T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MISIRIN KURUTULMASINDA ULTRASON ÖN İŞLEMİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Zana KARABOĞA

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

Doç. Dr. Ali YILDIRIM danışmanlığında Zana KARABOĞA'nın hazırladığı **"Mısırın kurutulmasında ultrason işleminin etkisinin araştırılması''** konulu bu çalışma 02/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Doç. Dr. Ali YILDIRIM ……..

Üye: Prof. Dr. Mustafa BAYRAM ……..

Üye: Prof. Dr. A. Ferit ATASOY ……..

Bu Tezin Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No:18173

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 8
3. MATERYAL ve YÖNTEM 21
3.1. Materyal 21
3.1.1. Hammaddenin hazırlanması 21
3.2. Yöntem 22
3.2.1. Kurutma işlemleri 23
3.2.2. Kimyasal analizler 24
3.2.1.1. Rutubet tayini 24
3.2.2.2. Kül tayini 24
3.2.2.3. Protein tayini 24
3.2.2.4. Yağ tayini 24
3.2.2.5. Karbonhidrat miktarı tayini 24
3.2.3. Teknolojik analizler 24
3.2.4. Renk tayini 25
3.2.5. Tekstür analizi 25
3.2.6. Su aktivitesi 25
3.2.7. Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi 26
3.2.8. Etkili difüzyon katsayısının ve aktivasyon enerjisinin belirlenmesi 27
3.2.9. İstatistiksel analizler 28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 30
4.1. Hammaddede Kimyasal Kalite Karakteristikleri 30
4.2. Hammadde ve Ön İşlemlerdeki Teknolojik Kalite Karakteristikleri 31
4.3. Ultrason Ön İşlem Uygulanmış Mısırların Kurutma Sırasında Kalite Karakteristiklerinin Değişimi 34
4.3.1. Boyut değişimi 34
4.3.2. Bin tane ağırlığı değişimi 45
4.3.3. Hektolitre ağırlığı değişimi 47
4.3.4. Hunter renk (L*, a* ve b*) değerlerinin değişimi 49
4.3.5. Tekstür (sertlik) değerlerinin değişimi 54
4.3.6. Su aktivitesi değişimi 57
4.4. Kurutma Sırasında Mısırda Nem Oranı Değişimi ve Nem Eğrileri 60
4.4.1. Sıcaklık etkisi 60
4.4.2. Kurutucu etkisi 64
4.4.3. Ön İşlem etkisi (ultrason) 69
4.4.4. Kurutma kinetiği 73
4.5. Nem Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi 87
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 92
KAYNAKLAR 95

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MISIRIN KURUTULMASINDA ULTRASON ÖN İŞLEMİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Zana KARABOĞA

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali YILDIRIM
Yıl: 2019, Sayfa:106

Bu çalışmada, mısıra ultrason (40 kHz 200 W, %50 ve %100 genlik) ön işlem uygulanarak laboratuar tipi olan vakum kurutucu ve sıcak havalı kurutucuda 80, 90, 100 °C'de kurutma yapılmıştır. Kurutma sırasında, boyut (uzunluk, genişlik, kalınlık, eş değer çap ve küresellik), bin tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı, renk (L*, a*, b*), tekstür, su aktivitesi ve nem değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, mısırın kuruma kinetiği belirlenmiştir. Kuruma kinetiği için 13 farklı model kullanılarak en uygun model kurutma belirlenmiştir. Araştırma sonuçları incelendiğinde ultrason ön işlem uygulaması, sıcaklık, kuruma süresi, kurutucu çeşidi mısır tanelerinin boyutları, renk, tekstür, bin tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı ve su aktivitesine etkisi önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Uygulanan tüm ön işlem, sıcaklık ve kurutucu koşulları incelendiğinde en yüksek R^2 (0.9990), en düşük RMSE (0.0076) ve en düşük X^2 (0.0001) değerlerine göre en uygun modelin Demir ve ark. modelinin kurutma kinetiğini en iyi tanımlayan model olduğu belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığı, ultrason gücü arttıkça kurutulmuş mısır tanelerinin difüzyon katsayısı değerleri de artmıştır. Aynı zamanda, vakum kurutucuda kurutulan mısır tanelerinin difüzyon katsayısı değerleri sıcak havalı kurutucuda kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Sıcak havalı kurutucuda ultrason genliği arttıkça mısırın aktivasyon enerjisi azalmıştır (22.19-18.61 kJ mol^{-1}). Fakat vakum kurutucuda ultrason genliği arttıkça mısırın aktivasyon enerjisi (25.06-37.82 kJ mol^{-1}) de artmıştır. Sıcak havalı kurutucuda sıcaklık ve ultrason etkisi görülürken, vakum kurutucuda vakumun etkisi daha fazla görülmüştür. Bu araştırmada sıcaklık, ultrason ön işlemi ve vakumun mısır kurutma üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$).

ANAHTAR KELİMELER: Mısır, vakum, ultrason, kurutma, kinetik

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ULTRASONIC PRE-TREATMENT ON CORN DRYING

Zana KARABOĞA

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali YILDIRIM
Year:2019, Page:106

In this study, pre-treatment of corn ultrasound (40 kHz 200 W, 50% and 100% amplitude) was applied and drying was done at 80, 90, 100 °C in the laboratory type vacuum dryer and hot air dryer. Dimensions (length, width, thickness, equivalent diameter and sphericity), thousand grain weight, hectolite weight, color (L*, a*, b*), texture, water activity and moisture content values were compared during drying. In addition, drying kinetics of corn was made. The most suitable modeling was determined by using 13 different models for drying kinetics. When the results of the research were analyzed, the effect of ultrasound pre-treatment, temperature, drying time and type of dryer on the dimensions, color, texture, thousand grain weight, hectolite weight and water activity of corn grains were found significant ($p \leq 0.05$). When all the pretreatments, temperature and dryer conditions were examined, the most suitable model according to the values of highest R^2 (0.9990), lowest RMSE (0.0076) and lowest X^2 (0.0001) values were determined by Demir et al. model is the model that defines the drying kinetics best. As the drying temperature and ultrasound power increased, the diffusion coefficient values of the dried corn grains increased. At the same time, the diffusion coefficient of corn grains that were dried in the vacuum dryer were higher than those of dried in the hot air dryer. As the amplitude of ultrasound increased, the activation energy of corn decreased (22.19-18.61 kJ mol^{-1}) during hot air drying. However, the activation energy (25.06-37.82 kJ mol^{-1}) of corn increased as the amplitude of the ultrasound increases during vacuum drying. While the temperature and ultrasound effects were observed during hot air drying, the vacuum effect was observed during the vacuum drying. The effect of temperature, ultrasound pre-treatment and vacuum drying on corn drying were found to be significant ($p \leq 0.05$) in this study.

KEY WORDS: Corn, vacuum, ultrasound, drying, kinetic

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansım süresince danışmanlığımı yapan, bilgi, deneyim ve zamanını benden esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Ali YILDIRIM'a teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden rahmetli babam Mehmet KARABOĞA'ya, yüksek lisansım süresince desteklerini esirgemeyen aileme ve dostlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Mısır tanesinin yapısı (CRA (Corn Refiners Association), 2006)..... 2
Şekil 3.1. Mısırın elle koçandan ayrılması 21
Şekil 3.2. Mısırın vakum poşetlerde muhafaza edilmesi..... 22
Şekil 3.3. Uygulanacak işlemler ve deneysel analiz özet diyagramı 22
Şekil 4.5. Mısırın ön ıslatma işlemi ile sıcak havalı kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi..... 60
Şekil 4.6. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile sıcak havalı kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi 61
Şekil 4.7. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile sıcak havalı kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi 62
Şekil 4.8. Mısırın ön ıslatma işlemi ile vakum kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi..... 63
Şekil 4.9. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile vakum kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi 63
Şekil 4.10. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile vakum kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi 64
Şekil 4.11. Mısırın ön ıslatma işlemi ile 80 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi 65
Şekil 4.12. Mısırın ön ıslatma işlemi ile 90 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi 65
Şekil 4.13. Mısırın ön ıslatma işlemi ile 100 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi 66
Şekil 4.14. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile 80 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi. 66
Şekil 4.15. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile 90 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi 67
Şekil 4.16. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile 100 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi 67
Şekil 4.17. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile 80 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi 68
Şekil 4.18. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile 90 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi 68
Şekil 4.19. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile 100 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi..... 69
Şekil 4.20. Mısırın 80 ºC'de sıcak havalı kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi 70
Şekil 4.21. Mısırın 90 ºC'de sıcak havalı kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi 70
Şekil 4.22. Mısırın 100 ºC'de sıcak havalı kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi..... 71
Şekil 4.23. Mısırın 80 ºC'de vakum kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi 71
Şekil 4.24. Mısırın 90 ºC'de vakum kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi 72
Şekil 4.25. Mısırın 100 ºC'de vakum kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi..... 73
Şekil 4.26. Farklı ön işlemlerin ve kurutucuların eşitsizlik denklemi eğrileri..... 91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Kuruma eğrilerine uyarlanan modeller..... 27
Çizelge 4.1. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Uzunluk (L, mm) kalite parametreleri 36
Çizelge 4.2. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Genişlik (W mm) kalite parametreleri 38
Çizelge 4.3. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Kalınlık (T, mm) kalite parametreleri 40
Çizelge 4.4. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Eşdeğer çap (D_e, mm) kalite parametreleri 42
Çizelge 4.5. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Küresellik kalite parametreleri..... 44
Çizelge 4.6. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Bin Tane Ağırlığı kalite parametreleri 46
Çizelge 4.7. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Hektolitre Ağırlığı kalite parametreleri..... 48
Çizelge 4.8. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Hunter Renk L* kalite parametreleri 50
Çizelge 4.9. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Hunter Renk a* kalite parametreleri 51
Çizelge 4.10. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Hunter Renk b* kalite parametreleri..... 51
Çizelge 4.11. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Tekstür (Fmax, N) kalite parametreleri..... 55
Çizelge 4.12. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Su Aktivitesi kalite parametreleri 58
Çizelge 4.13. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Lewis Modellemesindeki parametreleri..... 74
Çizelge 4.14. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Page Modellemesindeki parametreleri..... 75
Çizelge 4.15. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Modife Page Modellemesindeki parametreleri 76
Çizelge 4.16. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Handerson ve Pabis Modellemesindeki parametreleri 77
Çizelge 4.17. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Aghbashlo ve ark. Modellemesinin parametreleri 78
Çizelge 4.18. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Logaritmic Modellemesinin parametreleri..... 79
Çizelge 4.19. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki two term Modellemesinin parametreleri 80
Çizelge 4.20. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Two term. Exp Modellemesinin parametreleri 81
Çizelge 4.21. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Diffusion approach Modellemesinin parametreleri..... 82
Çizelge 4.22. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Midilli ve ark. Modellemesinin parametreleri..... 83
Çizelge 4.23. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Verma ve ark. Modellemesinin parametreleri..... 84
Çizelge 4.24. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Weibull Modellemesinin parametreleri..... 85
Çizelge 4.25. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Demir ve ark. Modellemesinin parametreleri 86
Çizelge 4.26. Mısırda farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki etkili difüzyon katsayısı değerleri 88
Çizelge 4.27. Farklı ön işlemelerin ve kurutucuların Aktivasyon Enerjisi..... 90

SİMGELER DİZİNİ

AACC	:American Association of Cereal Chemists (Amerikan Hububat Kimyacıları Birliği)
a, b, c	:modelleme katsayıları
cm	:Santimetre
D_o	:Diffüzivite Sabiti
D_{eff}	:Etkili Nem Difüzyon Katsayısı
D_{ref}	:Referans Sıcaklıkta Difüziviteye Eş Değer Bir Sabit
dk	:Dakika
E_a	:Aktivasyon Enerjisi
Eş	:Eşitlik
F_{max}	:Maxsimum Kuvvet, N
g	:Gram
HEKTO	:Hektolitre
ICC	:International Association for Cereal Science and Technology (Uluslararası Hububat Bilimi ve Teknolojisi Birliği)
k	:Her Bir Denkleme Özgü Kurutma Katsayıları, dk^{-1}
KM	:Kuru Madde
m	: Metre
M_e	:Doyma Noktasındaki Nem Değeri
ml	:Mililitre
mm	:Milimetre
M_o	:Başlangıçtaki Nem Değeri
MR	:Boyutsuz Nem Oranı
MR_{exp}	:Deneysel Nem Oranı
MR_{pre}	:Tahmini Nem Oranı
M_t	:Herhangi Bir Süredeki Nem Değeri
n	:Her Denklem İçin Spesifik Kurutma Üssü
NI	:Normal Islatma
R	:Üniversal Gaz Sabiti
R^2	:Korelasyon Katsayısı
R_e	:Mısırların Ortalama Eşdeğer yarıçapları, m
RMSE	:Kök Ortalama Kare Hatası
s	:Saniye
SS	:Standart Sapma
t	:Zaman
T	:Mutlak Kurutma Hava Sıcaklığı, K
W_o	:Başlangıç Ağırlığı, g
W_t	:Herhangi Bir Zamandaki Ağırlığı, g
X^2	:Ki-Kare
%50 US	:%50 Genlik Ultrason Islatma
%100 US	:%100 Genlik Ultrason Islatma

1. GİRİŞ

17. yy.'dan beri mısır hızlı bir yayılmayla dünya bitkisi durumuna gelmiştir. Bugün modern insan beslenmesinde pirinç ve buğday ile birlikte önerilen önemli bir besin maddesidir. Son yıllarda üretim artışı, dünya nüfus artışından daha hızlı olan mısırın, gerçek önemi de gün geçtikçe artmaktadır (Emeklier, 2002).

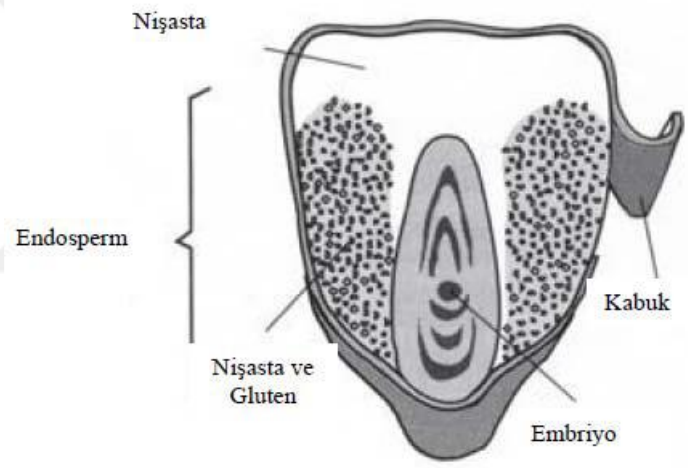
Dünyada üretilen A ve E bakımından zengin olan mısırın %19'u insan beslenmesinde (doğrudan tüketim), %64'ü hayvan yemi olarak, %8.5'i mamul gıda (dolaylı tüketim), %3.1'i öteki tüketimler, %0.25'i de tohumluk olarak kullanılmaktadır (Akdeniz ve ark., 2004; Emeklier, 2002; Tuncel ve ark., 2010). Gelişmekte olan ülkelerde mısırın kullanımı hayvan beslenmesinde %46, insan beslenmesinde ve sanayi hammaddesi olarak %54'tür. Gelişmiş ülkelerde ise bu oran hayvan beslenmesinde %91, insan beslenmesinde ve sanayi hammaddesi olarak %9'dur. Dünya'da insan beslenmesinde tüketilen günlük kalorinin %11'i mısır bitkisinden sağlanmaktadır. Bu oran gelişmiş ülkelerde %4'e düşerken, Meksika ve Orta Amerika gibi ülkelerde %7'ye kadar yükselmektedir (Kırtok, 1998).

Ülkemizde mısır üretim açığının bulunması, mısır kullanım alanlarının genişliği, mısıra dayalı sanayinin gelişen bir sanayi olması ve bu sanayi ürünlerinin diğer sektörler için ara hammadde olması, Türkiye'nin coğrafi konumu nedeniyle mısır ve mısıra dayalı ürünlerde ihracat potansiyelinin bulunması, mısıra dayalı sanayi sektörünün büyük oranda yabancı sermayeye bağımlı olması ve Türkiye'ye yabancı sermaye akışını sağlayacak sektörlerden birisi olması gibi temel nedenlerle, ülkemiz açısından mısır tarımının önemi her geçen gün artmaktadır (Vartanlı ve Emeklier, 2007).

Mısır, yüksek nişasta içeriğinden dolayı gıda, kimya, ilaç ve tarım endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan dünyanın en önemli bitkilerinden biridir (Miano ve ark., 2017). Anavatanı Amerika Kıtası olup, buradan Dünya'nın her

yerine yayıldığı bilinmektedir. Ülkemize girişi ise kuzey Afrika üzerinden olmuştur (Babaoğlu, 2005).

Mısır tanesinin genel yapısı Şekil 1.1.'de verilmiştir. Tane ağırlığının yaklaşık %6'sını oluşturan taneyi dış etmenlerden koruyan katman tanenin en dış katmanıdır (kabuk veya kepek). Bu katman hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Tanenin tek canlı kısmı olan embriyo tanenin %11.5'ini oluşturmaktadır. Embriyonun yaklaşık %25'i yağdır. Aynı zamanda embriyo gerekli olan enzimleri, mineral maddeleri ve vitaminleri içermektedir. Endosprem ise tanenin %82.5'ini oluşturmaktadır. Çimlenen tohum için nişasta ve protein kaynağı endospermdir. Endosperm içerisinde nişasta ve protein karışım halindedir (CRA (Corn Refiners Association), 2006).



Şekil 1.1. Mısır tanesinin yapısı (CRA (Corn Refiners Association), 2006)

Mısırın olgunlaşması, tanenin koçana bağlandığı uç kısmından anlaşılır. Bu uç kısımda siyah nokta olmuşmuşsa tanenin olgunlaşmasının tamamladığının göstergesidir. Ortalama mısır nemi %30'larda olup elle hasat işlemine uygundur (Babaoğlu, 2005).

Mısır hasat edildikten sonra uygun bir şekilde kurutulmadığında hemen küflenmeye ve bozulmaya maruz kalabilen bir ürün olduğundan, kurutma işlemi oldukça önemlidir. İdeal mısır nemi %20-28 olduğunda hasat edilip uygun koşullarda kurutma yapılıp ideal nem %12-14'e düşürülür.

Gıdaların daha uzun süre korunmasını sağlamak için çok eski bir yöntem olarak kullanılan kurutma, eş zamanlı olarak gerçekleşen ısı ve kütle transferi sayesinde suyun gıdalardan uzaklaştırılması işlemine denir. Bu eş zamanlı fiziksel olaylar gıdanın kurutulması sırasında şöyle gerçekleşir; ilk olarak gıda, çevresindeki sıcak hava ile ısınmaya başlar ve yüzeydeki nem kurur. Daha sonra iç tarafta bulunan nem difüzyon yolu ile yüzeye taşınarak buharlaşır (Demiray, 2009).

Başka bir tanıma göre kurutma, biyokimyasal, kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmayı en aza indirmek için gıdalardaki su içeriğinin ısıtılmış hava ile azaltılmasını sağlayan endüstriyel bir koruma yöntemi olarak tanımlanabilir (Doymaz ve Pala, 2003).

Tahıl ürünlerinde kurutmanın amacı; tahıl üretim verimliliğini arttırmak, ekim alanlarından daha fazla yararlanmak, hasat sonrasında yüksek nem oranına sahip tahılın bozulmadan uzun süre muhafaza edilebilmesi için, küf ve çürümeden meydana gelen kayıplarla, zararlı böceklerin etkilerini azaltmaktır (Yılmaz, 2010).

Kurutma yöntemleri doğal kurutma ve yapay kurutma olmak üzere iki ana yönteme dayanır. Güneş ısısından faydalanılarak suyun gıdadan uzaklaştırılması için uygulanan yönteme "doğal kurutma" denir. Bu yöntem ürünün kalitesi açısından incelendiğinde; kurutulan ürünün açık alanda toza maruz kalması, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların gıdaya verecekleri zarar, önemli dezavantajlardır. Ürünün kurutulması işlemi kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması yöntemine "yapay kurutma" denir. Bu yöntem, gıdanın yapısındaki suyun tamamının ya da tamamına yakın bir kısmının ürünün özelliklerine zarar vermeden uzaklaştırılmasıdır (Demiray, 2009).

Kurutulacak üründeki suyun uzaklaştırılması için gerekli ısının kurutucuya taşınma yöntemi "konveksiyon kurutma", "kontakt kurutma" ve "radyasyon kurutma" olmak üzere 3 temel gruba ayrılmaktadır. Üründeki suyun buharlaşmasını sağlamak için gerekli ısıyı, hava tarafından taşınmasını sağlayan kurutma sistemine "konveksiyon kurutma" denir. Buradaki sıcak hava, kurutulacak ürünün içinden,

üzerinden ve arasından geçirilir. Ayrıca bu yöntem "sıcak hava kurutma" olarak da bilinir. Kurutulacak materyalin özelliklerine bağlı olarak bu yöntemin, birçok uygulama çeşidi vardır. Kabin kurutucular, tünel kurutucular, akışkan yatak kurutucular, püskürterek kurutucular bu yöntemin bazı değişik uygulamalarıdır. Kontakt kurutmada, evaporasyon için gerekli ısı, kondüksiyonla taşınır. Yani, kurutulacak materyal hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden materyale ısı taşınır. Bu yöntemin de çeşitli uygulamaları olup, en yaygın örneği valsli (silindirik) kurutuculardır. Radyasyondan yararlanılarak kurutmada, kurutulacak materyale ısı; herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Başka bir ifadeyle radyasyon ile kurutmada, mikrodalga, dielektrik veya infrared gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır (Cemeroğlu, 2003).

Türkiye'de mısır kurutmada açık hava ve sıcak hava kurutma yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Kırsal alanlarda açık havada kurutma tercih edilirken, sıcak hava kurutması endüstriyel uygulamalarda mısır kurutmada kullanılan en yaygın tekniktir. Sıcak hava kurutma yöntemi, düşük ısıl iletkenlik, uzun kuruma süresi ve besin değerleri, renk, büzülme ve diğer organoleptik özellikler açısından kalite bozulmaları gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle, kurutma oranlarını artıran ve ürün kalitesini artıran yeni teknikler geliştirilmeye çalışılmaktadır (Tuncel ve ark., 2010).

Vakumlu kurutma, diğer kurutma yöntemlerine göre daha yüksek kuruma oranı, düşük kurutma sıcaklığı ve bunun gibi bazı ayırt edici özelliklere sahiptir. Bu özellikler kurutulmuş ürünlerin kalitesinin ve besleyici değerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Wua ve ark., 2007).

Tarım ürünlerinde ön işlem, ürünlerin kurutulmasından önce içlerindeki nemin daha hızlı bir şekilde dışarı atılması; renklerin, tatların, besin değerlerinin korunması/artırılması; üzerlerindeki olası mikrobik aktivitelerin engellenerek hijyenik özeliklerinin sağlanması, standartlara uygun şekil ve boyut özelliklerinin

elde edilmesi için yapılan fiziksel ve kimyasal işlemlerin bütününe denir (Özler ve ark., 2006).

Literatürde kullanılan matematiksel modeller teorik, yarı teorik ve ampirik olmak üzere üç kategoriye ayrılır. Teorik modeller genellikle parçacık geometrisi, büzülme, nem difüzyon katsayısı ve kritik nem içeriği gibi gıda özelliklerine sahip eş zamanlı ısı ve kütle transfer denklemlerini kullanır. Ancak, gıda dehidrasyonunun tasarımında veya simülasyonunda bu modellerin uygulanması, az zaman gerektiren gıda özelliklerinin varsayımlarına ihtiyaç duymayan ampirik modellerden daha zor ve zaman alıcı olabilir. Kurutma kinetiğini modellemek için sıklıkla kullanılan ampirik denklemler Newton, Henderson-Pabis, Sayfa, Modifiye Sayfa, Wang- Singh, Logaritmik, İki Terim, Modifiye Henderson-Pabis ve diğerleridir (Akpınar, 2006). Bu denklemlerin çoğu, Fick'in ikinci difüzyon yasasından türetilmiştir (Doymaz, 2007). Her ne kadar ampirik modeller gıda endüstrisindeki mühendislik uygulamaları için iyi sonuçlar verse de, sık sık model parametrelerini tanımlamak için kullanılanlardan farklı koşullar altında yapılan deneylerin simülasyonuna izin vermezler. Bu durumlarda, teorik bir model daha uygun olabilir. Ancak, teori ile uygulama kolaylığı arasında bir uzlaşma sağladığı için yarı teorik modeller en yaygın şekilde kullanılmaktadır (Akpınar, 2006).

Ultrason kullanım açısından genelde düşük enerjili uygulama (<1 W cm^{-2};>100 kHz) ve yüksek enerjili uygulama (10-1000 W cm^{-2}; 20-100 kHz) olarak ikiye ayrılır. Düşük enerjili ultrasonik uygulamada açığa çıkan enerjinin çok düşük olmasından dolayı, dalganın geçtiği materyalde hiçbir fiziksel ve kimyasal değişim gözlenmez. Düşük enerjili ultrasonik uygulama en yaygın olarak gıdaların fizikokimyasal özelliklerinin (sertliği, olgunluğu, kompozisyonu, parçacık büyüklüğü, asitliği vb.) belirlenmesinde kullanılır. Yüksek enerjili ultrasonik uygulama ise gıdalarda mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyon amaçlı kullanılır. Yüksek enerjili ultrasonik uygulama, gıdayı fiziksel, kimyasal ve mekanik açıdan etkilerken düşük enerjili ultrasonik uygulamada böyle bir etki görülmez (Ercan ve Soysal, 2011; Yıldırım ve ark., 2009).

Ultrasonik ses dalgaları, insan kulağının duyma sınırının üzerindeki 20 kHz-100 kHz mertebesindeki bir frekansta salınan bir basınç dalgasıdır. Ses dalgaları gıda sanayinde, pastörizasyon, sterilizasyon, kimyasal reaksiyonların oluşumu, oksidasyonun hızlandırılmasında, fermantasyonun hızlandırılmasında, enzim aktivitesinin inhibisyonunda, emülsiyonların oluşumu, ekstraksiyon, kristalizasyon, kurutma, hidrasyon filtrasyon ve gaz çıkarma işlemlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır (Ulusoy ve Karakaya, 2011; Yıldırım ve ark., 2009).

Ultrasonik yardımlı kurutma, uzun yıllar ilgi konusu olmuştur. Kurutma kinetiklerini iyileştirmek ve ünite çalışmasında yer alan enerji maliyetlerini azaltmak için kurutmadan önce bir ön işlem olarak ultrason kullanılabilir. Ultrason uygulaması, kurutma süresini azaltabilir (Chen ve ark., 2016).

Bazı araştırmacılar patates (De la Fuente-Blanco ve ark., 2006), çeltik (Jafari ve Zare, 2017), sebze (Gallego-Juarez ve ark., 2007a), hurma (Carcelve ark., 2007), düğme mantar, Brüksel lahanası ve karnabahar (Jambrak ve ark., 2007), muz (Fernandes ve Rodrigues, 2007), kavun (Fernandes ve ark., 2008), sapota (Fernandes ve Rodrigues, 2008), soya (Karki, 2009), havuç ve limon kabuğu (Garcia-Perez ve ark., 2009), ananas (Fernandes ve ark., 2009), çilek (Garcia-Noguera ve ark., 2010) elma (Nowacka ve ark., 2012), kırmızı dolmalık biber (Schossler ve ark., 2012), yeşil biber (Szadzińska ve ark., 2017) ve havuç (Chen ve ark., 2016) gibi gıda ürünleri ile dolaylı temasa dayalı kurutma işleminin iyileştirilmesinde ve ultrasonik bir dehidrasyon yönteminin geliştirilmesinde yer almışlardır. Sözü geçen bazı çalışmaların sonuçları, ultrason uygulamasının kuruma süresini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir (Carcel ve ark., 2007; Garcia-Perez ve ark., 2007; Rodriguez ve ark., 2014). Ultrasonik dalga kurutulacak materyale uygulandığında, tekrar tekrar sıkıldığında ve bırakıldığında katı ortamdan geçerek hızlı bir dizi alternatif sıkıştırma ve süngere benzer şekilde açılımlar oluşturur. Bu mekanik mekanizmada, söz konusu kuvvetler nemi materyalin kılcal kısımları içinde tutan ve nemin ortadan kaldırılmasını kolaylaştıracak mikro-kanallar yaratan yüzey gerilimi kuvvetini aşabilir. Ayrıca, fazla nemin uzaklaştırılması için ultrason kavitasyona sebep olur, bu fenomene yardımcı olabilir. Dikkate alınması gereken ultrasonun neden olduğu diğer

etkiler, yüzey gerilimi, viskozite değişimi, gözenekli katı materyalin deformasyonu (De la Fuente-Blanco ve ark., 2006; Tarleton, 1992; Tarleton ve ark., 1998) ve başka bir etki, sınır tabakasının difüzyonunu azaltan ve gıda materyalinde konvektif kütle transferini arttıran mikroskobik kanalların gelişiminden sorumludur ((De la Fuente-Blanco ve ark., 2006).

Bu tezin amacı, yaş mısırı normal kurutma (vakum kurutucu ve sıcak havalı kurutucu) ve ultrason (40 kHz 200 W, %50 ve %100 genlik) ön işlem uygulamalı kurutma ile farklı sıcaklıklarda (80, 90, 100 °C) kurutarak;

- kimyasal kalite özelliklerindeki (Nem, Kül, Protein, Yağ, Karbonhidrat) değişimleri incelemek
- teknolojik özelliklerindeki (hektolitre, bin tane ağırlığı, kütle yoğunluğu, hidrasyon kapasitesi-indeksi, şişme kapasitesi-indeksi, boyutlar (kalınlık, uzunluk, genişlik, eşdeğer çap, küresellik) değişimleri incelemek
- renk (L^*, a^*, b^*) ve su aktivitesindeki değişimi incelemek
- mısırın kurutma sırasında tekstür ve nem değişimini incelemek ve modelleme yapmaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Peplinski ve ark. (1994), yüksek nemli mısırın kurutma sırasındaki fiziksel kalite ve özelliklerini incelemişlerdir. %30 nemdeki mısır, 25-100 °C'de havayla %12 nihai neme kadar kurutulmuştur. Kuruma süreleri, 100 °C'de 1 saat ile 25 °C'de 38 saat arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Yüksek kuruma sıcaklıklarında mısırın yoğunluğu, çimlenmesi ve suda çözünen azotun (azotun çözünürlük indeksi) azaldığını bulmuşlardır. Tanenin fiziksel özelliklerinde meydana gelen birçok değişiklik sadece 40 °C'nin üzerinde kurutulmuş mısırda belirginleşmiştir. 55 °C'de çekirdek kopması, değişen çekirdeğin yüzdesi ve çimlenme, 25-40 °C'de kurutulmuş mısırdakilere kıyasla belirgin değişiklikler olduğunu belirtmişlerdir. 25-100 °C arasında kurutulmuş mısırın kimyasal bileşiminde değişiklik olmadığını görmüşlerdir. Kuruma sıcaklığı 25 °C'den 100 °C'ye yükseldiğinde kırılma duyarlılığı %27'den %67'ye kadar değişmiştir. Dolayısıyla, ısıyla indüklenen iç stres kırma dışında bir etki mısır kırılma duyarlılığını etkileyebileceğini belirtmişlerdir.

Soponronnarit ve ark. (1997a), mısır kurutması için bir yığın akışkan yataklı kurutucu yapıldığını belirtmişlerdir. Mısırın kuruma özellikleri araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, bir mısır çekirdeği içerisindeki nem transferinin aşağıdaki koşullarla dahili difüzyon ile kontrol edildiğini belirtmişlerdir: 120-200 °C'lik giriş sıcak hava sıcaklıkları, 2.2-4 m/s'lik yüzeysel hava hızları, 4-12 cm'lik bir kesit derinliği hava geri dönüşümü %0.5-0.9 ve kuruma bazında %43 kuru mısır ilk nem içeriği. Akışkan yataklı kurutucudaki mısır kurutma hızı, spesifik hava akış hızı ve giriş sıcak hava sıcaklığından etkilendiğini belirtmişlerdir.

Soponronnarit ve ark. (1997b), mısırı yüksek sıcaklıkta akışkanlaştırma tekniği ile kuruttuktan sonra stres çatlaması, kırılma ve renk açısından incelemişlerdir. Bu çalışma için kurutma havası sıcaklıklarını 150, 170 ve 200 °C olarak ayarlamışlardır. Mısırın başlangıç nemi %43. Sonuç olarak %43 başlangıç nem içeriğine sahip mısır, akışkanlaştırma tekniği ile 170 °C'de %16 neme kadar yaklaşık 9 dakikada kurutulabileceğini belirtmişlerdir. Burada mısır çekirdeğindeki stres çatlaması,

kırılması ve tane yüzeyi bakımından belirgin bir kalite kaybı görülmediğini söylemişlerdir. 200 °C'de 2-3 dakika kurutmadan sonra stres çatlaması ve kırılanın başladığını ve rengin olumsuz yönde değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Başka bir çalışmada, kurutma sırasında çeşitli bitki materyallerinin (havuç, biber, mısır, sarımsak, mantar, soğan, pırasa, bezelye, patates, kereviz, domates, kabak) ve hava koşullarının (hava hızı, nemi ve sıcaklığı) kurutma kinetiğine etkisi araştırılmıştır. İki farklı sıcaklık (30 ve 70 °C) uygulanmıştır Birinci dereceden reaksiyon modeli kinetiği kullanılmıştır. Ele alınan modelin parametrelerinin kurutma sırasında hava koşullarından ve numune boyutlarından büyük ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir. Sıcaklık artışının kurutma sabitini arttırdığını göstermişlerdir (Krokida ve ark., 2003).

Altınel (2002), sanayide kullanılan mısır ile kuru öğütme ve ürünlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmıştır. Fiziksel analiz olarak hektolitre ağrılığı, reel yoğunluk, 1000 tane ağırlığı, 100 tane ağırlığı değerlerinin yüksek olduğunu bulmuştur. Kimyasal analiz sonuçları, her öğütme aşaması için farklılık gösterdiğini belirtmiştir. Mısır çeşidine bağlı olarak mısır ve kuru öğütme ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişiklik gösterebileceğini belirtmiştir.

Yıldırım ve Öner (2005), nohutların ıslatma suyunun elektriksel iletkenlik, bulanıklık, renk ve çözünebilir katı madde içeriğindeki değişim, ultrason olmadan ve 25kHz frekansında farklı ultrason güçlerinde (100-300 W), 87, 92 ve 97 ºC'de 260 dakika boyunca pişirip ve incelemişlerdir. Nohutların nem emme oranı, sıcaklık ve ultrason gücünün artmasıyla arttığını, nohutların rengi ıslanan su ile ters olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Pişirme işlemlerini daha iyi yapabilmek için ultrason uygulamasının kullanabilineceğini göstermişlerdir.

Göğüs ve ark. (2006), zeytin posasını çeşitli numune kalınlıkları ve partikül büyüklükleri için 60, 70, 80 °C'de ve 1,5 m/s'lik sabit hava hızında kurutma yapmışlardır. 6 mm ile 12 mm kalınlık arasında değişen numunelerin kurutma süresini 60 °C için 125-240 dakika 70 °C için 80-170 dakika ve 80 °C için 65-140

dakika arası bulmuşlardır. Aktivasyon enerjisi 6, 9 ve 12 mm kalınlık için 25.4, 25.7 ve 29.2 kJ mol^{-1} olarak bulmuşlardır. Hem sıcaklık hem de parçacık boyutundaki artış, kurutma süresini azalttığını bulmuşlardır.

Hu ve ark. (2006), hammadde olarak yeşil soya fasulyesi kullanılarak, sıcak hava ve vakum mikrodalga kurutma özelliklerini karşılaştırmış ve daha sonra kuruma hızı ve ürün kalitesinin arttırılması için optimize edilmiş bir kombinasyon kurutma işlemini kurmuşlardır. Yeşil soya fasulyeleri, 70 ° C'de olan sıcak hava kurutma ile 20 dakikada ve daha sonra 95 kPa (gauge basıncı) altında 15 dakika boyunca 9.33 W/g güç yoğunluğunda mikrodalga ile kurutulmuştur. Optimize edilmiş kombinasyon kurutma işlemi, konvansiyonel sıcak hava kurutması ile karşılaştırıldığında kurutma süresinin kısaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca Vakum-mikrodalga kurutma ile kurutulan yeşil soya fasulyeleri sıcak havalı kurutucuya göre daha kısa sürede kurutulduğunu belirtmişlerdir.

