar kurutulması için geçen sürenin toplamda sırasıyla 370 ve 160 dakika olduğı belirlenmiştir (Şekil 6.11, Tablo 6.13).

Ultrases destekli kurutma gerçekleştirildiğinde tavuk göğüs etinin kuruma süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Ozuna ve diğ. (2014) Morina balığı üzerinde yaptıkları çalışmalarında düşük sıcaklıkta sıcak hava ile kurutmaya destek olarak ultrases işlemi gerçekleştirmiş olup kurutma süresinin % 35-54 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Romero and Yopez (2015) And dağları böğürtleni üzerine yaptıkları bir çalışmada 24 kHz frekansta 400 W güçte ultrasonik jeneratör ile 10, 20, 30 dakika boyunca ultrasonik önışlem uyguladıkları örnekleri 40-60°C sıcaklıklarda kurutmuşlardır ve 20 dakika boyunca ultrasonik önışleme tabi tutulan örneklerin 40°C’de ilk nem içeriklerinin yarısına ulaşmaları için geçen sürenin 38 dakika

olduğu fakat önışleme tabi tutulmadan kurutulan örneklerin 60°C’de bu değere 130 dakikada ulaştığını belirtmişlerdir.



Şekil 6.11: Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin nem içeriğinin zamanla değişimi

Tablo 6.13: Tavuk göğüs etinin 0,2 ve 0,5 g su / g kuru madde içeriğine gelene kadar geçen toplam süre (ultrasonik ön işlem + kurutma işlemi)

<b>Kurutma Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Ultrasonik Önışlem Süresi (dakika)</b>	<b>0,2 g su / g Kuru Madde Nem İçeriğine Gelme Süresi (dakika)</b>	<b>0,5 g su / g Kuru Madde Nem İçeriğine Gelme Süresi (dakika)</b>
80	-	220	105
80	5	215	95
80	10	230	85
50	-	420	210
50	5	375	200
50	10	370	160

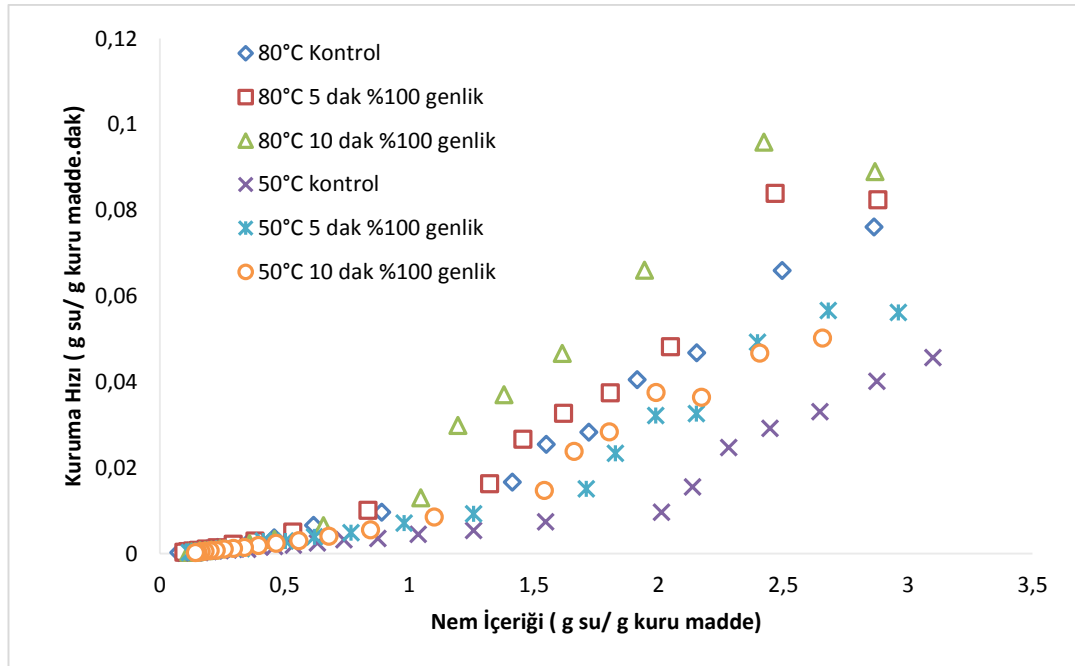


### 6.3.2 Kuruma Hızı Değişimi

Ultrasonik önişlemin nem içeriği değişimine etkisini incelemek amacıyla farklı sürelerde ultrasese tabi tutulduktan sonra kurutulan tavuk göğüs eti örneklerinin kuruma hızları Denklem 3.2'den hesaplanmış, bu değerler şekil 6.14'de verilmiştir.

Tavuk göğüs etlerinin kurutulmasının azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Önişlem koşullarına bağlı olarak kuruma hızları arasında farklılıklar saptanmış bu farklılıklar nem içeriği azaldıkça azalmıştır ve 1 g su/ g kuru madde değerinden düşük nem içeriklerinde farkın sıfıra yaklaştığı belirlenmiştir.

Hii ve diğ. (2014) çiğ tavuk eti ve haşlanmış tavuk etinin kuruma kinetiğini karşılaştırdıkları çalışmalarında bulunan sonuçlar tavuk etinin kurumasının azalan hız periyodunda gerçekleştiğini destekler yöndedir.



Şekil 6.12: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi

En yüksek kuruma hızının 80°C'de 10 dakika süre ile %100 genlikte ultrasese uygulanan örneklerde olduğu, 50°C'de kurutulan örnekler kendi aralarında sınıflandırıldığında ise en yüksek kuruma hızına 10 dakika süreyle %100 genlikte

ultrases uygulanan tavuk göğüs etinin sahip olduğu tespit edilmiştir. Ultrases önişleminin uygulama süresi arttıkça kuruma hızı artmıştır.

### 6.3.3 Kuruma Kinetiğinin Modellenmesi

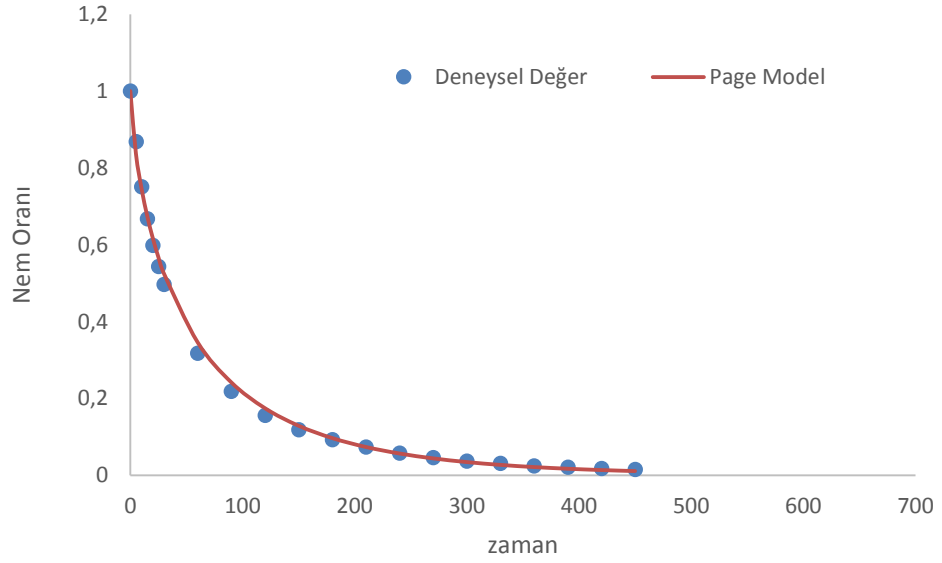
Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulan sığır bonfile eti örneklerinin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren veriler beş ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait katsayı ve sabitleri ile istatistiksel değerler Tablo 6.9 - 6.14'da verilmiştir. Elde edilen  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine göre tavuk bonfile etinin kurutulmasını en iyi ifade eden modelin Page model olduğu belirlenmiştir. Kurutmada uygulanan her bir koşul için nem oranları değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan Page modelden elde edilen değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 6.15 – 6.20'de verilmiştir.

Söz konusu tablolar incelendiğinde Page modele ait kinetik sabitin (k) 80°C ve 50°C için sırasıyla;  $5,6 \times 10^{-2}$  -  $9,7 \times 10^{-2}$  dak<sup>-1</sup> ve  $3,3 \times 10^{-2}$  -  $3,8 \times 10^{-2}$  dak<sup>-1</sup> arasında değerler gösterdiği ve kinetik sabitin işlem süresi arttıkça arttığı belirlenmiştir. Page modele ait n değeri ise; 0,6083- 0,7363 arasında değişmiştir.

