T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELMA ÇEŞİTLERİNİN KURUTULMASINDA FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ VE YAPAY ZEKÂ ALGORİTMALARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Hazırlayan
Necati ÇETİN

Danışman
Doç. Dr. Cevdet SAĞLAM

Doktora Tezi

Haziran 2021
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELMA ÇEŞİTLERİNİN KURUTULMASINDA FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ VE YAPAY ZEKÂ ALGORİTMALARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Hazırlayan
Necati ÇETİN

Danışman
Doç. Dr. Cevdet SAĞLAM

Haziran 2021
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Necati ÇETİN

İmza

“Elma Çeşitlerinin Kurutulmasında Farklı Kurutma Yöntemlerinin Etkisinin Belirlenmesi ve Yapay Zekâ Algoritmalarıyla Karşılaştırılması” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan	**Danışman**
Necati ÇETİN	Doç. Dr. Cevdet SAĞLAM
İmza	İmza

Biyosistem Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Zeki GÖKALP

İmza

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım sırasında ve akademik kariyerim boyunca bana her türlü bilgiyi, kolaylığı, motivasyonu ve desteği sağlayan danışman hocam Doç. Dr. Cevdet SAĞLAM'a,

Tezimin planlanmasında, yürütülmesinde ve neticelendirilmesinde, bilgisi ve tecrübesi ile bana yardımcı olan ve zaman ayıran değerli hocalarım Doç. Dr. Kevser KARAMAN ve Prof. Dr. Mahmut KAPLAN'a,

Çalışmalarımın her anında yanımda olan değerli fikir ve görüşlerini benimle sürekli paylaşan kıymetli hocam Öğr. Gör. Zeynel Abidin KUŞ'a,

Değerli zamanlarına bana ayırdıkları için tez savunma jüri üyelerim, saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŞ, Dr. Öğretim Üyesi Bahadır DEMİREL, Doç. Dr. Abdullah BEYAZ ve Doç. Dr. Onur TAŞKIN'a,

Biyokimyasal analizlerin yapılmasında yardımcı olan Zir. Yük. Müh. Beyza ÇİFTÇİ'ye,

Tez çalışmamda laboratuvar desteği sağlayan Doç. Dr. Selma BÜYÜKKILIÇ BEYZİ'ye,

Ayrıca bu süreçte benden destek ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA, Prof. Dr. Zeki GÖKALP, Arş. Gör. İhsan Serkan VAROL, Dr. Öğr. Üyesi Safa KARAMAN, Dr. Sema KAPLAN, Arş. Gör. Sibel TURAN, Doç. Dr. Erman BEYZİ, Arş. Gör. Muhammed TAŞOVA, Aysel ARSLAN ve kardeşim Dr. Niyazi ÇETİN'e,

Desteklerini her daim yakından hissettiğim, canımdan çok sevdiğim Anneme ve Babama,

Son olarak bana çalışmalarım sırasında fazlasıyla sabır ve anlayış gösteren, en büyük destekçim, hayat arkadaşım çok değerli eşim Emel ÇETİN'e ve canım kızım Melahat'a,

Sonsuz teşekkür ederim…

Necati ÇETİN

Haziran 2021 Kayseri

ELMA ÇEŞİTLERİNİN KURUTULMASINDA FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ VE YAPAY ZEKÂ ALGORİTMALARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Necati ÇETİN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Haziran 2021
Danışman: Doç. Dr. Cevdet SAĞLAM

ÖZET

Bu tez çalışmasında Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith çeşidi dip (döküntü) elmaları; güneşte, kontrollü serada, mikrodalga fırında (200W), hibrit sistemde (100W+60ºC), konvektif kurutucuda (70ºC) ve dondurarak kurutucuda (-55ºC) ultrases ön işlemli ve ön işlemsiz olarak kurutulmuştur. Kurutulmuş elmaların; kurutma karakteristikleri, fiziksel, termal, spektral ve biyokimyasal özellikleri belirlenmiş ve yapay zekâ algoritmalarıyla değerlendirilmiştir. Araştırma bulgularına göre en yüksek kurutma süresi dondurarak kurutmada, en düşük ise mikrodalga kurutmada elde edilmiştir. Görüntü işleme ile belirlenen fiziksel özelliklerdeki değişim, ön işlem görmüş örneklerde daha fazla olmuştur. En fazla renk değişimi (ΔE) ultrases ön işlem görmüş kontrollü serada kurutulan Oregon Spur çeşidinde meydana gelmiştir. Rehidrasyon kapasitesi bakımından en yüksek değerler, hibrit kurutulan ürünlerde elde edilmiştir. Bununla birlikte en yüksek büzülme oranı değerleri liyofilizatör ile kurutulan ürünlerde saptanmıştır. Çalışmada hesaplanan en yüksek enerji tüketimi değeri konvektif kurutmada (15.21 kWh), en az ise hibrit (1.45 kWh) kurutmada tespit edilmiştir. Kurutulmuş ürünlerde en yüksek toplam fenolik madde, DPPH inhibisyon aktivitesi, FRAP antioksidan aktivite ve askorbik asit içeriği değerleri sırasıyla 40.08 mg GAE g^{-1}, %46.96, 68.01 µg trolox g^{-1} ve 1.52 mg g^{-1} ile güneşte kurutulan ön işlemsiz Granny Smith çeşidinde elde edilmiştir. Çalışmada en yüksek spektral yansıma değerleri mikrodalga ve güneşte, en düşük ise liyofilizatörde kurutulan ürünlerde ortaya konmuştur. Çalışmada beş farklı yapay zekâ algoritması (yapay sinir ağları, k-en yakın komşu, rastgele orman, gauss süreçleri ve destek vektör regresyonu) kullanılarak toplam fenolik madde, antioksidan aktivite, askorbik asit ve bazı kurutma karakteristikleri tahmin edilmiştir. Biyokimyasal özelliklerin ve kurutma karakteristiklerinin tahmininde en başarılı algoritma rastgele orman algoritması olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ultrases, renk, rehidrasyon, modelleme, enerji, biyokimyasal, spektral yansıma, görüntü işleme, yapay zekâ