Özler ve ark. (2006), mısırda farklı ön işlemlerin kurutma hızına etkisini araştırmışlardır. Denemelerde at dişi mısır, sert mısır ve şeker mısır olmak üzere üç mısır tipi kullanılmıştır. Mısır tane olarak %2 etil oleat, %4 potasyum karbonat, %2 sodyum hidroksit çözeltilerinden bir tanesine 1 dakika süreyle bandırıldıktan sonra laboratuar tipi kurutucuda kurutulmuştur. Ön işlem uygulanmayan muamele kontrol olarak alınmıştır. Kurutucuda hava sıcaklığı ortalama 49.3 °C ve hava bağıl nem %21.5 tutularak kontrollü olarak denemeler yürütülmüştür. At dişi mısır ve şeker mısır örneklerinde kuruma hızı üzerine en etkili kimyasalın %2 sodyum hidroksit olduğu belirlenmiştir. Sert mısırda ise kurutucuda yapılan kurutma denemelerinde ön işlem yapmanın pratik olmayacağı anlaşılmıştır.

Jena ve Das (2007), hindistan cevizi presinin vakum kurutma özellikleri için modelleme çalışmışlardır. Numune kalınlığı arttıkça kurutma süresinin arttığını, kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma süresinin kısaldığını gözlemlemişlerdir. Hindistan cevizi presinin kurutma davranışını gösterebilmek için yeni bir model önermişlerdir. Etkili nem difüzyonu Fick'in yasasından hesaplanmış olup, değerler $3.326x10^{-9}$ ve

$7.026x10^{-10}$ m^2 s^{-1} arasında değiştiğini göstermişlerdir. Etkili nem difüzyonu değeri hem örnek kalınlığında hem de sıcaklık artışındaki artış ile arttığını bulmuşlardır.

Kotwaliwale ve ark. (2007), sıcak hava kuruması (50, 55, 60 ve 70 °C) sırasında istiridye mantarının tekstürel (sertlik, yapışkanlık, esneklik ve çiğneme) ve optik (spectral yüzey yansıma) özelliklerindeki değişiklikleri araştırmışlardır. Kurutma sırasında, mantarların sertliği ve çiğnenebilirliği arttığını, yapışma ve esneklik başlangıçta artmış ve kurutmanın son aşamasında azalmış olduğunu tespit etmişlerdir. Sıcaklık arttıkça kurutulmuş mantar sertliğinin de arttığını bulmuşlardır.

Wua ve ark. (2007), patlıcanı vakumlu kurutucuda kurutup, kurutma özellikleri araştırmışlardır. Kurutma deneyleri 2.5, 5 ve 10 kPa'lık vakum odacıkları basınçlarında ve 30 ile 50 °C arasında değişen kurutma sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kurutma basıncı ve sıcaklığının patlıcan numunelerinin kuruma hızı ve kuruma büzülmesine etkileri değerlendirilmiştir. Kurutma odası basıncının vakum kurutma işlemi üzerinde bir etkisinin olmadığını bulmuşlardır. Kurutma sıcaklığının arttırılması, kurutma süresini hızlandırdığını belirtmişlerdir. Numunelerin kuruma sırasındaki büzüşmeleri, kurutma sıcaklığından bağımsız olduğunu ancak kurutma odası basıncındaki artış ile büzüşmenin daha yoğun olduğunu belirtmişlerdir.

Mohammadi ve ark. (2008), kivi dilimlerini sıcak havalı kurutma ile kurutarak, renk değişimi incelenip kinetik model çalışmışlardır. Kurutma deneyleri, beş hava sıcaklığında (40, 50, 60, 70 ve 80 °C) hava hızı 1.0 m s^{-1} ve kivi dilim kalınlığı 4 mm'de gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin renk değişikliği için renk parametreleri, Hunter L* (beyazlık/karanlık), a* (kızarıklık/yeşillik) ve b* (sarılık/mavilik) sistemi ile nicelleştirilmiştir. Hava sıcaklığı arttıkça a*, toplam renk değişimi (ΔE) ve Browning indeksi artarken; L*, b*, kroma ve renk açısı azaldığını gözlemlemişlerdir.

Başka bir çalışmada, akışkan yataklı bir kurutucunun hava sıcaklığının ve hızının mısır, fasulye ve nohutların kurutma performansına olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada laboratuar tipi akışkan yataklı kurutma aparatı

kullanılmıştır. Üç farklı hava sıcaklığı ve iki farklı hava hızı uygulanmıştır. Ayrıca Henderson ve Pabis modeli kullanılmıştır. Kurutma havası sıcaklığının parçacıkların kurutma kinetikleri üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu, hava hızının iste küçük bir etkiye sahip olduğunu söylemişlerdir (Cıl ve Topuz, 2010).

Baş (2010), mısırın çeşitli kurutma yöntemleri ile kurutulması üzerine yapılan araştırmada, mısır çeşidinin hasat edildikten sonra taneli ve koçanlı olarak çeşitli kurutma yöntemleri ile doğal ortamda ve mısır kurutma makinesinde kurutup, ürünün kuruma süresindeki değerler saptanmış ve mısırda istenilen nem değerlerini (%) belirlemiştir. Mısır örneklerinin, kuruma eğrisi incelendiğinde kuruma süreleri doğal ortamda güneş altında taneli olarak kurutmada ortalama olarak 55 gün sürerken gölgede kurutmada ortalama olarak 65 gün olarak tespit ettiğini belirtmiştir. Mısır örneklerinin koçan halinde güneş altında kurutmada ortalama olarak 70 gün olarak, gölge altında kurutmada ortalama olarak 90 gün olarak tespit edildiğini belirtmiştir. Bu değerlerde koçan mısırın yığın miktarına bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir. Mısırın kurutma makinesinde kurutulması kuruma süresini önemli ölçüde etkilediğini belirtmiştir. Kurutma süreleri ve çevresel dış faktörler göz önüne alındığında mısırın mısır kurutma makinesinde kurutulmasını önerilmiştir.

Özel (2010), balkabağını kurutma havası sıcaklıkları 50, 60 ve 70 ºC, kurutma hava hızı 0.5, 1.2 m s^{-1} ve kurutma havası bağıl nemi de %5, %10, %20 olan koşullardaki kurutma kinetiğini incelemiştir. Balkabağının kurutma davranışını en iyi ifade eden modelin Midilli ve ark. modeli olduğu görülmüştür.

Yıldırım ve ark. (2010), ultrason uygulanmış nohudun (*Cicer arietinum* L.) su absorbsiyonun Peleg Esitliği ile modellenmesi üzerine bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, ultrasonlu (25 kHz-100 W, 40 kHz-100 W ve 25 kHz-300 W) ve ultrasonsuz farklı sıcaklıktaki (20, 30, 40, 50, 60, 70, 87, 92 ve 97 ºC) nohudun su absorbsiyonun modellenmesi için Peleg modelini kullanmışlardır. Nohut su emme oranı, ıslatma süresi, sıcaklık ve ultrason gücü (100 W ve 300 W) ile önemli ölçüde artmıştır. 40 kHz gibi yüksek ultrason frekansları, ıslatma sırasında nohudun su emilimini önemli ölçüde etkilememiştir.

Momenzadeha ve ark. (2011), mikrodalga ısıtma ile desteklenmiş bir akışkan yataklı kurutucuda %26'lık kuru nem içeriğine sahip kabuklu mısırın (*Zea mays* L) kurutma özelliklerini araştırmışlardır. Dört farklı hava sıcaklığında (30, 40, 50 ve 60 °C) ve genel elektrik güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) çalışıldı. Kurutma havası sıcaklığındaki artış kuruma süresini %5'e kadar düşüş sağlarken, mikrodalga yardımlı akışkan yataklı sistemde kurutma süresini %50'ye kadar düşüş sağladığını belirtmişlerdir.

Correa ve ark. (2011), mısır koçanlarının kurutma sürecindeki matematiksel modelleme çalışmışlardır. Başlangıçtaki nem içeriği %45 kuru bazda olan mısır koçanları, 45, 55 ve 65 °C'lik sıcaklıklarda %12 nem içeriğine gelinceye kadar kurutmuşlardır. Mısır koçanlarının kurutma süresi boyunca gözlemlenen verilere uyacak şekilde modellemeler kullanmışlardır. Etkin difüzyon katsayısı (D_{eff}), Fick'in ikinci yasasının analitik çözümü ile belirlenmiştir. D_{eff} değerleri, $5.490x10^{-10}$ ile $1.163x10^{-9}$ $m^2 s^{-1}$ arasında değişen sıcaklık artışlarıyla artmıştır. Logaritmik modelin kurutma sabitinin sıcaklığa bağlılığına bağlı olarak, termodinamik özellikler belirlenmiş ve kurutma kinetiği varyasyonunun çevredeki ortamın enerji katkılarına bağlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Tulek (2011), kabin tipi konvektif kurutucuda istiridye mantarının (pleurotus ostreatus) kurutma kinetiğini araştırmıştır. Kurutma deneyi için 50, 60, 70 ºC'lik sıcaklıkları kullanmıştır. Kurutma kinetiği için en uygun modelin bulunması için farklı teorik modeller kullanmıştır. Modelin parametrelerini, kurutma koşulları ile ilişkilendirmek için lineer olmayan regrasyon analizi yapmıştır. En uygun modelin bulunması için nem oranları arasındaki korelasyon katsayısı (R^2), kök ortalama kare hatası (RMSE) ve ki-kare (X^2) karşılaştırılması yapılarak değerlendirmiştir. Tüm modeller arasında en uygun modelin Midilli ve ark. olduğunu bulmuştur. Aynı zamanda etkin nem yayılımları (D_{eff}), difüzivite sabiti (D_o) ve aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplamıştır. D_{eff}, çalışılan sıcaklık aralığı boyunca $9.619x10^{-10}$ ile $1.556x10^{-9}$ $m^2 s^{-1}$ arasında değiştiğini göstermiştir ve E_a 22.228 kJ mol^{-1} olarak bulmuştur.

Yıldırım ve ark., (2011) nohudu 20-97 ºC sıcaklık aralığında ve 25 kHz 100 W, 40 kHz 100 W ve 25 kHz 300 W ultrason uygulaması ile ıslatmışlardır. Nohudun ıslatma sırasındaki su emilimini değerlendirmek için Arrhenius ilişkisi ile birlikte Fick Modelini kullanmışlardır. Ultrason kullanımı, ultrason gücü ve ıslatma sıcaklığındaki artış, nohudun ıslatma sırasındaki su difüzyon katsayısını (D_{eff}) arttırdığını söylemişlerdir. Nohudun ortalama jelatinizasyon sıcaklığını 61.47 ºC olarak bulmuşlardır. Jelatinizasyon sıcaklığının altındaki ve üstündeki sıcaklıklarda nohudun aktivasyon enerjisi (E_a) değeri sırasıyla 28.69 ve 9.34 kJ mol^{-1} olarak bulmuşlardır. Ultrason uygulaması nohudun ıslatma süresini önemli derecede azalttığını belirtmişlerdir.

Alibaş (2012), sıcak havayla kurutulan enginar dilimlerinin kuruma eğrilerinin tanımlanmasında yeni bir modelin geliştirilmesi ve mevcut modellerle kıyaslanmasını araştırmıştır. Enginar (*Cynara cardunculus* L. var. scolymus) dilimlerinin ilk nem seviyesi yaş baza göre % 85.9 (±0.03), ağırlığı 100 (±0.03) g ve 4 (±0.1) mm kalınlığında olduğunu belirtmiştir. Enginar (*Cynara cardunculus* L. var. scolymus) dilimleri yaş baza göre nem seviyesi % 9.52 (±0.005) oluncaya dek 50, 75 ve 100 °C sıcaklıktaki ve 1 m s^{-1} hıza sahip hava akımıyla kurutmuşlardır. Kurutma işlemleri 50° C'de 300 dakika, 75°C'de 210 dakika ve 100°C'de ise 130 dakika sürdüğünü belirtmiştir. Çalışmada deneysel, yarı deneysel ve teorik olarak sınıflandırılmış 21 farklı ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra Midilli ve ark. eşitliğinden türetilmiş olan ve Alibaş Yaklaşımı olarak adlandırılmış yeni bir kurutma yaklaşımı ile deneysel olarak elde edilen veriler modellenmiştir. Tanımlama katsayısının (R^2) en büyük olduğu, standart hata (SH), ki kare (X^2) ve ortalama karesel hata (RMSE) değerlerinin ise en küçük olduğu model en iyi model olarak seçilmiştir. Tanımlama katsayısının en yüksek çıktığı Alibaş modeli en iyi model olarak tespit edilmiştir.

Ah-Hen ve ark. (2013), yapmış oldukları bir çalışmada murta (*Ugni molinae Turcz*) veya murtilla meyvelerini vakum ve atmosferik basınç koşulları altında, 50, 60 ve 70 °C hava sıcaklıklarında kurutmuşlardır. Kurutma havası sıcaklığının ve vakumun murtanın temel dehidrasyon özelliklerine etkisi belirlemişlerdir. Kinetik

modelleme için, deneysel verilere 10 matematiksel ifade eklemişlerdir. Atmosferik basıncı koşulları altında kurutma ve vakum kurutmada nem difüzyon katsayıları sırasıyla $3.10x10^{-10}$'dan $11.27x10^{-10}$ m^2 s^{-1} ve $5.50x10^{-10}$'den $11.30x10^{-10}$ m^2 s^{-1} olarak hesaplamışlardır. Aktivasyon enerjisi değerleri atmosferik basıncı koşulları altında kurutma ve vakum kurutmada sırasıyla 59.27 kJ mol^{-1} ve 34.30 kJ mol^{-1} olarak rapor etmişlerdir. Uygulanan istatistiksel testlere göre, Midilli modeli, deneysel veriler üzerinde en uygun kaliteyi sağladığı rapor edilmiştir.

Li ve Moray (2013), sarı diş mısırın ince tabakalı kurutma sisteminde en uygun kurutma modelini araştırmışlardır. Kurutma hava sıcaklığı kuruma oranı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. İlk nem içeriğinin de kuruma oranına etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Hava akışı ve bağıl nemin etkisinin az olduğunu bulmuşlardır. Deneysel sonuçlara bakıldığında, en uygun modelin Page (1949) olduğunu göstermişlerdir.

Yüksel ve Elgün (2013), buğdayın ıslatılması sırasında ultrason işlemi uygulamanın tanenin su absorbsiyonu üzerine etkisini araştırmıştır. Ultrason uygulaması ile tanenin su alma hızının arttığını bulmuşlardır.

Kroehnke ve ark. (2014), ultrason ile desteklenen konvektif bir kurutucuda patatesin kurumasını ve farklı ultrason güçlerinin kinetiğe etkisini araştırmışlardır. Ultrason kullanımı patates kalitesini arttırdığını bulmuşlardır. Aynı zamanda kurutuma süresini kısalttığını söylemişlerdir. Deney sonuçlarını incelediklerinde ultrason destekli sürecin daha düşük enerji tüketimi ve daha iyi kalite parametreleri sağladığını göstermişlerdir.

Aregbesola ve ark. (2015), (*Irvingia gabonensis*) fındık ve çekirdeklerinin ince tabaka kurutma özelliklerinin (50, 60, 70 ve 80 ºC) matematiksel modellemesini araştırmışlardır. En uygun modeli belirlemek için temel olan korelasyon katsayısı (R^2) ve standart tahmin hatası (SEE) değerleri hesaplanmıştır. En uygun modelin Modified Henderson–Pabis modeli olduğunu göstermişlerdir. Dika çekirdekleri ve

fındıkların aktivasyon enerjileri sırasıyla 16.747 kJ mol^{-1} ve 37.019 kJ mol^{-1} olarak bulmuşlardır.

Dumral (2015), 4 farklı mısır çeşitlerindeki bazı kalite parametrelerini incelemiştir. Kalite parametrelerinde tanede protein oranı %6.1-7.9, nişasta oranı %60.8-64.2, ham yağ oranı %2.7- 3.3, lif oranı %1.3-2.1 ve kül oranı %1.07-1.16 arasında değerler bulmuştur.

Başka bir çalışmada USV (ultrason destekli vakum kurutma), fırın ve vakumlu kurutmaya tabi tutulan yeşil fasulye için kurutma kinetiğini ve bazı kalite parametrelerini 55, 65 ve 75 °C'de karşılaştırılmıştır. Kuruma süresi, her sıcaklıkta USV kullanılarak yaklaşık 1 saat kısaltılmıştır. USV yöntemi, aynı işleme koşulları altında vakumlu kurutma ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir kuruma oranına sahip olduğu görülmüştür. Ultrasonla kurutmanın kuruma hızını ve ürün kalitesini arttırmak için yardımcı bir teknik olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir (Tekin ve ark., 2017).

Tüfekçi ve Özkal (2015), gıdaların kurutulmasında ultrases kullanımını araştırmışlardır. Kurutma öncesi yapılan ultrases ön işlem uygulaması ürünün kuruma performansı üzerine etkili olduğunu göstermişlerdir.

Chen ve ark. (2016), kuruma süresini kısaltmak ve havuç dilimlerinin kalitesini artırmak için ultrason ve vakumla kurutma kombinasyonunu kullanarak yeni bir kurutma tekniğini geliştirmişlerdir. Havuç dilimlerini, 65 ve 75 °C'de vakumla kurutma ve ultrasonik vakum (USV) kurutmayla kurutmuşlardır. USV kurutma, vakumla kurutmaya göre havuç dilimlerinin daha kısa sürede kurutulduğunu ve daha az enerji tüketimi sağladığını bulmuşlardır. Ayrıca USV ile kurutulmuş havuç dilimlerinin, besin değeri, renk ve dokusal özellikleri vakum kurutucu ile kurutulmuş havuç dilimlerine göre daha iyi olduğunu bulmuşlardır.

Saygı ve Toklu (2016), 20 çeşit at dişi mısırı çeşitlerinin tepe püskülü çıkış süresi, bitki boyu, koçanda dane sayısı, bin dane ağırlığı, hektolitre ağırlığı, hasatta

dane nemi ve bitki dane verimi özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmalar arasında P32T83 mısır çeşidi de bulunmaktadır. P32T83 çeşidinin bin tane ağırlığı 311.5 g, hektolitre ağırlığı 69.7 kg/hl, nem %19.8 olarak bulmuşlardır.

Yılmaz (2016), ultrason ön işlemin elma dilimlerinin kuruma karakteristiği üzerine etkisini araştırmıştır. 8 mm kalınlığındaki elma dilimleri ultrason ön işlem uygulaması ile sıcak havalı kurutucuda 50, 60 ve 70 ºC'de sıcaklıkta kurutma gerçekleştirmiştir. Ön işlem uygulanmış elma dilimlerinin kurutma süresi ön işlem uygulaması olmayan elma dilimlerine göre daha kısa sürede kurutulduğunu bulmuştur. Ayrıca sıcaklık arttıkça kurutma süresinin kısaldığını belirtmiştir.

Miano ve ark. (2017), mısır taneciklerinin hidrasyon işlemi üzerine ultrason muamelesinin etkilerini inceleyerek hem su alımını hem de nişasta özelliklerini değerlendirmişlerdir. Bunun için, 25 kHz'lik bir frekansta ve hacimsel güç 41 W/L olan bir ultrason banyosu kullanmışlardır. Ayrıca, hidratasyon kinetiği ve çekirdeğin mikro yapıları incelenerek, hidrasyon işleminin arttırılmasının mekanizmalarının saptanması için farklı muameleler uygulanmıştır. Son olarak, mısır tanelerinden ekstrakte edilen nişastanın (ultrason ile hidratlanmış ve ultrason uygulanmayan) reolojik, termal ve yapısal özellikleri değerlendirilmiştir. Hidratasyon sırasında mısır çekirdeklerinin belirli davranışlarından dolayı, su akışının farklı mekanizmalarıyla ilgili iki eşzamanlı yol içeren süreci açıklamak için iki terimlik bir yarı ampirik denklik önerilmiştir. Ultrason, hidrasyon işlemini önemli ölçüde geliştirdiğini, su alımını arttırdığını ve işlem süresini yaklaşık %35 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Buna ek olarak, ultrasonla muamelenin nişastanın özelliklerini değiştirmediğini söylemişlerdir. Mısır tanelerinin, nişastanın herhangi bir özelliğini değiştirmeden ultrasonla muamele edilerek hızlı bir şekilde hidratlandırabileceğini göstermişlerdir.

Yıldırım (2017), Türkiye'de yetiştirilen bulgurluk buğdayın (bulgur) termodinamik özellikleri, sıcaklık ve kurutucu tiplerinin kinetik etkisi kurutma sırasında incelemiştir. Bulgurluk buğday, atmosferik koşullar altında pişirilmiş ve 50, 60, 70 °C'de kurutulmuştur. Kurutma kinetiği ve termodinamik özellikleri değerlendirmek için Arrhenius ve Eyring-Polanyi yaklaşımları ile altı yarı teorik ve

Fick'in Difüzyon modelleri kullanmıştır. Tüm modeller arasında Midilli modelin ortalama R^2 değeri 0.9987 ve RMSE değeri 0.010 olup, bu modeli önermiştir. 50-70 °C sıcaklık artışı ile doğal konvektif hava, zorlamalı konvektif hava ve vakumlu kurutma sistemi için etkili difüzyon katsayısı (D_{eff}) ($p \leq 0.05$) $2.38x10^{-11}$'den $5.84x10^{-11}$'e %59 artış), $4.65x10^{-11}$'den $8.51x10^{-11}$'e (%45 artış) ve $8.70x10^{-11}$'den $14.10x10^{-11}$'e (%38 artış) artmış olduğunu göstermiştir. Örneklerin aktivasyon enerji değerleri doğal konvektif havayla kurutma (NCAD) 41.46 kJ mol^{-1}, zorlamalı konvektif hava kurutma (FCAD) 27.71 kJ mol^{-1} ve vakum kurutma (VD) 22.28 kJ mol^{-1} olarak bulmuştur. Vakum kurutucunun diğer kurutuculardan daha etkili bir kurutma sağladığını belirtmiştir.

Abdoli ve ark. (2018), laboratuar tipli akışkan yataklı kabuklu mısır kurutucusunda yüksek güçteki ultrasonun etkisini araştırmışlardır. Kurutma süresi, nem içeriği değişimi, spesifik enerji tüketimi ve nihai basınç dayanımı, tokluk, büzülme ve mısır tanelerinin rengini içeren kalite parametreleri incelemişlerdir. Düşük frekansların düşük sıcaklıklarda daha iyi penetrasyonlara sahip olduğunu ve kuruma süresinde önemli bir azalmaya neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Ajala ve Abubakar (2018), kurutma sıcaklıklarından ve hızlarından etkilenen fermente mısır tanelerinin kurutma kinetiği ve kalite özelliklerini araştırmışlardır. Mısır tanelerini 3 gün boyunca fermente etmişler ve daha sonra konvektif bir sıcak hava kurutucuda (1.37, 1.82 ve 2.32 m s^{-1}'lik hava hızı) 60, 65 ve 70 °C'de kurutmuşlardır. Kinetik, Fick'in ikinci yasası kullanılarak araştırmışlardır. Kurutulmuş numuneleri öğütmüşlerdir. Kimyasal (nem, protein, yağ, kül, lif ve karbonhidratlar) ve fizikokimyasal özellikler (su emme kapasitesi, en az jelasyon, şişme kapasitesi, kütle yoğunluğu) için analiz edilmiştir. Modelleme kinetiği ve varyans analizi için lineer olmayan regresyon analizi kullanmışlardır. Kimyasal özelliklerin sonuçları; nem (%10.05-11.36), protein (%8.23-8.70), yağ (%3.23-3.56), kül (%1.25-1.33), lif (%2.10-2.31) ve karbonhidrat (%74.23-74.80). Fizikokimyasal sonuçları; su emme kapasitesi (1.03-1.37 cm^3/g), en az jelasyon kapasitesi (%3.47-3.52), şişme kapasitesi (1.10-1.36 g su/g numune), kütle yoğunluğu (0.52-0.53) g/ cm^3)). 1.37 m s^{-1}'lik hava hızlarında Logaritma modelinin örneklerin kurutma

davranışını en iyi tarif ettiği, 1.87 ve 2.32 m s^{-1}'lik hava hızlarında olduğu, Midilli modellerinin örneklerin kurutma özelliklerini tanımlayan en uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Sıcaklık ve hava hızındaki artış, nem ve yağ içeriği değerlerini azaltmış, ancak su emme kapasitesi ve şişme kapasitesini artırdığını gözlemlemişlerdir.

Başka bir çalışmada, farklı sıcaklıklarda (55, 65 ve 75 °C) ve koşullarında (vakum ve sıcak hava kurutması), isotun (kırmızı biber) kurutma ve C vitaminin azalması kinetiği araştırılmıştır. Kurutma sıcaklığı ve yöntemi C vitamini kaybı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. 55 °C'de vakum kurutucuda kurutulmuş numunelerdeki C vitamini miktarı korunurken, 75 °C'de sıcak havalı kurutucuda kurutulmuş numunelerin C vitamini miktarı yüksek oranda azaldığı gösterilmiştir. Sonuç olarak, C vitamini oksijen varlığında ve daha yüksek sıcaklıklarda duyarlı olduğu belirtilmiştir. Weibull Modelinin, kırmızı biberlerde askorbik asit parçalanma kinetiğini en iyi tanımlayan matematiksel denklem olduğu, Page modelinin ise en iyi kurutma kinetiğini yansıttığı gösterilmiştir (Dağhan ve ark., 2018).

Yüksek yoğunluklu ultrasonlar, özellikle gıdaların kurutulmasında kurutma işlemlerini geliştirmek için de kullanılır. Ultrasonik destekli kurutma işlemlerinin bazı değerlendirmeleri literatürde bulunabilir (Chemat et al., 2011; Carcel et al., 2014; Kudra & Mujumdar, 2009; Muralidhara et al., 1985; Siucinska & Konopacka, 2014; Witrowa-Rajchert et al., 2014).

Yapılan çalışmalara bakıldığında tarım ürünlerin ultrason ön işlemli vakum kurutucuda kurutma işlemleri yapıldığında kaliteyi olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Bazı araştırmacılarda mısırı farklı kurutuculardа kurutma işlemleri yapıp kalite açısından değerlendirmişlerdir. Fakat mısırı normal kurutma (vakum kurutucu ve sıcak havalı kurutucu) ve ultrason ön işlem uygulamalı kurutma sırasındaki değişimler araştırılmamıştır. Ayrıca normal kurutma (vakum kurutucu ve sıcak havalı kurutucu) ve ultrason ön işlem uygulamalı kurutma yöntemleri ile kurutulan mısırların kalitesine etkisi ve kurutma kinetiği araştırılmamıştır. Bu yüzden

de bu çalışmada, mısırı normal kurutmada (vakum kurutucu ve sıcak havalı kurutucu) ve ultrason ön işlem uygulayarak vakum kurutucu ve sıcak havalı kurutucuda kurutarak, bazı kalite parametreleri, kurutma sırasındaki değişimleri ve kurutma kinetiği araştırılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırmada kullanılan PR32T83 çeşidi mısır Mardin Kızıltepe ilçesindeki Dora köyü Mecburi Mezrasından 2017 yılında temin edilmiştir.

3.1.1. Hammaddenin hazırlanması

Çalışmada kullanılan mısırlarda, kırık, çöp gibi yabancı maddeler olmaması için hasat elle yapılmıştır. Tarladan toplanan koçan halindeki mısırlar elle koçandan ayıklanmıştır (Şekil 3.1.). Daha sonra ürünlerde nem kaybı olmaması için vakum ambalajlarda derin dondurucuda (-18 ºC) muhafaza edilmiştir (Şekil 3.2.).



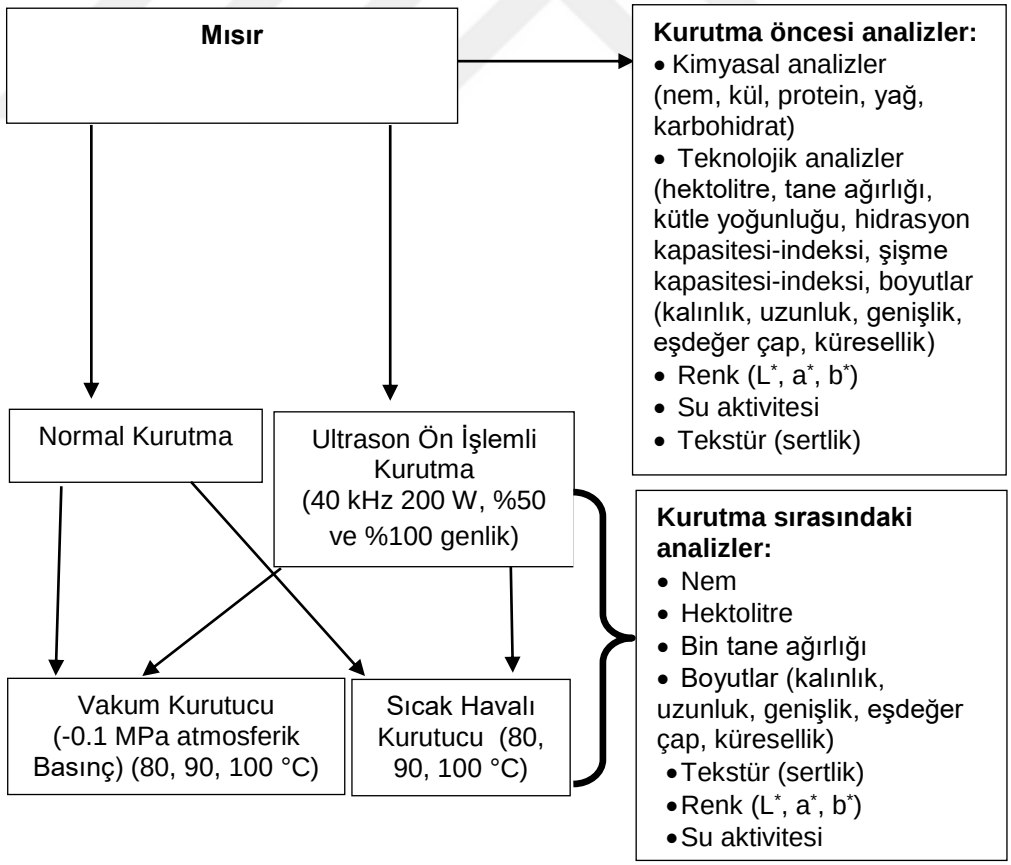
Şekil 3.1. Mısırın elle koçandan ayrılması



Şekil 3.2. Mısırın vakum poşetlerde muhafaza edilmesi

3.2. Yöntem

Bu çalışmada uygulanan işlemler ve analizler Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Uygulanacak işlemler ve deneysel analiz özet diyagramı

Öncelikle yaş mısır hiçbir işleme tabi tutulmadan Şekil 3.3.'de görülen hammadde analizleri yapılmıştır.

3.2.1. Kurutma işlemleri

Mısırlar kurutma işleminden önce ön işlem olan ultrason (40 kHz 200 W, %50 ve %100 genlik) ve ultrasonsuz ıslatma ile 1 saat ıslatılmıştır. Sıcaklık artışını engellemek için buzlu su ile sıcaklık sabit tutulmuştur. Numuneler paralelli olarak laboratuar tipi sıcak havalı kurutucuda (1.2 m s^{-1} hava hızı, Heraeus marka UT-12, Almanya) ve laboratuar tipi vakum kurutucuda (-0.1 MPa atmosferik basınç, WiseVen, WOV-70, Witeg, Almanya) 80, 90, 100 °C kurutucularda 4 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma sırasında numuneler belli periyotlarda kurutucudan çıkarılıp nem, hektolitre, bin tane ağırlığı, boyut analizi (uzunluk, genişlik, kalınlık, eşdeğer çap, küresellik), renk (L*, a*, b*), su aktivitesi ve tekstür analizleri yapılmıştır (Şekil 3.3.). Ayrıca çıkan nem sonuçlarına uygun modelleme yapılmıştır.

Tüm kurutma deneylerinde belli periyotlarda numuneler (100'er g) alınıp tartılıp tekrar kurutuculara konulmuştur. Kurutma işlemi 240 dakika boyunca devam etmiştir. Herhangi bir süredeki nem değerleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$M_t = \left[\frac{(M_o + 1) * W_t}{W_o} - 1 \right] * 100 \qquad \text{(Eş.1)}$$

Burada W_o başlangıç ağırlığı (g), W_t herhangi bir zamandaki ağırlığı (g) ifade etmektedir. M_o ve M_t sırasıyla başlangıç ve herhangi bir kurutma süresindeki nem değerlerini göstermektedir.

3.2.2. Kimyasal analizler

3.2.1.1. Rutubet tayini

Yaş mısır, ıslatılmış ve ultrason ıslatılmış örneklerde rutubet miktarı ICC-standart No. 110 metoduna göre sıcak havalıde 135 ºC'de kurutularak yapılmıştır (Anonim, 1960a).

3.2.2.2. Kül tayini

Yaş mısır örneğinde kül miktarı kuru madde üzerinden ICC-standart No. 104 metoduna göre kül fırınında 900 ºC'de yakılarak yapılmıştır (Anonim, 1960b).

3.2.2.3. Protein tayini

Yaş mısır örneğinde protein miktarları kuru madde üzerinden ICC-standart No:105 metoduna göre belirlenmiştir (Anonim, 2002).

3.2.2.4. Yağ tayini

Kuru madde üzerinden yağ miktarı, yaş mısır örneğinde AACC Metot 30-10.01'e göre yapılmıştır (AACC, 2000).

3.2.2.5. Karbonhidrat miktarı tayini

Yaş mısır numunesinin kuru madde üzerinden karbonhidrat miktarı toplam %'den nem, protein, kül, yağ miktarları çıkarılarak bulunmuştur.

3.2.3. Teknolojik analizler

Hammadde örneklerinde tane ağırlığı, kütle yoğunluğu, hidrasyon kapasitesi, hidrasyon indeksi, şişme kapasitesi, şişme indeksi analizleri Adebowale ve ark.

(2005), Singh ve ark. (2005), Williams ve ark. (1983), ve Youssef (1978) metodlarına göre yapılmıştır. Tane uzunluğu (L), genişliği (W), kalınlığı (T), eşdeğer çap (D_e= $(LWT)^{1/3}$) ve küresellik (ϕ = $(LWT)^{1/3}$/L) değerleri Mohsenin (1980) metoduna göre yapılmıştır. Örneklerin hektolitre değerleri AACC International Method 55-10.01 (1999)'a göre yapılmıştır.

3.2.4. Renk tayini

Renk tayini hem yaş mısırda hem de kurutulmuş mısırda olmak üzere ICC-standart No: 152 metoduna göre okuma yapmak suretiyle (D65/10º) belirlenmiştir (Anonim, 2001). Renk değerleri Color Quest XE HunterLab renk ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. L*, a*, b* değerleri 3 boyutlu koordinat sistemi ile verilmekte ve bu koordinat sisteminde L* değeri dikey eksende parlaklıktan koyuluğa gidişi belirtirken +a* kırmızılığa, -a* yeşilliğe, +b* sarılığa, -b* ise maviliğe gidişi göstermektedir.

3.2.5. Tekstür analizi

Numunelerin tekstür analizleri maksimum kuvvet (F_{max}) değerleri, TA-XT2i Texture Analyzer (Texture Technologies Corp, Scarsdale, NY/Stable Micro Systems, Godalming, UK) cihazı ve 36 mm silindir şeklindeki prob (P/36R) kullanılarak sertlik testleri yapılmıştır. Grafiksel sonuçlar F_{max} (maksimum kuvvet, N) ile zaman ilişkisi şeklinde olmuştur. Maksimum kuvvet numunelerdeki sertlik değerini belirlemek için kullanılmıştır. Tekstür cihazı ön-test hız, test hız, test sonrası hız, uzaklık, yük hücresi ve sıcaklık sırasıyla 1 mm s^{-1}, 1 mm s^{-1}, 1 mm s^{-1}, 2 mm, 5 g ve 25 ºC olarak ayarlanmıştır.

3.2.6. Su aktivitesi

Örneklerin su aktivite değerleri 25 ºC sıcaklıkta su aktivitesi cihazı (Aqualab Pre marka, USA) kullanılarak direk ölçülmüştür (Mierzwa ve Kowalski, 2016).