Başlar ve diğ. (2014) vakum ile kombineli olarak ultrases desteği kullandıkları tavuk ve sığır eti kurutma üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada 55, 65 ve 75°C'de çalışmıştır. Bu çalışmada 10 modelle çalışılmış ve  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine göre tavuk eti kurutma kinetiğini iyi bir şekilde ifade eden modellerden birinin de Page model olduğu görülmektedir. Azoubel ve diğ. (2010) muzun akışkan yatakta kurutulmasına ultrases desteğinin etkisini araştırdıkları çalışmalarında 25 kHz frekanstaki ultrasonik banyo vasıtasıyla 10, 20, 30 dakika boyunca ultrases önişlemi gerçekleştirdikleri muz örneklerini 3 m/s hava hızına sahip akışkan yatak kurutucuda 50 ve 70°C'de kurutmuşlardır. Bu çalışma sonucunda muzun kuruma kinetiğini en iyi şekilde ifade eden modelin Page model olduğunu tespit etmişlerdir.

Tablo 6.14: Önışlem uygulanmadan 80 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

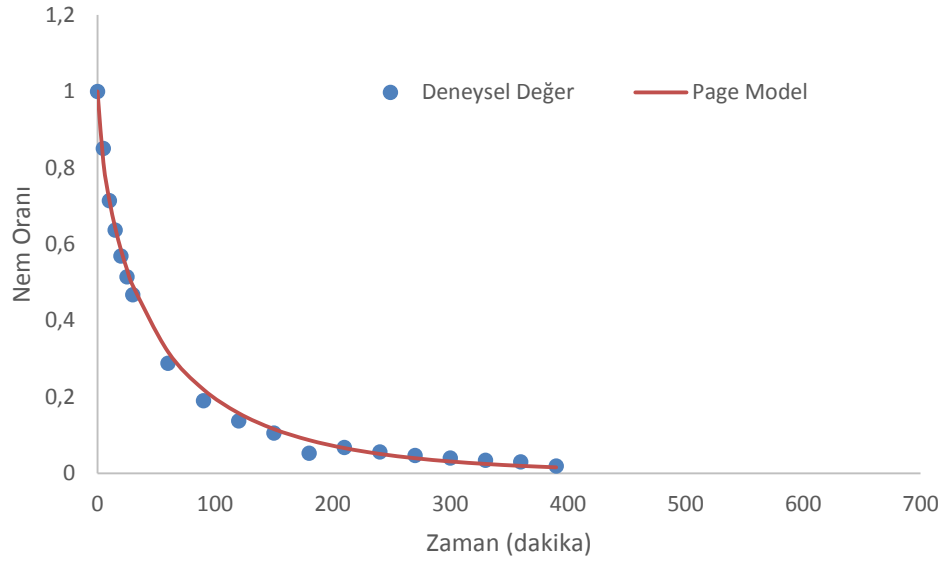
Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,0106	0,9339	0,015603	0,0266010
Henderson ve Pabis Model	a= 0,653312 k= 0,0092	0,9728	0,012239	0,0222963
Page Model	k= 0,056157 n= 0,7177	0,9947	0,000255	0,0033316
Modifiye Page Model	k= 0,018092 n= 0,7177	0,9947	0,009184	0,0198920
Logaritmik Model	a= 0,770512 k= 0,0125 c= 0,014661	0,9894	0,004295	0,0132400



Şekil 6.13: 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Tablo 6.15: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

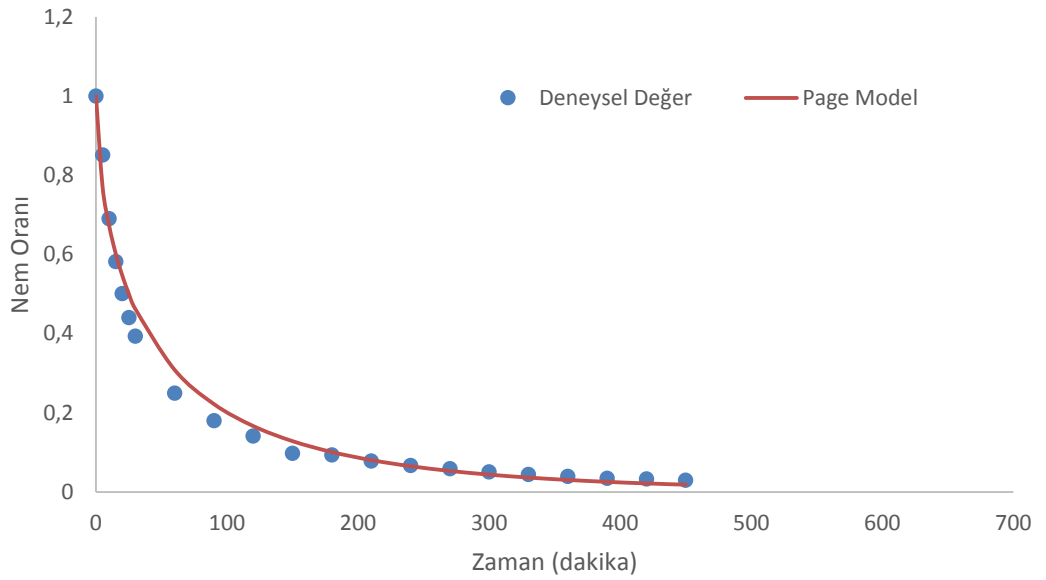
Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,0113	0,8833	0,019922	0,031517
Henderson ve Pabis Model	a= 0,622507 k= 0,0095	0,9435	0,015464	0,026986
Page Model	k= 0,068058 n= 0,6897	0,9896	0,000377	0,004212
Modifiye Page Model	k= 0,020313 n= 0,6897	0,9896	0,011958	0,023730
Logaritmik Model	a= 0,661662 k= 0,0121 c= 0,01897	0,9670	0,010733	0,021811



Şekil 6.14: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Tablo 6.16: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

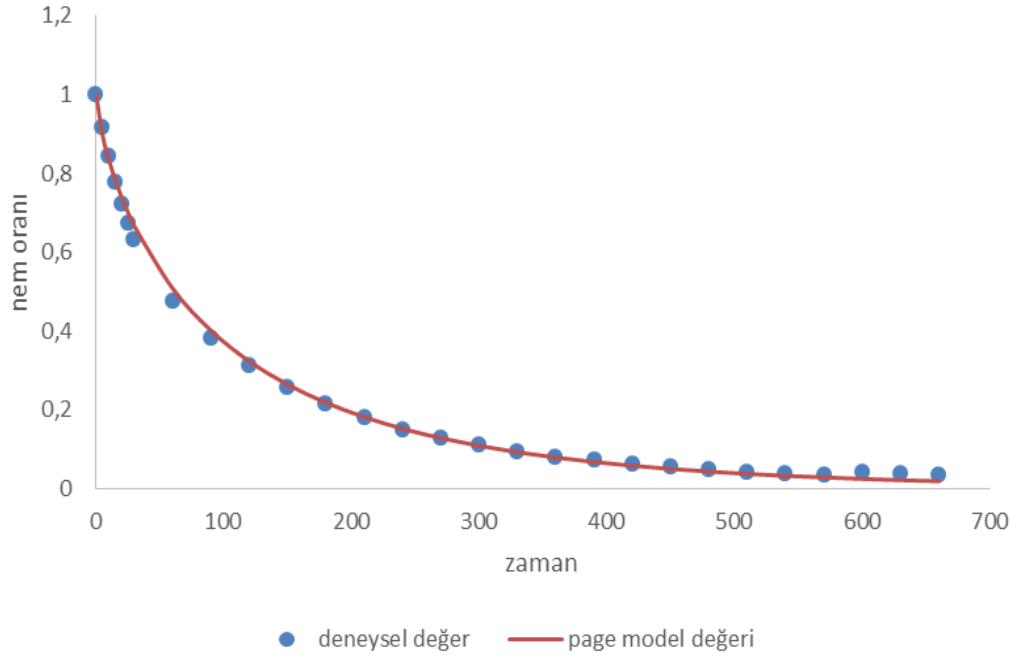
Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE
Lewis Model	k= 0,0096	0,7815	0,035443	0,040092
Henderson ve Pabis Model	a= 0,519546 k= 0,0095	0,9158	0,023312	0,031692
Page Model	k= 0,097471 n= 0,6083	0,9690	0,001322	0,007546
Modifiye Page Model	k= 0,021766 n= 0,6083	0,9690	0,020694	0,029859
Logaritmik Model	a= 0,614836 k= 0,012 c= 0,029687	0,9817	0,012139	0,022259



Şekil 6.15: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 80 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Tablo 6.17: Önışlem uygulanmadan 50 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değler

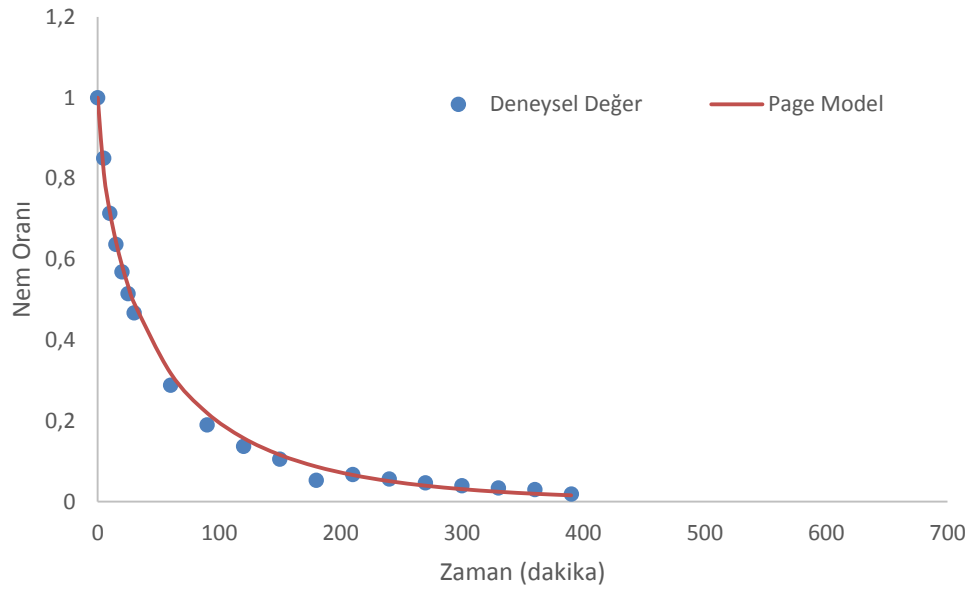
Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,0068	0,952	0,008032	0,016632
Henderson ve Pabis Model	a= 0,749912 k= 0,006	0,9807	0,005632	0,013667
Page Model	k= 0,033257 n= 0,7363	0,9954	0,000204	0,002600
Modifiye Page Model	k= 0,009829 n= 0,7363	0,9954	0,005121	0,013032
Logaritmik Model	a= 0,900955 k= 0,0091 c= 0,035991	0,9785	0,001467	0,006839



Şekil 6.16: 50 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağılı değişimi

Tablo 6.18: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

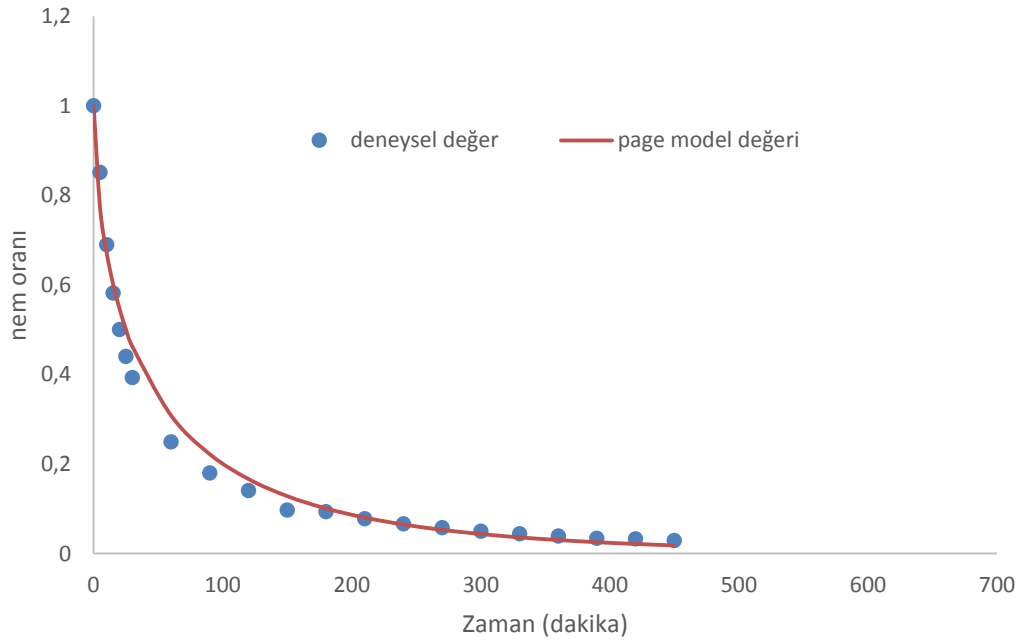
Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,0069	0,9172	0,012971	0,022758
Henderson ve Pabis Model	a= 0,69503 k= 0,0059	0,9629	0,0100007	0,019550
Page Model	k= 0,039554 n= 0,7142	0,9921	0,000301	0,003388
Modifiye Page Model	k= 0,01086 n= 0,7142	0,9921	0,009571	0,019120
Logaritmik Model	a= 0,844762 k= 0,0097 c= 0,41262	0,9876	0,016316	0,077127



Şekil 6.17: 5 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Tablo 6.19: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerine ait model sabitleri ve istatistiksel değerler

Modeller	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	RMSE
Lewis Model	k= 0,07	0,8824	0,015279	0,025208
Henderson ve Pabis Model	a= 0,673747 k= 0,0059	0,9438	0,01344	0,023098
Page Model	k= 0,038511 n= 0,7216	0,9846	0,000842	0,005780
Modifiye Page Model	k= 0,010962 n= 0,7216	0,9846	0,011233	0,021117
Logaritmik Model	a= 0,78075 k= 0,0099 c= 0,051075	0,9924	0,003151	0,010092

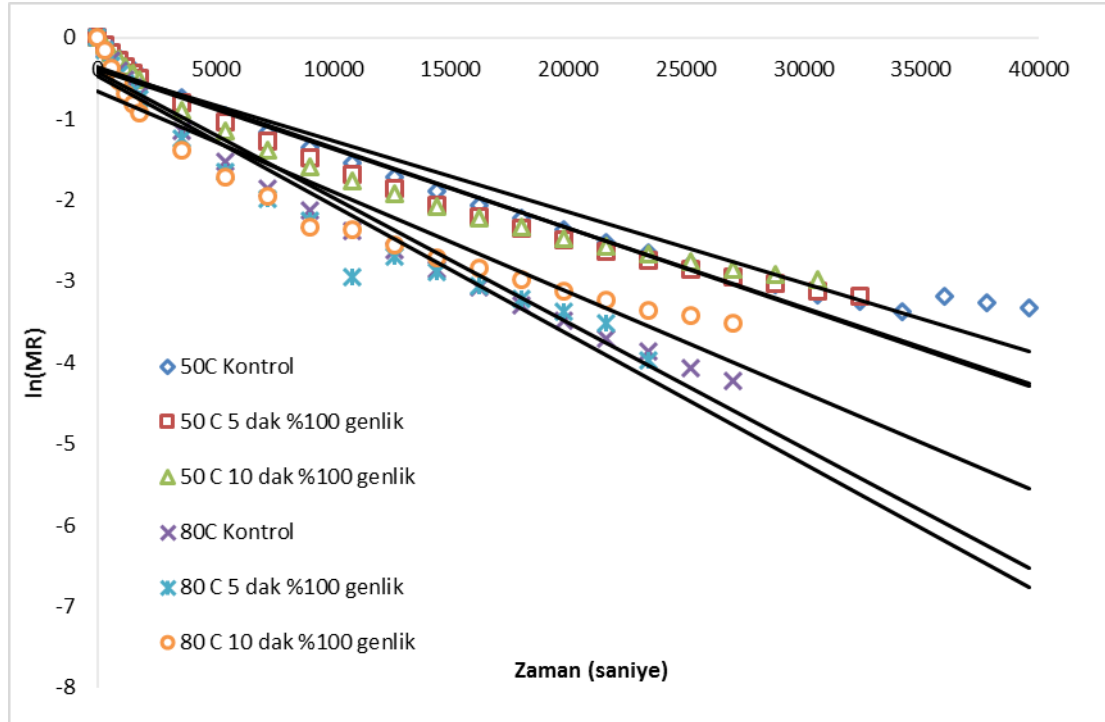


Şekil 6.18: 10 dakika süreyle % 100 genlikte ultrases önişlemi uygulanarak 50 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel nem oranlarının zamana bağlı değişimi



### 6.3.1 Etkin difüzyon katsayısı

Etkin difüzyon katsayısı küp geometrideki tavuk göğüs eti örnekleri için Denklem 3.5’de verilen lineer denklemin eğiminden hesaplanmıştır (Şekil 6.19). Tavuk göğüs etine ait etkin difüzyon katsayıları Tablo 6. 15’de verilmiştir.