3.2.7. Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Mısırın kurutma sırasında farklı kurutucu, ultrason ön işlemleri ve sıcaklıklarda elde edilecek nem verileri Çizelge 3.1.'deki yaygın olarak kullanılan kuruma modellerine uyarlanmıştır.

Deneysel nem değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak boyutsuzlaştırılmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad \text{(Eş.2)}$$

Burada, MR boyutsuz nem oranını, M_t, M_o ve M_e sırasıyla herhangi bir zamandaki, başlangıç ve doyma noktasındaki nem değerlerini ifade etmektedir. Bu eşitlikte M_e değeri M_t ve M_o değerlerine göre çok küçük olduğu için ihmal edilmesi varsayımı ile Eşitlik 3' e indirgenmiştir (Rayaguru and Routray, 2012).

$$MR = \frac{M_t}{M_o} \quad \text{(Eş.3)}$$

Çizelge 3.1. Kuruma eğrilerine uyarlanan modeller

Model	Model eşitliği	Kaynak
Lewis	MR = exp(−kt)	(Lewis. 1921)
Page	MR = exp(−kt^n)	(Page. 1949)
Modified page	MR = exp(−kt)^n	(White ve ark.1981)
Henderson and Pabis	MR = a exp(−kt)	(Akpinar ve ark. 2003)
Aghbashlo ve ark.	MR=exp(-k_1t/1+k_2t)	(Aghbashlo ve ark. 2009)
Logaritmik	MR = aexp(−kt) + c	(Karathanos. 1999)
Two term	MR = a exp(−k_ot)+ b exp(−k_1t)	(Yaldiz ve ark. 2001)
Two term exponential	MR = a exp(-kt) + (1- a)exp(-kat)	(Yaldiz ve ark. 2001)
Difüzyon yaklaşımı	MR = a exp(−kt) + (1− a)exp(−kbt)	(Demir ve ark. 2007)
Demir ve ark.	MR=a exp(-kt)^n +b	(Demir ve ark. 2007)
Verma ve ark.	MR = a exp(−kt) + (1− a)exp(−gt)	(Verma ve ark.1985)
Midilli ve ark.	MR = a exp(-kt^n) + bt	(Midilli ve ark. 2002)
Weibull	MR=exp(-(t/α)$^\beta$)	(Blasco ve ark. 2006)

MR, nem oranı; a, b, c katsayıları; n, her denklem için spesifik kurutma üssü; k, her bir denkleme özgü kurutma katsayıları; t, zaman

3.2.8. Etkili difüzyon katsayısının ve aktivasyon enerjisinin belirlenmesi

Biyolojik ürünlerin kuruma özelliklerinin tanımlanmasında genellikle Fick'in difüzyon modeli kullanılmaktadır. Küresel koordinatlar için Fick'in difüzyon modeli, nem uzaklaşmasının difüzyonla olması, kuruma sırasında büzülmenin ihmal edilmesi, difüzyon katsayılarının, sıcaklığın ve eşdeğer çapın sabit olması varsayımlarıyla aşağıdaki eşitlikle verilmektedir (Crank, 1975):

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6}{\pi^2 n^2} \exp\left(- \frac{D_{eff} * n^2 * \pi^2 * t}{R_e^2} \right) \qquad \text{(Eş.4)}$$

Burada n pozitif bir tam sayı, D_{eff} etkili nem difüzyon katsayısını (m^2 s^{-1}), t kuruma süresini (s) ve R_e mısırların ortalama eşdeğer yarıçaplarını (m) ifade etmektedir. Eş. 5, ilk terimin anlamlı olduğu varsayılarak aşağıdaki eşitliğe indirgenmiştir.

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_{eff} * \pi^2 * t}{R_e^2} \right) \quad \text{(Eş.5)}$$

Difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır;

$$\ln(D_{eff}) = \ln(D_{ref}) - (\frac{E_a}{R}) * (\frac{1}{T}) \quad \text{(Eş.6)}$$

Burada D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2 s^{-1}), D_{ref} referans sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit, E_a aktivasyon enerjisi (kJ mol^{-1}), R üniversal gaz sabiti (8.314 kJ kg^{-1} mol^{-1} K^{-1}), T mutlak kurutma havası sıcaklığıdır (K). Sıcaklığın difüzyon katsayısına etkisi incelendiğinde bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisinin değeri hesaplanır (Doymaz, 2006). Termodinamik olarak aktivasyon enerjisi, ürün içinde nem transferi olduğunda, enerji engelini geçen su molekülleri ile ifade edilir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kuruma prosesinde daha yüksek nem difüzyonu değerleri verir. Bir prosesin aktivasyon enerjisindeki azalma, su moleküllerinin ortalama enerjilerindeki artıştan meydana gelir.

3.2.9. İstatistiksel analizler

Analizler sonucu elde edilen veriler istatistiksel olarak SPSS paket programı (SPSS 16.0 software for Windows, SPSS Inc., USA) ile varyans analizi (ANOVA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Parametreler arasındaki kıyaslamalar, Duncan kıyaslama testi ile 0.05 güven sınırına göre yapılmıştır. Doğrusal olmayan regresyon analizi, SIGMA PLOT 10 (Jandel Scientific, San Francisco, USA) kullanılarak deney verilerinden dikkate alınan modeller ile ilişkili parametrelerin tahmin edilmesi için tüm çalışmalarda gerçekleştirilmiştir. Modellerin uyum doğruluğunun ölçütü olarak korelasyon katsayısı (R^2), kök ortalama standart hata (RMSE) ve ki-kare (X^2) değerleri kullanılmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\left[(MR_{\exp} - MR_{pre})\right]^2} \quad \text{(Eş.7)}$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(MR_{\exp} - MR_{pre})^2}{n-m} \quad \text{(Eş. 8)}$$

Burada n, m, MR_{exp} ve MR_{pre} sırasıyla deney sayısı, parametre sayısı, deneysel nem oranları ve tahmini nem oranlarını ifade etmektedir. Tüm işlemler ve analizler ikişer kez yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Hammaddede Kimyasal Kalite Karakteristikleri

Bir sıcak iklim bitkisi olan mısır (*Zea mays* L.) modern dünyada çok yönlü kullanımıyla en önemli tahıl ürünü haline gelmiş, insan beslenmesinde buğday ve çeltikten daha fazla kullanılan bitkilerin başında gelmekte olup gelişmiş ülkelerde büyük oranda hayvan yemi olarak tüketilmektedir (Kırtok, 1998).

Çalışmada kullanılan mısırın nem, kül, yağ, protein ve toplam karbohidrat miktarları sırasıyla %28.14±0.03, %1.11±0.02 KM, %3.01±0.11 KM, %7.60±0.13 KM ve %88.28±0.04 KM olarak bulunmuştur. Dumral (2015)'ın yaptığı bir çalışma sonucunda bazı mısır çeşitlerinin kalite parametrelerini incelemiş ve protein %7.09, yağ %3.01, kül %1.16 değerlerini elde etmiştir. Ajala ve Abubakar (2018), mısırda nem %10.5-11.36, protein %8.23-8.70, yağ %3.23-3.56, kül %1.25-1.33, karbonhidrat %74.23-74.80 olarak bulmuştur. Vartanlı ve Emeklier 2007 yılında Ankara koşullarında 12 hibrit mısır çeşidinin hasatta tane nemini %21.15-28.60, ham yağ oranını %2.04-6.90 ve ham protein oranını %6.21-8.65 olarak rapor etmişlerdir. Çalışmadaki değerler ile literatürdeki değerler uyum içerisindedir.

Hasat edilmiş mısır taneleri 1 saat boyunca suda normal (NI), %50 ultrason (%50 US) ve %100 ultrason genliğinde (%100 US) ön işleme tabi tutulmuştur. Mısır tanelerinin nem içerikleri hammaddede %39.16±0.03 KM veya %28.14 iken normal ıslatma, %50 ultrason ve %100 ultrason genliğinde ön işlememe tabi tutulduktan sonra kuru madde üzerinden sırasıyla %41.81±0.84, %43.28±0.89 ve %45.17±0.64 olarak elde edilmiştir.

Ultrason ön işlem uygulaması ile mısır numunelerinin rutubet miktarlarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Ultrason genliği arttıkça mısır numunelerinin daha fazla su absorbe ettiği tespit edilmiştir.

Miano ve ark. (2017), ultrason işlemi mısır tanelerinin su alımını arttırdığını tespit etmişlerdir. Yıldırım ve Öner (2005)'te yapılan bir araştırmada ultrason gücünün artması ile nohudun su emme oranının arttığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmanın literatürde yapılan çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

4.2. Hammadde ve Ön İşlemlerdeki Teknolojik Kalite Karakteristikleri

Ön işlem görmemiş P32T83 mısır çeşidi örneklerine yapılan teknolojik analizler incelendiğinde örneklerin tekstür değeri 253.63±19.44 N, renk (L*, a*, b*) değerleri sırasıyla 63.39±1.68, 12.69±1.54, 31.13±1.94 olarak belirlenmiştir. Bin tane ağırlığı 350.03±0.69 g, hektolitre ağırlığı 71.60±0.79 kg/L ve su aktivitesi 0.95±0.00 bulunmuştur. Boyut analizleri incelendiğinde, uzunluk 11.22±0.30 mm, genişlik 9.11±0.16 mm, kalınlık 4.98±0.29 mm eşdeğer çap 7.98±0.19 mm ve küresellik 0.70±0.02 raporlanmıştır. Kütle yoğunluğu 1.06±0.01 g/cm^3, hidrasyon kapasitesi 0.0241±0.00 g/tane, hidrasyon indeksi 0.09±0.00 elde edilmiştir. Şişme kapasitesi 0.0128±0.00 ml/tane, şişme indeksi 0.03±0.00 hesaplanmıştır.

Saygı ve Toklu (2016), yapmış oldukları bir çalışmada P32T83 mısır çeşidinin bin tane ağırlığını 311.5 g, hektolitre ağırlığını 69.70 kg/L bulmuştur. Başka bir çalışmada ise mısır çeşidi örneklerinin bin tane ağırlığı kuru maddede 359.16-384.22 g bulunmuştur (Altınel, 2002). Vartanlı ve Emeklier 2007 yılında Ankara koşullarında 12 hibrit mısır çeşidinin hektolitre ağırlığını 65.43-73.53 kg/L olarak rapor etmişlerdir. Peplinski ve ark. (1992), yedi farklı sarı tam tane diş mısır çeşitlerinin hektolitre ağırlıklarını 73.2-76.2 kg/L olarak bulmuşlardır. Başka bir çalışmada diş mısır için hektolitre ağırlığı 64.1-73.7 kg/L aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Watson, 1987). Pan ve ark. (1996), üç farklı mısır çeşidinin hektolitre ağırlığını 69.7-74.6 kg/L arasında olduğunu rapor etmişlerdir. Yapılan çalışmalara bakıldığında bu çalışmadaki bin tane ağırlığı ve hektolitre ağırlığı ortalama bir değer olduğu görülmüştür.

Özler ve ark. (2006)'nın yapmış oldukları bir çalışmada at dişi mısırın boyut analizini incelediklerinde uzunluk 11.63±0.64 mm, genişlik 8.52±1.00 mm, kalınlık

4.55±0.53 mm (nem %25-30) rapor etmişlerdir. Sert mısırın boyut analizini incelediklerinde uzunluk 11.31±0.62 mm, genişlik 8.89±0.89 mm, kalınlık 4.99±0.79 mm (nem %37) belirlemişlerdir. Şeker mısırının boyut analizini incelediklerinde uzunluk 12.07±0.95 mm, genişlik 7.37±0.89 mm, kalınlık 3.38±0.70 mm olarak bulmuşlardır. Yapılan çalışmaya bakıldığında bu çalışmadaki boyut analizi ile uyum sağladığı görülmektedir.

Ajala ve Abubakar (2018), %10.05-11.36 nem içeriğine sahip olan mısır numunelerin kütle yoğunluğunu 0.52-0.53 g/cm^3, su tutma kapasitesini 1.03-1.37 cm^3/g, şişme kapasitesi 1.10-1.36 g su/g örnek olarak belirlemiştir. Wani ve ark. (2017), börülce örneklerinin kütle yoğunluğunu 0.78-0.81 g/ml, hidrasyon kapasitesini 0.12-0.42 g/tane, şişme kapasitesini 0.09-0.28 g/tane (nem %10.00) rapor etmişlerdir. Yapılan çalışmadaki nem oranı dikkate alınaraktan literatürdeki sonuçlar ile uyum sağlamaktadır.

Bu çalışmada normal ıslatma (NI), %50 ultrason genliğinde ıslatma (%50 US) ve %100 ultrason genliğinde ıslatma (%100 US) ön işlem yapılmış mısırların boyutları sırasıyla; uzunluk 11.22±0.30 mm'den 11.89±0.43 mm, 12.04±0.10 mm ve 12.21±0.46 mm'ye artmıştır. Genişlik 9.11±0.16'dan 9.89±0.18 mm, 10.00±0.19 mm ve 10.36±0.52 mm'ye artmıştır. Kalınlık 4.98±0.29'dan 5.08±0.32, 5.23±0.17 mm ve 5.43±0.13 mm'ye artmıştır. Eşdeğer çap 7.98±0.19 mm'den 8.42±0.12, 8.57±0.20 mm ve 8.82±0.34 mm'ye ve küresellik 0.70±0.02'den 0.71±0.01, 0.71±0.01 ve 0.72±0.00'a artmıştır.

Normal ıslatma, %50 US ve %100 US ön işlem uygulanmış mısırlarda renk (L*, a*, b*) değerleri ise sırasıyla 59.74±2.75, 13.94±1.93, 34.01±4.92; 58.94±2.33, 12.46±1.18, 29.74±2.51; 61.78±0.90, 14.36±0.28, 32.04±2.14 olarak değişiklik göstermiştir.

Tekstür değerleri NI, %50 US ve %100 US ön işlem görmüş mısırlarda sırasıyla; 253.63±19.44 N'dan 241.24±16.90, 231.16±10.66, 218.69±5.27 olarak azalmıştır. Bin tane ağırlığı NI, %50 US ve %100 US'de 350.03±0.69 g'dan

370.25±0.68 g, 371.73±0.48 g ve 372.46±0.72 g'a artmıştır. Normal ıslatma, %50 US ve %100 US'nın hektolitre ağırlıkları sırasıyla 71.60±0.79 kg/L'den 70.59±0.01 kg/L, 69.89±0.56 kg/L ve 68.76±0.42 kg/L'ye azalmıştır. Su aktivitesi NI, %50 US ve %100 US'da sırasıyla 0.95±0.00'dan 0.97±0.00, 0.97±0.00 ve 0.98±0.00'e artmıştır.

Islatma ön işlemlere bağlı olarak mısır taneleri su absorbe ettiğinden dolayı tanede şişme, ağırlık artışı ve renginde değişiklik gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak mısır tanelerinin boyutları (uzunluk, genişlik, kalınlık, eşdeğer çap ve küresellik), bin tane ağırlıkları ve su aktivitesi değerlerinde artış gözlemlenirken, tekstür ve hektolitre değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada, ultrason uygulaması ile buğday tanesinin su alma hızı arttığı ve su aldıkça buğday tanesinin şiştiği rapor edilmiştir (Yüksel ve Elgün, 2013). Başka bir çalışmada nohudun ultrason uygulamasında yüksek güçteki ultrason uygulamasının düşük güçteki ultrason uygulamasından daha fazla su absorbe edildiğini bulmuşlardır (Yıldırım ve ark., 2010). Börülcelerin ıslatılması çalışmasında, börülcelerin su alması ile boyutlarında artış olduğu rapor edilmiştir (Yıldırım ve Atasoy, 2017). Bayram ve ark., 2004 yılında soya fasulye numunelerinin ıslatılması sırasında süre ve sıcaklık arttıkça numunelerin boyutlarında da artış olduğunu rapor etmişlerdir. Yapılan çalışmalara bakıldığında, ıslatma ile numunelerin boyutları süre ve sıcaklığa bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu çalışma literatür çalışmalarıyla uyum içerisindedir.

Yıldırım ve ark. (2013), Nohudu ultrason uygulaması ile ıslatıp, belli sürelerde tekstür değerlerine baktıklarında, tekstür değerinin su tutmasına bağlı olarak azaldığını bulmuşlardır ve bu çalışma ile uyum içerisindedir. Ispanak tohumları (Kilickan ve ark., 2010) ve kırmızıbiber tohumlarının (Üçer ve ark., 2010) nem içeriğindeki artış ile birlikte 1000 tane kütlesinin doğrusal olarak arttığı rapor edilmiştir ve bu çalışma ile uyum sağlamaktadır. Bart-Plange ve Baryeh (2002), kategori B kakao çekirdeğinin ıslat bazdaki nem oranı %7.56'dan %19.00'a artış

gösterdiğinde bin tane ağırlığı da 1125.02 g'dan 1247.19 g'a artış olduğunun rapor etmişlerdir ve bu çalışma ile uyum içerisindedir.

4.3. Ultrason Ön İşlem Uygulanmış Mısırların Kurutma Sırasında Kalite Karakteristiklerinin Değişimi

4.3.1. Boyut değişimi

Uzunluk, genişlik ve kalınlık tayini, tohum ölçme cihazlarının, ayırıcı eleklerin, pnömatik taşıma sistemlerinin ve biçerdöverlere bağlı tarlaların tasarımında kullanılır. Silindir ve bir biçerdöverin içbükeyinin arasındaki açıklık da boyut ve şekil boyutlarına bağlıdır (Stroshine ve Hamann, 1995).

Büyük çap, uzunluk, öngörülen en uzun alanın en uzun boyutudur. Küçük çap, kalınlık, minimum öngörülen alanın en kısa boyutudur. Ara çap, genişlik, öngörülen maksimum alan üzerindeki minimum çaptır ve genellikle öngörülen minimum alanın en uzun çapına eşit olduğu varsayılır (Stroshine ve Hamann, 1995).

Mısır tanelerinin temel eksenel boyutları, elek ayırıcılarının seçilmesinde ve tohum öğütme işlemi sırasında enerji hesaplamalarında kullanılır. Tahıl kurutma, havalandırma, ısıtma ve soğutma modellemesi sırasında önemli olan çekirdeklerin yüzey alanını ve hacmini hesaplamak için de kullanılır. Boyutsal değişiklikler, kurutma ve depolama kutularının ve tohum kabuğu harman makinelerinin tasarımında önemlidir (Varnamkhasti ve ark., 2007; Karimi ve ark., 2009).

Çizelge 4.1.'de mısırın kurutma sırasındaki uzunluk değişimi görülmektedir. Süre arttıkça kurutuma sırasındaki mısır numunelerinin uzunlukları tüm ön işlem uygulamalarında ve sıcaklıkta azalmıştır. Normal ıslatma, sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutulan mısır örneklerinin uzunlukları 80, 90 ve 100 ºC'de 0-120 dakika arasındaki azalma istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p \leq 0.05$), 120-240 dakika arasında olan azalma istatistiksel olarak anlamlı görülmemiştir ($p > 0.05$). %50 US ve %100 US ıslatma 80, 90 ve 100 ºC'de sıcak havalı ve vakum kurutucuda

kurutulan mısır örneklerinin uzunlukları, 0-60 dakikadaki azalma istatistiksel açıdan önemli görülürken ($p \leq 0.05$), 60 dakikadan sonraki azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0.05$).

Çizelge 4.1. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Uzunluk (L, mm) kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	$11.89^{bx1\alpha}$ ±0.13	$11.89^{bx1\alpha}$ ±0.06	$11.89^{bx1\alpha}$ ±0.43	$11.89^{bx1\alpha}$ ±0.11	$11.89^{bx1\alpha}$ ±0.16	$11.89^{bx1\alpha}$ ±0.12
	60	$11.54^{bx1\beta}$ ±0.05	$11.52^{bx1\beta}$ ±0.16	$11.48^{bx1\beta}$ ±0.38	$11.79^{bx1\alpha}$ ±0.07	$11.71^{bx1\alpha}$ ±0.10	$11.64^{bx1\alpha}$ ±0.21
	120	$11.48^{ax1\beta}$ ±0.32	$11.46^{ax1\beta}$ ±0.26	$11.41^{ax1\beta}$ ±0.28	$11.68^{ax1\alpha}$ ±0.27	$11.58^{ax1\alpha}$ ±0.15	$11.44^{ax1\alpha}$ ±0.12
	180	$11.39^{ax1\beta}$ ±0.21	$11.36^{ax1\beta}$ ±0.15	$11.29^{ax1\beta}$ ±0.13	$11.59^{ax1\alpha}$ ±0.21	$11.48^{ax1\alpha}$ ±0.43	$11.32^{ax1\alpha}$ ±0.21
	240	$11.35^{ax1\beta}$ ±0.08	$11.32^{ax1\beta}$ ±0.12	$11.26^{ax1\beta}$ ±0.15	$11.52^{ax1\alpha}$ ±0.15	$11.40^{ax1\alpha}$ ±0.32	$11.23^{ax1\alpha}$ ±0.29
%50 US	0	$12.04^{bx1\alpha}$ ±0.10	$12.04^{bx1\alpha}$ ±0.17	12.04^{bx1} ±0.12	$12.04^{bx1\alpha}$ ±0.23	$12.04^{bx1\alpha}$ ±0.13	$12.04^{bx1\alpha}$ ±0.21
	60	$11.53^{ax1\beta}$ ±0.33	$11.46^{ax1\beta}$ ±0.18	$11.43^{bax1\beta}$ ±0.31	$11.70^{bx1\alpha}$ ±0.20	$11.61^{bx1\alpha}$ ±0.04	$11.52^{bx1\alpha}$ ±0.12
	120	$11.44^{ax1\beta}$ ±0.32	$11.35^{ax1\beta}$ ±0.16	$11.30^{bax1\beta}$ ±0.39	$11.55^{ax1\alpha}$ ±0.43	$11.46^{ax1\alpha}$ ±0.21	$11.35^{ax1\alpha}$ ±0.19
	180	$11.34^{ax1\beta}$ ±0.31	$11.21^{ax1\beta}$ ±0.17	$11.19^{ax1\beta}$ ±0.12	$11.45^{ax1\alpha}$ ±0.22	$11.35^{ax1\alpha}$ ±0.11	$11.23^{ax1\alpha}$ ±0.11
	240	$11.28^{ax1\beta}$ ±0.30	$11.18^{ax1\beta}$ ±0.10	$11.12^{ax1\beta}$ ±0.24	$11.36^{ax1\alpha}$ ±0.28	$11.25^{ax1\alpha}$ ±0.18	$11.13^{ax1\alpha}$ ±0.28
%100 US	0	$12.21^{bx1\alpha}$ ±0.46	$12.21^{bx1\alpha}$ ±0.42	$12.21^{bx1\alpha}$ ±0.32	$12.21^{bx1\alpha}$ ±0.46	$12.21^{bx1\alpha}$ ±0.36	$12.21^{bx1\alpha}$ ±0.54
	60	$11.35^{ax1\beta}$ ±0.53	$11.32^{ax1\beta}$ ±0.32	$11.34^{ax1\beta}$ ±0.31	$11.65^{ax1\alpha}$ ±0.06	$11.54^{ax1\alpha}$ ±0.27	$11.47^{bx1\alpha}$ ±0.32
	120	$11.26^{ax1\beta}$ ±0.50	$11.24^{ax1\beta}$ ±0.30	$11.19^{ax1\beta}$ ±0.35	$11.49^{ax1\alpha}$ ±0.36	$11.37^{ax1\alpha}$ ±0.21	$11.28^{ax1\alpha}$ ±0.31
	180	$11.20^{ax1\beta}$ ±0.30	$11.14^{ax1\beta}$ ±0.32	$11.12^{ax1\beta}$ ±0.38	$11.39^{ax1\alpha}$ ±0.24	$11.25^{ax1\alpha}$ ±0.17	$11.13^{ax1\alpha}$ ±0.23
	240	$11.17^{ax1\beta}$ ±0.33	$11.12^{ax1\beta}$ ±0.35	$11.08^{ax1\beta}$ ±0.31	$11.28^{ax1\beta}$ ±0.12	$11.13^{ax1\alpha}$ ±0.13	$11.09^{ax1\alpha}$ ±0.18

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Çizelge 4.2.'de mısır farklı ön işlem uygulaması ve farklı sıcaklıklarda sıcak havalı ve vakum kurutucuda 240 dakika boyunca kurutulup 60 dakikada bir boyut

analizi olarak genişlik ölçümü yapılmıştır. Kurutma süresinin artması ile normal ıslatılmış, sıcak havalı ve vakum kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin genişlikleri azalmış ve bu azalma tüm sürelerde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$). %50 US ve %100 US ıslatılmış, sıcak havalı ve vakum kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin genişliklerindeki azalma ilk bir saatte istatistiksel olarak anlamlı görülürken ($p \leq 0.05$), bir saatten sonraki azalma istatistiksel olarak anlamlı görülmemiştir ($p > 0.05$).

Çizelge 4.2. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Genişlik (W, mm) kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	$9.89^{dx1\alpha}$ ±0.06	$9.89^{dx1\alpha}$ ±0.02	$9.89^{cx1\alpha}$ ±0.03	$9.89^{dx1\alpha}$ ±0.09	$9.89^{cx1\alpha}$ ±0.07	$9.89^{dx1\alpha}$ ±0.11
	60	$9.72^{cy1\beta}$ ±0.12	$9.61^{cx1\beta}$ ±0.14	$9.67^{byx1\beta}$ ±0.13	$9.58^{cx1\alpha}$ ±0.16	$9.54^{bx1\alpha}$ ±0.18	$9.49^{cx1\alpha}$ ±0.09
	120	$9.66^{by1\beta}$ ±0.24	$9.55^{cbx1\beta}$ ±0.22	$9.60^{bayx1\beta}$ ±0.13	$9.49^{cbx1\alpha}$ ±0.29	$9.44^{bax1\alpha}$ ±0.25	$9.38^{cbx1\alpha}$ ±0.21
	180	$9.65^{by1\beta}$ ±0.21	$9.52^{bx1\beta}$ ±0.13	$9.57^{bayx1\beta}$ ±0.31	$9.41^{bax1\alpha}$ ±0.13	$9.34^{bax1\alpha}$ ±0.16	$9.27^{bax1\alpha}$ ±0.19
	240	$9.57^{ay1\beta}$ ±0.22	$9.43^{ax1\beta}$ ±0.34	$9.54^{ay1\beta}$ ±0.32	$9.35^{ax1\alpha}$ ±0.12	$9.16^{ax1\alpha}$ ±0.13	$9.13^{ax1\alpha}$ ±0.15
%50 US	0	$10.00^{bx1\alpha}$ ±0.19	$10.00^{bx1\alpha}$ ±0.27	$10.00^{bx1\alpha}$ ±0.16	$10.00^{bx1\alpha}$ ±0.21	$10.00^{bx1\alpha}$ ±0.22	$10.00^{bx1\alpha}$ ±0.18
	60	$9.68^{ax1\beta}$ ±0.33	$9.65^{ax1\beta}$ ±0.37	$9.58^{ax1\beta}$ ±0.26	$9.51^{ax1\alpha}$ ±0.15	$9.45^{ax1\alpha}$ ±0.19	$9.40^{ax1\alpha}$ ±0.13
	120	$9.53^{ax1\beta}$ ±0.36	$9.56^{ax1\beta}$ ±0.32	$9.48^{ax1\beta}$ ±0.21	$9.40^{ax1\alpha}$ ±0.13	$9.35^{ax1\alpha}$ ±0.09	$9.31^{ax1\alpha}$ ±0.26
	180	$9.51^{ax1\beta}$ ±0.37	$9.54^{ax1\beta}$ ±0.36	$9.44^{ax1\beta}$ ±0.23	$9.32^{ax1\alpha}$ ±0.22	$9.25^{ax1\alpha}$ ±0.21	$9.19^{ax1\alpha}$ ±0.32
	240	$9.50^{ax1\beta}$ ±0.25	$9.50^{ax1\beta}$ ±0.33	$9.42^{ax1\beta}$ ±0.24	$9.28^{ax1\alpha}$ ±0.11	$9.14^{ax1\alpha}$ ±0.19	$9.12^{ax1\alpha}$ ±0.21
%100 US	0	$10.36^{bx1\alpha}$ ±0.52	$10.36^{bx1\alpha}$ ±0.32	$10.36^{bx1\alpha}$ ±0.34	$10.36^{bx1\alpha}$ ±0.44	$10.36^{bx1\alpha}$ ±0.46	$10.36^{bx1\alpha}$ ±0.35
	60	$9.60^{ax1\beta}$ ±0.13	$9.60^{ax1\beta}$ ±0.05	$9.54^{ax1\beta}$ ±0.07	$9.47^{ax1\alpha}$ ±0.33	$9.43^{ax1\alpha}$ ±0.35	$9.39^{ax1\alpha}$ ±0.31
	120	$9.48^{ax1\beta}$ ±0.15	$9.49^{ax1\beta}$ ±0.04	$9.41^{ax1\beta}$ ±0.05	$9.34^{ax1\alpha}$ ±0.23	$9.28^{ax1\alpha}$ ±0.21	$9.22^{ax1\alpha}$ ±0.24
	180	$9.46^{ax1\beta}$ ±0.14	$9.46^{ax1\beta}$ ±0.01	$9.38^{ax1\beta}$ ±0.04	$9.26^{ax1\alpha}$ ±0.13	$9.18^{ax1\alpha}$ ±0.25	$9.10^{ax1\alpha}$ ±0.21
	240	$9.45^{ax1\beta}$ ±0.13	$9.45^{ax1\beta}$ ±0.02	$9.36^{ax1\beta}$ ±0.07	$9.18^{ax1\alpha}$ ±0.03	$9.07^{ax1\alpha}$ ±0.15	$8.97^{ax1\alpha}$ ±0.11

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir

Çizelge 4.3.'de mısır numunelerinin kalınlık değişimi görülmektedir. Sürenin artması ile normal ıslatılmış ve %50 US ıslatılmış, sıcak havalı kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin kalınlıkları tüm sürelerde azalmış fakat bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). %100 US ıslatma sıcak

havalı kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin kalınlık azalması ilk 60 dakikada istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p \leq 0.05$), sonraki sürelerde azalma istatistiksel olarak önemli görülmemiştir ($p > 0.05$). Normal ıslatma, %50 US ve %100 US ıslatma vakum kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin kalınlıkları süre arttıkça artmıştır. 0'dan 60 dakikaya numunelerin kalınlıklarındaki artış istatistiksel olarak anlam ifade ederken ($p \leq 0.05$), 60. dakikadan sonraki mısır numunelerinin kalınlıkları 240 dakikaya kadar sabit kalmış ve istatistiksel olarak anlam ifade edilmemiştir ($p > 0.05$).

Çizelge 4.3. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Kalınlık (T, mm) kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	$5.08^{ax1\alpha}$ ±0.02	$5.08^{ax1\alpha}$ ±0.06	$5.08^{ax1\alpha}$ ±0.09	$5.08^{ax1\alpha}$ ±0.03	$5.08^{ax1\alpha}$ ±0.05	$5.08^{ax1\alpha}$ ±0.11
	60	$5.05^{ax1\beta}$ ±0.11	$5.02^{ax1\beta}$ ±0.17	$4.99^{ax1\beta}$ ±0.09	$5.49^{bx1\alpha}$ ±0.23	$5.52^{bx1\alpha}$ ±0.11	$5.55^{bx1\alpha}$ ±0.06
	120	$5.04^{ax1\beta}$ ±0.11	$5.01^{ax1\beta}$ ±0.21	$4.98^{ax1\beta}$ ±0.02	$5.62^{bx1\alpha}$ ±0.12	$5.64^{bx1\alpha}$ ±0.25	$5.69^{bx1\alpha}$ ±0.07
	180	$5.03^{ax1\beta}$ ±0.10	$5.00^{ax1\beta}$ ±0.16	$4.95^{ax1\beta}$ ±0.10	$5.62^{bx1\alpha}$ ±0.21	$5.64^{bx1\alpha}$ ±0.18	$5.69^{bx1\alpha}$ ±0.15
	240	$4.99^{ax1\beta}$ ±0.13	$4.96^{ax1\beta}$ ±0.11	$4.94^{ax1\beta}$ ±0.07	$5.62^{bx1\alpha}$ ±0.23	$5.64^{bx1\alpha}$ ±0.13	$5.69^{bx1\alpha}$ ±0.11
%50 US	0	$5.23^{ax21\alpha}$ ±0.17	$5.23^{ax21\alpha}$ ±0.12	$5.23^{ax21\alpha}$ ±0.13	$5.23^{ax21\alpha}$ ±0.19	$5.23^{ax21\alpha}$ ±0.21	$5.23^{ax21\alpha}$ ±0.03
	60	$5.00^{ax1\beta}$ ±0.22	$4.99^{ax1\beta}$ ±0.06	$4.97^{ax1\beta}$ ±0.20	$5.53^{bax1\alpha}$ ±0.10	$5.55^{bx1\alpha}$ ±0.28	$5.58^{bx1\alpha}$ ±0.26
	120	$4.96^{ax1\beta}$ ±0.23	$4.94^{ax1\beta}$ ±0.05	$4.91^{ax1\beta}$ ±0.21	$5.69^{bx1\alpha}$ ±0.14	$5.70^{bx1\alpha}$ ±0.17	$5.77^{bx1\alpha}$ ±0.21
	180	$4.95^{ax1\beta}$ ±0.21	$4.93^{ax1\beta}$ ±0.02	$4.89^{ax1\beta}$ ±0.28	$5.69^{bx1\alpha}$ ±0.11	$5.70^{bx1\alpha}$ ±0.20	$5.77^{bx1\alpha}$ ±0.15
	240	$4.93^{ax1\beta}$ ±0.19	$4.92^{ax1\beta}$ ±0.07	$4.87^{ax1\beta}$ ±0.26	$5.69^{bx1\alpha}$ ±0.19	$5.70^{bx1\alpha}$ ±0.23	$5.77^{bx1\alpha}$ ±0.26
%100 US	0	$5.43^{bx2\alpha}$ ±0.12	$5.43^{bx2\alpha}$ ±0.11	$5.43^{bx2\alpha}$ ±0.02	$5.43^{ax2\alpha}$ ±0.13	$5.43^{ax2\alpha}$ ±0.17	$5.43^{ax2\alpha}$ ±0.14
	60	$4.96^{ax1\beta}$ ±0.37	$4.92^{ax1\beta}$ ±0.12	$4.91^{ax1\beta}$ ±0.16	$5.68^{bx1\alpha}$ ±0.07	$5.72^{bx1\alpha}$ ±0.26	$5.78^{bx1\alpha}$ ±0.12
	120	$4.94^{ax1\beta}$ ±0.38	$4.90^{ax1\beta}$ ±0.13	$4.88^{ax1\beta}$ ±0.12	$5.79^{bx1\alpha}$ ±0.09	$5.84^{bx1\alpha}$ ±0.20	$5.91^{bx1\alpha}$ ±0.17
	180	$4.92^{ax1\beta}$ ±0.34	$4.88^{ax1\beta}$ ±0.18	$4.85^{ax1\beta}$ ±0.13	$5.79^{bx1\alpha}$ ±0.02	$5.84^{bx1\alpha}$ ±0.13	$5.91^{bx1\alpha}$ ±0.10
	240	$4.90^{ax1\beta}$ ±0.33	$4.86^{ax1\beta}$ ±0.19	$4.83^{ax1\beta}$ ±0.15	$5.81^{bx1\alpha}$ ±0.05	$5.84^{bx1\alpha}$ ±0.19	$5.91^{bx1\alpha}$ ±0.08

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Tüm koşullarda sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutulan numunelerin eş değer çapları (D_e) tüm sürelerde azalmıştır (Çizelge 4.4.). Bu azalma suyun taneden uzaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Normal ıslatma sıcak havalı kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin eş değer çapları tüm

sürelerde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$). %50 US ve %100 US ıslatma sıcak havalı kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin eş değer çapları ilk 60 dakikada istatistiksel olarak önemli bulunurken, 240 dakikaya kadar olan sürelerde istatistiksel olarak önemli göülmrmiştir ($p>0.05$). Ön işlem uygulanmış, vakum kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin eş değer çapları tüm sürelerde istatistiksel olarak önemli görülmüştür ($p>0.05$).

Çizelge 4.4. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Eşdeğer çap (D_e, mm) kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	$8.42^{bx1\alpha}$ ±0.02	$8.42^{cx1\alpha}$ ±0.05	$8.42^{bx1\alpha}$ ±0.01	$8.42^{ax1\alpha}$ ±0.08	$8.42^{ax1\alpha}$ ±0.05	$8.42^{ax1\alpha}$ ±0.02
	60	$8.28^{bx1\beta}$ ±0.06	$8.22^{bx1\beta}$ ±0.15	$8.21^{bx1\beta}$ ±0.17	$8.56^{ax1\alpha}$ ±0.21	$8.53^{ax1\alpha}$ ±0.15	$8.54^{ax1\alpha}$ ±0.01
	120	$8.24^{ax1\beta}$ ±0.13	$8.18^{ax1\beta}$ ±0.21	$8.17^{ax1\beta}$ ±0.13	$8.53^{ax1\alpha}$ ±0.19	$8.50^{ax1\alpha}$ ±0.13	$8.50^{ax1\alpha}$ ±0.11
	180	$8.21^{ax1\beta}$ ±0.03	$8.15^{bax1\beta}$ ±0.14	$8.12^{ax1\beta}$ ±0.10	$8.48^{ax1\alpha}$ ±0.11	$8.45^{ax1\alpha}$ ±0.21	$8.43^{ax1\alpha}$ ±0.23
	240	$8.16^{ax1\beta}$ ±0.05	$8.09^{ax1\beta}$ ±0.01	$8.10^{ax1\beta}$ ±0.12	$8.44^{ax1\alpha}$ ±0.18	$8.38^{ax1\alpha}$ ±0.10	$8.36^{ax1\alpha}$ ±0.12
%50 US	0	$8.57^{bx1\alpha}$ ±0.17	$8.57^{bx1\alpha}$ ±0.21	$8.57^{bx1\alpha}$ ±0.12	$8.57^{ax1\alpha}$ ±0.11	$8.57^{ax1\alpha}$ ±0.10	$8.57^{ax1\alpha}$ ±0.07
	60	$8.21^{ax1\beta}$ ±0.06	$8.21^{ax1\beta}$ ±0.17	$8.16^{sx1\beta}$ ±0.04	$8.51^{ax1\alpha}$ ±0.17	$8.47^{ax1\alpha}$ ±0.11	$8.45^{ax1\alpha}$ ±0.13
	120	$8.11^{ax1\beta}$ ±0.03	$8.15^{ax1\beta}$ ±0.11	$8.07^{sx1\beta}$ ±0.03	$8.52^{ax1\alpha}$ ±0.15	$8.48^{ax1\alpha}$ ±0.17	$8.48^{ax1\alpha}$ ±0.16
	180	$8.06^{ax1\beta}$ ±0.05	$8.10^{ax1\beta}$ ±0.12	$8.02^{sx1\beta}$ ±0.05	$8.47^{ax1\alpha}$ ±0.10	$8.42^{ax1\alpha}$ ±0.18	$8.41^{ax1\alpha}$ ±0.19
	240	$8.04^{ax1\beta}$ ±0.07	$8.05^{ax1\beta}$ ±0.15	$7.99^{ax1\beta}$ ±0.03	$8.43^{ax1\alpha}$ ±0.14	$8.38^{ax1\alpha}$ ±0.15	$8.36^{ax1\alpha}$ ±0.10
%100 US	0	$8.82^{bx1\alpha}$ ±0.32	$8.82^{bx1\alpha}$ ±0.35	$8.82^{bx1\alpha}$ ±0.22	$8.82^{ax1\alpha}$ ±0.38	$8.82^{ax1\alpha}$ ±0.33	$8.82^{ax1\alpha}$ ±0.37
	60	$8.05^{ax1\beta}$ ±0.30	$8.16^{ax1\beta}$ ±0.16	$8.10^{ax1\beta}$ ±0.11	$8.56^{ax1\alpha}$ ±0.19	$8.53^{ax1\alpha}$ ±0.17	$8.54^{ax1\alpha}$ ±0.09
	120	$7.99^{ax1\beta}$ ±0.28	$8.08^{ax1\beta}$ ±0.17	$8.00^{ax1\beta}$ ±0.21	$8.53^{ax1\alpha}$ ±0.11	$8.50^{ax1\alpha}$ ±0.12	$8.50^{ax1\alpha}$ ±0.12
	180	$7.97^{ax1\beta}$ ±0.26	$8.03^{ax1\beta}$ ±0.12	$8.06^{ax1\beta}$ ±0.16	$8.48^{ax1\alpha}$ ±0.13	$8.45^{ax1\alpha}$ ±0.16	$8.43^{ax1\alpha}$ ±0.21
	240	$7.95^{ax1\beta}$ ±0.29	$8.01^{ax1\beta}$ ±0.13	$8.03^{ax1\beta}$ ±0.16	$8.44^{ax1\alpha}$ ±0.12	$8.38^{ax1\alpha}$ ±0.10	$8.36^{ax1\alpha}$ ±0.14

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Sıcaklık 80-100 ºC arasında değişirken, incelenen mısır örneklerinin boyutları (uzunluk, genişlik, kalınlık, eşdeğer çap, küresellik) azaltmış fakat bu azalma istatistiksel olarak anlam ifade etmemiştir ($p>0.05$) (Çizelge 4.1.-4.5.). Bunun sebebi

mısırın yüksek sıcaklıkta kurutulup, sıcaklıkların birbirine yakın olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kurutma sırasında farklı ön işlem uygulaması mısır numunelerinin boyutlarına (uzunluk, genişlik, kalınlık, eşdeğer çap, küresellik) etkisi önemli görülmemiştir ($p>0.05$) (Çizelge 4.1.-4.5.).

Mısır örneklerinin boyutları (uzunluk, genişlik, kalınlık, eşdeğer çap, küresellik) farklı kurutuculardа değişiklik göstermiş olup, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p\leq0.05$) (Çizelge 4.1.-4.5.). Vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin boyutları sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısır numunelerine göre daha yavaş azalmıştır. Vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin nemi sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısırların nemine göre daha hızlı bir azalma görülmüştür. Vakumda mısırın nemi kurutma sırasında azalırken boyutlarında büzüşme görülmediğinden dolayı boyutları sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısırın boyutuna göre daha az azalmıştır.

Çizelge 4.5.'de mısır farklı koşullarda sıcak havalı ve vakum kurutucuda 240 dakika boyunca kurutulup 60 dakikada bir boyut analizi olarak küresellik ölçümü yapılmıştır. Süre arttıkça normal ıslatma, %50 US ve %100 US ıslatma sıcak havalı kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin küresellik değerleri tüm sürelerde istatistiksel olarak fark görülmemiştir ($p>0.05$). Normal ıslatma, %50 US ve %100 US ıslatma vakum kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin küresellik değerleri 0-120 dakika arasında geçen sürede istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p\leq0.05$), 180-240 dakika arasındaki değişiklik istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Çizelge 4.5. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Küresellik kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.00
	60	$0.72^{ax1\alpha}$ ±0.01	$0.71^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.73^{bx1\alpha}$ ±0.00	$0.74^{bx1\alpha}$ ±0.03	$0.75^{bx1\alpha}$ ±0.01
	120	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.71^{ax1\beta}$ ±0.02	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.74^{cx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{cx1\alpha}$ ±0.03	$0.76^{cx1\alpha}$ ±0.01
	180	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.04	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.74^{cx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{cx1\alpha}$ ±0.03	$0.76^{cx1\alpha}$ ±0.00
	240	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.71^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.74^{cx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{cx1\alpha}$ ±0.03	$0.76^{cx1\alpha}$ ±0.00
%50 US	0	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.01	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.01	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.01	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.01	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.01	$0.71^{ax1\alpha}$ ±0.01
	60	$0.71^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.02	$0.73^{bx1\alpha}$ ±0.00	$0.74^{bx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{bx1\alpha}$ ±0.02
	120	$0.71^{ax1\beta}$ ±0.03	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.74^{cx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{cx1\alpha}$ ±0.01	$0.76^{cx1\alpha}$ ±0.02
	180	$0.71^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.04	$0.74^{cx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{cx1\alpha}$ ±0.01	$0.76^{cx1\alpha}$ ±0.03
	240	$0.71^{ax1\beta}$ ±0.02	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.74^{cx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{cx1\alpha}$ ±0.01	$0.76^{cx1\alpha}$ ±0.02
%100 US	0	$0.72^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.72^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.72^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.72^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.72^{ax1\alpha}$ ±0.00	$0.72^{ax1\alpha}$ ±0.00
	60	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.02	$0.73^{bx1\alpha}$ ±0.00	$0.74^{bx1\alpha}$ ±0.03	$0.75^{bx1\alpha}$ ±0.01
	120	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.02	$0.74^{cx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{cx1\alpha}$ ±0.03	$0.76^{cx1\alpha}$ ±0.01
	180	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.70^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.74^{cx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{cx1\alpha}$ ±0.03	$0.76^{cx1\alpha}$ ±0.00
	240	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.72^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.70^{ax1\beta}$ ±0.01	$0.74^{cx1\alpha}$ ±0.00	$0.75^{cx1\alpha}$ ±0.03	$0.76^{cx1\alpha}$ ±0.00

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Mısırın boyutu kurutmanın 0-60 dakikada hızlı bir şekilde azalmıştır ($p \leq 0.05$). Bunun nedeni mısır, çevresindeki sıcak hava ile ısınmaya başlar ve ilk önce yüzeyindeki nem kuruduğundan mısırın boyutu hızlı bir şekilde azaldığı düşünülmektedir. Kurutma süresi arttıkça mısırın boyutundaki azalış yavaşlamıştır.

Bunun nedeni ise mısırın içindeki nem daha geç kurumasından ve bu kuruma daha fazla zaman almasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Lilhare ve Bawane (2012), çeltik numunesinin boyutlarını kutruma sırasında süre ve sıcaklığın artmasıyla azaldığını belirtmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada, kurutma sırasındaki mısır numunesinin nem oranı %48 (k.m.)'de uzunluk 0.93 mm, genişlik 0.86 mm, kalınlık 0.69 mm iken nem oranı %14 (k.m.)'e azaldığında uzunluk 0.85 mm, genişlik 0.80 mm ve kalınlık 0.63 mm'ye azaldığını rapor edilmiştir (Shivhare, 1991). Ampah (2011), börülce numunesinin nem oranı %19.00 (w.b.)'den %9.58(w.b.)' a azaldığında börülcelerin uzunluğu 8.16 mm'den 7.11'e, genişlik 6.36 mm'den 6.28 mm'ye, kalınlık 4.77 mm'den 4.61 mm'ye azaldığını rapor etmiştir. Rapor edilen çalışmalar, bu çalışma ile uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

4.3.2. Bin tane ağırlığı değişimi

Tahıl tanelerinin bin tane ağırlığı, belirli bir hububat içindeki yabancı madde miktarının ve büzülmüş veya olgunlaşmamış tanelerin miktarlarının ölçülmesinde değirmencilik verimi için kullanışlı bir indekstir (Varnamkhasti ve ark., 2008).

Çizelge 4.6.'da mısır örmekleri farklı ön işlem uygulaması ve farklı sıcaklıklarda sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırası boyunca bin tane ağırlığı sonuçları görülmektedir. Süre, sıcaklık, ultrason gücü ve kurutucu değişimlerinde bin tane ağırlığındaki azalış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Kurutma sırasında mısır numunelerinden nem uzaklaştıkça mısır numunelerinin ağırlığı azaldığından dolayı bin tane ağırlığında orantılı olarak azaldığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.6. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Bin Tane Ağırlığı kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	370.25$^{ex1\alpha}$ ±0.68	370.25$^{x1\alpha}$ ±0.68	370.25$^{ex1\alpha}$ ±0.68	370.25$^{dx1\alpha}$ ±0.68	370.25$^{ex1\alpha}$ ±0.68	370.25$^{dx1\alpha}$ ±0.68
	60	312.88$^{dz3\beta}$ ±0.11	310.80$^{dy3\beta}$ ±0.65	303.09$^{dx3\beta}$ ±0.25	307.54$^{cz3\alpha}$ ±0.13	302.80$^{dy2\alpha}$ ±0.25	292.05$^{cx2\alpha}$ ±0.77
	120	287.31$^{cz3\beta}$ ±0.05	285.92$^{cy3\beta}$ ±0.40	278.35$^{cx3\beta}$ ±0.40	285.90$^{bz3\alpha}$ ±0.39	282.27$^{cy2\alpha}$ ±0.71	276.07$^{bx3\alpha}$ ±1.10
	180	282.12$^{bz3\beta}$ ±0.11	280.20$^{by3\beta}$ ±0.90	274.04$^{bx3\beta}$ ±0.30	278.62$^{az3\alpha}$ ±0.39	276.88$^{by3\alpha}$ ±0.50	270.33$^{ax2\alpha}$ ±1.02
	240	279.78$^{az3\beta}$ ±0.08	277.75$^{ay3\beta}$ ±0.13	272.86$^{ax3\beta}$ ±0.23	276.13$^{az3\alpha}$ ±1.23	274.90$^{ay3\alpha}$ ±0.91	268.19$^{ax3\alpha}$ ±1.38
%50 US	0	371.73$^{ex21\alpha}$ ±0.48	371.73$^{ex21\alpha}$ ±0.48	371.73$^{dx21\alpha}$ ±0.48	371.73$^{ex21\alpha}$ ±0.48	371.73$^{ex21\alpha}$ ±0.48	371.73$^{ex21\alpha}$ ±0.48
	60	306.23$^{dz2\beta}$ ±0.35	303.67$^{dy2\beta}$ ±0.31	298.65$^{cx2\beta}$ ±0.66	302.79$^{dy2\alpha}$ ±0.04	299.80$^{dy2\alpha}$ ±0.25	290.74$^{dx2\alpha}$ ±0.45
	120	285.86$^{cz2\beta}$ ±0.04	281.20$^{cy2\beta}$ ±0.01	273.55$^{bx2\beta}$ ±1.39	284.69$^{cz2\alpha}$ ±0.35	282.27$^{cy2\alpha}$ ±0.71	272.06$^{cx2\alpha}$ ±0.55
	180	279.06$^{bz2\beta}$ ±0.16	275.66$^{by2\beta}$ ±0.25	270.27$^{ax2\beta}$ ±0.85	275.90$^{bz2\alpha}$ ±0.04	273.92$^{by2\alpha}$ ±0.21	268.91$^{bx2\alpha}$ ±0.73
	240	277.40$^{az2\beta}$ ±0.74	274.89$^{ay2\beta}$ ±0.04	269.72$^{ax2\beta}$ ±0.94	274.00$^{az2\alpha}$ ±0.09	270.99$^{ay2\alpha}$ ±0.01	265.78$^{ax2\alpha}$ ±0.31
%100 US	0	372.46$^{ex2\alpha}$ ±0.72	372.46$^{dx2\alpha}$ ±0.72	372.46$^{dx2\alpha}$ ±0.72	372.46$^{ex2\alpha}$ ±0.72	372.46$^{ex2\alpha}$ ±0.72	372.46$^{dx2\alpha}$ ±0.72
	60	300.10$^{dz1\beta}$ ±1.00	290.96$^{cy1\beta}$ ±0.91	284.56$^{cx1\beta}$ ±0.83	296.49 $^{dz1\alpha}$ ±0.23	286.15$^{dy1\alpha}$ ±0.78	281.29$^{cx1\alpha}$ ±0.23
	120	276.71$^{cz1\beta}$ ±0.17	271.07$^{by1\beta}$ ±0.81	269.87$^{bx1\beta}$ ±0.42	274.55$^{cz1\alpha}$ ±0.41	269.71$^{cy1\alpha}$ ±0.81	267.19$^{bx1\alpha}$ ±0.85
	180	272.42$^{bz1\beta}$ ±0.13	266.36$^{ay1\beta}$ ±0.28	264.36$^{ax1\beta}$ ±0.06	271.63$^{bz1\alpha}$ ±0.45	264.30$^{by1\alpha}$ ±0.29	261.32$^{ax1\alpha}$ ±1.04
	240	270.67$^{az1\beta}$ ±0.04	265.44$^{ay1\beta}$ ±0.04	263.54$^{ax1\beta}$ ±0.32	269.06$^{az1\alpha}$ ±0.54	262.79$^{ay1\alpha}$ ±0.57	260.20$^{ax1\alpha}$ ±1.00

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin bin tane ağırlıkları süreye bağlı olarak önemli bir azalış görülmüştür ($p \leq 0.05$). Sıcaklık ve

ultrason gücü arttıkça kurutma süresi kısaldığından dolayı bin tane ağırlıklarının da azaldığı gözlemlenmiştir. Vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin bin tane ağırlıkları, sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısır numunelerine göre daha hızlı azalma göstermiştir.

Ampah (2011), kurutma sırasında börülce numunesinin nemi %19.00'dan %9.58'a azaldığında börülce numunesinin bin tane ağırlığı da 132.85 g'dan 120.13 g'a azaldığını rapor etmiştir. Alibaş (2012), yapmış olduğu bir çalışmada enginar dilimlerini 50 ºC'de 300 dakika, 75 ºC'de 210 dakika ve 100 ºC'de 130 dakika kuruma sağlamış olup, sıcaklığın artması ile kurutma süresinin kısaldığını aynı zamanda sıcaklığa bağlı olarak enginar dilimlerinin ağırlıklarının azaldığını rapor etmişlerdir. Yapılan araştırmalar bu çalışma ile uyum içerisindedir.

4.3.3. Hektolitre ağırlığı değişimi

Mısır tanesinin nakliye ve depolama işlemlerinde hektolitre ağırlığı önemli olduğu ve kullanılan bir nitelik olduğu rapor edilmiştir (Yuan ve Flores, 1996).

Hektolitre ağırlığını etkileyen faktörler; tane boyutu, şekli, kabuk yapısı, nem içeriği, yabancı madde oranı, kırık taneler ve özgül ağırlıktır. Dolgun ve sert endosperme sahip mısırlar yüksek hektolitre ağırlığına sahip, tam olgunlaşmamış mısırlar ise düşük hektolitre ağırlığına sahiptir (Rooney ve Suhendro, 2000).

Çizelge 4.7.'de mısır farklı ön işlem uygulaması ve farklı sıcaklıklarda sıcak havalı ve vakum kurutucuda 240 dakika boyunca kurutulup, kurutma sırasındaki hektolitre ağırlığı verilmiştir. Sıcaklık, ultrason gücü, süre ve kurutucu değişimi kurutma sırasındaki mısır numunelerinin hektolitre ağırlığının azalması istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0.05$).

Çizelge 4.7. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Hektolitre Ağırlığı kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	70.59$^{ex2\alpha}$ ±0.01	70.59$^{ex2\alpha}$ ±0.01	70.59$^{ex2\alpha}$ ±0.01	70.59$^{ex2\alpha}$ ±0.01	70.59$^{ex2\alpha}$ ±0.01	70.59$^{ex2\alpha}$ ±0.01
	60	66.87$^{dz3\beta}$ ±0.00	64.09$^{dy3\beta}$ ±0.01	63.04$^{dx3\beta}$ ±0.01	64.18$^{dz3\alpha}$ ±0.09	62.11$^{dy2\alpha}$ ±0.00	60.25$^{dx3\alpha}$ ±0.00
	120	65.14$^{cz3\beta}$ ±0.00	61.88$^{cy3\beta}$ ±0.00	59.16$^{cx3\beta}$ ±0.01	60.15$^{cz3\alpha}$ ±0.01	58.98$^{cy2\alpha}$ ±0.00	56.99$^{cx3\alpha}$ ±0.01
	180	64.10$^{bz3\beta}$ ±0.01	60.80$^{by3\beta}$ ±0.01	58.17$^{bx3\beta}$ ±0.00	59.24$^{bz3\alpha}$ ±0.01	57.94$^{by3\alpha}$ ±0.00	55.81$^{bx3\alpha}$ ±0.01
	240	63.45$^{az3\beta}$ ±0.01	59.13$^{ay3\beta}$ ±0.01	57.28$^{ax3\beta}$ ±0.00	58.49$^{az3\alpha}$ ±0.01	56.89$^{ay3\alpha}$ ±0.00	54.97$^{ax3\alpha}$ ±0.00
%50 US	0	69.89$^{ex21\alpha}$ ±0.56	69.89$^{ex21\alpha}$ ±0.56	69.89$^{ex21\alpha}$ ±0.56	69.89$^{ex21\alpha}$ ±0.56	69.89$^{ex21\alpha}$ ±0.56	69.89$^{ex21\alpha}$ ±0.56
	60	65.63$^{dz2\beta}$ ±0.00	63.61$^{dy2\beta}$ ±0.01	62.14$^{dx2\beta}$ ±0.07	63.51$^{dz2\alpha}$ ±0.01	62.11$^{dy2\alpha}$ ±0.00	59.97$^{dx2\alpha}$ ±0.00
	120	63.98$^{cz2\beta}$ ±0.01	60.43$^{cy2\beta}$ ±0.01	58.86$^{cx2\beta}$ ±0.01	59.73$^{cz2\alpha}$ ±0.01	58.98$^{cy2\alpha}$ ±0.01	55.91$^{cx2\alpha}$ ±0.01
	180	62.40$^{bz2\beta}$ ±0.01	59.27$^{by2\beta}$ ±0.00	57.04$^{bx2\beta}$ ±0.01	58.46$^{bz2\alpha}$ ±0.07	56.98$^{by2\alpha}$ ±0.03	54.44$^{bx2\alpha}$ ±0.02
	240	61.00$^{az2\beta}$ ±0.00	58.00$^{ay2\beta}$ ±0.01	56.01$^{ax2\beta}$ ±0.01	57.63$^{az2\alpha}$ ±0.17	55.81$^{ay2\alpha}$ ±0.02	53.84$^{ax2\alpha}$ ±0.02
%100 US	0	68.76$^{ex1\alpha}$ ±0.61	68.76$^{dx1\alpha}$ ±0.61	68.76$^{dx1\alpha}$ ±0.61	68.76$^{ex1\alpha}$ ±0.61	68.76$^{ex1\alpha}$ ±0.61	68.76$^{ex1\alpha}$ ±0.61
	60	64.69$^{dz1\beta}$ ±0.00	62.79$^{cy1\beta}$ ±0.00	61.97$^{cx1\beta}$ ±0.00	62.42$^{dz1\alpha}$ ±0.08	60.29$^{dy1\alpha}$ ±0.00	58.76$^{dx1\alpha}$ ±0.01
	120	62.15$^{cz1\beta}$ ±0.00	59.92$^{by1\beta}$ ±0.01	57.84$^{bx1\beta}$ ±0.01	58.86$^{cz1\alpha}$ ±0.01	56.91$^{cy1\alpha}$ ±0.00	54.74$^{cx1\alpha}$ ±0.01
	180	61.07$^{bz1\beta}$ ±0.00	58.19$^{ay1\beta}$ ±0.01	56.21$^{ax1\beta}$ ±0.00	57.96$^{bz1\alpha}$ ±0.01	55.98$^{by1\alpha}$ ±0.00	53.88$^{bx1\alpha}$ ±0.00
	240	60.02$^{az1\beta}$ ±0.00	57.62$^{ay1\beta}$ ±0.00	55.56$^{ax1\beta}$ ±0.01	56.68$^{az1\alpha}$ ±0.00	54.99$^{ay1\alpha}$ ±0.00	52.72$^{ax1\alpha}$ ±0.01

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin hektolitre ağırlıkları süreye bağlı olarak önemli azalma görülmüştür ($p \leq 0.05$). Sıcaklık ve

ultrason gücü arttıkça kurutma süresi kısaldığından dolayı hektolitre ağırlıklarının da azaldığı gözlemlenmiştir. Vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin hektolitre ağırlıkları ve sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısır numunelerine göre daha hızlı azalma göstermiştir. Yapılan bir çalışmada 25-100 ºC sıcaklıklarda kurutulan mısır tanelerinde sıcaklık arttıkça hektolitre ağırlığının azaldığı, saptanmıştır (Peplinski ve ark., 1994). Yapılan araştırma bu çalışma ile uyum içerisindedir.

4.3.4. Hunter renk (L*, a* ve b*) değerlerinin değişimi

Renk gıdalarda önemli kalite parametrelerden bir tanesidir. Renk ölçümü sırasında L*, a*, b* değerleri 3 boyutlu koordinat sistemi ile verilmekte ve bu koordinat sisteminde L* değeri dikey eksende parlaklıktan koyuluğa gidişi belirtirken +a* kırmızılığa, -a* yeşilliğe, +b* sarılığa, -b* ise maviliğe gidişi göstermektedir (Gould, 1977).

Çizelge 4.8.'de mısır farklı ön işlem uygulaması ve farklı sıcaklıklarda sıcak havalı ve vakum kurutucuda ki renk analizi olarak L* değerleri verilmiştir. Normal ıslatma ve %100 US ön işlem ve tüm sıcaklık uygulamalarında sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısır numunelerinde kurutma süresi artıkça L* değerlerindeki azalış anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). %50 US ön işlem uygulamasında 80 ºC'de sıcak havalı kurutulan mısır numunelerinin L* değerindeki azalma istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p\leq0.05$) 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin L* değerlerindeki azalma önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Normal ıslatma ve %50 US ön işlem uygulamalarında tüm sıcaklıktaki vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin kurutma süresi arttıkça L* değerlerindeki azalma anlamlı görülürken ($p\leq0.05$), %100 US ön işlem uygulamasındaki L* değeri kurutma süresi arttıkça azalma olmasına rağmen istatistiksel açıdan anlamlı görülmemiştir ($p>0.05$) (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.8. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Hunter Renk L* kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	59.74$^{ax1\alpha}$ ±2.75	59.74$^{ax1\alpha}$ ±2.75	59.74$^{ax1\alpha}$ ±2.75	59.74$^{ax1\alpha}$ ±2.75	59.74$^{ax1\alpha}$ ±2.75	59.74$^{ax1\alpha}$ ±2.75
	60	62.38$^{ax1\beta}$ ±2.02	63.55$^{ax1\alpha}$ ±0.08	63.50$^{ax1\alpha}$ ±5.37	61.03$^{ax1\alpha}$ ±0.32	63.69$^{bax1\alpha}$ ±0.37	63.56$^{bx1\alpha}$ ±1.61
	120	62.35$^{ax1\beta}$ ±0.028	61.30$^{ax1\alpha}$ ±4.33	64.41$^{ax1\beta}$ ±0.19	65.70$^{bx1\alpha}$ ±0.88	61.42$^{bax1\alpha}$ ±1.07	63.32$^{bax1\alpha}$ ±2.04
	180	64.40$^{ax1\beta}$ ±1.53	64.42$^{ax1\beta}$ ±1.07	63.59$^{ax1\beta}$ ±0.82	62.45$^{bax1\alpha}$ ±1.67	63.81$^{bax1\alpha}$ ±1.44	62.71$^{bax1\alpha}$ ±2.45
	240	61.70$^{ax1\beta}$ ±1.49	62.42$^{ax1\beta}$ ±2.48	60.73$^{ax1\beta}$ ±0.71	65.71$^{bx1\alpha}$ ±0.63	65.08$^{bx1\alpha}$ ±1.55	62.97$^{bax1\alpha}$ ±1.12
%50 US	0	58.94$^{ax1\alpha}$ ±2.33	58.94$^{ax1\alpha}$ ±2.33	58.94$^{ax1\alpha}$ ±2.33	58.94$^{ax1\alpha}$ ±2.33	58.94$^{ax1\alpha}$ ±2.33	58.94$^{ax1\alpha}$ ±2.33
	60	62.12$^{cbax1\beta}$ ±0.50	64.81$^{ax1\beta}$ ±4.40	63.45$^{ax1\beta}$ ±2.72	60.19$^{bax1\alpha}$ ±1.68	63.69$^{ax1\alpha}$ ±0.37	62.11$^{bax1\alpha}$ ±2.96
	120	65.29$^{cx1\beta}$ ±0.31	63.01$^{ax1\beta}$ ±2.92	62.48$^{ax1\beta}$ ±0.49	64.14$^{bx1\alpha}$ ±0.81	61.42$^{ax1\alpha}$ ±1.07	63.81$^{bx1\alpha}$ ±0.36
	180	63.76$^{cbx1\beta}$ ±2.28	61.86$^{ax1\beta}$ ±0.04	60.70$^{ax1\beta}$ ±0.95	61.76$^{bax1\alpha}$ ±1.22	60.63$^{ax1\alpha}$ ±5.08	63.86$^{bx1\alpha}$ ±1.18
	240	60.83$^{bax1\beta}$ ±0.14	61.40$^{ax1\beta}$ ±1.56	59.61$^{ax1\beta}$ ±0.11	64.00$^{bx1\alpha}$ ±1.98	59.93$^{ax1\alpha}$ ±0.59	61.61$^{bax1\alpha}$ ±0.59
%100 US	0	61.78$^{ax1\alpha}$ ±0.90	61.47$^{ax1\alpha}$ ±0.11	57.19$^{ax1\alpha}$ ±4.35	61.13$^{ax1\alpha}$ ±3.08	61.13$^{ax1\alpha}$ ±3.08	61.13$^{ax1\alpha}$ ±3.08
	60	64.50$^{ax1\beta}$ ±0.44	60.70$^{ax1\alpha}$ ±4.60	61.60$^{ax1\beta}$ ±2.98	63.68$^{ax1\alpha}$ ±0.69	60.70$^{ax1\alpha}$ ±1.51	64.17$^{ax1\alpha}$ ±1.01
	120	66.11$^{ax1\beta}$ ±0.56	62.44$^{ax1\beta}$ ±1.82	64.44$^{ax1\beta}$ ±2.07	62.88$^{ax1\alpha}$ ±2.78	60.99$^{ax1\alpha}$ ±2.01	62.02$^{ax1\alpha}$ ±1.77
	180	65.37$^{ax1\beta}$ ±3.54	63.31$^{ax1\beta}$ ±2.45	59.33$^{ax1\alpha}$ ±4.63	60.32$^{ax1\alpha}$ ±2.75	61.05$^{ax1\alpha}$ ±2.88	59.95$^{ax1\alpha}$ ±3.97
	240	61.65$^{ax1\beta}$ ±4.87	60.19$^{ax1\beta}$ ±4.10	57.79$^{ax1\beta}$ ±2.96	64.40$^{ax1\alpha}$ ±0.00	61.94$^{ax1\alpha}$ ±2.71	61.64$^{ax1\alpha}$ ±1.28

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Çizelge 4.9.'da mısır tanelerinin tüm ön işlem, sıcaklık ve kurutma koşullarında kurutma süresi arttıkça a* değerindeki artış istatistiksel açıdan önemli görülmemiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.9. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Hunter Renk a* kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	13.94$^{ax1\alpha}$ ±1.93	13.94$^{ax1\alpha}$ ±1.93	13.94$^{ax1\alpha}$ ±1.93	13.94$^{ax1\alpha}$ ±1.94	13.94$^{ax1\alpha}$ ±1.94	13.94$^{ax1\alpha}$ ±1.94
	60	14.82$^{ax1\alpha}$ ±1.92	14.55$^{ax1\beta}$ ±1.68	12.48$^{ax1\beta}$ ±0.18	14.49$^{ax1\alpha}$ ±2.57	13.10$^{ax1\alpha}$ ±2.15	10.58$^{ax1\alpha}$ ±0.58
	120	14.64$^{ax1\beta}$ ±0.85	14.25$^{ax1\beta}$ ±2.23	14.18$^{ax1\beta}$ ±2.74	11.76$^{ax1\alpha}$ ±1.24	15.46$^{ax1\alpha}$ ±0.55	12.74$^{ax1\alpha}$ ±1.22
	180	10.50$^{ax1\beta}$ ±0.49	12.82$^{ax1\alpha}$ ±1.36	14.75$^{ax1\beta}$ ±3.69	12.21$^{ax1\alpha}$ ±1.11	12.97$^{ax1\alpha}$ ±1.42	11.49$^{ax1\alpha}$ ±1.45
	240	14.19$^{ax1\beta}$ ±1.16	14.21$^{ax1\beta}$ ±0.49	14.33$^{ax1\beta}$ ±0.59	14.20$^{ax1\alpha}$ ±1.40	14.29$^{ax1\alpha}$ ±1.11	14.21$^{ax1\alpha}$ ±0.46
%50 US	0	12.46$^{ax1\alpha}$ ±1.18	12.46$^{ax1\alpha}$ ±1.18	12.46$^{ax1\alpha}$ ±1.18	12.46$^{ax1\alpha}$ ±1.18	12.46$^{ax1\alpha}$ ±1.18	12.46$^{ax1\alpha}$ ±1.18
	60	12.90$^{ax1\beta}$ ±0.26	12.36$^{ax1\beta}$ ±0.84	11.28$^{ax1\beta}$ ±0.79	13.26$^{ax1\alpha}$ ±0.28	13.10$^{ax1\alpha}$ ±2.15	12.99$^{ax1\alpha}$ ±1.80
	120	11.34$^{ax1\beta}$ ±1.00	13.74$^{ax1\beta}$ ±3.19	13.21$^{ax1\beta}$ ±0.13	13.84$^{ax1\alpha}$ ±1.72	15.46$^{ax1\alpha}$ ±0.55	10.97$^{ax1\alpha}$ ±2.12
	180	12.43$^{ax1\beta}$ ±2.17	10.68$^{ax1\beta}$ ±0.00	14.26$^{ax1\beta}$ ±0.43	14.61$^{ax1\alpha}$ ±1.73	12.66$^{ax1\alpha}$ ±1.12	10.98$^{ax1\alpha}$ ±1.27
	240	13.35$^{ax1\beta}$ ±0.08	13.13$^{ax1\beta}$ ±3.23	11.92$^{ax1\beta}$ ±3.70	11.73$^{ax1\alpha}$ ±0.91	11.95$^{ax1\alpha}$ ±2.41	11.02$^{ax1\alpha}$ ±2.85
%100 US	0	12.36$^{ax1\alpha}$ ±0.28	12.12$^{ax1\alpha}$ ±0.15	12.51$^{ax1\alpha}$ ±2.59	12.08$^{ax1\alpha}$ ±2.12	12.08$^{ax1\alpha}$ ±2.12	12.08$^{ax1\alpha}$ ±2.12
	60	13.20$^{ax1\beta}$ ±1.16	14.93$^{ax1\beta}$ ±1.15	14.27$^{ax1\beta}$ ±1.82	11.47$^{ax1\alpha}$ ±0.22	13.04$^{ax1\alpha}$ ±0.07	13.55$^{ax1\alpha}$ ±0.45
	120	13.77$^{ax1\beta}$ ±1.53	13.53$^{ax1\beta}$ ±4.40	11.69$^{ax1\beta}$ ±1.56	12.77$^{ax1\alpha}$ ±0.27	11.37$^{ax1\alpha}$ ±0.32	14.58$^{ax1\alpha}$ ±2.57
	180	13.08$^{ax1\beta}$ ±0.01	12.72$^{ax1\beta}$ ±1.03	14.07$^{ax1\beta}$ ±0.23	11.86$^{ax1\alpha}$ ±1.40	13.24$^{ax1\alpha}$ ±0.07	14.80$^{ax1\alpha}$ ±1.17
	240	12.94$^{ax1\beta}$ ±1.15	13.14$^{ax1\beta}$ ±1.12	14.07$^{ax1\beta}$ ±3.14	12.31$^{ax1\alpha}$ ±1.48	12.08$^{ax1\alpha}$ ±0.74	10.19$^{ax1\alpha}$ ±0.29

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Çizelge 4.10.'da mısır farklı ön işlem uygulaması ve farklı sıcaklıklarda sıcak havalı ve vakum kurutucuda 240 dakika boyunca kurutulup 60 dakikada bir renk analizi olarak b* değerlerine bakılmıştır. Süre arttıkça, normal ıslatma, %50 US ve

%100 US ıslatma sıcak havalı ve vakum kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC'de kurutulan mısır numunelerinin b* değerlerindeki azalış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Çizelge 4.10. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Hunter Renk b* kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	34.01$^{ax1\alpha}$ ±4.92	34.01$^{ax1\alpha}$ ±4.92	34.01$^{ax1\alpha}$ ±4.92	34.01$^{ax1\alpha}$ ±4.92	34.01$^{ax1\alpha}$ ±4.92	34.01$^{ax1\alpha}$ ±4.92
	60	33.37$^{ax1\beta}$ ±3.87	34.75$^{ax1\beta}$ ±3.48	28.69$^{ax1\beta}$ ±3.13	34.38$^{ax1\alpha}$ ±4.04	30.36$^{ax1\alpha}$ ±3.37	30.29$^{ax1\alpha}$ ±2.74
	120	35.54$^{ax1\beta}$ ±1.73	31.22$^{ax1\beta}$ ±7.50	36.48$^{ax1\beta}$ ±6.98	30.61$^{ax1\alpha}$ ±8.17	35.19$^{ax1\alpha}$ ±1.65	32.50$^{ax1\alpha}$ ±3.21
	180	28.34$^{ax1\beta}$ ±2.59	30.36$^{ax1\beta}$ ±1.18	33.34$^{ax1\beta}$ ±5.72	33.60$^{ax1\alpha}$ ±1.96	33.62$^{ax1\alpha}$ ±4.99	30.02$^{ax1\alpha}$ ±0.95
	240	30.71$^{ax1\beta}$ ±0.19	31.14$^{ax1\beta}$ ±0.39	27.22$^{ax1\beta}$ ±2.21	32.35$^{ax1\alpha}$ ±4.00	31.55$^{ax1\alpha}$ ±1.98	30.36$^{ax1\alpha}$ ±0.31
%50 US	0	34.74$^{ax1\alpha}$ ±2.51	34.54$^{ax1\alpha}$ ±2.51	34.24$^{ax1\alpha}$ ±2.51	34.24$^{ax1\alpha}$ ±2.52	34.44$^{ax1\alpha}$ ±2.52	34.34$^{ax1\alpha}$ ±2.52
	60	31.36$^{ax1\alpha}$ ±2.97	31.32$^{ax1\alpha}$ ±5.92	28.90$^{ax1\alpha}$ ±3.44	31.11$^{ax1\alpha}$ ±0.37	30.36$^{ax1\alpha}$ ±3.37	29.48$^{ax1\alpha}$ ±5.04
	120	29.74$^{ax1\beta}$ ±0.42	33.14$^{ax1\beta}$ ±8.24	30.52$^{ax1\beta}$ ±1.04	33.77$^{ax1\alpha}$ ±1.89	35.19$^{ax1\alpha}$ ±1.65	30.00$^{ax1\alpha}$ ±2.67
	180	31.60$^{ax1\beta}$ ±9.31	27.90$^{ax1\beta}$ ±0.09	29.52$^{ax1\beta}$ ±1.56	37.76$^{ax1\alpha}$ ±5.39	29.87$^{ax1\alpha}$ ±3.89	32.33$^{ax1\alpha}$ ±1.35
	240	31.81$^{ax1\alpha}$ ±0.33	31.45$^{ax1\alpha}$ ±8.73	27.44$^{ax1\alpha}$ ±6.57	33.13$^{ax1\alpha}$ ±5.49	30.51$^{ax1\alpha}$ ±4.21	28.81$^{ax1\alpha}$ ±1.95
%100 US	0	34.70$^{ax1\alpha}$ ±1.16	34.53$^{ax1\alpha}$ ±0.47	32.15$^{ax1\alpha}$ ±10.88	34.34$^{ax1\alpha}$ ±5.82	34.34$^{ax1\alpha}$ ±5.82	34.04$^{ax1\alpha}$ ±5.82
	60	31.56$^{ax1\alpha}$ ±0.17	34.56$^{ax1\alpha}$ ±8.03	34.89$^{ax1\alpha}$ ±5.78	30.42$^{ax1\alpha}$ ±2.67	33.25$^{ax1\alpha}$ ±2.15	33.77$^{ax1\alpha}$ ±0.08
	120	33.86$^{ax1\beta}$ ±4.42	33.38$^{ax1\beta}$ ±5.85	30.18$^{ax1\beta}$ ±2.15	31.95$^{ax1\alpha}$ ±3.39	29.05$^{ax1\alpha}$ ±3.45	33.03$^{ax1\alpha}$ ±6.66
	180	30.38$^{ax1\beta}$ ±4.44	31.81$^{ax1\beta}$ ±1.64	29.49$^{ax1\beta}$ ±4.70	28.51$^{ax1\alpha}$ ±3.49	32.75$^{ax1\alpha}$ ±0.95	31.81$^{ax1\alpha}$ ±4.20
	240	29.41$^{ax1\beta}$ ±0.75	30.62$^{ax1\beta}$ ±6.26	29.48$^{ax1\beta}$ ±7.01	28.36$^{ax1\alpha}$ ±0.39	30.41$^{ax1\alpha}$ ±1.52	26.80$^{ax1\alpha}$ ±0.14

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Ultrason etkisi mısır numunelerindeki renk değerlerini etkilemiş fakat istatistiksel açıdan önemli bir fark göstermemiştir ($p>0.05$). Sıcaklık arttıkça, mısır numunelerinin renk (L*, a*, b*) değişimi önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Kurutucu

çeşidi (sıcak havalı ve vakum) mısır numunelerindeki renk L* değerindeki azalışı, a* değerindeki artışı ve b* değerindeki azalışı, önemli olarak etkilemiştir ($p \leq 0.05$) (Çizelge 4.8.-4.10.).