Şekil 6.19: Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

80 °C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerinin etkin difüzyon katsayısı değerleri;  $3,04 \times 10^{-10} - 3,38 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  arasında değişirken, 50 °C’de kurutulan örneklerin ise  $3,38 \times 10^{-10} - 6,68 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  arasında değiştiği tespit edilmiştir. Aynı sıcaklıkta kurutulan örnekler için ultrases işleminin etkin difüzyon katsayısında önemli bir etkiye (belirgin bir artış veya azalışa) sebep olmadığı saptanmıştır (Tablo 6.20).

Literatürdeki çalışmalar kurutmadan önce gerçekleştirilen ultrases önışleminin etkin difüzyon katsayısını arttırdığını belirtmişlerdir. Schössler ve diğ. (2012) kırmızı dolma biberin ultrases destekli kurutulması üzerine yaptıkları bir

çalışmada etkin difüzyon katsayısının ultrases uygulamasıyla % 20-50 oranlarında arttığını tespit etmişlerdir.

Ozuna ve diğ. (2014) Morina balığının ultrases destekli kurutmasını inceledikleri çalışmalarında -10 ile 20°C arasındaki kurutma sıcaklıklarında çalışmış ve ultrases uygulamasıyla etkin difüzyon katsayısının % 42-110 arasında bir artış gösterdiğini belirlemişlerdir.

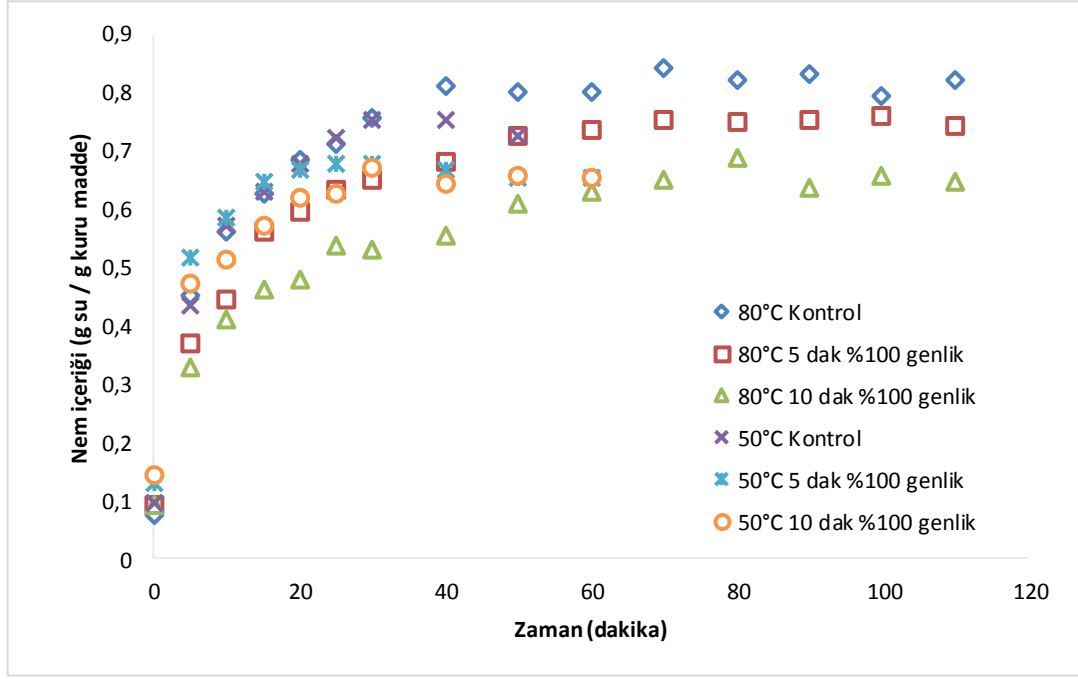
Tablo 6.20: Farklı koşullarda ultrasonik önileme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin etkin difüzyon katsayısı değerleri

Ultrases önilemi	Kurutma sıcaklığı (°C)	$D_{eff} * 10^{-10}$ ( $m^2 / s$ )
-	80	3,04
5 dakika % 100 genlik	80	3,38
10 dakika % 100 genlik	80	3,38
-	50	6,68
5 dakika % 100 genlik	50	6,68
10 dakika % 100 genlik	50	3,38

### 6.3.2 Ultrasonik Önilemin Tavuk Göğüs Eti Örneklerinin Rehidrasyonu Üzerindeki Etkisi

#### 6.3.2.1 Nem içeriği değişimi

Önileme uygulanmadan 80°C’de kurutulmuş örneklerin rehidrasyon öncesi başlangıç nem içeriği 0,073 g su / g kuru madde, 50°C’de kurutulmuş örnekler için ise başlangıç nem içeriği 0,094 g su / g kuru madde olarak hesaplanmıştır. Ultrasonik önileme uygulandıktan sonra kurutulan örneklerin rehidrasyon öncesi başlangıç nem içerikleri ise; 0,091-0,144 g su / g kuru madde arasında değişmektedir. Ultrasonik önilemin rehidrasyon süresine etkisini incelemek için farklı sürelerde ultrasonik işleme tabi tutularak kurutulmuş örneklerin 80°C’de 1:50 (w/w) kuru ürün / su oranında rehidrasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimi Şekil 6. 22’de verilmiştir.



Şekil 6.20: Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimi

5 dakika süreyle önışlem uygulanarak 80°C’de kurutulmuş örneklerin 0,091 g su / g kuru madde başlangıç nem içeriğinden 0,682 g su / g kuru madde nem içeriğine 40 dakika da geldiği belirlenirken, 10 dakika süre ile ultrasonik önışlem uygulanarak 80°C’de kurutulmuş örnekler ise; 0,092 g su / g kuru madde başlangıç nem içeriğinden 0,688g su / g kuru madde nem içeriğine 80 dakikada gelmiştir (Şekil 6.22).

### 6.3.2.2 Rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi

Tavuk göğüs eti örneklerinin rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi Denklem 3.7 ve Denklem 3.8’e göre hesaplanmıştır. Örneklerin denge nem içeriğine geldikleri andaki rehidrasyon oranları Tablo 6.21’de vermiştir.

En yüksek rehidrasyon oranına 1,72 ile 80°C’de herhangi bir önışlem uygulanmadan kurutulmuş örneklerin sahip olduğu belirlenmiştir. Ultrasonik önışlem uygulamasının rehidrasyon oranı üzerine 50°C’de kurutulmuş örneklerde önemli bir etkisi bulunmazken, 80°C’de kurutulmuş örneklerde işlem süresi arttıkça rehidrasyon

oranında azalmaya (1,72'den 1,55'e) neden olmuştur (Tablo 6.21). 50°C'de kurutulan örnekler arasında istatistiki açıdan bir fark bulunamazken, 80°C'de herhangi bir önışlem uygulanmadan kurutulan örneklerin rehidrasyon oranı 10 dakika ultrasonik önışlem uygulanan örneklerinkine göre yüksektir (P<0,05).

Tablo 6.21: Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerinin rehidrasyon oranları ve su tutma kapasiteleri\*

Ultras es önışlemi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Rehidrasyon Oranı	Su Tutma Kapasitesi (%)
-	80	1,72 <sup>b</sup>	78,77 <sup>b</sup>
5 dakika %100 genlik	80	1,61 <sup>ab</sup>	79,00 <sup>b</sup>
10 dakika %100 genlik	80	1,55 <sup>a</sup>	77,92 <sup>b</sup>
-	50	1,53 <sup>a</sup>	66,54 <sup>ab</sup>
5 dakika %100 genlik	50	1,47 <sup>a</sup>	53,10 <sup>a</sup>
10 dakika %100 genlik	50	1,47 <sup>a</sup>	66,71 <sup>ab</sup>

\*Farklı harfler, ortalamaların birbirinden P<0,05 düzeyinde farklı olduğunu göstermektedir.

80°C'de kurutulan örneklerde su tutma kapasitesinin % 77,92 – 79,00 arasında değişirken, 50°C'de kurutulan örneklerde ise su tutma kapasitesi % 53,10 – 66,71 arasında değişmektedir. Her iki sıcaklığa ait gruplar kendi aralarında değerlendirildiğinde istatistiki açıdan bir fark bulunamamıştır (P<0,05) (Tablo 6.21).

### 6.3.3 Rehidrasyon Kinetiği Modellenmesi

Farklı koşullarda ultrasonik önışlem uygulanan ve ardından 0,3 m/s hava hızına sahip tepsili kurutucuda 50°C ve 80°C'de kurutulan tavuk göğüs eti örneklerinin rehidrasyonunun Peleg modeline uygunluğu araştırılmıştır. 80°C'de rehidre edilen tavuk göğüs eti örneklerinin Peleg modeline ait matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Tablo 6.16'de verilmiştir. Ultras es önışlemi süresindeki artışla model kinetik sabitlerinde artma eğilimi saptanmıştır.

Tablo 6.22: Farklı koşullarda ultrasonik önişleme tabi tutulan tavuk göğüs eti örneklelerinin nem içeriği değerleri kullanılarak Peleg modele ait model sabitleri ve istatistik değerler

Ultrases önişlemi	Kurutma sıcaklığı (°C)	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>	RMSE	X <sup>2</sup>
-	80	8,2407	1,2023	0,9977	0,004805	0,0003100
5 dakika %100 genlik	80	12,246	1,3635	0,9992	0,003163	0,0001630
10 dakika %100 genlik	80	18,865	1,5226	0,9901	0,006610	0,0006290
-	50	8,2026	1,2847	0,9976	0,006646	0,0004710
5 dakika %100 genlik	50	4,8412	1,6440	0,9989	0,002883	0,0000815
10 dakika %100 genlik	50	9,0960	1,6563	0,9890	0,007409	0,0005380

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada 20 kHz frekansa sahip ultrases üreticisi kullanılarak 5 ve 10 dakika sürelerinde ve %100 genlik değerlerinde ultrases sıcak hava ile kurutma öncesinde vakum ambalaj ile ambalajlanan sığır bonfile eti ve tavuk göğüs eti örneklerine saf su içerisinde uygulanmıştır. Önışlemin ardından 50°C ve 80°C hava sıcaklıklarında ve 0.3 m/s hava hızında kurutma denemeleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre sıcak hava ile kurutma öncesi gerçekleştirilen ultrases önışleminin, ürünün özelliklerine ve uygulama şartlarına bağılı olarak ürünün kurutma hızını arttıran bir etki gösterdiği saptanmıştır. Buna göre, her iki örnek içinde 80°C hava sıcaklığında kurutulan ve 10 dakika süre ile % 100 genlikte ultrases uygulanan örneklerin kuruma hızının diğere örneklere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Ultrases işleminin üründe açtığı mikro kanalcıklar sayesinde kuruma işlemini hızlandırdığı bilinmekte ayrıca etin yapısında fazla miktarda bulunan proteinleri denatüre ederek kuruma öncesi bir ön pişme işlemini gerçekleştirilmektedir. Bu sayede hem kuruma hızı artmakta hem de kuruma süresi kısalmaktadır.

Etkin difüzyon katsayısının; sığır bonfile eti örnekleri için  $3,04 - 10,01 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s, tavuk göğüs eti örnekleri için ise  $3,04 - 6,68 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Tavuk göğüs eti ve sığır bonfile eti kurutulması sonucunda elde edilen veriler, Lewis Model, Henderson ve Pabis Model, Page Model, Modifiye Page Model ve Logaritmik Model olmak üzere beş ayrı modelle açıklanmaya çalışılmış bu modellerden sığır eti ve tavuk göğüs eti kurutulmasını en iyi açıklayan modelin Page Model olduğu sonucuna varılmıştır.

Ultras es önişleminin sığır bonfile etinin rehidrasyon oranı üzerine önemli bir etkisi olmadığı, ancak önişlem süresindeki artışla rehidrasyon oranı değerlerinde artma eğilimi olduğu saptanmıştır. Tavuk göğüs eti örneklerinde ise 50°C’de kurutulan örnekler arasında istatistiki açıdan bir fark bulunamazken, 80°C’de herhangi bir önişlem uygulanmadan kurutulan örneklerin rehidrasyon oranı 10 dakika ultrasonik önişlem uygulanan örneklere göre yüksektir ( $P<0,05$ ). Ayrıca rehidrasyon kinetiğinin Peleg Model ile ifade edilmiştir.

Rehidrasyon sonucunda ürünün aldığı suyu yapısında ne kadar tuttuğunun göstergesi olan su tutma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. 10 dakika süreyle ultrasonik önişlem uygulandıktan sonra 80 °C’de kurutulan sığır bonfile eti örneklerinin % 72,33 oranında rehidrasyonla kazandığı suyu yapısında tuttuğu tespit edilmiştir. 50°C sıcaklıkta kurutulan örneklerde ultrasonik ön işlem su tutma kapasitesi değerlerinde artışa sebep olmuştur. Tavuk göğüs eti örneklerinde ise, 5 dakika süreyle ultrasonik önişlem uygulandıktan sonra 80°C’de kurutlan örneklerin % 79,00 oranıyla en yüksek su tutma kapasitesine sahip oldukları fakat çalışılan her iki sıcaklığa ait gruplar kendi aralarında değerlendirildiğinde su tutma kapasiteleri arasında istatistiki açıdan bir fark bulunamamıştır.

Çalışma sonuçlarına göre ultras es önişleminin et kurutulması üzerinde gelecek vadeden bir işlem olduğu görülmüştür. Fakat bu konunun üzerine daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Farklı yöntemlerle ultras es uygulamasının et ürünlerinin kurutulmasında farklı sonuçlar oluşturacağı düşünülmekte olup araştırılmalıdır. Etin yapısının ultrasonik işlemden nasıl etkilendiğini açıklayacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

## 8. KAYNAKLAR

Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D. and Youssef, M.M., Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review, *Food Research International* 48: 410-427, (2012).

Azoubel, P. M., Baima, M. A. M. and Amorim, M. R., Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics, *Journal of Food Engineering*, 97: 194-198, (2010).

Baker, G. J. C., Industrial Drying of Foods, *Chapmann & Hall Publication*, New York, 299s, (1997).

Barbosa – Canovas, G. V. and Vega – Mercado, H., Dehydration of Foods, *Chapmann & Hall Publication.*, First Edition, New York, 327s, (1996)

Başlar, M., “Ultraseler, fotosonikasyon ve vurgulu elektriksel alan işlemlerinin elma suyunun bazı kalite özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2011).

Başlar, M., Kılıçlı, M., Toker, O. S., Sağdıç, O., Arıcı, M., Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 67-78, (2014).

Carcel, J. A., Benedito, J., Bon, J. and Mulet, A., “High intensity ultrasound effects on meat brining”, *Meat Science*, 76: 611-619., (2007).

Carcel, J. A., Benedito, J., Mulet, A. and Riera, E., “Mass Transfer Effects During Meat Ultrasonic Brining”, *Proceedings of the World congress on ultrasonics*, Paris, 431-434., (2003).

Cemeroğlu, B., Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No: 39, 479-626, (2004).

Chemat, F., Huma, Z. and Khan, M. K., “Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction”, *Ultrasonics Sonochemistry* 18: 813-835, (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).

Demiray, E., “Kurutma İşleminde Domatesin Likopen,  $\beta$ -karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2009).

Deng, Y. and Zhao, Y., Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji), *LWT- Food Science and Technology*, 41: 1575-1585, (2008).

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

Erçetin, Ü., “Tanecikli Gıda Maddelerinin Akışkan Yatakta Kurutulması”, Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2007).

Fernandes, F. A. N., Oliviera, F. I. P. and Rodrigues, S., Use of ultrasound for dehydration of papayas, *Food Bioprocess Technol*, 1: 339-345, (2008)

Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana, *Journal of Food Engineering*, 82: 261-267, (2007).