Mohammadi ve ark. (2008), kivi dilimlerini sıcak havalı kurutucuda kuruttuklarında, kurutuma sıcaklığının artması ile a* değeri artarken, L* ve b* değerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Chen ve ark. (2016), USV (ultrason destekli vakum kurutucu) ile kurutulmuş havuç dilimlerinin renk değerlerinin vakum ile kurutulanlara göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Krokida ve ark. (2001), havuç örneklerini 70°C'de sıcak hava kurutma yöntemiyle kuruttuklarında, renk değerlerinden L* değerinin azaldığını, a* değerinin değişmediğini ve b* değerinin ise arttığını ifade etmişlerdir.

Odjo ve ark. (2012), mısırın kurutulması sırasında kırmızılık (a*) ve sarılık (b*) parametrelerinin arttığında parlaklığın (L*) azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca, L*, a* ve b* değerleri kurutma sırasında 60 ^{o}C ve 80 ^{o}C'de kademeli olarak değiştiğini ifade etmişlerdir. Özdemir ve Devres (2000), renk değişim oranının sıcaklık ve zamandan önemli ölçüde etkilendiğini bildirmişlerdir. Benzer bir sonuç, pirinç kaynatma sırasında işlem süresindeki artışın parlaklığını azalttığını ve kırmızılığını, sarılığını arttırdığını gösteren Bhattacharya (1996), tarafından da bulunmuştur.

4.3.5. Tekstür (sertlik) değerlerinin değişimi

Çizelge 4.11.'de mısır örneklerinin kurutma sırasındaki tekstür değerlerine bakılmıştır. Sıcak havalı ve vakum kurutucularda, tüm ön işlem ve sıcaklıklarda kurutulan mısır örneklerinde, süre arttıkça tekstür değerindeki artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$).

Çizelge 4.11. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Tekstür (F_{max}, N) kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	241.24$^{ax1\alpha}$ ±16.90	241.24$^{ax1\alpha}$ ±16.90	241.24$^{ax1\alpha}$ ±16.90	241.24$^{ax1\alpha}$ ±16.91	241.24$^{ax1\alpha}$ ±16.91	241.24$^{ax1\alpha}$ ±16.91
	60	281.44$^{abx1\beta}$ ±27.79	288.61$^{abx1\beta}$ ±42.67	291.40$^{abx1\beta}$ ±29.80	291.38$^{bax1\alpha}$ ±45.15	293.80$^{bax1\alpha}$ ±49.16	295.66$^{bx1\alpha}$ ±17.09
	120	327.98$^{bx1\beta}$ ±31.43	337.01$^{abx1\beta}$ ±40.69	355.96$^{bcx1\beta}$ ±29.13	341.37$^{bax1\alpha}$ ±44.70	346.81$^{bax1\alpha}$ ±48.50	362.44$^{cx1\alpha}$ ±17.38
	180	348.74$^{bx1\beta}$ ±36.58	366.87$^{bx1\beta}$ ±40.22	395.84$^{cx1\beta}$ ±28.91	366.03$^{bx1\alpha}$ ±44.83	373.75$^{bx1\alpha}$ ±41.48	404.51$^{dcx1\alpha}$ ±16.33
	240	353.11$^{bx1\beta}$ ±23.04	378.34$^{bx1\beta}$ ±40.34	410.80$^{cx1\beta}$ ±22.17	373.81$^{bx1\alpha}$ ±44.53	388.98$^{bx1\alpha}$ ±44.96	412.39$^{dx1\alpha}$ ±16.51
%50 US	0	231.16$^{ax1\alpha}$ ±10.66	231.16$^{ax1\alpha}$ ±10.66	231.16$^{ax1\alpha}$ ±10.66	231.16$^{ax1\alpha}$ ±10.66	231.16$^{ax1\alpha}$ ±10.66	231.16$^{ax1\alpha}$ ±10.66
	60	294.17$^{bx1\beta}$ ±22.88	309.47$^{cbx1\beta}$ ±49.82	311.67$^{bax1\beta}$ ±38.01	297.23$^{bax1\alpha}$ ±37.08	311.47$^{bx1\alpha}$ ±29.37	316.06$^{bx1\alpha}$ ±11.88
	120	341.12$^{cbx1\beta}$ ±21.52	359.60$^{cx1\beta}$ ±49.64	376.53$^{cbx1\beta}$ ±38.81	348.77$^{cbx1\alpha}$ ±36.57	365.51$^{cbx1\alpha}$ ±29.39	383.82$^{cx1\alpha}$ ±12.05
	180	370.75$^{cx1\beta}$ ±22.02	385.28$^{cx1\beta}$ ±48.66	416.48$^{cx1\beta}$ ±36.54	380.69$^{cx1\alpha}$ ±36.47	398.43$^{cx1\alpha}$ ±29.25	426.78$^{dx1\alpha}$ ±11.80
	240	380.81$^{cx1\beta}$ ±21.70	395.60$^{cx1\beta}$ ±49.89	437.58$^{cx1\beta}$ ±37.29	392.31$^{cx1\alpha}$ ±36.55	412.49$^{cx1\alpha}$ ±29.76	438.68$^{dx1\alpha}$ ±11.87
%100 US	0	218.69$^{ax1\alpha}$ ±5.27	218.69$^{ax1\alpha}$ ±5.27	218.69$^{ax1\alpha}$ ±5.27	218.69$^{ax1\alpha}$ ±27.89	218.69$^{ax1\alpha}$ ±42.04	218.19$^{ax1\alpha}$ ±16.65
	60	301.78$^{bax1\alpha}$ ±31.29	321.68$^{bax1\alpha}$ ±46.10	327.69$^{bx1\alpha}$ ±18.53	305.61$^{bax1\alpha}$ ±28.60	324.26$^{bax1\alpha}$ ±42.15	329.21$^{bx1\alpha}$ ±16.17
	120	354.13$^{cbx1\beta}$ ±30.89	373.89$^{bx1\beta}$ ±46.39	392.12$^{cx1\beta}$ ±18.38	361.62$^{cx1\alpha}$ ±28.60	380.48$^{bx1\alpha}$ ±41.99	397.81$^{cx1\alpha}$ ±15.91
	180	389.54$^{cx1\beta}$ ±13.65	403.97$^{bx1\beta}$ ±49.48	435.04$^{dcx1\beta}$ ±17.83	397.51$^{cx1\alpha}$ ±28.61	414.13$^{bx1\alpha}$ ±42.41	442.21$^{dx1\alpha}$ ±16.64
	240	397.49$^{cx1\beta}$ ±13.87	414.60$^{bx1\beta}$ ±49.82	449.97$^{dx1\beta}$ ±17.89	410.49$^{cx1\alpha}$ ±28.01	429.65$^{bx1\alpha}$ ±42.89	458.62$^{dx1\alpha}$ ±16.13

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Çizelge 4.11.'de sıcaklık değişimi, normal ıslatma, %50 US ve %100 US ıslatma sıcak havalı ve vakum kurutucuda tüm sürelerde kurutulan mısır numunelerinde tekstür değişimi istatistiksel olarak önemligörülmemiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.11.'de ultrason etkisi, sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinde ultrason gücü arttıkça tekstür değerleri artmasına rağmen istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).

Çizelge 4.11.'de kurutucu etkisi, normal ıslatma, %50 US ıslatma 80, 90 ve 100 ºC' de kurutulan mısır örneklerinde istatistiksel olarak anlamlı görülmüştür ($p\leq0.05$).

Sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerin sertlik değerleri kurutma sırasında sıcaklık ve ultrason gücü arttıkça arttığı gözlemlenmiştir ($p\leq0.05$). Vakum kurutucuda kurutulan mısır numuneleri, sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısır numunelerine göre daha sert olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni nem içeriğin daha düşük olması ve daha hızlı kurutulmuş olabileceğini düşünmekteyiz.

Bu çalışmada kurutma süresi ve sıcaklık arttıkça tekstür değerinin de arttığı gözlemlenmiştir ($p\leq0.05$). Kurutma sırasında ise %100 US ön işleme tabi tutulmuş numunelerin tekstür değerleri en yüksektir. Literatürde mısır sertliğinin fiziksel ve biyokimyasal yönlerini tanımlayan sayısız yayın vardır. Mısır, sertliğin ve kalitenin değişkenliği ile ilgili allel varyasyonuyla belirli bir gen ailesine bağlandığı buğday ve arpadan farklı olarak, sertlikle ilgili tek bir proteine transkripsiyon gösteren sertlik genlerine sahip değildir (Morris,2002; Fox ve ark., 2007a). Mısırın fiziksel özellikleri bakımından, sertlik ve sonraki proses etkileri çekirdek büyüklüğü ve şekli, ağırlık ve yoğunluk, öğütme ve sıkıştırmaya karşı direnç ile ilişkilendirilmiştir (Fox ve ark., 2007b; Osborne, 2006). Mısırdaki sertliğe biyokimyasal katkı bakımından hem protein hem de nişasta bileşimi, mısır sertliği ile ilişkilendirilmiştir. Mısırdaki protein, toplam bileşimin yaklaşık %8-12'sini oluşturur. Protein içeriği sertlik ile ilişkilendirilmiş ve zein sınıflarındaki değişim sertlikteki farklılıklarla

ilişkilendirilmiştir (Chandrashekar ve Mazhar, 1999; Dombrink-Kurtzman, 1993; Dombrink-Kurtzman, 1994; Eyherabide ve ark., 1996; Gupta ve ark., 2003; Holding ve Larkins, 2006; Ioerger ve ark., 2007; Larkins ve ark., 1984; Lee ve ark., 2006; Mestres ve ark., 1996; Ortega ve Bates, 1983; Pratt ve ark., 1995; Robutti ve Borras, 1997; Robutti ve ark., 2000; Sanchez ve ark., 2007; Zhang ve ark., 2003). Chen ve ark. (2016), ultrason destekli vakum kurutucu ile kurutulmuş havuç dilimlerinin tekstür değerlerinin vakum ile kurutulanlara göre daha iyi olduğunu rapor etmişlerdir. Kotwaliwale ve ark. (2007) yapmış oldukları bir çalışmada istiridye mantarını kuruttuklarında, kurutma süresi ve sıcaklık arttıkça sertliğinde arttığını rapor etmişlerdir. Yapılan bir çalışmada Nuggets (Bori) numunelerinin farklı sıcaklıklarda kurutulmasında tekstür değerinin 37.76-170.51 N arasında değiştiği gözlemlenmiştir (Swami ve ark., 2007). Literatür çalışmaları incelendiğinde, bu çalışma ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

4.3.6. Su aktivitesi değişimi

Su aktivitesi, gıdaların mikrobiyal ve kimyasal bozulmasını tahmin edilmesine yardımcı olan önemli bir parametredir (Certel ve Ertugay, 1996). Su aktivitesi azaldıkça gıdalardaki bozulma riski de azalmaktadır.

Su aktivitesi (a_w), ürün mikrobiyolojik stabilitesi ve dolayısıyla güvenlik durumu hakkında bilgi veren en önemli kalite parametrelerinden biridir. Temel olarak, 0.6'nın altındaki su aktivitesi, mikrobiyolojik olarak güvenli bir biyomateryal ile karakterize edilir, böylece neredeyse tüm mikroorganizmalar (bakteri, maya, küf vb.) önemli ölçüde azalır ve negatif işlemlerin çoğu (kızarma, oksidasyon, Maillard reaksiyonu vb.) inhibe edilir.

Mısır farklı ön işlem uygulaması ve farklı sıcaklıklarda sıcak havalı ve vakum kurutucuda 240 dakika boyunca kurutma sırasında su aktivitesi değişimi incelenmiştir. Kurutma sırasında süre, sıcaklık, kurutucu ve ultrason değişimi istatistiksel olarak önemli görülmüştür ($p \leq 0.05$) (Çizelge 4.12.).

Çizelge 4.12. Mısırın sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki farklı ön işlemler, sıcaklık ve sürelerdeki Su Aktivitesi kalite parametreleri

Ön işlem	Süre (dk)	Sıcak havalı			Vakum		
		80 C	90 C	100 C	80 C	90 C	100 C
NI	0	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.01	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.01	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.01	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.01	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.01	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.01
	60	$0.84^{dz3\beta}$ ±0.00	$0.69^{dy3\beta}$ ±0.00	$0.63^{dx3\beta}$ ±0.00	$0.83^{dz3\alpha}$ ±0.00	$0.68^{dy2\alpha}$ ±0.00	$0.61^{dx3\alpha}$ ±0.00
	120	$0.74^{cz3\beta}$ ±0.00	$0.48^{cy3\beta}$ ±0.00	$0.27^{cx3\beta}$ ±0.00	$0.73^{cz3\alpha}$ ±0.00	$0.47^{cy2\alpha}$ ±0.00	$0.25^{cx3\alpha}$ ±0.00
	180	$0.35^{bz3\beta}$ ±0.00	$0.26^{by3\beta}$ ±0.00	$0.20^{bx3\beta}$ ±0.00	$0.33^{bz3\alpha}$ ±0.00	$0.24^{by3\alpha}$ ±0.00	$0.18^{bx3\alpha}$ ±0.00
	240	$0.25^{az3\beta}$ ±0.00	$0.18^{ay3\beta}$ ±0.00	$0.17^{ax3\beta}$ ±0.00	$0.23^{ay3\alpha}$ ±0.00	$0.16^{ay3\alpha}$ ±0.00	$0.15^{ax3\alpha}$ ±0.00
%50 US	0	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.97^{ex1\alpha}$ ±0.00
	60	$0.77^{dz2\beta}$ ±0.00	$0.66^{dy2\beta}$ ±0.00	$0.51^{dx2\beta}$ ±0.00	$0.75^{dz2\alpha}$ ±0.00	$0.68^{dy2\alpha}$ ±0.00	$0.50^{dx2\alpha}$ ±0.00
	120	$0.55^{cz2\beta}$ ±0.00	$0.49^{cy2\beta}$ ±0.00	$0.19^{cx2\beta}$ ±0.00	$0.53^{cz2\alpha}$ ±0.00	$0.47^{cy2\alpha}$ ±0.00	$0.18^{cx2\alpha}$ ±0.00
	180	$0.34^{bz2\beta}$ ±0.00	$0.21^{by2\beta}$ ±0.00	$0.16^{bx2\beta}$ ±0.00	$0.33^{bz2\alpha}$ ±0.00	$0.20^{by2\alpha}$ ±0.00	$0.15^{bx2\alpha}$ ±0.00
	240	$0.19^{az2\beta}$ ±0.00	$0.15^{ay2\beta}$ ±0.00	$0.13^{ax2\beta}$ ±0.00	$0.18^{az2\alpha}$ ±0.00	$0.14^{ay2\alpha}$ ±0.00	$0.12^{ax2\alpha}$ ±0.00
%100 US	0	$0.98^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.98^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.98^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.98^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.98^{ex1\alpha}$ ±0.00	$0.98^{ex1\alpha}$ ±0.00
	60	$0.74^{dz1\beta}$ ±0.00	$0.63^{dy1\beta}$ ±0.00	$0.49^{dx1\beta}$ ±0.00	$0.73^{dz1\alpha}$ ±0.00	$0.61^{dy1\alpha}$ ±0.00	$0.48^{dx1\alpha}$ ±0.00
	120	$0.53^{cz1\beta}$ ±0.00	$0.30^{cy1\beta}$ ±0.00	$0.18^{cx1\beta}$ ±0.00	$0.51^{cz1\alpha}$ ±0.00	$0.17^{cy1\alpha}$ ±0.00	$0.17^{cx1\alpha}$ ±0.00
	180	$0.31^{bz1\beta}$ ±0.00	$0.19^{by1\beta}$ ±0.00	$0.14^{bx1\beta}$ ±0.00	$0.30^{bz1\alpha}$ ±0.00	$0.15^{by1\alpha}$ ±0.00	$0.13^{bx1\alpha}$ ±0.00
	240	$0.15^{az1\beta}$ ±0.00	$0.12^{ay1\beta}$ ±0.00	$0.11^{ax1\beta}$ ±0.00	$0.14^{az1\alpha}$ ±0.00	$0.11^{ay1\alpha}$ ±0.00	$0.10^{ax1\alpha}$ ±0.00

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakam (1-3, ultrason) ve harfle (a-e, süre) gösterilen değerler ile aynı satırda farklı harfle (x-z sıcaklık, α-β kurutucu) arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir

Sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin su aktivitesi değerleri süreye bağlı olarak azaldığı görülmüştür ($p \leq 0.05$) (Çizelge 4.12.). Sıcaklık

ve ultrason gücü arttıkça nem miktarının azalmasından dolayı su aktivitesi değeri de azalmıştır. Vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin su aktivitesi değerleri, sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısır numunelerine göre daha hızlı azalma göstermiştir.

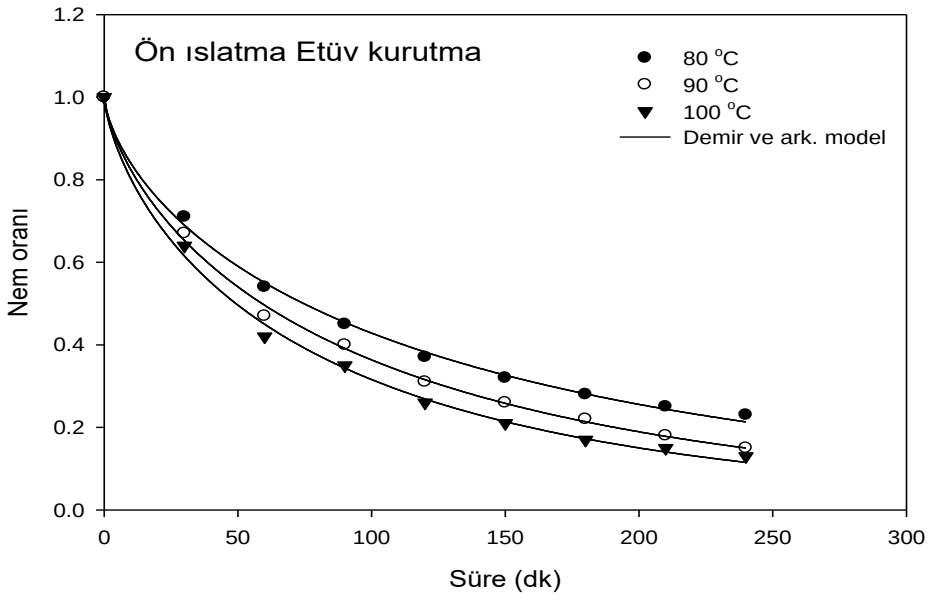
Kroehnke ve ark. (2014), yapılmış oldukları bir çalışmada patatesin kurutulması sırasında, ultrason gücü arttıkça su aktivitesi değerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

4.4. Kurutma Sırasında Mısırda Nem Oranı Değişimi ve Nem Eğrileri

4.4.1. Sıcaklık etkisi

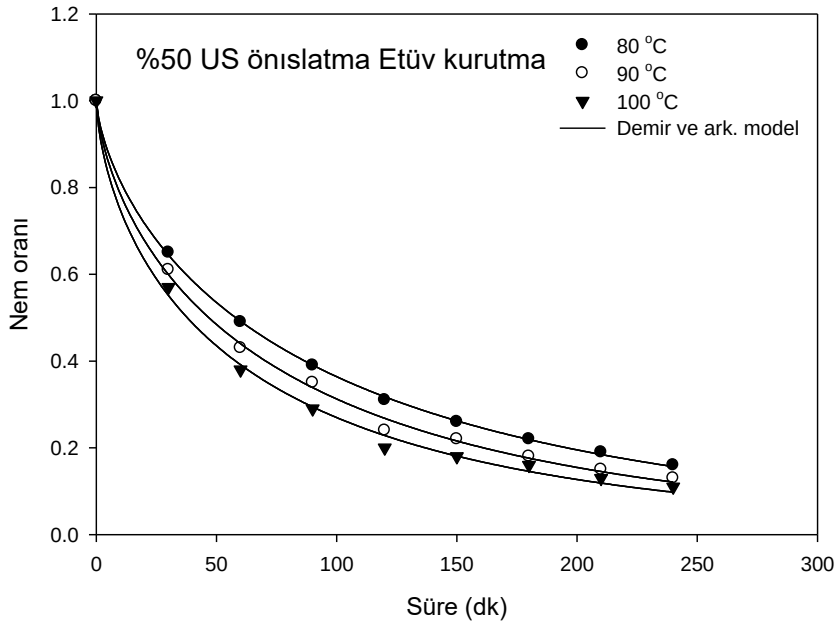
Nem oranı Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır. Sıcaklık, ultrason gücü, kurutma süresinin artması ile nem oranı azalmıştır.

Sıcak havalı ve vakumda kurutulan ön işlem uygulanmış (Normal, %50 US ve %100 US ön ıslatma) mısırların farklı sıcaklıktaki (80, 90 ve 100 ^{o}C) kurutma eğrileri (zamana karşı nem oranı) Şekil 4.5.-4.10.'de verilmiştir. Kurutma işleminin başlangıcında üç sıcaklıkta uygulanan tüm kurutma teknikleri için nem oranında hızlı bir düşüş gözlenmiştir. Fakat, bu azalma oranı kuruma ilerledikçe azalmıştır. Kinetik teoriye göre, kurutma işlemi üç aşamadan oluşur (Traffano-Schiffo ve ark., 2014). İndüksiyon periyodu olarak bilinen ilk aşamada, su akış mekanizmaları birleştirilir; ikinci aşamada, kurutma hızı bir maksimum değere ulaşır. Üçüncü aşama, kurutma hızı döneminde, iç kısımdan numunenin yüzeyine akan suyun yüzeydeki buharlaşma oranından daha küçük olduğu bir azalmayı gerektirir (Traffano-Schiffo ve ark., 2014; Toujani ve ark., 2013).



Şekil 4.5. Mısırın ön ıslatma işlemi ile sıcak havalı kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi

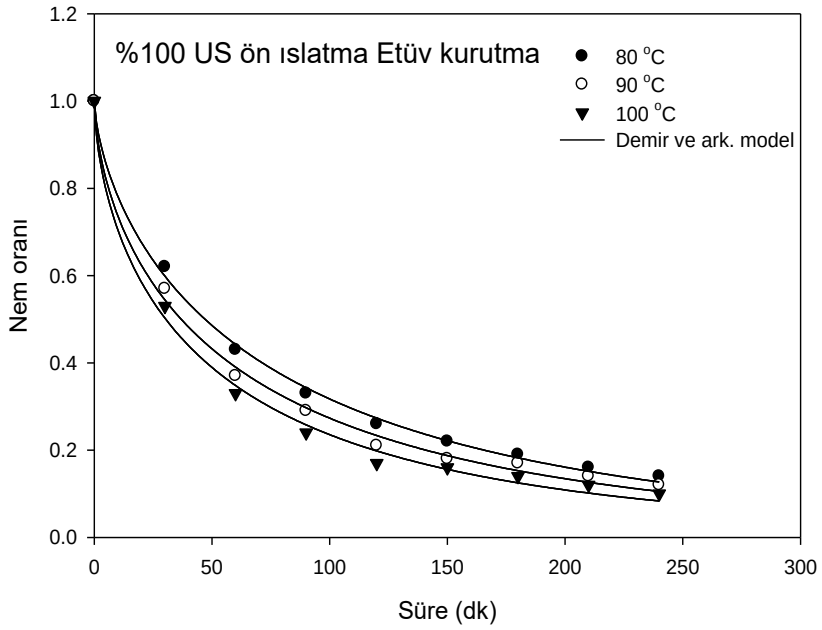
Şekil 4.5.-4.10.'de gösterildiği gibi, kurutma eğrilerinin eğimi kurutma sırasında değişmiştir. Tüm koşullarda kurutma, azalan kuruma hızı aşamasında gerçekleşmiştir. Sıcak havalı ve vakumda kurutulan ön işlem uygulanmış (Normal, %50 US ve %100 US ön ıslatma) mısır numuneleri sıcaklık arttıkça nem kaybının da arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.5.-4.10.). Tüm ön işlemlerde 100 ºC'de kurutulan mısır örneklerinin daha kısa sürede kuruduğu Şekil 4.5.-4.10.'de görülmektedir. Sıcaklık arttıkça mısır numunesinden nemin daha hızlı uzaklaşmasından dolayı yüksek sıcaklıkta mısır numuneleri daha kısa sürede kuruma gerçekleştiği düşünülmektedir.



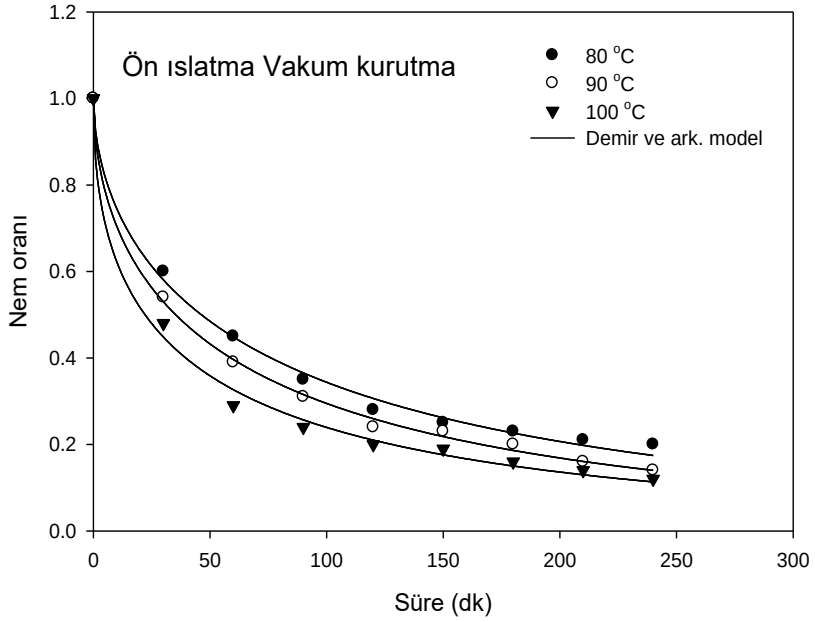
Şekil 4.6. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile sıcak havalı kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi

Yılmaz (2010), mısırı, sıcak havalı bir konveksiyon kurutma sisteminde kurutup, kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma süresinin kısaldığını belirtmiştir. Özel (2010), balkabağını farklı sıcaklıklarda kurutup kurutma kinetiğini incelediğinde, kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma süresinin kısaldığını rapor etmiştir. Başka bir çalışmada vakum kurutucuda domatesi 65 ve 75 ºC'de yapılan kurutma işlemi karşılaştırması yapıldığında 75 ºC'de yapılan kurutmanın daha kısa sürede gerçekleştiği belirtilmiştir (Şahin ve ark., 2012). Yılmaz (2016), ultrason ön işleminin elma dilimlerinin kuruma karakteristiği üzerine araştırma yaptığında,

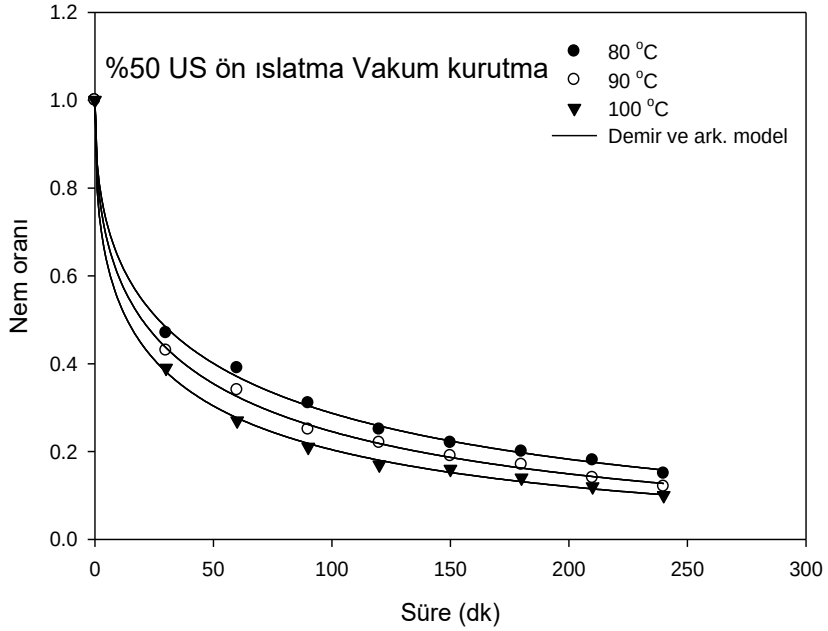
kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma süresinin kısaldığını rapor etmiştir. Correa ve ark. (2011), mısır koçanlarının kurutma işleminin matematiksel modellemesi çalışmasında, yüksek sıcaklıkta kurutulan mısır koçanlarının düşük sıcaklıkta kurutulanlara göre daha kısa sürede kuruma olduğunu belirtmişlerdir. Jena ve Das. (2007), hindistan cevizi püresinin farklı sıcaklıklarda vakum kurutucuda kuruttuklarında, sıcaklık arttıkça kurutma süresinin kısaldığını gözlemlemişlerdir. Li ve Moray 2013 yılında sarı diş mısırı örneklerinin kuruması sırasında, kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma süresinin kısaldığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada sıcaklık arttıkça kurutma süresinin daha kısa olması literatürdeki çalışmalarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.