Garcia, J. L. L. and Castro, M. D. L., “Ultrasound: a powerful tool for leaching”, *Trends in Analytical Chemistry*, 22: 41-47.

Garcia-Perez, J. V., Puig, A., Perez-Munuera, I., Carcel, J.A. and Riera, E., Kinetic and microstructural changes induced by power ultrasound application on convective drying of eggplant, Proceeding of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, 23-27 August 2010, Sydney, Australia, (2010).

Geankopolis, C. J., Transport Processes and Separation Process Principles (includes unit operations) (fourth ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall PTR, 559-611, (2003).

Gökalp, H. Y., Kaya, M., Zorba, Ö., *Et Ürünleri İşleme Mühendisliği*, Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, (1994).

Gözükara, Ö., “Balkabağı Tozunun Fizikokimyasal ve Sorpsiyon Özellikleri Üzerine Kurutma Metotlarının Etkisi ve Balkabağı Tozunun Kek Üretiminde Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).

Güneş, M., “Bilgisayar Destekli Olarak Çeşitli Geometrik Şekillere Sahip Gözenekli Ortamlarda Kurutma Prosesinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, (1994).

Gürses, Ö. L., *Gıda İşleme Mühendisliği*, Cilt 2, Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, (1986).

Hii, C. L., Itam, C. E. and Ong, S.P., “Convective Air Drying of Raw and Cooked Chicken Meats”, *Taylor & Francis*, 32: 1304-1309, (2014).

Izidoro, D. R., Sierakowski, M. R., Haminiuk, C. W. I., Souza, C. F. and Scheer, A. G., Physical and chemical properties of ultrasonically, spray-dried green banana (*Musa Cavendish*) starch, *Journal of Food Engineering*, 104: 639-648, (2011).

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

Kartal, A. S., “Mikroalga ve Kuru Hava Yardımıyla Kurutma Yöntemlerinin Meyve Pestillerinin Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2011).

Latheef, M., “ Pulsed Ultrasound- Assisted Solvent Extraction of Oil from Soybeans and Microalgae”, Yüksek Lisans Tezi, *McGill University*, Montreal, (2012).

Lyng, J. G., Allen, P. and McKenna, B., “Pre- and Post-Rigor Exposure to a High Intensity Ultrasound Probe”, *J Sci Food Agric*, 78: 308-314., (1998).

Lyng, J. G., Allen, P. and McKenna, B., “The Influence of High Intensity Ultrasound Baths on Aspects of Beef Tenderness”, *Journal of Muscle Foods* 8: 237-249., (1997).

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

Mason, T. J., Paniwyk, L. and Lorimer, J. P., The uses of ultrasound in food technology, *Ultrasonics Sonochemistry*, 3:253-260, (1996).

McDonnell, C. K., Lyng, J. G., Arimi, J. and Allen, P., “The accelerated of pork using power ultrasound: a pilot-scale production”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1-8., (2014).

Nowacka, M., Wiktor, A., Sledz, M. and Jurek, N. W. D., “Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties”, *Journal of Food Engineering* 113: 427-433, (2012).

Oliviera, F. I. P., Gallão, M. I., Rodrigues, S. and Fernandes, F. A. N., “Dehydration of malay apple (*Syzygium malaccense* L.) using ultrasound as pre-treatment”, *Food Bioprocess Technol*, 4: 610-615, (2010).

Ozuna, C., Carcél, J. A., Garcia-Perez, J. V. and Mulet, A., Improvement of water transport mechanisms during potato drying by applying ultrasound, *Journal of Science Food and Agriculture*, 91: 2511-2517, (2011).

Ozuna, C., Carcel, J. A., Walde, P. M. and Garcia- Perez, J. V., “Low – temperature drying of salted cod (*Gadus morhua*) assisted by high power ultrasound : Knetics and physical properties”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 23: 146-155, (2014).

Ozuna, C., Puig, A., Garcia-Perez, J. V., Mulet, A. and Carcel, J. A., “Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat( *Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations”, *Journal of Food Engineering*, 119: 84-93., (2013).

Özel, Ö. F., “Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2010).

Öztan, A., *Et Bilimi ve Teknolojisi*, Ankara: Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Yayınları, (1993).

Pico, Y., “Ultrasound-assisted extraction for food and enviromental samples”, *Trends in Analytical Chemistry*, 43: 84-99, (2013).

Pingret, D., Tixier, A. S. and Chemat, F., “Degradation during application of ultrasound in food processing: A review”, *Food Control*, 31: 593-606, (2013).

Rastogi, N. K., Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing, *Food Science and Nutrition*, 51:8, 705-722, (2011).

Schössler, K., Jäger, H. and Knorr, D., Effect of continuous and intermittent ultrasound on drying time and effective diffusivity during convective drying of apple and red bel pepper, *Journal of Food Engineering*, 108: 103-110, (2012).

Siro, I., Ven, C., Balla, C., Jonas, G., Zeke, I. and Friedrich, L., “Application of an ultrasonic assisted curing tecnique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat”, *Journal of Food Engineering*, 91: 353-362., (2009).

Smith, N. B., Cannon, J. E., Novakofski, J. E., McKeith, F. K. and O'Brien, W. D., “Tenderization of Semitendinosus Muscle Using High Intensity Ultrasound”, *Ultrasonics Sempozium*, 1371-1374., (1991).

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

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

Vega-Galvez, A., Scala, K.D., Rodriguez, K., Lemus, M., Miranda, M. and Lopez, J., Perez-Won, M., Effect of air drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper, *Food Chemistry*, 117: 647-653., (2009).

Zbigniew, J. D., Stadnik, J. and Stasiak, D., “Applications of Ultrasound in Food Technology”, *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 6(3): 89-99, (2007).

## 9. EKLER

### EK. A. KURUMA HIZINA ve KİNETİĞİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Çizelge A1. 50°C’de kurutulan önişlemsiz sığır bonfile eti örneğine ait deneysel veriler

Kuruma Zamani (dakika)	Nem İçeriği (g su / g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	3,2921	1
5	3,0564	0,9281
10	2,8069	0,8521
15	2,5840	0,7840
20	2,3854	0,7234
25	2,3242	0,6756
30	2,0874	0,6327
60	1,5200	0,4593
90	1,1941	0,3598
120	0,9773	0,2937
150	0,8146	0,2442
180	0,6901	0,2063
210	0,5427	0,1691
240	0,5159	0,1532
270	0,4031	0,1246
300	0,3969	0,1169
330	0,3517	0,1031
360	0,3178	0,0928
390	0,2884	0,0839
420	0,2646	0,0766
450	0,2437	0,0703
480	0,2267	0,0650
510	0,2136	0,0610
540	0,1667	0,0493

Çizelge A2. % 100 genlikte ultrasese 5 dakika süreyle tabi tutulmuş 50°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,8536	1
5	2,6197	0,9176
10	2,3782	0,8326
15	2,1727	0,7603
20	1,9957	0,6980
25	1,8488	0,6463
30	1,7190	0,6006
60	1,2654	0,4409
90	1,0008	0,3477
120	0,8175	0,2832
150	0,6830	0,2358
180	0,5762	0,1982
210	0,4952	0,1697
240	0,4326	0,1476
270	0,3786	0,1286
300	0,3335	0,1127
330	0,3004	0,1010
360	0,3105	0,1057
390	0,2451	0,0816
420	0,2250	0,0745
450	0,2072	0,0682
480	0,2160	0,07229
510	0,2039	0,06801

Çizelge A3. % 100 genlikte ultrasese 10 dakika süreyle tabi tutulmuş 50°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,4800	1
5	2,2506	0,9069
10	2,0372	0,8202
15	1,8509	0,7446
20	1,6919	0,6800
25	1,5480	0,6216
30	1,4296	0,5737
60	0,9967	0,3980
90	0,8317	0,3155
120	0,6143	0,2433
150	0,5065	0,1997
180	0,4238	0,1662
210	0,3687	0,1440
240	0,3187	0,1238
270	0,2808	0,1085
300	0,2475	0,0951
330	0,2229	0,0851
360	0,2030	0,0771
390	0,1882	0,0711
420	0,1743	0,0655

Çizelge A4. 80°C’de kurutulan önişlemsiz sığır bonfile eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,9171	1
5	2,5443	0,8717
10	2,1307	0,7294
15	1,8228	0,6235
20	1,5844	0,5414
25	1,4076	0,4806
30	1,2597	0,4297
60	0,7666	0,2601
90	0,5026	0,1693
120	0,3405	0,1135
150	0,2354	0,0774
180	0,1596	0,0513
210	0,1084	0,0337
240	0,0739	0,0218
270	0,0498	0,0135
300	0,0378	0,0094
330	0,0252	0,0051
360	0,0143	0,0013
390	0,0085	0,0006



Çizelge A5. % 100 genlikte ultrasese 5 dakika süreyle tabi tutulmuş 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,8279	1
5	2,3652	0,8371
10	2,0067	0,7109
15	1,7371	0,6412
20	1,5943	0,5656
25	1,4466	0,5136
30	1,3138	0,4670
60	0,8351	0,2985
90	0,5597	0,2015
120	0,3951	0,1434
150	0,2817	0,1034
180	0,2061	0,0767
210	0,1550	0,0586
240	0,1108	0,0430
270	0,0790	0,0318
300	0,0539	0,0228
330	0,0368	0,0168
360	0,0232	0,0120
390	0,0146	0,0181

Çizelge A6. % 100 genlikte ultrasese 10 dakika süreyle tabi tutulmuş 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,318	1
5	1,9871	0,8559
10	1,6837	0,7239
15	1,4582	0,6262
20	1,2919	0,5541
25	1,1724	0,5022
30	1,0677	0,4569
60	0,7227	0,3078
90	0,5278	0,2234
120	0,4000	0,1680
150	0,3047	0,1268
180	0,2364	0,0974
210	0,1802	0,0729
240	0,1418	0,0563
270	0,1131	0,0439
300	0,0912	0,0344
330	0,0776	0,0284
360	0,0652	0,0231

Çizelge A7. 50°C’de kurutulan önişlemsiz tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamani (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	3,2038	1
5	2,9415	0,9181
10	2,7061	0,8444
15	2,4914	0,7772
20	2,3103	0,7206
25	2,1587	0,6732
30	2,0288	0,6325
60	1,5321	0,4771
90	1,2265	0,3815
120	1,0014	0,3110
150	0,8288	0,2570
180	0,6942	0,2148
210	0,5833	0,1800
240	0,4894	0,1506
270	0,4154	0,1274
300	0,3572	0,1091
330	0,3098	0,0943
360	0,2664	0,0806
390	0,2356	0,0710
420	0,2062	0,0617
450	0,1811	0,0538
480	0,1608	0,0475
510	0,1442	0,0422
540	0,1330	0,0387
570	0,1196	0,0345
600	0,1377	0,0414
630	0,1271	0,0380
660	0,1208	0,0359

Çizelge A8. % 100 genlikte ultrasese 5 dakika süreyle tabi tutulmuş 50°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,8870	1
5	2,6330	0,9118
10	2,3813	0,8246
15	2,1674	0,7504
20	2,0056	0,6941
25	1,8585	0,6431
30	1,7395	0,6017
60	1,2989	0,4485
90	1,0217	0,3521
120	0,8132	0,2796
150	0,6628	0,2273
180	0,5464	0,1868
210	0,4561	0,1554
240	0,3753	0,1273
270	0,3279	0,1107
300	0,2848	0,0957
330	0,2470	0,0825
360	0,2183	0,0725
390	0,1959	0,0647
420	0,1771	0,0581
450	0,1612	0,0526
480	0,1488	0,0482
510	0,1372	0,0442
540	0,1286	0,0412

Çizelge A9. % 100 genlikte ultrasese 10 dakika süreyle tabi tutulmuş 50°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,6583	1
5	2,4400	0,9176
10	2,2137	0,8321
15	2,0354	0,7648
20	1,8534	0,6961
25	1,7110	0,6424
30	1,5783	0,5922
60	1,0969	0,4105
90	0,8445	0,3153
120	0,6723	0,2503
150	0,5532	0,2053
180	0,4644	0,1718
210	0,3955	0,1458
240	0,3410	0,1252
270	0,2988	0,1093
300	0,2647	0,0964
330	0,2335	0,0846
360	0,2126	0,0767
390	0,1932	0,0694
420	0,1761	0,0630
450	0,1627	0,0579
480	0,1535	0,0544
510	0,1445	0,0510

Çizelge A10. 80°C’de kurutulan önişlemsiz tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,8585	1
5	2,4835	0,8683
10	2,1473	0,7502
15	1,9110	0,6673
20	1,7132	0,5978
25	1,5565	0,5428
30	1,4251	0,4967
60	0,9137	0,3171
90	0,6318	0,2181
120	0,4548	0,1559
150	0,3481	0,1185
180	0,2738	0,0924
210	0,2188	0,0731
240	0,1751	0,0577
270	0,1420	0,0461
300	0,1160	0,0370
330	0,0976	0,0305
360	0,0804	0,0245
390	0,0708	0,0211
420	0,0594	0,0171
450	0,0523	0,0146

Çizelge A11. % 100 genlikte ultrasese 5 dakika süreyle tabi tutulmuş 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,8571	1
5	2,4316	0,8504
10	2,0444	0,7142
15	1,8232	0,6367
20	1,6305	0,5690
25	1,4758	0,5147
30	1,3425	0,4679
60	0,8317	0,2884
90	0,5519	0,1901
120	0,4013	0,1371
150	0,3102	0,1051
180	0,1591	0,0526
210	0,2033	0,0675
240	0,1709	0,0561
270	0,1452	0,0470
300	0,1249	0,0399
330	0,1090	0,0343
360	0,0961	0,0298
390	0,0612	0,0189

Çizelge A12. % 100 genlikte ultrasese 10 dakika süreyle tabi tutulmuş 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğine ait deneysel veriler

<b>Kuruma Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>	<b>Nem Oranı (MR)</b>
0	2,6618	1
5	2,2662	0,8513
10	1,8370	0,6899
15	1,5494	0,5821
20	1,3339	0,5008
25	1,1726	0,4403
30	1,0464	0,3931
60	0,6677	0,2498
90	0,4835	0,1802
120	0,3810	0,1412
150	0,2898	0,0973
180	0,2557	0,0935
210	0,2164	0,0785
240	0,1860	0,0668
270	0,1639	0,0584
300	0,1431	0,0505
330	0,1271	0,0443
360	0,1139	0,0392
390	0,1022	0,0347
420	0,0895	0,0329
450	0,0815	0,0296

## EK.B. REHİDRASYON İŞLEMİNE ve KİNETİĞİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Çizelge B1. 50°C’de kurutulan önışlemsiz sığır bonfile örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

Rehidrasyon Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su / g kuru madde)
0	0,2077
5	0,5577
10	0,6413
15	0,7204
20	0,7190
25	0,7579
30	0,7834
40	0,7827
50	0,7722
60	0,7438
70	0,7543
80	0,7372
90	0,7312
100	0,7155
110	0,7155
120	0,7095



Çizelge B2. % 100 genlikte ultrasese 5 dakika süreyle tabi tutulmuş 50°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

<b>Rehidrasyon Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
0	0,1900
5	0,4235
10	0,5310
15	0,6002
20	0,6513
25	0,6382
30	0,6643
40	0,6835
50	0,7028
60	0,6889
70	0,6517
80	0,6517
90	0,6202
100	0,6263
110	0,6394
120	0,6332

Çizelge B3. % 100 genlikte ultrasese 10 dakika süreyle tabi tutulmuş 50°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

<b>Rehidrasyon Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
0	0,1704
5	0,5130
10	0,6387
15	0,6730
20	0,7300
25	0,7015
30	0,7129
40	0,7471
50	0,7985
60	0,7300
70	0,7756
80	0,7528
90	0,7585
100	0,7071
110	0,7357
120	0,7300

Çizelge B4. 80°C’de kurutulan önişlemsiz sığır bonfile örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

<b>Rehidrasyon Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
0	0,0086
5	0,2887
10	0,4470
15	0,5096
20	0,5366
25	0,6038
30	0,6265
40	0,6399
50	0,6263
60	0,6404
70	0,6304
80	0,6314
90	0,6129
100	0,6036
110	0,6082
120	0,6082

Çizelge B5. % 100 genlikte ultrasese 5 dakika süreyle tabi tutulmuş 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

<b>Rehidrasyon Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
0	0,0642
5	0,4053
10	0,5196
15	0,5740
20	0,6249
25	0,6702
30	0,6920
40	0,7011
50	0,7056
60	0,7365
70	0,7292
80	0,6847
90	0,6783
100	0,6910
110	0,6692
120	0,6520