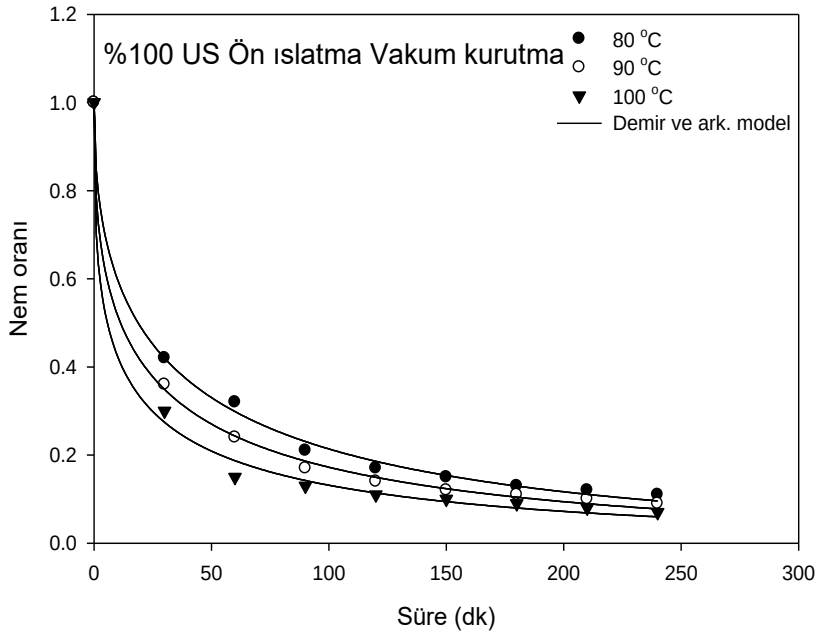
Şekil 4.7. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile sıcak havalı kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi



Şekil 4.8. Mısırın ön ıslatma işlemi ile vakum kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi



Şekil 4.9. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile vakum kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi

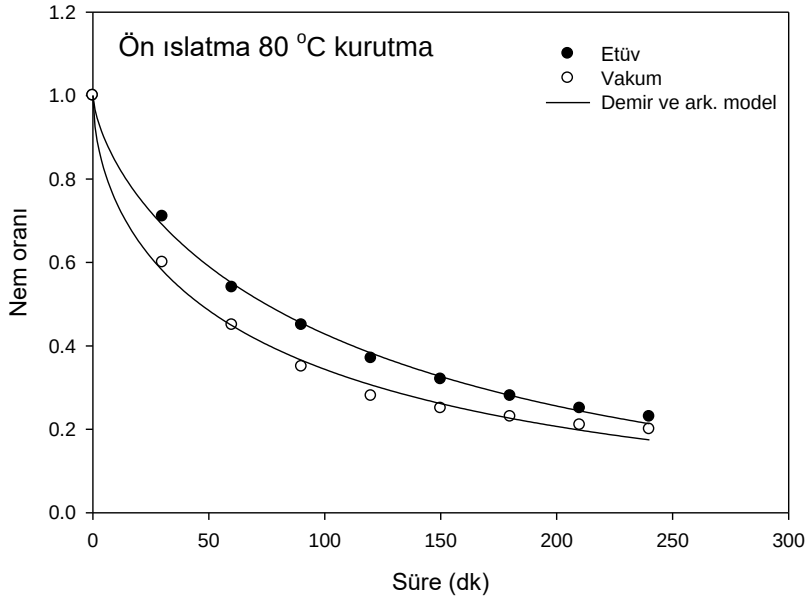


Şekil 4.10. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile vakum kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutmada nem oranı süre ilişkisi

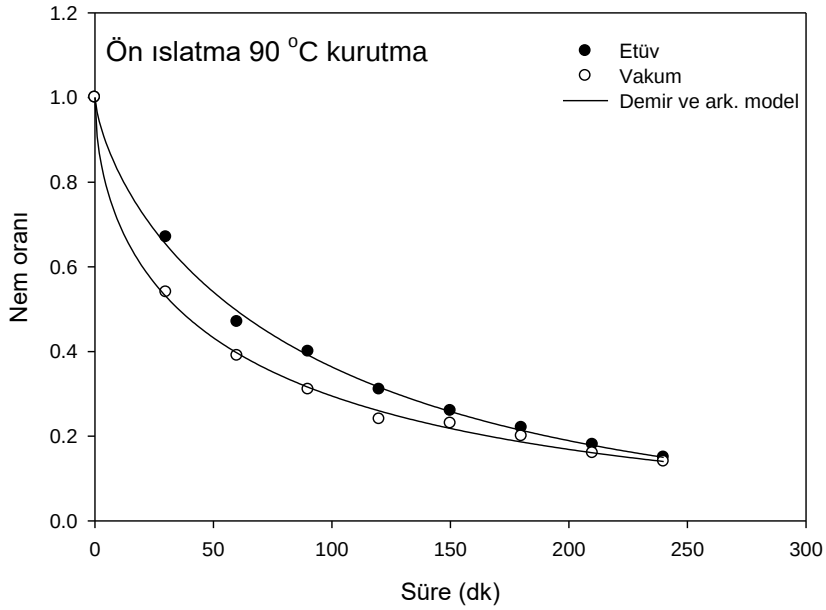
4.4.2. Kurutucu etkisi

Yapılan çalışmada ön işlem ne olursa olsun tüm sıcaklıklarda Vakum kurutucuda kurutulan numuneler Sıcak havalı kurutucuda kurutulan numunelere göre daha kısa sürede kuruduğu Şekil 4.11.-4.19.'de verilmiştir.

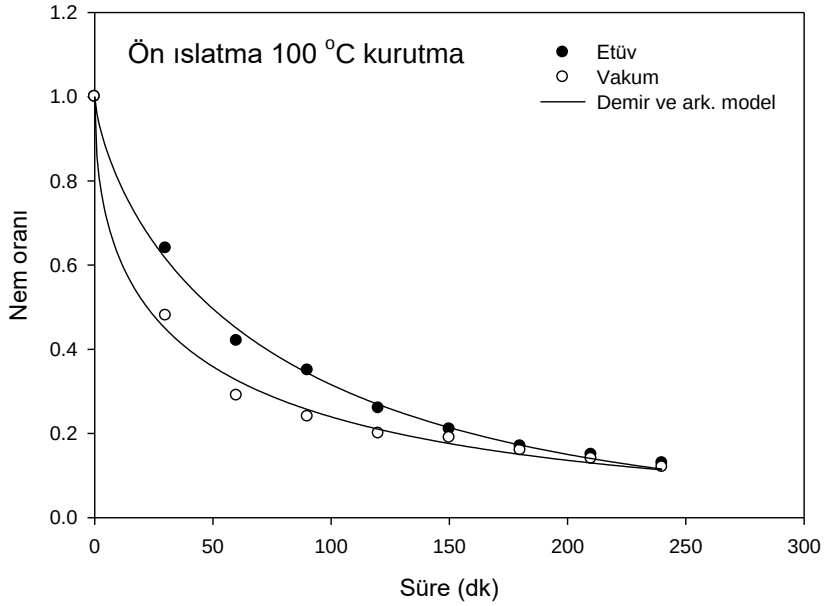
Yapılan bir çalışmada vakum kurutucuda kurutulan patlıcan örnekleri diğer kurutma yöntemlerine göre daha yüksek kuruma oranı sağladığı belirtilmiştir (Wua ve ark., 2007). Dağhan ve ark. (2018), isotu (Urfa biberi) farklı sıcaklıklarda vakum ve sıcak havalı kurutucuda kurutma kinetiğini incelediklerinde, vakum kurutucunun sıcak havalı kurutucuya göre daha kısa sürede kuruma gerçekleştiğini rapor etmişlerdir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıkta ve vakum kurutucuda kurutulan isotun, diğer sıcaklıklara göre daha kısa sürede kuruma gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada, yeşil fasulye numuneleri ultrason destekli vakum kurutma, vakum kurutucu ve sıcak havalı kurutucuda kurutulmuş ultrason destekli vakum kurutucuda kurutulan numunelerin daha kısa sürede kurutma sağladığı rapor edilmiştir. (Tekin ve ark., 2017). Literatürdeki çalışmalar, bu çalışma ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.



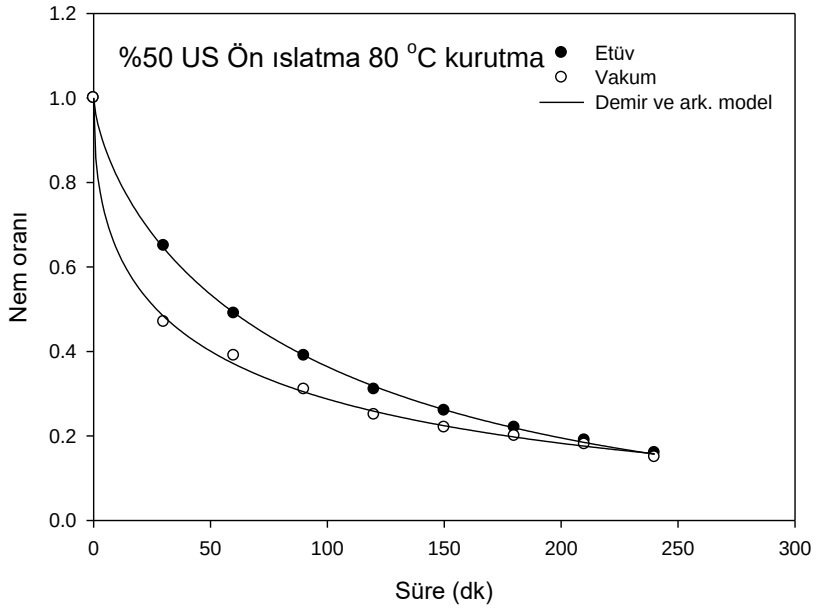
Şekil 4.11. Mısırın ön ıslatma işlemi ile 80 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi



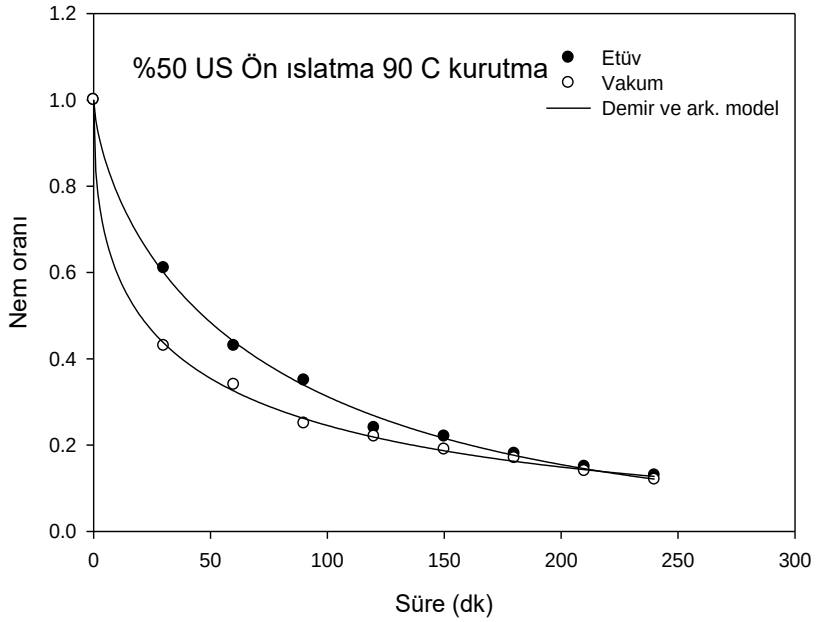
Şekil 4.12. Mısırın ön ıslatma işlemi ile 90 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi



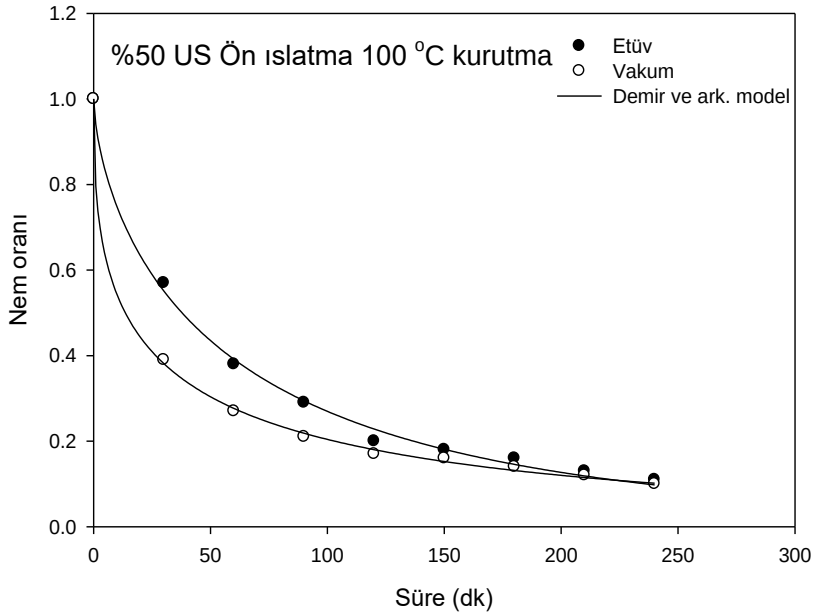
Şekil 4.13. Mısırın ön ıslatma işlemi ile 100 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi



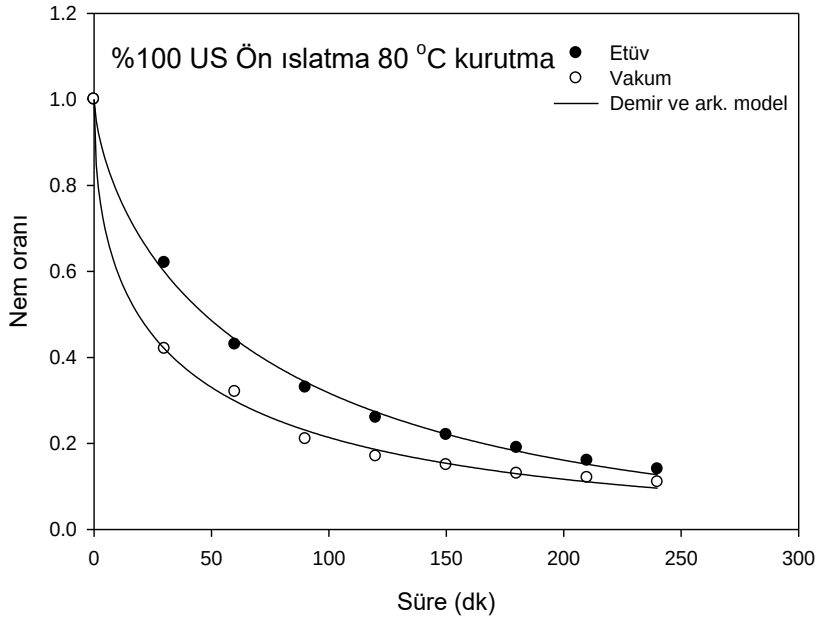
Şekil 4.14. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile 80 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi



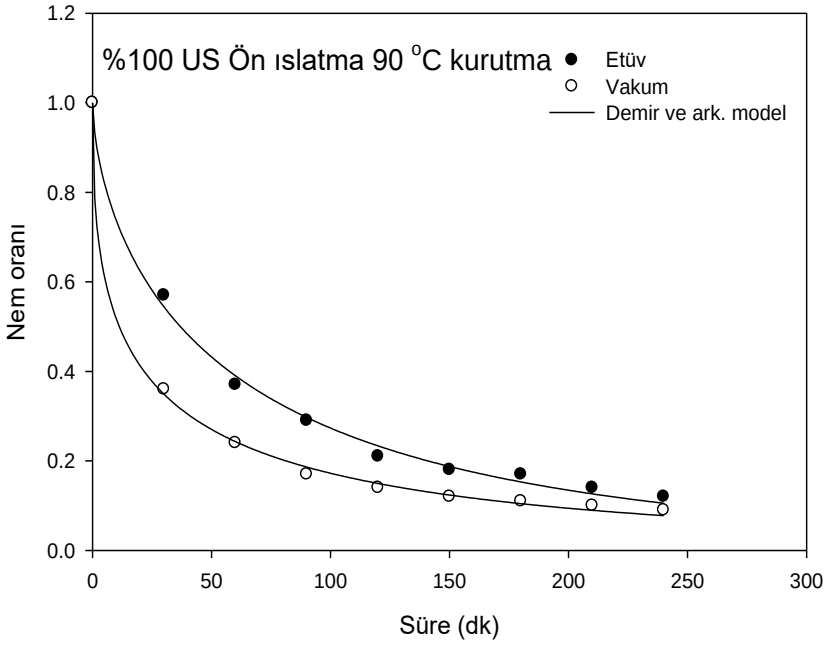
Şekil 4.15. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile 90 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi



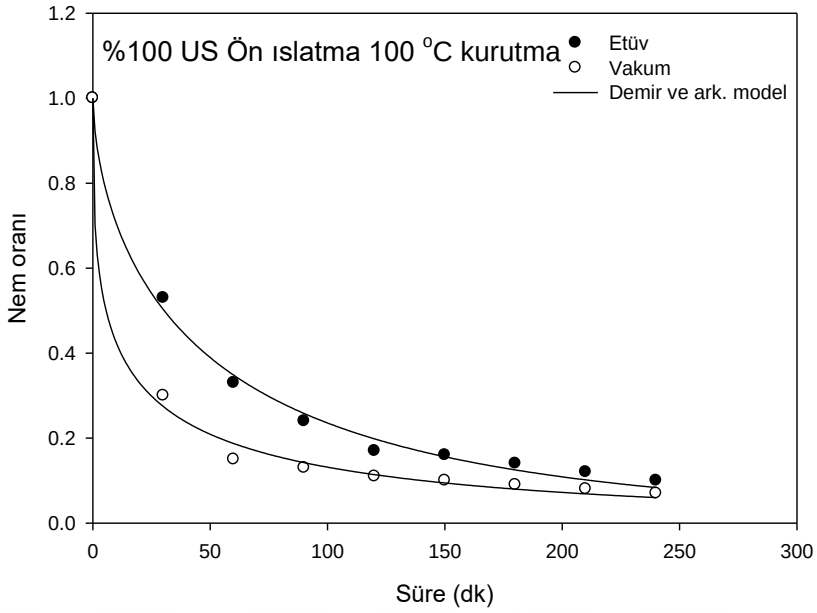
Şekil 4.16. Mısırın %50 US ön ıslatma işlemi ile 100 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi



Şekil 4.17. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile 80 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi



Şekil 4.18. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile 90 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi

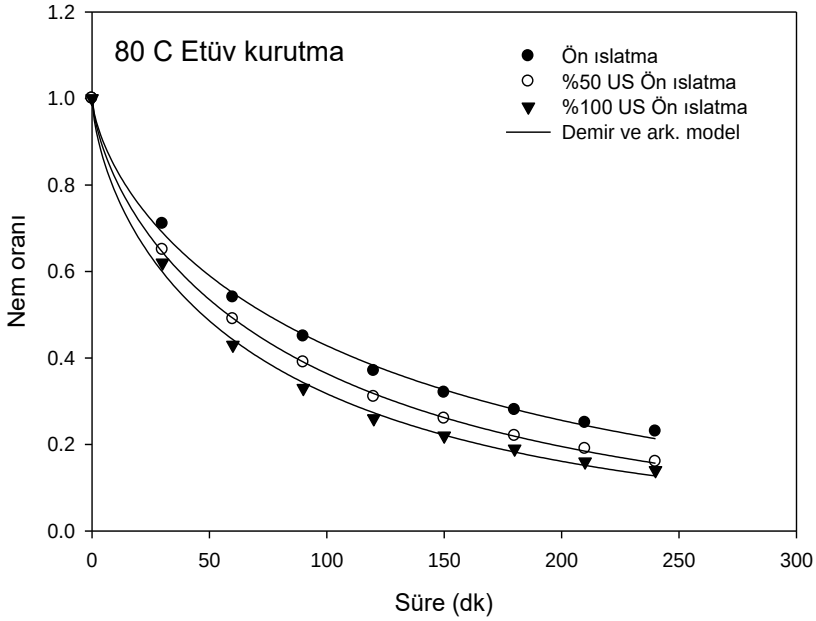


Şekil 4.19. Mısırın %100 US ön ıslatma işlemi ile 100 ºC'de farklı kurutuculardaki nem oranı süre ilişkisi

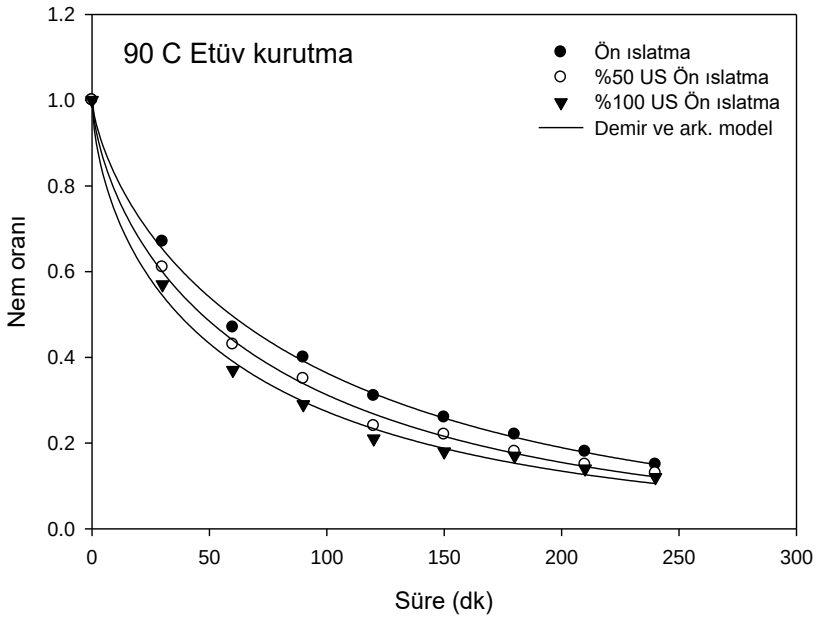
4.4.3. Ön işlem etkisi (ultrason)

Tüm sıcaklık ve kurutucularda ultrason gücü arttıkça kurutma süresinin kısaldığı Şekil 4.20.-4.25.'da görülmektedir.

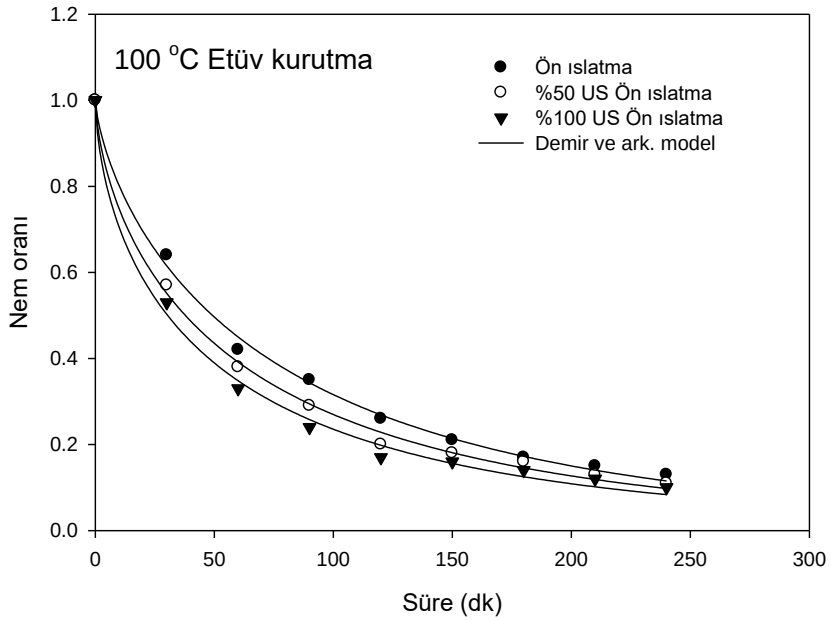
Catalpa ahşabının kurutulması ile ilgili bir çalışmada, ultrasonik güç ne kadar yüksek olursa ve vakum kurutucu kullanıldığında kurutma süresi daha kısa olduğu sonucuna varılmıştır (He ve ark., 2012). Gıdaların kurutulmasında, ultrases uygulamasının süresi ve genliği, farklı koşullarda gerçekleştirilen uygun metotlarına bağlı olarak kurutma performansını arttırır (Tüfekçi ve Özkal, 2015). Chen ve ark. (2016), kurutma süresini kısaltmak için ultrason destekli vakum kurutucuda havuç dilimlerini kurutmuşlardır. Yüksek sıcaklık ve ultrason destekli vakum kurutucuda kurutulan havuç dilimlerinin daha kısa sürede kuruma olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışma ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür.



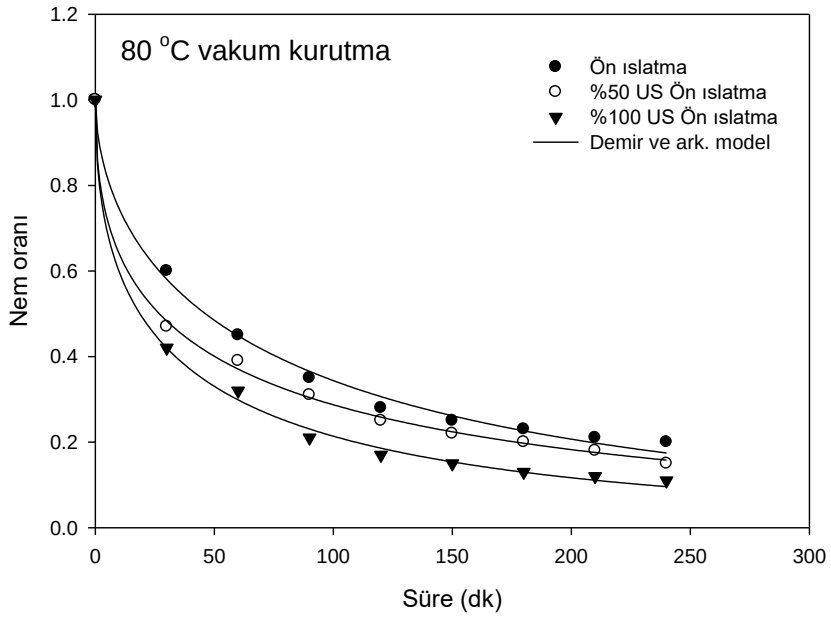
Şekil 4.20. Mısırın 80 ºC'de sıcak havalı kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi



Şekil 4.21. Mısırın 90 ºC'de sıcak havalı kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi



Şekil 4.22. Mısırın 100 ºC'de sıcak havalı kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi

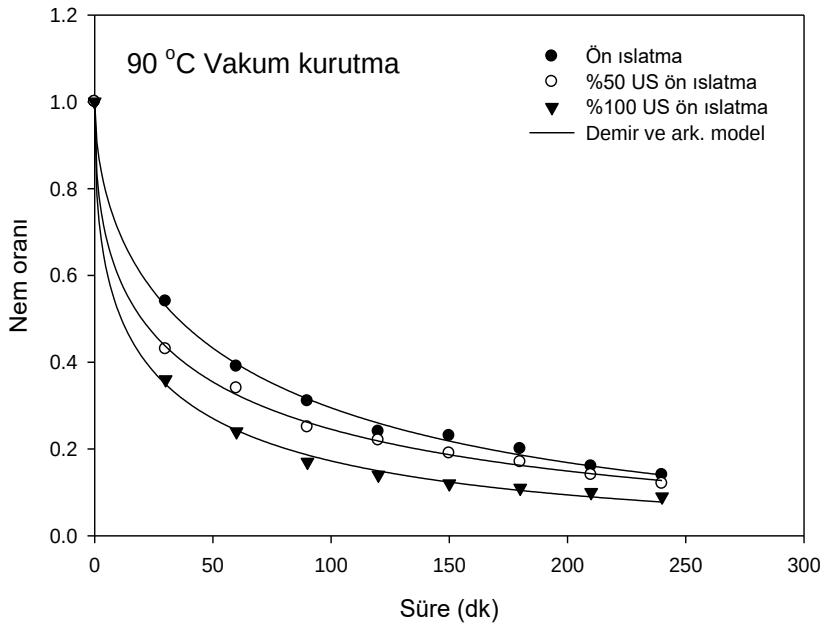


Şekil 4.23. Mısırın 80 ºC'de vakum kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi

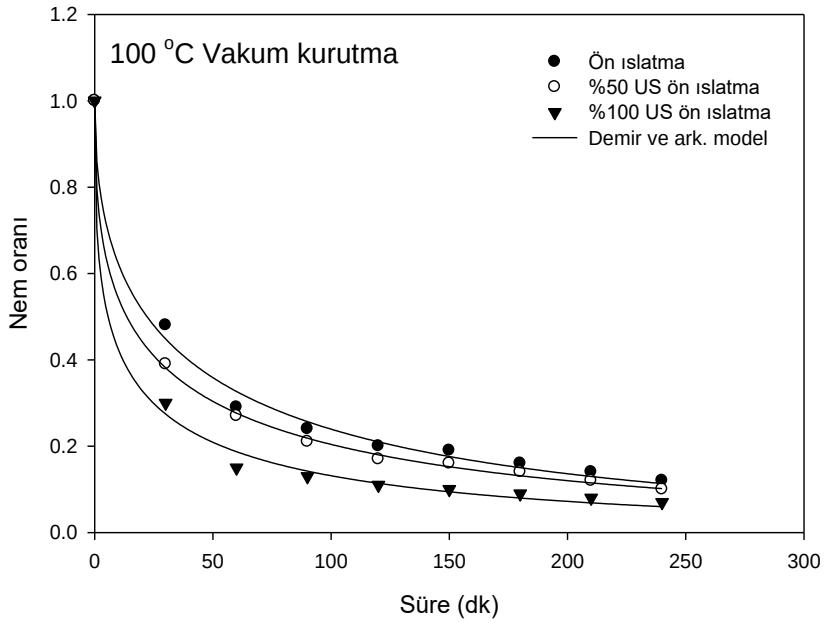
Ultrasonik ve vakumlu kurutmanın daha yüksek nem aktarım hızı farklı yönlerden açıklanabilir. Ultrasonik dalgalar bir sünger etkisine neden olabilir, bu da

sürekli kasılmaların ve genişlemelerin meydana geldiği anlamına gelir (Gallego-Juarez ve ark., 2007b), böylece nem, oluşturulan mikroskobik kanallar tarafından kolayca çıkarılabilir. Kavitasyon, ultrasonik dehidrasyonda akustik etkiyi açıklayan temel bir olgudur. Kavitasyon, ultrasonik yoğunluğa bağlı olarak stabil ve geçici olarak ayrılır. Çalışmada kullanılan ultrasonik numunelerden kütle (su) transferine neden olmuştur. Ultrason üründen alınacak güçlü bir şekilde bağlanmış nemi hızlandırır (Mulet ve ark., 2003).

Ultrasonun bu avantajlarına ek olarak, vakumla kurutma, daha yüksek kurutma hızı, daha düşük kurutma sıcaklığı, daha düşük kuruma süresi yüksek kaliteli ve besleyici kurutulmuş gıda gibi bazı tercih edilen kalite özelliklerini sağlar (Zhang ve ark., 2010). Düşük kuruma süresi ve daha yüksek kuruma hızı değerleri nedeniyle ultrason ve vakum kurutma tercih edilir.



Şekil 4.24. Mısırın 90 ºC'de vakum kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi



Şekil 4.25. Mısırın 100 ºC'de vakum kurutucuda farklı ön işlem uygulamalarının nem oranı süre ilişkisi

4.4.4. Kurutma kinetiği

Sıcak Havalı Kurutucu ve Vakum Kurutucuda kurtulan farklı ön işlem uygulamalı mısır örneklerinin üç farklı sıcaklık ortamında kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler, doğrusal olmayan regresyon analizi ile on üç ayrı ince tabaka kuruma modellerine uygulanmıştır (Şekil 4.5.-4.25. ve Çizelge 3.1.). Bu analizin sonucunda elde edilen model uyum parametre sonuçları Çizelge 4.13.-4.25.'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Lewis Modellemesindeki parametreleri

	Ön işlem	ºC	k (dk^{-1})	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.0079	0.9484	0.0545	0.0033
		90	0.0098	0.9636	0.0496	0.0028
		100	0.0115	0.9658	0.0500	0.0028
	%50 US	80	0.0097	0.9574	0.0529	0.0032
		90	0.0116	0.9567	0.0555	0.0035
		100	0.0136	0.9532	0.0589	0.0039
	%100 US	80	0.0114	0.9519	0.0580	0.0038
		90	0.0134	0.9427	0.0644	0.0047
		100	0.0157	0.9466	0.0636	0.0046
vakum	NI	80	0.0103	0.8953	0.0798	0.0072
		90	0.0123	0.8993	0.0813	0.0074
		100	0.0160	0.8844	0.0896	0.0090
	%50 US	80	0.0126	0.8390	0.0999	0.0112
		90	0.0154	0.8569	0.0978	0.0108
		100	0.0196	0.8769	0.0935	0.0098
	%100 US	80	0.0180	0.9016	0.0843	0.0080
		90	0.0237	0.9110	0.0818	0.0075
		100	0.0328	0.9340	0.0723	0.0059

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Uyumun iyi olduğunu gösteren korelasyon katsayısı (R^2), tüm kurutma koşullarında 0.9214'ün üzerindedir. Kök ortalama standart hata (RMSE) tüm kurutma koşullarında 0.0076 ile 0.0715 arasındadır. Ki-kare (X^2) tüm kurutma koşullarında 0.0001 ile 0.0061 aralığındadır (Çizelge 4.16-4.28). Tüm kurutma havası sıcaklıklarında ve ön işlemlerinde en yüksek R^2 0.9990, en düşük RMSE 0.0076 ve en düşük X^2 0.0001 değerlerine göre en uygun modelin Demir ve ark. modeli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.25.).

Tüm modeller incelendiğinde k (dk^{-1}) değeri sıcaklık ve ultrason gücü arttıkça arttığı görülmüştür. Aynı zamanda tüm koşullarda vakum kurutucuda kurutulan mısır

numunelerinin tüm kurutma modellemelerindeki k (dk^{-1}) değeri sıcak havalı kurutucuya göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.13.-4.25.).

Çizelge 4.14. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Page Modellemesindeki parametreleri

	Ön işlem	°C	k (dk^{-1})	n	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.0360	0.6861	0.9980	0.0108	0.0001
		90	0.0371	0.7179	0.9982	0.0111	0.0002
		100	0.0422	0.7179	0.9970	0.0147	0.0003
	%50 US	80	0.0400	0.6926	0.9990	0.0039	0.0000
		90	0.0500	0.6819	0.9980	0.0118	0.0002
		100	0.0600	0.6552	0.9973	0.0141	0.0003
	%100 US	80	0.0526	0.6695	0.9980	0.0118	0.0002
		90	0.0716	0.6291	0.9963	0.0164	0.0004
		100	0.0842	0.6174	0.9955	0.0184	0.0004
vakum	NI	80	0.0805	0.5613	0.9959	0.0158	0.0003
		90	0.1000	0.5433	0.9985	0.0099	0.0001
		100	0.1570	0.4801	0.9949	0.0188	0.0005
	%50 US	80	0.1590	0.4476	0.9987	0.0091	0.0001
		90	0.1870	0.4380	0.9991	0.0076	0.0001
		100	0.2340	0.4156	0.9993	0.0071	0.0001
	%100 US	80	0.1710	0.4782	0.9978	0.0126	0.0002
		90	0.2467	0.4264	0.9988	0.0093	0.0001
		100	0.3621	0.3742	0.9964	0.0169	0.0004

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.15. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Modife Page Modellemesindeki parametreleri

	Ön işlem	ºC	k (dk^{-1})	n	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.0079	0.6861	0.9980	0.0108	0.0001
		90	0.0102	0.7179	0.9982	0.0111	0.0002
		100	0.0122	0.7179	0.9970	0.0147	0.0003
	%50 US	80	0.0102	0.6926	0.9998	0.0039	0.0000
		90	0.0125	0.6819	0.998	0.0118	0.0002
		100	0.0151	0.6552	0.9973	0.0141	0.0002
	%100 US	80	0.0123	0.6700	0.9980	0.0118	0.0002
		90	0.0151	0.6291	0.9963	0.0164	0.0004
		100	0.0182	0.6174	0.9955	0.0184	0.0004
vakum	NI	80	0.0112	0.5613	0.9959	0.0158	0.0003
		90	0.0144	0.5433	0.9985	0.0099	0.0001
		100	0.0210	0.4801	0.9949	0.0188	0.0005
	%50 US	80	0.0164	0.4476	0.9987	0.0091	0.0001
		90	0.0217	0.4380	0.9991	0.0076	0.0001
		100	0.0305	0.4156	0.9993	0.0071	0.0001
	%100 US	80	0.0247	0.4782	0.9978	0.0126	0.0002
		90	0.0375	0.4264	0.9988	0.0093	0.0001
		100	0.0662	0.3742	0.9964	0.0169	0.0004

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.16. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Handerson ve Pabis Modellemesindeki parametreleri

	Ön işlem	ºC	a	k (dk^{-1})	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.9286	0.0072	0.9629	0.0462	0.0027
		90	0.9372	0.0091	0.9723	0.0433	0.0024
		100	0.9434	0.0107	0.9719	0.0453	0.0026
	%50 US	80	0.9299	0.0082	0.9685	0.0455	0.0027
		90	0.9330	0.0107	0.9655	0.0496	0.0032
		100	0.9364	0.0126	0.9602	0.0543	0.0038
	%100 US	80	0.9312	0.0105	0.9612	0.0520	0.0035
		90	0.9307	0.0123	0.9511	0.0595	0.0045
		100	0.9408	0.0146	0.9521	0.0602	0.0047
vakum	NI	80	0.8982	0.0090	0.9195	0.0699	0.0088
		90	0.8982	0.0108	0.9199	0.0725	0.0068
		100	0.9089	10.0141	0.8979	0.0842	0.0091
	%50 US	80	0.8683	0.0105	0.8746	0.0882	0.0140
		90	0.8853	0.0131	0.8794	0.0898	0.0104
		100	0.9164	0.0174	0.8872	0.0895	0.0103
	%100 US	80	0.9193	0.0162	0.9115	0.0799	0.0082
		90	0.9473	0.0221	0.9148	0.0801	0.0082
		100	0.9797	0.0320	0.9345	0.0720	0.0067

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.17. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Aghbashlo ve ark. Modellemesinin parametreleri

	Ön işlem	°C	k_1 (dk^{-1})	k_2 (dk^{-1})	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.0129	0.0046	0.9997	0.0039	0.0000
		90	0.0147	0.0040	0.9978	0.0123	0.0002
		100	0.0171	0.0043	0.9985	0.0105	0.0001
	%50 US	80	0.0153	0.0045	0.9988	0.0090	0.0001
		90	0.0182	0.0050	0.9980	0.0119	0.0002
		100	0.0219	0.0060	0.9991	0.0080	0.0001
	%100 US	80	0.0054	0.0185	0.9999	0.0031	0.0000
		90	0.0228	0.0068	0.9992	0.0075	0.0001
		100	0.0264	0.0075	0.9992	0.0076	0.0001
vakum	NI	80	0.0209	0.0087	0.9993	0.0067	0.0001
		90	0.0252	0.0096	0.9974	0.0130	0.0002
		100	0.0350	0.0132	0.9984	0.0107	0.0001
	%50 US	80	0.0325	0.0147	0.9923	0.0219	0.0006
		90	0.0382	0.0158	0.9946	0.0190	0.0005
		100	0.0466	0.0178	0.9985	0.0103	0.0001
	%100 US	80	0.0382	0.0135	0.9969	0.0150	0.0003
		90	0.0507	0.0174	0.9996	0.0058	0.0000
		100	0.0686	0.0223	0.9991	0.0085	0.0001

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.18. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Logaritmic Modellemesinin parametreleri

	Ön işlem	ºC	a	c	k (dk^{-1})	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.7774	0.2133	0.0139	0.9981	0.0106	0.0002
		90	0.8370	0.1495	0.0146	0.9946	0.0192	0.0006
		100	0.8622	0.1293	0.0167	0.9965	0.0528	0.0042
	%50 US	80	0.8239	0.1600	0.0150	0.9954	0.0174	0.0005
		90	0.8490	0.1373	0.0173	0.9947	0.0194	0.0006
		100	0.8640	0.1265	0.0204	0.9966	0.0159	0.0004
	%100 US	80	0.8414	0.1490	0.0179	0.9974	0.0135	0.0003
		90	0.8539	0.1383	0.0213	0.9969	0.0149	0.0003
		100	0.8737	0.1205	0.0239	0.9978	0.0130	0.0003
vakum	NI	80	0.7823	0.2070	0.0204	0.9965	0.0145	0.0003
		90	0.8100	0.1754	0.0228	0.9895	0.0263	0.0010
		100	0.8384	0.1564	0.0300	0.9939	0.0206	0.0006
	%50 US	80	0.7847	0.1970	0.0274	0.9772	0.0376	0.0021
		90	0.8184	0.1682	0.0312	0.9812	0.0355	0.0019
		100	0.8504	0.1426	0.0366	0.9897	0.0270	0.0011
	%100 US	80	0.8533	0.1352	0.0308	0.9888	0.0284	0.0012
		90	0.8777	0.1167	0.0386	0.9935	0.0221	0.0007
		100	0.9050	0.0940	0.0481	0.9977	0.0136	0.0003

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.19. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki two term Modellemesinin parametreleri

	Ön işlem	°C	a	b	k_o (dk^{-1})	k_1 (dk^{-1})	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.4850	0.5144	0.0224	0.0035	0.9997	0.0041	0.0000
		90	0.3868	0.6144	0.0325	0.0058	0.9989	0.0086	0.0001
		100	0.5453	0.4557	0.0267	0.0054	0.9986	0.0102	0.0002
	%50 US	80	0.3870	0.6120	0.0345	0.0057	0.9998	0.0041	0.0000
		90	0.4807	0.5190	0.0329	0.0059	0.9984	0.0108	0.0002
		100	0.6333	0.3659	0.0298	0.0050	0.9991	0.0083	0.0001
	%100 US	80	0.5764	0.4235	0.0276	0.0046	0.9999	0.0018	0.0000
		90	0.6643	0.3355	0.0294	0.0042	0.9993	0.0072	0.0001
		100	0.7377	0.2620	0.0302	0.0039	0.9995	0.0062	0.0001
vakum	NI	80	0.6200	0.3773	0.0281	0.0028	0.9987	0.0090	0.0002
		90	0.5358	0.4638	0.0440	0.0049	0.9990	0.0082	0.0001
		100	0.6939	0.3069	0.0417	0.0037	0.9993	0.0068	0.0001
	%50 US	80	0.4968	0.5030	0.0817	0.0052	0.9982	0.0107	0.0002
		90	0.5648	0.4350	0.0725	0.0055	0.9987	0.0092	0.0002
		100	0.6761	0.3240	0.0598	0.0048	0.9996	0.0055	0.0001
	%100 US	80	0.6335	0.3655	0.0548	0.0056	0.9965	0.0158	0.0005
		90	0.7361	0.2634	0.0559	0.0048	0.9992	0.0079	0.0001
		100	0.8406	0.1596	0.0569	0.0033	0.9998	0.0039	0.0000

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.20. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Two term. Exp Modellemesinin parametreleri

	Ön işlem	ºC	a	k (dk^{-1})	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.1995	0.0311	0.9859	0.0285	0.0010
		90	0.2139	0.0360	0.9916	0.0239	0.0007
		100	0.2395	0.0372	0.9906	0.0261	0.0009
	%50 US	80	0.2097	0.0367	0.9893	0.0265	0.0009
		90	0.2290	0.0396	0.9866	0.0308	0.0012
		100	0.2503	0.0418	0.9826	0.0359	0.0017
	%100 US	80	0.2355	0.0376	0.9844	0.0330	0.0014
		90	0.2509	0.0412	0.9764	0.0413	0.0022
		100	0.2678	0.0446	0.9757	0.0428	0.0024
vakum	NI	80	0.2210	0.0364	0.9515	0.0543	0.0038
		90	0.2293	0.0420	0.9520	0.0561	0.0040
		100	0.2591	0.0467	0.9339	0.0677	0.0059
	%50 US	80	0.2220	0.0446	0.9095	0.0749	0.0072
		90	0.2409	0.0491	0.9167	0.0746	0.0072
		100	0.2656	0.0549	0.9230	0.0740	0.0070
	%100 US	80	0.2570	0.0532	0.9432	0.0640	0.0053
		90	0.2823	0.0614	0.9423	0.0659	0.0056
		100	0.3216	0.0727	0.9501	0.0629	0.0051

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.21. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Diffusion approach Modellemesinin parametreleri

	Ön işlem	ºC	a	b	k (dk^{-1})	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.4847	0.1551	0.0225	0.9997	0.0041	0.0000
		90	0.3862	0.1795	0.0324	0.9989	0.0086	0.0001
		100	0.5460	0.2023	0.0266	0.9986	0.0102	0.0002
	%50 US	80	0.3870	0.1638	0.0346	0.9997	0.0041	0.0000
		90	0.4810	0.1798	0.0329	0.9984	0.0108	0.0002
		100	0.6340	0.1671	0.0299	0.9991	0.0083	0.0001
	%100 US	80	0.5764	0.1683	0.0276	0.9999	0.0018	0.0000
		90	0.6644	0.1435	0.0294	0.9993	0.0072	0.0001
		100	0.7378	0.1274	0.0302	0.9995	0.0061	0.0001
vakum	NI	80	0.6210	0.1001	0.0283	0.9987	0.0091	0.0001
		90	0.5361	0.1124	0.0440	0.9990	0.0082	0.0001
		100	0.6932	0.0886	0.0416	0.9993	0.0068	0.0001
	%50 US	80	0.4970	0.0638	0.0817	0.9982	0.0107	0.0002
		90	0.5650	0.0752	0.0725	0.9987	0.0092	0.0001
		100	0.6760	0.0808	0.0598	0.9996	0.0055	0.0001
	%100 US	80	0.6340	0.1022	0.0549	0.9965	0.0158	0.0004
		90	0.7370	0.0863	0.0559	0.9992	0.0079	0.0001
		100	0.8400	0.0572	0.0569	0.9998	0.0039	0.0000

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.22. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Midilli ve ark. Modellemesinin parametreleri

	Ön işlem	ºC	a	b	k (dk^{-1})	n	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	1.0005	0.0004	0.0235	0.8080	0.9997	0.0041	0.0000
		90	1.0010	0.0001	0.0333	0.7488	0.9983	0.0108	0.0002
		100	1.0011	0.0002	0.0303	0.8107	0.9982	0.0114	0.0002
	%50 US	80	1.0001	0.0001	0.0365	0.7298	0.9999	0.0021	0.0000
		90	1.0001	0.0002	0.0401	0.7452	0.9986	0.0101	0.0002
		100	1.0004	0.0003	0.0432	0.7652	0.9990	0.0087	0.0001
	%100 US	80	1.0008	0.0003	0.0358	0.7771	0.9996	0.0055	0.0001
		90	1.0007	0.0003	0.0441	0.7641	0.9988	0.0093	0.0002
		100	1.0007	0.0003	0.0480	0.7735	0.9989	0.0092	0.0002
vakum	NI	80	0.9998	0.0005	0.0440	0.7314	0.9997	0.0042	0.0000
		90	1.0003	0.0001	0.0858	0.5872	0.9987	0.0091	0.0002
		100	1.0008	0.0003	0.0993	0.6092	0.9970	0.0145	0.0004
	%50 US	80	0.9998	-0.0001	0.1861	0.4017	0.9989	0.0083	0.0001
		90	1.0000	-0.0001	0.2078	0.4075	0.9992	0.0072	0.0001
		100	1.0001	0.0001	0.2008	0.4597	0.9995	0.0059	0.0001
	%100 US	80	0.9997	0.0002	0.1302	0.5542	0.9985	0.0104	0.0002
		90	1.0000	0.0002	0.1733	0.5263	0.9999	0.0029	0.0000
		100	1.0002	0.0003	0.2079	0.5309	0.9983	0.0115	0.0002

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.23. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Verma ve ark. Modellemesinin parametreleri

	Ön işlem	ºC	a	g	k (dk^{-1})	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.5153	0.0225	0.0035	0.9997	0.0041	0.0000
		90	0.6138	0.0324	0.0058	0.9989	0.0086	0.0001
		100	0.4550	0.0266	0.0054	0.9986	0.0102	0.0002
	%50 US	80	0.6128	0.0346	0.0057	0.9997	0.0041	0.0000
		90	0.5190	0.0329	0.0059	0.9984	0.0108	0.0002
		100	0.3670	0.0299	0.0050	0.9991	0.0083	0.0001
	%100 US	80	0.4236	0.0276	0.0047	0.9999	0.0018	0.0000
		90	0.3356	0.0294	0.0042	0.9993	0.0072	0.0001
		100	0.2622	0.0302	0.0039	0.9995	0.0061	0.0001
vakum	NI	80	0.3794	0.0283	0.0028	0.9987	0.0091	0.0001
		90	0.4639	0.0440	0.0050	0.9990	0.0082	0.0001
		100	0.3068	0.0416	0.0037	0.9993	0.0068	0.0001
	%50 US	80	0.5031	0.0817	0.0052	0.9982	0.0107	0.0002
		90	0.4350	0.0725	0.0055	0.9987	0.0092	0.0001
		100	0.3240	0.0598	0.0048	0.9996	0.0055	0.0001
	%100 US	80	0.3657	0.0549	0.0056	0.9965	0.0158	0.0004
		90	0.2630	0.0559	0.0048	0.9992	0.0079	0.0001
		100	0.1600	0.0569	0.0033	0.9998	0.0039	0.0000

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.24. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Weibull Modellemesinin parametreleri

	Ön işlem	ºC	α (dk)	β	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.6860	127.28	0.9980	0.0108	0.0002
		90	0.7179	98.375	0.9982	0.0111	0.0002
		100	0.7179	82.081	0.9970	0.0147	0.0003
	%50 US	80	0.6926	98.460	0.9998	0.0039	0.0000
		90	0.6819	80.150	0.9980	0.0118	0.0002
		100	0.6552	66.200	0.9973	0.0141	0.0003
	%100 US	80	0.6695	81.370	0.9980	0.0118	0.0002
		90	0.6291	66.140	0.9963	0.0164	0.0004
		100	0.6174	55.040	0.9955	0.0184	0.0004
vakum	NI	80	0.5613	88.960	0.9959	0.0158	0.0003
		90	0.5433	69.220	0.9985	0.0099	0.0001
		100	0.4801	47.520	0.9949	0.0188	0.0005
	%50 US	80	0.4476	61.050	0.9987	0.0091	0.0001
		90	0.4380	46.030	0.9991	0.0076	0.0001
		100	0.4156	32.820	0.9993	0.0071	0.0001
	%100 US	80	0.4782	40.410	0.9978	0.0126	0.0002
		90	0.4264	26.640	0.9988	0.0093	0.0001
		100	0.3742	15.110	0.9964	0.0169	0.0004

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.25. Farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki Demir ve ark. Modellemesinin parametreleri

	Ön işlem	ºC	a	b	kx10^2 (dk^{-1}) (SSx10^2)	n	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	0.8420	0.1583	$1.22^{a1\alpha}$±0.02	0.8400	0.9998	0.0038	0.0000
		90	0.9529	0.0481	$1.36^{b1\alpha}$±0.03	0.7627	0.9983	0.0106	0.0002
		100	0.9149	0.0860	$1.53^{c1\alpha}$±0.05	0.8403	0.9983	0.0111	0.0002
	%50 US	80	0.9487	0.0513	$1.37^{a2\alpha}$±0.05	0.7396	0.9999	0.0021	0.0000
		90	0.9342	0.0659	$1.50^{b2\alpha}$±0.06	0.7634	0.9986	0.0101	0.0002
		100	0.9125	0.0877	$1.92^{c2\alpha}$±0.10	0.8055	0.9991	0.0082	0.0001
	%100 US	80	0.8968	0.1037	$1.64^{a3\alpha}$±0.08	0.8158	0.9997	0.0045	0.0000
		90	0.8941	0.1064	$2.03^{b3\alpha}$±0.10	0.8193	0.9990	0.0084	0.0001
		100	0.9009	0.0994	$2.35^{c3\alpha}$±0.11	0.8433	0.9992	0.0077	0.0001
vakum	NI	80	0.8315	0.1680	$1.91^{a1\beta}$±0.03	0.7886	0.9996	0.0049	0.0000
		90	0.9328	0.0674	$2.01^{b1\beta}$±0.04	0.6120	0.9988	0.0089	0.0001
		100	0.8799	0.1210	$2.99^{c1\beta}$±0.11	0.7071	0.9976	0.0129	0.0003
	%50 US	80	1.1928	-0.1929	$2.25^{a2\beta}$±0.05	0.3690	0.9989	0.0082	0.0001
		90	1.0779	-0.0779	$2.58^{b2\beta}$±0.04	0.3897	0.9992	0.0072	0.0001
		100	0.9410	0.0591	$3.69^{c2\beta}$±0.012	0.4945	0.9996	0.0056	0.0001
	%100 US	80	0.9336	0.0661	$3.02^{a3\beta}$±0.06	0.5789	0.9984	0.0108	0.0002
		90	0.9266	0.0734	$4.36^{b3\beta}$±0.12	0.5810	0.9999	0.0028	0.0000
		100	0.9195	0.0806	$5.74^{c3\beta}$±0.14	0.6927	0.9989	0.0092	0.0002

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakamlar (1-3, ultrason), harfler (a-c, sıcaklık; α-β kurutucu) gösterilen değerler arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Demir ve arkadaşları modelinde normal ıslatılmış mısır sıcak havalı kurutucuda kurutma sırasında sıcaklık 80'den 100 ºC'ye arttığında k değeri de 0.0122 dk^{-1}'den 0.0153 dk^{-1}'e artmış ve bu artış istatiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Sabit sıcaklıkta ve sabit kurutucuda ultrason gücü k değerinde değişikliğe yol açmıştır. Ultrason gücü arttıkça k değerinde de artış görülmüştür. Normal ıslatılmış mısır sıcak havalı kurutucuda 80 ºC sıcaklıkta k değeri 0.0112 dk^{-1} iken, vakum kurutucuda k değeri 0.0299 dk^{-1}'e artmıştır. Burada vakum kurutucunun daha etkili olduğu görülmektedir. En yüksek k değeri (0.0574 dk^{-1}) %100 US ile ıslaılmış mısır vakum kurutucuda 100 ºC sıcaklıkta kurutulmuş, en düşük k değeri ise (0.0122

dk^{-1}) normal ıslatılmış mısır taneleri sıcak havalı kurutucuda 80 ºC sıcaklıkta kurutulmuş olanlarda görülmektedir (Çizelge 4.25.).

4.5. Nem Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi

Fick'in modelinin mısırın düşme hızında meydana gelen kuruma fazını açıklamak için kullandığı istatistiksel veriler incelenmiş ve farklı sıcaklıklarda, ultrason ön işlemlerinde ve farklı kurutuculardа elde edilen deney verileri doğrusal olmayan regresyon analizi ile uyarlanmıştır (Şekil 4.6.-4.26.). Çizelge 4.27.'de gösterildiği gibi, regresyon katsayıları (R^2), kök ortalama standart hatası (RMSE) ve ki kare (X^2) değerleri sırasıyla 0.8746 ile 0.9723, 0.0882 ile 0.0433 ve 0.0140 ile 0.0024 arasında değişmiştir. Teorik nem oranları model sonuçları kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 4.5.-4.25.'deki deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.5.-4.25. ve Çizelge 4.27.'de gösterildiği gibi, deneysel verilerin teorik verilerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.26.'da normal ıslatma, %50 US ve %100 US ön işlem uygulanarak sıcak havalı ve vakum kurutuculardа kurutulan mısırlar için difüzyon katsayı değerlerine sıcaklığın etkisi gösterilmiştir. Mısırların minimum nem difüzyon katsayısı normal ıslatmış sıcak havalı kurutucuda 80 ºC hava sıcaklığında $1.99x10^{-10}$ m^2 s^{-1} olarak belirlenmiştir. Mısırların maksimum difüzyon katsayısı %100 US ıslatma ile ıslatılmış vakum kurutucuda 100 ºC hava sıcaklığında $8.88x10^{-10}$ m^2 s^{-1} olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.26. Mısırda farklı ön işlemlerin ve sıcaklıkların sıcak havalı ve vakum kurutucuda kurutma sırasındaki etkili difüzyon katsayısı değerleri

Kurutma	Ön işlem	Sıcaklık (°C)	D_{eff} x10^{10} (m^2 s^{-1}) (SSx10^{10})	R^2	RMSE	X^2
sıcak havalı	NI	80	$1.99^{a1\alpha}$±0.04	0.9629	0.0462	0.0027
		90	$2.51^{b1\alpha}$±0.07	0.9723	0.0433	0.0024
		100	$2.97^{c1\alpha}$±0.09	0.9719	0.0453	0.0026
	%50 US	80	$2.47^{a2\alpha}$±0.09	0.9685	0.0455	0.0027
		90	$2.96^{b2\alpha}$±0.04	0.9655	0.0496	0.0032
		100	$3.48^{c2\alpha}$±0.07	0.9602	0.0543	0.0038
	%100 US	80	$2.90^{a3\alpha}$±0.07	0.9612	0.0520	0.0035
		90	$3.42^{b3\alpha}$±0.05	0.9511	0.0595	0.0045
		100	$4.06^{c3\alpha}$±0.09	0.9521	0.0602	0.0047
vakum	NI	80	$2.49^{a1\beta}$±0.04	0.9195	0.0699	0.0088
		90	$2.99^{b1\beta}$±0.05	0.9199	0.0725	0.0068
		100	$3.92^{c1\beta}$±0.08	0.8979	0.0842	0.0091
	%50 US	80	$2.92^{a2\beta}$±0.03	0.8746	0.0882	0.0140
		90	$3.63^{b2\beta}$±0.02	0.8794	0.0898	0.0104
		100	$4.82^{c2\beta}$±0.04	0.8872	0.0895	0.0103
	%100 US	80	$4.48^{a3\beta}$±0.08	0.9115	0.0799	0.0082
		90	$6.11^{b3\beta}$±0.03	0.9148	0.0801	0.0082
		100	$8.88^{c3\beta}$±0.09	0.9345	0.0720	0.0067

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma
Çizelgede aynı sütunda farklı rakamlar (1-3, ultrason), harfler (a-c, sıcaklık; α-β kurutucu) gösterilen değerler arasındaki farklar 0.05 güven sınırına göre önemlidir.

Normal ıslatılmış mısır taneleri sıcak havalı kurutucuda kurutma sırasında sıcaklık 80 ºC'den 100 ºC'ye arttığında nem difüzyon katsayısı da $1.99x10^{-10}$' m^2 s^{-1}'den $2.97x10^{-10}$ m^2 s^{-1}'e önemli derecede artmıştır ($p\leq0.05$). Sabit ön işlem ve kurutucuda kurutma sıcaklığı arttıkça nem difüzyon katsayı değerinin de önemli derecede arttığı görülmektedir ($p\leq0.05$) (Çizelge 4.26.).

Normal ıslatılmış mısırların vakum kurutucuda 80 ºC sıcaklıktaki nem difüzyon katsayısı $2.49x10^{-10}$ m^2 s^{-1} iken %50 US'da $2.92x10^{-10}$ m^2 s^{-1} ve %100 US'da $4.48x10^{-10}$ m^2 s^{-1}'e doğru artış olduğu belirlenmiştir. Sabit kurutucu ve sıcaklıkta ultrason gücü arttıkça nem difüzyon katsayısı artmıştır (Çizelge 4.26.).

Normal ıslatma uygulanmış, 80 ºC sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısır tanelerinin nem difüzyon katsayısı $1.99x10^{-10}$ m^2 s^{-1} iken, vakum kurutucuda

kurutulanların nem difüzyon katsayısı $2.49x10^{-10}$ m^2 s^{-1} olarak belirlenmiştir. Burada sabit sıcaklık ve ultrason gücünde vakum kurutucu da kurutulan mısır numunelerinin nem difüzyon katsayısı sıcak havalı kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin nem difüzyon katsayısından daha fazla olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.26.).

Kurutma sıcaklığı, ultrason gücü arttıkça kurutulmuş mısır numunelerinin difüzyon katsayısı değerleri de artmıştır. Aynı zamanda vakum kurutucuda kurutulan mısır numunelerinin difüzyon katsayısı değerleri sıcak havalı kurutucuda kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, yüksek sıcaklık ve ultrason gücü ile kurutma hızının artmasıyla açıklanabilir. Prachayawarakorn ve ark. (2004), mısır tanelerinin içindeki nem difüzyonunun, sıcaklığa ve aynı zamanda tahılın anlık nem içeriğine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Yıldırım ve ark. (2011), bir çalışmalarında ultrason gücündeki artış nohut örneklerindeki nem difüzyon katsayısını arttırdığını belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada hindistan cevizi presinin vakum kurutucuda kuruultması sırasında sıcaklık arttıkça nem difüzyon katsayısı da $7.026x10^{-10}$ m^2 s^{-1}'den $3.326x10^{-10}$ m^2 s^{-1}'e arttığı rapor edilmiştir (Jena ve Das., 2007). Correa ve ark. (2011), mısır örneklerinin kurutması sırasında sıcaklık arttıkça nem difüzyon katsayısı da $5.490x10^{-10}$ m^2 s^{-1}'den $1.163x10^{-9}$ m^2 s^{-1}'e arttığı belirtilmiştir. Başka bir çalışmada yüksek sıcaklık ve vakum kurutucuda kurutulan Panax notoginsengi özünün nem difüzyon katsayısı $4.86x10^{-7}$ m^2 s^{-1} ile $11.0x10^{-7}$ m^2 s^{-1} arasında değiştiği rapor edilmiştir (Liu ve ark., 2009). Mengeş ve Ertekin (2007), vişne kurutmasında kuruma hava sıcaklığı arttıkça etkili difüzyon katsayısı da $1.216x10^{-10}$ m^2 s^{-1} ile $1.429x10^{-09}$ m^2 s^{-1} arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Janas ve ark. (2010a,b) aynı mısır çeşidi için 50 ºC ile 100 ºC arasında yapılan kurutmada, etkili difüzyon katsayısını $0.83x10^{-10}$ m^2 s^{-1} ve $2.24x10^{-10}$ m^2 s^{-1} arasında bulmuşlardır. Doymaz ve Pala (2003) 55 ºC ile 75 ºC arasında kurutulmuş bir mısır çeşidi için etkili difüzyon sabitini 0.94 $x10^{-10}$ m^2 s^{-1} ile 1.15 $x10^{-10}$ m^2 s^{-1} arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada da mısır taneleri 60 ºC ile 120 ºC arasında kurutulmuş ve nem difuzivite değerlerinin $41x10^{-10}$ m^2 s^{-1} ile $14.03x10^{-10}$ m^2 s^{-1} arasında olduğu rapor edilmiştir (Odjo ve ark., 2012). Bu çalışmadaki sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile uyum sağlamaktadır.

Termodinamik olarak, aktivasyon enerjisi, nem ürünün içinden dışarıya doğru aktarıldığında, enerji bariyerinden geçen su molekülleri olarak ifade edilir. Aktivasyon enerjisinin düşük değerleri kurutma işleminde daha yüksek nem difüzyon değerleri verir. Bir işlemin aktivasyon enerjisindeki azalma su moleküllerinin ortalama enerjisindeki artıştan dolayıdır (Devahastin, 2000). Aktivasyon enerjisi, nem difüzyonunu aktive etmek için aşılması gereken enerji bariyerinden yorumlanabilir (Babalis ve Belessiotis, 2004).

Etkili difüzyon katsayısının sıcaklık bağımlılığı, Eş. 6'da verilen Arrhenius tipinde bir denklem ile tanımlanabilir. Aktivasyon enerjisi (E_a) Şekil 4.26.'deki 1/T'ye karşı In (D_{eff}) üzerindeki doğrulardan yararlanılarak hesaplanmıştır. Doğrunun eğimi E_a/R'yi kesim noktası da D_{ref}'ı vermektedir (Çizelge 4.27.). Regresyon uygunluğunu gösteren R^2 değerleri 0.9839 ile 0.9997 arasında bulunmuştur. Arrhenius yaklaşımındaki tahmini linear regrasyon eşitlikleri ve aktivasyon enerjileri farklı kurutma sistemleri ve ön işlemler için Çizelge 4.27.'de verilmiştir.

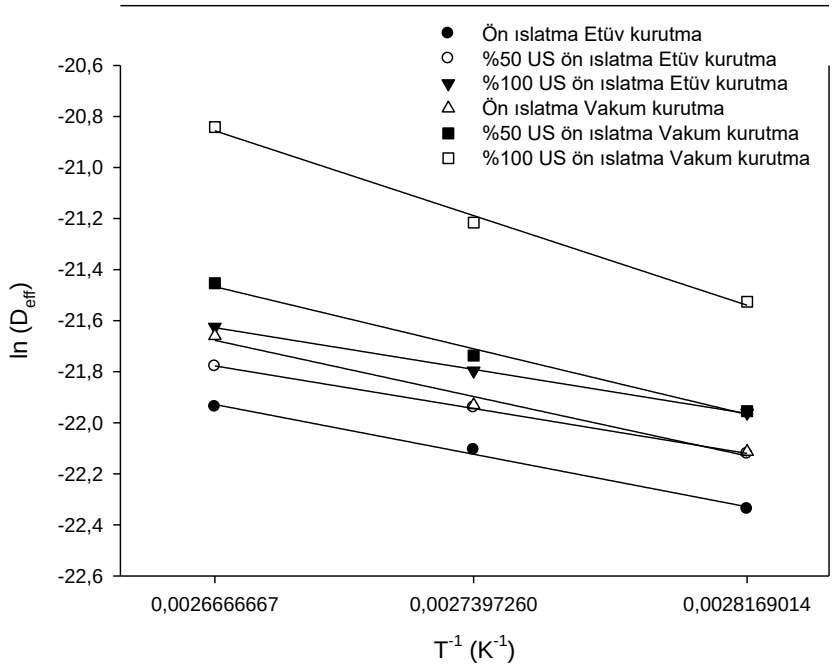
Çizelge 4.27. Farklı ön işlemelerin ve kurutucuların Aktivasyon Enerjisi

	Eşitlik	R^2	E_a (kJ mol^{-1})
NI Sıcak havalı	$\ln(D_{eff})$=-14.81-2668.56(1/T)	0.9942	22.19
%50 US Ön Islatma Sıcak havalı	$\ln(D_{eff})$=-15.69-2282.45(1/T)	0.9997	18.98
%100 US Ön Islatma Sıcak havalı	$\ln(D_{eff})$=-15.66-2238.68(1/T)	0.9993	18.61
NI Vakum	$\ln(D_{eff})$=-13.64-3014.57(1/T)	0.9839	25.06
%50 US Ön Islatma Vakum	$\ln(D_{eff})$=-12.58-3331.21(1/T)	0.9916	27.70
%100 US Ön Islatma Vakum	$\ln(D_{eff})$=-8.73-4549.06(1/T)	0.9952	37.82

NI: Normal Islatma, %50 US: %50 Genlik Ultrason Islatma, %100 US: %100 Genlik Ultrason Islatma

Çizelge 4.27. incelendiğinde, normal ıslatma sıcak havalı kurutma, %50 US ön ıslatma sıcak havalı kurutma, %100 US ön ıslatma sıcak havalı kurutma, normal ıslatma vakum kurutma, %50 US ön ıslatma vakum kurutma ve %100 US ön ıslatma vakum kurutmalarının aktivasyon enerjileri (E_a) sırasıyla 22.19, 18.98, 18.61, 25.06, 27.70 ve 37.82 kJ mol^{-1} olarak bulunmuştur. En yüksek aktivasyon enerjisi (E_a), 37.82 kJ mol^{-1} %100 US ön ıslatma vakum kurutucuda bulunmuştur. En düşük

aktivasyon enerjisi (E_a) %100 US 18.61 kJ mol^{-1} ön ıslatma sıcak havalı kurutucuda bulunmuştur. %100 US ön işlemli vakum kurutmada aktivasyon enerjisinin en yüksek olması hem ultrason ön işleminin hem de vakum etkisinin olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.26. Farklı ön işlemlerin ve kurutucuların eşitsizlik denklemi eğrileri

Gogus ve ark. (2006), 6, 9, 12 mm kalınlarındaki zeytin posası numunelerinin kurutma E_a sırasıyla 25.4, 25.7 ve 29.2 kJ mol^{-1} olarak bulmuştur. Dika çekirdekleri ve fındık numunelerinin E_a sırasıyla 16.747, 37.019 kJ mol^{-1} olarak bulunmuştur (Aregbesola ve ark., 2015). Tulek (2011), istiridye mantarının kurutma E_a değerini 22.228 kJ mol^{-1} olarak bulmuştur. Yapılan çalışmadaki değerler literatürlerde belirtilen değerler ile uyum içerisindedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Mardin yöresinde yaygın olarak yetişen mısır tanelerinin kimyasal ve teknolojik analizleri incelenip, ultrason (40 kHz 200 W, %50 ve %100 genlik) ön işlem uygulanarak laboratuar tipi vakum kurutucu ve sıcak havalı kurutucuda 80, 90 ve 100 ºC kurutulup, kurutma sırasındaki analizler (nem, boyut (uzunluk, genişlik, kalınlık, eş değer çap ve küresellik), tekstür, renk, bin tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı ve su aktivitesi) incelenmiş ve zamana bağlı olarak nem kinetik çalışması yapılmıştır. Kurutma sırasında zaman bağlı olarak nem oranı değişiminin kinetiği oluşturulmuş, 13 farklı modelleme kullanılarak en uygun modelleme belirlenmiştir.

Mısırın ön işlem uygulamasında ultrason gücü arttıkça (%50 US ve %100 US), mısırın nem oranının arttığı gözlemlenmiştir.

Ön işlem uygulamasında ultrason gücü arttıkça mısır tanelerinin kuruması hızlanmaktadır. Ultrason ön işlem uygulamaları (%50 US ve %100 US), kurutma sırasındaki mısır tanelerinin boyuttaki, tekstür değerlerindeki azalış önemli bulunmazken ($p>0.05$), bin tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı ve su aktivitesi değerlerindeki azalmanın etkisi önemli bulunmuştur ($p\leq0.05$).

Sıcak havalı ve vakum kurutucularda, kurutma süresi arttıkça, mısır tanelerinin nem oranlarının azaldığı görülmüştür. Sürenin artması ile mısırın tekstür ve a* değerindeki artış ile mısırın boyutu, L* değeri, b değeri, bin tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı ve su aktivitesi değerindeki azalma önemli bulunmuştur ($p\leq0.05$).

Sıcak havalı ve vakum kurutucuda sıcaklık arttıkça mısır tanelerinin boyutlarındaki azalma ve tekstür değerlerindeki artışlar önemli bulunmazken ($p>0.05$), bin tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı ve su aktivitesindeki azalmalar önemli bulunmuştur ($p\leq0.05$). Aynı zamanda sıcak havalı ve vakum kurutucuda 80, 90 ve

100 ºC'de kurutulan mısır tanelerinin kurutma sıcaklığı arttıkça, beklenildiği gibi nem oranları azalmıştır.

Tüm ön işlem uygulaması, sıcaklık ve sürelerde kurutucu etkisi mısır tanelerinin boyutları, L* değeri, b* değeri, bin tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı ve su aktivitesindeki azalmalar ile tekstür ve a* değerindeki artışlar önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Vakum kurutucuda kurutulan mısır tanelerinin tekstür değerleri sıcak havalı kurutucuda kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Vakum kurutucuda kurutulan mısır tanelerinin bin tane ağırlığı, hektolitre ağırlığı ve su aktivitesi değerleri sıcak havalı kurutucuda kurutulanlara göre daha az olduğu görülmüştür. Aynı sıcaklık ve ön işlem uygulamasında vakum kurutucuda kurutulan mısır taneleri sıcak havalı kurutucuda kurutulanlara göre daha hızlı kuruduğu belirlenmiştir.

Uygulanan tüm ön işlem, sıcaklık ve kurutucu koşullarında en yüksek R^2 (0.9990), en düşük RMSE (0.0076) ve en düşük X^2 (0.0001) değerlerine göre 13 farklı kurutma modelleri arasından en uygun modelin Demir ve ark. modelinin kurutma kinetiğini en iyi tanımlayan model olduğu belirlenmiştir.

Normal ıslatılmış mısır sıcak havalı kurutucuda sıcaklık 80 ºC'den 100 ºC'ye arttığında nem difüzyon katsayısı da 1.99×10^{-10}'dan 2.97×10^{-10}'a artmıştır. Vakum kurutucuda 80 ºC sabit sıcaklıkta normal ıslatmaya tabi tutulmuş mısırın nem difüzyon katsayısı 2.49×10^{-10} m^2 s^{-1} iken %50 US'da 2.92×10^{-10} m^2 s^{-1} ve %100 US'da 4.48×10^{-10} m^2 s^{-1}'e doğru artış olduğu belirlenmiştir. Normal ıslatılmış mısırın 80 ºC sıcak havalı kurutucuda nem difüzyon katsayısı 1.99×10^{-10} m^2 s^{-1} iken, vakum kurutucudaki değeri 2.49×10^{-10} m^2 s^{-1} olarak belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığı, ultrason gücü arttıkça kurutulmuş mısır tanelerinin difüzyon katsayısı değerleri de artmıştır. Aynı zamanda vakum kurutucuda kurutulan mısır tanelerinin difüzyon katsayısı değerleri sıcak havalı kurutucuda kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, yüksek sıcaklık ve ultrason gücü ile kurutma hızının artmasıyla açıklanabilir.

Farklı ön işlem ve kurutucuda kurutulmuş mısırın aktivasyon enerji değeri (E_a) 18.61-37.82 kJ mol^{-1} aralığında bulunmuştur. Sıcak havalı kurutucuda normal ıslatılmış mısırın aktivasyon enerjisi 22.19 kJ mol^{-1} iken, %100 US ön işlem görmüş olanlarda 18.61 kJ mol^{-1} olarak belirlenmiştir. Vakum kurutucuda E_a normal ıslatma ön işlem uygulamasında 25.06 kJ mol^{-1} iken, %100 US ön işlemde 37.82 kJ mol^{-1} olarak belirlenmiştir. Sıcak havalı kurutucuda sıcaklık ve ultrason etkisi görülürken, vakum kurutucuda ise vakumun etkisi daha fazla görülmüştür.

Mısır için ultrason ön işlemi yerine ultrasonun direk kurutmada kullanılması kurutmayı daha etkin bir şekilde etkileyebileceği düşünülmekedir. Aynı zamanda ultrason ön işlemli kurutmalarda enerji harcaması yönünden de kıyaslama yapılabilir.

KAYNAKLAR

ABDOLI, B., ZARE, D., JAFARI, A. and CHEN, G., 2018. Evaluation of The Air-Borne Ultrasound on Fluidized Bed Drying of Shelled Corn: Effectiveness, Grain Quality, and Energy Consumption. Drying Technology, 1-18.