Çizelge B6. % 100 genlikte ultrasese 10 dakika süreyle tabi tutulmuş 80°C’de kurutulan sığır bonfile eti örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

<b>Rehidrasyon Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
0	0,0653
5	0,4379
10	0,5696
15	0,6161
20	0,6616
25	0,6857
30	0,7130
40	0,7430
50	0,7526
60	0,7168
70	0,7382
80	0,7526
90	0,7532
100	0,7564
110	0,7323
120	0,7221

Çizelge B7. 50°C’de kurutulan önışlemsiz tavuk göğüs örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değışimine ait deneysel veriler

Rehidrasyon Zamanı (dakika)	Nem İçeriğı (g su / g kuru madde)
0	0,0943
5	0,4345
10	0,5714
15	0,6284
20	0,6787
25	0,7229
30	0,7545
40	0,7550
50	0,7277
60	0,7195
70	0,7223
80	0,6948
90	0,7617
100	
110	0,7114
120	0,6894

Çizelge B8. % 100 genlikte ultrasese 5 dakika süreyle tabi tutulmuş 50°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değışimine ait deneysel veriler

Rehidrasyon Zamanı (dakika)	Nem İçeriğı (g su / g kuru madde)
0	0,1307
5	0,5161
10	0,5847
15	0,6476
20	0,6661
25	0,6790
30	0,6790
40	0,6661
50	0,6549
60	0,6540
70	0,6036
80	0,6338
90	0,5726
100	0,5661
110	0,5778
120	0,5726

Çizelge B9. % 100 genlikte ultrasese 10 dakika süreyle tabi tutulmuş 50°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

<b>Rehidrasyon Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
0	0,1445
5	0,4718
10	0,5141
15	0,5700
20	0,6210
25	0,6260
30	0,6710
40	0,6430
50	0,6573
60	0,6540
70	0,6591
80	0,6549
90	0,6320
100	0,6320
110	0,6099
120	0,6099

Çizelge B10. 80°C’de kurutulan önışlemsiz tavuk göğüs eti örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

<b>Rehidrasyon Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
0	0,0732
5	0,4523
10	0,5630
15	0,6260
20	0,6841
25	0,7107
30	0,7579
40	0,8105
50	0,8001
60	0,7998
70	0,8423
80	0,8212
90	0,8316
100	0,7945
110	0,8212
120	0,7896

Çizelge B11. % 100 genlikte ultrasese 5 dakika süreyle tabi tutulmuş 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

<b>Rehidrasyon Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
0	0,0918
5	0,3686
10	0,4445
15	0,5616
20	0,5968
25	0,6325
30	0,6504
40	0,6824
50	0,7244
60	0,7373
70	0,7546
80	0,7484
90	0,7546
100	0,7601
110	0,7423
120	0,7361

Çizelge B12. % 100 genlikte ultrasese 10 dakika süreyle tabi tutulmuş 80°C’de kurutulan tavuk göğüs eti örneğinin nem içeriğinin rehidrasyon zamanı ile değişimine ait deneysel veriler

<b>Rehidrasyon Zamanı (dakika)</b>	<b>Nem İçeriği (g su / g kuru madde)</b>
0	0,0928
5	0,3278
10	0,4100
15	0,4629
20	0,4805
25	0,5369
30	0,5311
40	0,5545
50	0,6098
60	0,6310
70	0,6509
80	0,6885
90	0,6356
100	0,6568
110	0,6462
120	0,6462

Çizelge B13. Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulmuş sığır bonfile eti örneklerine ait rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi değerleri

<b>Ultrasese önışlemi</b>	<b>Kurutma sıcaklığı(°C)</b>	<b>RO</b>	<b>STK(%)</b>
-	80	1,64 <sup>bc</sup>	70,69 <sup>b</sup>
5 dakika %100 genlik	80	1,64 <sup>bc</sup>	68,54 <sup>b</sup>
10 dakika %100 genlik	80	1,66 <sup>c</sup>	72,33 <sup>b</sup>
-	50	1,48 <sup>a</sup>	55,75 <sup>a</sup>
5 dakika %100 genlik	50	1,44 <sup>a</sup>	56,61 <sup>a</sup>
10 dakika %100 genlik	50	1,54 <sup>ab</sup>	71,88 <sup>b</sup>

Çizelge B14. Farklı koşullarda ultrasonik önışleme tabi tutulmuş tavuk göğüs eti örneklerine ait rehidrasyon oranı ve su tutma kapasitesi değerleri

<b>Ultras es önışlemi</b>	<b>Kurutma sıcaklığı(°C)</b>	<b>RO</b>	<b>STK(%)</b>
-	80	1,72 <sup>b</sup>	78,77 <sup>b</sup>
5 dakika %100 genlik	80	1,61 <sup>ab</sup>	79,00 <sup>b</sup>
10 dakika %100 genlik	80	1,55 <sup>a</sup>	77,92 <sup>b</sup>
-	50	1,53 <sup>a</sup>	66,54 <sup>ab</sup>
5 dakika %100 genlik	50	1,47 <sup>a</sup>	53,10 <sup>a</sup>
10 dakika %100 genlik	50	1,47 <sup>a</sup>	66,71 <sup>ab</sup>



## EK. C. HAMMADDEYE AİT BAZI ANALİZ SONUÇLARI

Çizelge C1. Protein, Nem ve Yağ Tayini Sonuçları

Örnek	Sıcaklık (°C)	Protein içeriği (%)	Nem İçeriği (%)	Yağ İçeriği (%)
Tavuk	50	1,219	76,198	2
Tavuk	80	1,720	74,0835	2
Bonfile	50	1,268	76,676	3,515
Bonfile	80	2,094	74,471	3,515

## EK. D. REHİDRASYON ORANI VE SU TUTMA KAPASİTESİNE AİT İSTATİSTİKSEL DEĞERLER

Tablo D1. Farklı Önışlem Uygulamalarından Sonra Kurutulan Tavuk Göğüs Eti Örneklerinin Su Tutma Kapasitesi Değerlerine Ait Varyans Analizi ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

### ANOVA

TAVUKSTK

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1056.627	5	211.325	5.987	.025
Within Groups	211.800	6	35.300		
Total	1268.427	11			

### TAVUKSTK

Duncan<sup>a</sup>

UYGULAMA	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5.00	2	53.1000	
4.00	2	66.5450	66.5450
6.00	2	66.7100	66.7100
3.00	2		77.9200
1.00	2		78.7700
2.00	2		79.0000
Sig.		.069	.095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

Tablo D2. Farklı Önışlem Uygulamalarından Sonra Kurutulan Tavuk Göğüs Eti Örneklerinin Rehidrasyon Oranlarına Ait Varyans Analizi ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

**ANOVA**

**TAVUKRR**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.697E-02	5	1.739E-02	4.422	.049
Within Groups	2.360E-02	6	3.933E-03		
Total	.111	11			

**TAVUKRR**

Duncan<sup>a</sup>

UYGULAMA	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
6.00	2	1.4700	
5.00	2	1.4750	
4.00	2	1.5300	
3.00	2	1.5450	
2.00	2	1.6150	1.6150
1.00	2		1.7150
Sig.		.072	.162

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

## 10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem ZAMBAK

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 19.07.1990

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : ozambak@pau.edu.tr

İletişim Adresi : Yunus Emre Mahallesi 6448 sok no:17 kat:3 daire:301

## YAYINLAR

### ULUSAL BİLDİRİLER

Zambak, Ö., Özkal, S. G. 2014. Ultrases İşleminin Etlerin Gevrekleştirilmesinde Kullanımı, 3. Et Ürünleri Çalıştayı (Poster Bildiri), 16-17 Ekim 2014, Tokat., 2014

Tüfekçi, S., Zambak, Ö., Özkal, S. G. 2015. Kabağın Sıcak Hava ile Kurutulması Üzerine Ultrases Önışleminin Etkisi. Kurutulmuş ve Yarı Kurutulmuş Gıdalar Sempozyumu, Denizli.

## **ULUSLARARASI BİLDİRİLER**

Zambak, Ö., Özkal,S. G. 2014. Application of Ultrasound Technology on Meat Processing, (Poster Presentation), 08-10 September 2014, Edirne, Turkey., 2014

Zambak, Ö., Özkal,S. G. 2014. Application of Ultrasound Technology in Meat Brining, 2nd International Congress on Food Technology, (Poster Presentation), 5-7 October 2014, Kuşadası, Turkey., 2014