ADEBOWALE, K.O., OLU-OWOLABI, B.I., OLAWUMI, E. K. and LAWAL, O.S., 2005. Functional Properties of Native, Physically and Chemically Modified Breadfruit (*Artocarpus Artilis*) Starch. Ind. Crops Prod, 21: 343–351.

AGHBASHLO, M., KIANMEHR, M. H., KHANI, S. and GHASEMI, M., 2009. Mathematical Modelling of Thin-Layer Drying of Carrot. Int. Agrophysics, 23: 313-317.

AH-HEN, K., ZAMBRA, C. E. and AGUERO, J. E., 2013. Moisture Diffusivity Coefficient and Convective Drying Modelling of Murta (*Ugni molinae Turcz*): Influence of Temperature and Vacuum on Drying Kinetics. Food Bioprocess Technol., 6: 919–930.

AJALA, A. and ABUBAKAR, M., 2018. Study Of Drying Kinetics and Quality Attributes of Fermented Corn Grains As Affected By Drying Temperatures and Velocities. Journal of Nutritional Health & Food Engineering, 8 (2): 205-212.

AKDENİZ, H., YILMAZ, İ., ANDİÇ, N. ve ZORER, Ş., 2004. Bazı Mısır Çeşitlerinde Verim ve Yem Değerleri Üzerine Bir Araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 14 (1): 47-51.

AKPINAR, E. K., BICER, Y. ve YILDI, C., 2003. Thin Layer Drying of Red Pepper. Journal of Food Engineering, 59: 99–104.

AKPINAR, E. (2006). Determination Of Suitable Thin Layer Drying Curve Model For Some Vegetables and Fruits. Journal of Food Engineering, 73(1): 75–84.

ALTINEL, B., 2002. Sanayide Kullanılan Mısır ile Kuru Öğütme ve Ürünlerinin Bazı Özellikleri. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 91s.

ALİBAŞ, İ., 2012. Sıcak Havayla Kurutulan Enginar (*Cynara cardunculus* L. var. scolymus) Dilimlerinin Kuruma Eğrilerinin Tanımlanmasında Yeni Bir Modelin Geliştirilmesi ve Mevcut Modellerle Kıyaslanması. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 26 (1): 49-61.

AMPAH, 2011. Effect Of Rewettıng and Dryıng On Selected Physıcal Propertıes of Asontem Cowpea Varıety. Master of Scıence in Food and Postharvest Engıneerıng. Department of Agricultural Engineering. Kwame Nkrumah University, Kumasi, 128p.

ANONİM, 1960a. International Association for Cereal Chemistry. ICC Standart No, 110.

ANONİM, 1960b. International Association for Cereal Chemistry. ICC Standart No, 104.

ANONİM, 1999. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the AACC Method 55-10.01.

ANONİM, 2000. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the AACC Method 30-10.01.

ANONİM, 2001. International Association for Cereal Chemistry. ICC Standart No, 152.

ANONİM, 2002. International Association for Creal Chermistry ICC Standart

No:105.
AREGBESOlA, O. A., OGUNSINA, B. S., SOFOLAHAN, A. E. and CHIME, N. N., 2015. Mathematical Modeling of Thin Layer Drying Characteristics of Dika (Irvingia gabonensis) Nuts and Kernels. Nigerian Food Journal, 33: 83–89.
BABALIS, S. and BELESSIOTIS, V., 2004. Influence of Drying Conditions on The Drying Constants and Moisture Diffusivity During the Thin-Layer Drying of Figs. Journal of Food Engineering, 65 (3): 449–458.
BABAOĞLU, M., 2005. Mısır ve Tarımı. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Edirne.
BART-PLANGE, A. and BARYEH, E. A., 2003. The Physical Properties Of Category B Cocoa Beans. Journal of Food Engineering 60: 219–227.
BAŞ, B., 2010. Mısırın Çeşitli Kurutma Yöntemleriyle Kurutulması Üzerinde Bir Araştırma, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 35s.
BAYRAM, M., ÖNER, M. D. and KAYA, A., 2004. Influence of Soaking on The Dimensions and Colour of Soybean for Bulgur Production. Journal of Food Engineering, 61: 331-339.
BHATTACHARYA, S., 1996. Kinetics On Colour Changes in Rice Due To Parboiling. Journal of Food Engineering, 29 (1): 99-106.
BLASCO, M., GARCIA-PEREZ, J.V., BON, J., CARRERES, J.E. and MULLET, A., 2006. Effect of Blanching and Air-flow Rate On Turmeric Drying. Food Science and Technology International, 12 (4): 315-323.
CARCEL, J. A., GARCIA-PEREZ, J. V., RIERA, E. and MULET, A., 2007. Influence of High-Intensity Ultrasound on Drying Kinetics of Persimmon. Drying Technol., 25 (1): 185–193.
CARCEL, J. A., GARCÍA-PEREZ, J. V., RİERA, E., ROSSELLO, C. and MULET, A., 2014. Drying Assisted by Power Ultrasound. In E. Tsotsas, A. S. Mujumdar (Eds.), Weinheim (Germany): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., Modern drying technology, 37-278.
CEMEROĞLU, B., KARADENİZ, F. ve ÖZKAN, M., 2003. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 28: 541- 675.
CERTEL, M. ve ERTUGAY, M. F., 1996. Gıdalarda Su Aktivitesinin Kontrol ve Belirleme Yöntemleri-I. Gıda, 21 (1): 31-34.
CHANDRASHEKAR, A. and MAZHAR, H., 1999. The Biochemical Basis and Implications of Grain Strength in Sorghum and Maize. J. Cereal Sci., 30: 193–207.
CHEN, Z., GUO, X. and WU, T., 2016. A Novel Dehydration Technique for Carrot Slices Implementing Ultrasound and Vacuum Drying Methods. Ultrasonics Sonochemistry, 30: 28–34.
CHEMAT, F. and ZİLL-E-HUM KHAN, M. K., 2011. Applications of Ultrasound in Food Technology: Processing, Preservation and Extraction. Ultrasonics Sonochemistry, 18 (4): 813-835.
CIL, B. and TOPUZ, A., 2010. Fluidized Bed Drying of Corn, Bean and Chickpea. Department of Mechanical Engineering. Journal of Food Process Engineering, 33: 1079–1096.
CORREA, P.C., BOTELHO, M. F., OLIVEIRA, H. H. G., GONELI, D. L. A.,

RESENDE, O. and CAMPOS, C. S., 2011. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. Acta Scientiarum. Agronomy Maringá, 33 (4): 575-581.

CRA, 2006 Corn Refiners Association; Corn oil. 1701 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, D.C. (www.corn.org/CornOil.pdf).

CRANK, J., 1975. Mathematics Of Diffusion, (2nd ed.). Oxford University Press, London, 47-48..

DAĞHAN, Ş., YILDIRIM, A., YILMAZ, M. F., VARDIN, H. and KARAASLAN, M., 2018. The Effect of Temperature and Method of Drying on Isot (Urfa Pepper) and Its Vitamin C Degradation Kinetics. Italian Journal of Food Science, 30: 504-521.

DE LA FUENTE-BLANCO, S., DE SARABIA, E. R. F., ACOSTA-APARICIO, V. M., BLANCO-BLANCO, A. and GALLEGO-JUAREZ, J. A., 2006. Food Drying Process by Power Ultrasound. Ultrasonics, 44: 523–527.

DEMİRAY, E., 2009. Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, β-Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 101s.

DEMIR, V., GUNHAN, T. and YAGCIOGLU, A. K., 2007. Mathematical Modelling of Convection Drying of Green Table Olives. Biosystems Engineering, 98(1): 47-53.

DEVAHASTİN, S., 2000. Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying. Principles, Equipment and New Developments. – Exergex Corporation, Montreal.

DOMBRINK-KURTZMAN, M. A. and BIETZ, J. A., 1993. Zein Composition in Hard and Soft Endosperm of Maize. Cereal Chem., 70: 105–108.

DOMBRINK-KURTZMAN, M. A., 1994. Examination Of Opaque Mutants of Maize by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography and Scanning Electron Microscopy. J. Cereal Sci., 19: 57–64.

DOYMAZ, I., 2006. Drying Kinetics of Black Grapes Treated With Different Solutions. Journal of Food Engineering, 76: 212-217.

DOYMAZ, I., 2007. Air-Drying Characteristics of Tomatoes. Journal of Food Engineering, 78 (4): 1291–1297.

DOYMAZ, I. and PALA, M., 2003. The Thin Layer Drying Characteristic of Corn, Department of Chemical Engineering, Yıldız Technical University. Journal of Food Engineering, 60: 125-130.

DUMRAL, Ç. N. H., 2015. Farklı Çinko Dozlarının Mısır (Zea mays L.) Çeşitlerinde Verim ve Tane Kalitei Üzerine Etkisi. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, 65s.

EMEKLIER, H.Y., 2002. Altın Tanesi Mısırın Kimyası ve Endüstride Kullanımı. Üretimden Tüketime Mısır Paneli Tebliğleri. T. C. Sakarya Valiliği, Çizgi Ofset, Sakarya, 100-124.

ERCAN, S. Ş. ve SOYSAL, Ç., 2011. Ultrasonun Gıdalarda ve Enzimlerin İnaktivasyonunda Kullanılması. Gıda, 36 (4): 225-231.

EYHERABIDE, G. H., ROBUTTI, J. L. and BORRAS, F. S., 1996. Effect of Nearinfrared Transmission-Based Selection on Maize Hardness and The Composition of Zeins. Cereal Chem., 73: 775–778.

FERMANDES, F. A. and RODRIGUES, S., 2007. Ultrasound as Pretreatment for Drying of Fruits: Dehydration of Banana. J. Food Eng., 82 (2): 261–267.

FERNANDES, F. A., GALLAO, M. I. and RODRIGUES, S., 2008. Effect of Osmotic Dehydration and Ultrasound Pre-treatment on Cell Structure: Melon Dehydration. LWT-Food Sci. Technol., 41 (4): 604–610.

FERNANDES, F. A. and RODRIGUES, S., 2008. Dehydration of Sapota (Achras sapota L.) Using Ultrasound as Pretreatment. Drying Technol., 26 (10): 1232–1237.

FERNANDES, F. A., GALLAO, M. I. and RODRIGUES, S., 2009. Effect of Osmosis and Ultrasound on Pineapple Cell Tissue Structure During Dehydration. J. Food Eng., 90 (2): 186–190.

FOX, G. P., NGUYEN, L., BOWMAN, J., POULSEN, D., INKERMAN, A. and HENRY, R. J., 2007a. Relationship Between Hardness Genes and Quality in Barley (Hordeum Vulgare). J. Inst. Brew., 113: 87–95.

FOX, G. P., OSBORNE, B., BOWMAN, J., KELLY, A., CAKIR, M., POULSEN, D., INKERMAN, A. and HENRY, R., 2007b. Measurement of Genetic and Environmental Variation in Barley (Hordeum Vulgare) Grain Hardness. J. Cereal Sci., 46: 82–92.

GALLEGO-JUAREZ, J. A., RIERA, E., DE LA FUENTE BLANCO, S., RODRIGUEZ-CORRAL, G., ACOSTA-APARICIO, V. M. and BLANCO, A., 2007a. Application of High-Power Ultrasound for Dehydration of Vegetables: Processes and Devices. Drying Technol., 25 (11): 1893–1901.

GALLEGO-JUAREZ, J. A., RODRİGUEZ-CORRAL, G., GA LVEZ-MORALEDA, J. C. and YANG, T. S., 2007b. A New High İntensity Ultrasonic Technology for Food Dehydration. Drying Technology, 17: 597–608.

GARCIA-NOGUERA, J., OLIVEIRA, F. I., GALLAO, M. I., WELLER, C. L., RODRIGUES, S. and FERNANDES, F. A., 2010. Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency. Drying Technol., 28 (2): 294–303.

GARCIA-PEREZ, J. V., CARCEL, J. A., BENEDITO, J. and MULET, A., 2007. Power Ultrasound Mass Transfer Enhancement in Food Drying. Food Bioprod. Process., 85 (3): 247–254.

GARCIA-PEREZ, J. V., CARCEL, J. A., RIERA, E. and MULET, A., 2009. Influence of the Applied Acoustic Energy on the Drying of Carrots and Lemon Peel. Drying Technol., 27 (2): 281–287.

GOGUS, F. and MASKAN, M., 2006. Air Drying Characteristics of Solid Waste (Pomace) of Olive Oil Processing. Journal of Food Engineering, 72: 378-382.

GOULD, A. W., 1977. Food Quality Assurence. The AVI Publishing Company Inc. USA, 314p.

GUPTA, H. O., SACHDEV, A., JOHARI, R. P. and SINGH, R. P., 2003 Storage Protein and its Impact on Nutritional Quality in Quality Protein Maize. Indian J. Agric. Biochem., 16: 67–71.

HE, Z., YANG, F., YI, S. and GAO, J., 2012. Effect of Ultrasound Pretreatment on Vacuum Drying of Chinese Catalpa Wood. Drying Technology, 30 (15): 1750-1755.

HOLDING, D. R. and LARKINS, B. A., 2006. The Development and Importance of Zein Protein Bodies in Maize Endosperm. Maydica, 51: 243–254.

HU, Q., ZHANG, M., MUJUMDAR, A. S., XIAO, G. and SUN, J. 2006. Drying of Edamames By Hot Air and Vacuum Microwave Combination. Journal of Food

Engineering, 77: 977–982.
IOERGER, B., BEAN, S. R., TUINSTRA, A. R., PEDERSEN, J. F., ERPELDING, J., LEE, K. A. and HERRMAN, T. J., 2007. Characterization of Polymeric Proteins From Vitreous and Floury Sorghum Endosperm. J. Agric. Food Chem., 55: 10232–10239.
JAFARİ, A. and ZARE, D., 2017. Ultrasound-Assisted Fluidized Bed Drying of Paddy: Energy Consumption and Rice Quality Aspects. Drying Technol., 35(7): 893–902.
JAMBRAK, A. R., MASON, T. J., PANIWNYK, L. and LELAS, V., 2007. Accelerated Drying of Button Mushrooms, Brussels Sprouts and Cauliflower by Applying Power Ultrasound and its Rehydration Properties. J. Food Eng., 81 (1): 88–97.
JANAS, S., BOUTRY, S., MALUMBA, P., VANDER, ELST L. and BÉRA, F., 2010a. Modelling Dehydration and Quality Degradation of Maize During Fluidized-Bed Drying. J. Food Eng., 100: 527–534.
JANAS, S., MALUMBA, P., DEROANNE, C. and BÉRA, F., 2010b. Comparaison D'un Modele Empirique Et D'un Modèle Physique De Séchage De Grains De Maïs En Lit Fluidisé. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 14 (3): 389–398.
JENA, S. and DAS, H., 2007. Modeling for Vacuum Drying Characteristics of Coconut Presscake. Journal of Food Engineering, 79: 92–99.
KARATHANOS, V. T., 1999. Determination of Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. Journal of Food Engineering, 39: 337–344.
KARIMI, M., KHEIRALIPOUR, K., TABATABAEEFAR, A., KHOUBAKHT, G. M., NADERI, M. and HEIDARBEIGI, K., 2009. The Effect of Moisture Content on Physical Properties of Wheat. Pakistan Journal of Nutrition, 8 (1): 90-95.
KARKI, B., 2009. Use of High-Power Ultrasound During Soy Protein Production and Study of its Effect on Functiona Properties of Soy Protein Isolate. Unpublished Ph.D. Dissertation, Iowa State University: Ames, United States America, 97p.
KOTWALIWALE, N., BAKANE, P. and VERMA, A., 2007. Changes in Textural and Optical Properties of Oyster Mushroom During Hot Air Drying. Journal of Food Engineering, 78: 1207-1211.
KILIÇKAN, A., ÜÇER, N. and YALÇIN, I., 2010. Some Physical Properties Of Spinach (Spinaciaoleraceal.) Seed. African Journal of Biotechnology, 9 (5): 648-655.
KIRTOK, Y., 1998. Mısır Üretimi ve Kullanımı. Kocaoluk Basım ve Yayınevi. İstanbul, 125-129.
KROEHNKE, J., MUSIELAK, G. and BORATYNSKA, A., 2014. Convective Drying of Potato Asisted by Ultrasound. Poznan University of Technology, Pl. Marii Skłodowskiej-Curie, Poznan, Poland, 2: 60-965.
KROKIDA, M. K., KARATHANOS, V. T., MAROULİS, Z. B. and MORINOS-KOURIS, D., 2003. Drying Kinetics of Some Vegatables. Journal of Food Engineering, 59 (4): 391-403.
KROKIDA, M. K., MAROULIS, Z. B. and SARAVACOS, G. D., 2001. The Effect of The Method of Drying on The Colour of Dehydrated Products. Int. J. of Food Sci. & Technol., 36: 53-59.

KUDRA, T. and MUJUMDAR, A. S., 2009. Sonic Drying. In Advanced Drying Technologies, Second Edition (Pp. 199-224). Boca Raton (USA): CRC Press, Taylor& Francis Group.

LARKINS, B. A., PEDERSEN, K., MARKS, M. D. and WILSON, D. R., 1984. The Zein Proteins of Maize Endosperm. Trends Biochem. Sci., 9: 306–308.

LEE, K. M., BEAN, S. R., ALAVI, S., HERRMAN, T. J. and WANISKA, R. D., 2006. Physical and Biochemical Properties of Maize Hardness and Extrudates of Selected Hybrids. J. Agric. Food Chem., 54: 4260– 4269.

LEWIS, W. K., 1921. The Rate of Drying Solid Materials. J. Industrial Engineering Chemistry, 13: 427-432.

LI, H. and MORAY, R. V., 2013. Thin Layer Drying of Yellow Dent Corn. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 27 (2): 581-585.

LILHARE, S. F. and BAWANE, N.G., 2012. Drying Rate Analysis of Different Size Paddy Processed Under Various Drying Conditions in L.S.U Dryer. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 1 (7): 2278-0181.

LIU, X., QUI, Z., WANG, L., CHENG, Y., QU H. and CHEN, Y., 2009. Mathematical Modeling for Thin Layer Vacuum Belt Drying of Panax Notoginseng Extract. Energy Conversion and Management, 50: 928–932.

MENGEŞ, H. O. ve ERTEKİN, C., 2007. Vişne Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 21 (42): 4-10.

MESTRES, C. and MATENCIO, F., 1996. Biochemical Basis of Kernel Milling Characteristics and Endosperm Vitreousness of Maize. J. Cereal Sci., 24: 283–290.

MIANO, A. C., IBARZ, A. and AUGUSTO, P. E. D.. 2017. Ultrasound Technology Enhances the Hydration of Corn Kernels Without Affecting Their Starch Properties. Journal of Food Engineering, 197: 34-43.

MIDILLI, A., KUCUK, H. and YAPAR, Z., 2002. A New Model for Single Layer Drying. Dry Technol l20 (7):1503-1513.

MIERZWA, D. and KOWALSKI, S. J., 2016. Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration and Convective Drying of Apples: Process Kinetics and Quality Issues. Chemical and Process Engineering, 37 (3): 383-391.

MOHAMMADI, A., RAFIEE, S., EMAM-DJOMEH, Z. and KEYHANI, A., 2008. Kinetic Models for Colour Changes in Kiwifruit Slices During Hot Air Drying. World Journal of Agricultural Sciences, 4 (3): 376-383.

MOHSENİN, N., 1980. Physical Properties of Plants and Animal Materials. New York: Gordon and Breach Science Publishers. N.W.

MOMENZADEHA, L., ZOMORODIANA, A. and MAWLAB, D., 2011. Experimental and Theoretical Investigation of Shelled Corn Drying in a Microwave-Assisted Fluidized Bed Dryer Using Artificial Neural Network. Food and Bioproducts Processing, 8 (9): 15–21.

MORRIS, C. F., 2002. Puroindolines: The Molecular Genetic Basis of Wheat Grain Hardness. Plant Mol. Biol., 48: 633–647.

MULET, A., CARCEL, J., SANJUAN, N. and BON, J., 2003. New Food Drying Technologies-Use of Ultrasound. Food Science and Technology International, 9: 215–221.

MURALİDHARA, H. S., ENSMİNGER, D. and PUTNAM, A., 1985. Acoustic Dewatering and Drying (Low and High Frequency): State of the Art Review. Drying Technology, 3 (4): 529-566.

NOWACKA, M., WIKTOR, A., ŚLEDŹ, M., JUREK, N. and WITROWA-RAJCHERT, D., 2012. Drying of Ultrasound Pretreated Apple and its Selected Physical Properties. Journal of Food Engineering, 113 (3): 427–433.

ODJO, S., MALUMBA, P., DOSSOU, J., JANAS, S. and BÉRA, F., 2012. Influence of Drying and Hydrothermal Treatment of Corn On The Denaturation of Salt-Soluble Proteins and Color Parameters. Journal of Food Engineering, 109: 561–570.

ORTEGA, E. I. and BATES, L. S., 1983. Biochemical and Agronomic Studies of Two Modified Hard-Endosperm Opaque-2 Maize (Zea Mays L.) Populations. Cereal Chem., 60: 107–111.

OSBORNE, B. G., 2006. Applications of Near Infrared Spectroscopy in Quality Screening of Early-Generation Material in Cereal Breeding Programmes. J. Near Infrared Spec., 14: 93–101.

OZDEMIR, M. and DEVRES, Y. O., 2000. Analysis of Color Development During Roasting of Hazelnuts Using Response Surface Methodology. Journal of Food Engineering, 45 (1): 17-24.

ÖZEL, Ö. F., 2010. Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 96s.

ÖZLER, S., ERGÜNEŞ, G. ve TARHAN, S., 2006. Mısırda Farklı Ön İşlemlerin Kuruma Hızına Etkisi. OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 21 (2): 160-166.

PAGE, G. E., 1949. Factors Influencing The Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers. M.S. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Purdue University, purdue, USA.

PAN, Z., ECKHOFF, S. R., PAULSEN, M. R. and LITCHFIELD, J. B., 1996. Physical Properties and Dry-Milling Characteristics of Six Selected High-Oil Maize Hybrids, Cereal Chemistry, 73 (5): 517-520.

PEPLINSKI, A. J., PAULSEN, M. R. and BOUZAHER, A., 1992, Physical, Chemical, and Dry-Milling Properties of Corn of Varying Density and Breakage Susceptibility, Cereal Chemistry, 69 (4): 397-400.

PEPLINSKI, A. J., PAULIS, J. W., BIETZ, J. A. and PRATT, R. C.. 1994. Drying of High-Moisture Corn: Changes in Properties and Physical Quality. Cereal Chern., 71 (2): 129-133.

PRACHAYAWARAKORN, S., SOPONRONNARIT, S., WETCHACAMA, S. and CHINNABUN, K., 2004. Methodology for Enhancing Drying Rate and Improving Maize Quality in a Fluidised-Bed Dryer. J. Stored Prod. Res., 40: 379–393.

PRATT, R. C., PAULIS, J. W., MILLER, K., NELSEN, T. and BIETZ, J. A., 1995. Association of Zein Classes With Maize Kernel Hardness. Cereal Chem., 72: 162–167.

RAYAGURU, K. and ROUTRAY, W., 2012. Mathemical Modeling of Thin-Layer Drying Kinetics of Stone Apple Slices. Intl. Food Res. J., 19 (4): 1503-1510.

ROBUTTI, J. L., BORRAS, F. S. and EYHERABIDE, G. H., 1997. Zein Compositions of Mechanically Separated Coarse and Fine Portions of Maize Kernels. Cereal Chem., 74: 75–78.

ROBUTTI, J. L., BORRAS, F. S., FERRER, M. E. and BIETZ, J. A., 2000. Grouping and Identification of Argentine Maize Races by Principal Component Analysis of Zein Reversed-Phase HPLC Data. Cereal Chem., 77: 91–95.

RODRIGUEZ, O., SANTACATALINA, J. V., SIMAL, S., GARCIA-PEREZ, J. V., FEMENIA, A. and ROSSELLO, C., 2014. Influence of Power Ultrasound Application on Drying Kinetics of Apple and its Antioxidant and Microstructural Properties. J. Food Eng., 129: 21–29.

ROONEY, L. W. and SUHENDRO, E. L., 2000. Food Quality of Corn. Texas A&M University, Texas,1-38 (unpublished).

SANCHEZ, F. C., SALINAS, M. Y., VAZQUEZ, C. M. G. and AGUILAR, G. N., 2007. Effect of the Prolamins in Maize (*Zea Mays* L.) Grain on Tortilla Texture. Arch. Latinoam. Nutr., 57: 295–301.

SAYGI, M. ve TOKLU, F., 2016. Çukurova Koşullarında Yetiştirilen Bazı Atdişi Mısır (*Zea mays* indentata Sturt.) Çeşitlerinin Önemli Bitkisel Karakterler, Verim Komponentleri ve Dane Verimi Yönünden Değerlendirilmesi. Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34: 3-163.

SCHOSSLER, K., JAGER, H. and KNORR, D., 2012. Novel Contact Ultrasound System for the Accelerated Freeze-Drying of Vegetables. Innov. Food Sci. Emerg. Technol., 16: 113–120.

SHIVHARE, U. S., 1991. Drying Characteristics of Corn in a Microwave Field With a Surface-Wave Applicator. Doctor of Philosophy. Macdonald Campus of McGill University. Quebec, Canada, 164p.

SINGH, B., PANDEY, S., PAL, A.K., SINGH, J. and RAI, M., 2005. Correlation and Path Coefficient Analysis in Asiatic Carrot. Veg. Sci., 32 (2): 136-139.

SİUCİNSKA, K. and KONOPACKA, D., 2014. Application of Ultrasound to Modify and İmprove Dried Fruit and Vegetable Tissue: A Review. Drying Technology, 32(11): 1360-1368.

SOPONRONNARIT, S., PONGTORNKULPANICH, A. and PRACHAYAWARAKORN, S.. 1997a. Corn Quality After Drying by Fluidization Technique at Hıgh Temperature. Drying Technology, 15 (10): 2577-2586.

SOPONRONNARIT, S., PONGTORNKULPANICH, A. and PRACHAYAWARAKORN, S.. 1997b. Drying Characteristics of Corn in Fluidized Bed Dryer. Drying Technology, 15 (5): 1603-1615.

STROSHINE, R. and HAMANN, D. (1995). Physical Properties of Agricultural Materials and Food Products. Course Manual, Purdue University, Indiana.

SWAMI, S. B., DAS, S. K. and MAITI, B., 2007. Texture Profile Analysis of Cooked Sun Dried Nuggets (Bori) Prepared with Different Levels of Moisture Content and Percent Air Incorporation in Its Batter. International Journal of Food Engineering, 3 (5): 10.

SZADZIŃSKA, J., ŁECHTAŃSKA, J., KOWALSKI, S. J. and STASIAK, M., 2017. The Effect of High Power Airborne Ultrasound and Microwaves on Convective Drying Effectiveness and Quality of Green Pepper. Ultrason. Sonochem., 34: 531–539.

ŞAHİN, H. F., ÜLGER, P., AKTAŞ, T. ve ORAK, H. H., 2012. Farklı Ön işlemlerin ve Vakum Kurutma Yönteminin Domatesin Kuruma Karakteristikleri ve Kalite Kriterleri Üzerine Etkisi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9 (1): 1302–7050.

TARLETON, E. S., 1992. The Role of Field-Assisted Techniques in Solid/Liquid Separation. Filtr Separat, 29: 246–238.

TARLETON, E. S., WAKEMAN, R. J., POVEY, M. J. W. and MASON, T. J., 1998. Ultrasounds in Food Processing; Blackie Academic and Professional: Glasgow. PP. 193–218.

TEKİN, Z. H., BAŞLAR, M., KARASU, S. and KILIÇLI, M. 2017. Dehydration of Green Beans Using Ultrasound Assisted Vacuum Drying as a Novel Technique: Drying Kinetics and Quality Parameters. Journal of Food Processing and Preservation, 41 (6): 145-8892.

TOUJANİ, M., HASSİNİ, L., AZZOUZ, S. and BELGHİTH, A., 2013. Experimental Study and Mathematical Modeling of Silverside Fish Convective Drying, J. Food Process. Preserv., 37: 930–938.

TRAFFANO-SCHİFFO, M. V., CASTRO-GİRÁLDEZ, M., FİTO, P. J. and BALAGUER, N., 2014. Thermodynamic Model of Meat Drying by İnfrared Thermography. J. Food Eng., 128: 103–110.

TULEK, Y., 2011. Drying Kinetics of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in a Convective Hot Air Dryer. J. Agr. Sci. Tech., 13: 655-664.

TUNCEL, N. B., YILMAZ, N., KOCABIYIK, H., ÖZTÜRK, N. and TUNCEL, M., 2010. The Effects of Infrared and Hot Air Drying on Some Properties of Corn (*Zea Mays*). Journal of Food, Agriculture & Environment,8 (1): 63 - 68.

TÜFEKÇİ, S. ve ÖZKAL, S. G., 2015. Gıdaların Kurutulmasında Ultrases Kullanımı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimi Dergisi, 21 (9): 408-413.

ULUSOY, K. ve KARAKAYA, M., 2011. Gıda Endüstrisinde Ultrasonik Ses Dalgalarının Kullanımı. Gıda, 36 (2): 113-120.

ÜÇER, N., KILIÇKAN, A. and YALÇIN, B., 2010. Effects of Moisture Content on Some Physical Properties of Red Pepper (*Capsicum Annuum* L.) Seed. African Journal of Biotechnology, 9 (24): 3555-3562.

WANI, I. A., SOGI, D. S., WANI, A. A. and GILL, B. S., 2017. Physical and Cooking Characteristics of Some Indian Kidney Bean (Phaseolus vulgaris L.) Cultivars. Journal of The Saudi Society of Agricultural Sciences, 16: 7-15.

WATSON, S. A., 1987. Structure and Composition, 53-83, Corn Chemistry and Technology, Watson, S.A. and Ramstad, P.E. (Eds.), American Association of Cereal Chemists, Inc., USA, 605p.

WHITE, G. M., ROSS, I. J. and PONELERT, 1981. Fully Exposed Drying of Popcorn. Transactions of ASAE, 24: 466–468.

WİLLİAMS, P. C., NAKOUL, H. and SİNGH, K. B., 1983. Relation Ship Between Cooking Time and Some Physical Characteristics in Chick Peas (*Cicer Arietinum* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture, 492–496.

WİTROWA-RAJCHERT, D., WİKTOR, A., SLEDZ, M. and NOWACKA, M., 2014. Selected Emerging Technologies to Enhance The Drying Process: A Review. Drying Technology, 32 (11), 1386-1396.

WUA, L., ORIKASA, T., OGAWA, Y. and TAGAWA, A., 2007. Vacuum Drying Characteristics of Eggplants. Journal of Food Engineering, 83: 422–429.

VARNAMKHASTI, M. G., MOBLI, H., JAFARI, A., RAFIEE, S., SOLTANABADI, M. H. and KHEIRALIPOUR, K., 2007. Some Engineering Properties of Paddy (var. sazandegi). International Journal of Agriculture and Biology. 9: 763-766.

VARNAMKHASTI, M., MOBLI, H., JAFARI, A., KEYHANI, A. R., SOLTANABADI, M. H., RAFIEE, S. and KHEIRALIPOUR, K., 2008. Some Physical Properties of Rough Rice (*Oryza Sativa*) Grain. Journal of Cereal Science, 47: 496-501.

VARTANLI, S. ve EMEKLİER, H. Y., 2007. Ankara Koşullarında Hibrit Mısır Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 13 (3): 195-202.

VERMA, L. R., BUCKLIN, R. A., ENDAN, J. B. and WRATTEN, F. T., 1985. Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models. Transactions of The ASAE, 28 (1): 296-301.

YALDIZ, O., ERTEKIN, C. and UZUN, H. I., 2001. Mathematical Modeling of Thin Layer Solar Drying of Sultana Grapesq. Energy, 26 (5): 457-465.

YILDIRIM, A. and ÖNER, M. D., 2005. Electrical Conductivity, Water Absorption, Leaching, and Color Change of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) During Soaking with Ultrasound Treatment. International Journal of Food Properties, 18: 1359–1372.

YILDIRIM, A., BAYRAM, M. ve ÖNER, M. D., 2009. Nohuttaki (*Cicer Arietinum* L) Su Difüzyon Katsayılarına Sıcaklık ve Ultrasonic Ses Dalgalarının Etkisi. 6.Gıda Mühendisliği Kongresi, 06-08 Kasım, ANTALYA.

YILDIRIM, A., ÖNER, M. D. and BAYRAM, M., 2010. Modeling of Water Absorption of Ultrasound Applied Chickpeas (*Cicer arietinum* L.) Using Peleg's Equation Ultrason. Journal of Agricultural Sciences, 16: 278-286.

YILDIRIM, A., ÖNER, M. D. and BAYRAM, M., 2011. Fitting Fick's Model to Analyze Water Diffusion into Chickpeas During Soaking with Ultrasound Treatment. Journal of Agricultural Science, 104: 134-142.

YILDIRIM, A., ÖNER, M. D. and BAYRAM, M., 2013. Effect of Soaking and Ultrasound Treatments on Texture of Chickpea. Journal of food science and Technology, 50 (3): 455-465.

YILDIRIM, A., 2017. Kinetics and Thermodynamic Properties of Parboiled Burgos Wheat (Triticum Durum) in Turkey During Drying. Applied Ecology and Environmental Research, 16 (1): 495-510.

YILDIRIM, A. and ATASOY, A. F., 2017. Change in Waight and Dimensions of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. walp.) During Soaking. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri, 21 (4): 420-430.

YILMAZ, S., 2010. Mısırın Dinlendirmeli Kurutma Davranışının İncelenmesi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 93s.

YILMAZ, G., 2016. Ultrason Ön İşleminin Elma Dilimlerinin Kuruma Karakteristiği Üzerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 59s.

YOUSSEF, M. M., 1978. A Study of Factors Affecting the Cook Ability of Faba Beans (*Vicia Faba* L.). Ph. D. Thesis, College of Agricultural University of Alexandria, Alexandria, EGYPT.

YUAN, J. and FLORES, R. A., 1996. Laboratory Dry-Milling Performance of White Corn: Effect of Physical and Chemical Corn Characteristics, Cereal Chemistry, 73 (5): 574-578.

YÜKSEL, Y. ve ELGÜN, A., 2013. Buğdayın Islatılması Sırasında Ultrason İşlemi Uygulamanın Tanenin Su Absorbsiyonu Üzerine Etkisi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 15(2): 1-14.

ZHANG, Y., DARLINGTON, H., JONES, H. D., HALFORD, N. G., NAPIER, J. A., DAVEY, M. R., LAZZERI, P. A. and SHEWRY, P. R., 2003. Expression of the Γ-Zein Protein of Maize in Seeds of Transgenic Barley: Effects on Grain Composition and Properties. Theor. Appl.Genet., 106: 1139–1146.

ZHANG, M., JİANG, H. and LİM, R., 2010. Recent Developments in Microwave-Assisted Drying of Vegetables, Fruits, and Aquatic Products-Drying Kinetics and Quality Considerations. Drying Technology, 28: 1307–1316.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı **:** Zana KARABOĞA

Uyruğu **:** T.C.

Doğum Yeri ve Tarihi : Mardin- 02.02.1992

Telefon **:** 0532 250 97 76

e-mail **:** zana_krb@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Mardin Anadolu Lisesi/MARDİN	2010
Üniversite	: Yüzüncü Yıl Üniversitesi/VAN	2014
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi/ŞANLIURFA	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-Devam	: Mer Gıda Sanayi A.Ş	Gıda Mühendisi

YAYINLAR

1- Ayşe Fulya Habiboğlu, Ali Yıldırım, **Zana Karaboğa**, Ahmet Ferit Atasoy. (2016)**.** Antifiriz Proteinler ve Gıdalarda Kullanımı. Türkiye 12. Gıda Kongresi, pp:232. 05-07 Ekim 2016; Trakya Üniversitesi, Edirne (Özet-Poster).

2- Ali Yıldırım, **Zana Karaboğa**, Ayşe Fulya Habiboğlu, Ahmet Ferit Atasoy. (2016). Mardin Peksimeti (Bakısma). Türkiye 12. Gıda Kongresi, pp:250, 05-07 Ekim 2016; Trakya Üniversitesi, Edirne (Özet-Poster).

3- Ali Yıldırım, **Zana Karaboğa**, Ayhan Atlı. (2016). Kuskus. Türkiye 12. Gıda Kongresi, pp:251, 05-07 Ekim 2016; Trakya Üniversitesi, Edirne (Özet-Poster).