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT DRYING METHODS ON DRYING OF APPLE CULTIVARS AND COMPARISON OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS

Necati ÇETİN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
PhD Thesis, June 2021
Supervisor: Assoc. Prof. Cevdet SAĞLAM

ABSTRACT

In present thesis, Golden Delicious, Oregon Spur and Granny Smith apples (fallen apples) were dried in open-sun, controlled greenhouse, microwave oven (200W), hybrid system (100W+60ºC), convective dryer (70ºC) and freeze-dryer (-55ºC) with and without ultrasound pre-treatment. Drying characteristics, physical, thermal, spectral, and biochemical characteristics of dried apples were determined and assessed through artificial intelligence algorithms. According to present findings, the greatest drying duration was observed in freeze-drying and the lowest in microwave drying. The change in physical characteristics determined by image processing was greater in pre-treated samples. The greatest color change (ΔE) was observed in ultrasound pre-treated Oregon Spur apples dried in controlled greenhouse. In terms of rehydration capacity, the greatest values were observed in hybrid dried samples. Besides, the greatest shrinkage values were observed in samples dried in a freeze-dryer. The greatest energy consumption was observed in convective drying (15.21 kWh) and lowest in hybrid drying (1.45 kWh). The greatest total phenolics, DPPH inhibition activity, FRAP antioxidant activity and ascorbic acid contents were observed in sun-dried Granny Smith apples without pre-treatment (40.08 mg GAE g^{-1}, 46.96%, 68.01 µg trolox g^{-1} and 1.52 mg g^{-1}, respectively). The greatest spectral reflectance values were observed in microwave and sun-dried samples and the lowest values were seen in freeze-dried samples. Total phenolics, antioxidant activity, ascorbic acid content and some drying characteristics were estimated with the use of five different artificial intelligence algorithms (artificial neural networks, k-nearest neighbor, random forest, gaussian processes and support vector regression). Random forest was identified as the best algorithm in estimation of biochemical traits and drying characteristics.

Key Words: Ultrasound, color, rehydration, modeling, energy, biochemical, spectral reflectance, image processing, artificial intelligence

İÇİNDEKİLER

ELMA ÇEŞİTLERİNİN KURUTULMASINDA FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ VE YAPAY ZEKÂ ALGORİTMALARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL VE ONAY iv
TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
KISALTMALAR ve SİMGELER xii
TABLOLAR LİSTESİ xv
ŞEKİLLER LİSTESİ xviii
GİRİŞ 1

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Kurutma Sistemleri 6
1.1.1. Konvektif Kurutma 6
1.1.2. Temaslı Kurutma 7
1.1.3. Radyasyon ile Kurutma 7
1.1.4. Dielektrik Kurutma 7
1.1.5. Mikrodalga ile Kurutma 7
1.1.6. Dondurarak Kurutma 7
1.1.7. Ozmotik Kurutma 8
1.2. Kurutma Esnasında Ürün Kalitesine Etki Eden Etmenler 9
1.3. Kurutmada Meydana Gelen Başlıca Değişimler 10
1.3.1. Fiziksel Değişimler 10
1.3.2. Biyokimyasal Değişimler 10
1.4. Meyve ve Sebzelerin Kurutulması 11
1.5. Ultrases Ön işlem 11

1.6. Kurumayı Etkileyen İç Koşullar 13
1.7. Kurumanın Aşamaları 14
1.7.1. Isınma Aşaması, [1-2] 14
1.7.2. Sabit Hızda Kuruma, [2-3] 14
1.7.3. Azalan Hızda Kuruma, [3-3'- 4] 15
1.8. Kurutmada Matematiksel Modelleme 15
1.9. Görüntü İşleme Uygulamaları ve Tahminleme Teknikleri 16
1.10. Spektral ve Termal Özellikler 17
1.11. Literatür Özetleri 18
1.12. Problem Durumu 30
1.13. Araştırmanın Amacı 31
1.14. Araştırmanın Önemi 31

2. BÖLÜM

MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal 33
2.1.1. Konvektif-Mikrodalga Fırının Özellikleri 39
2.1.2. Kontrollü Seranın Özellikleri 41
2.1.3. Liyofilizatörün Özellikleri 45
2.2. Yöntem 46
2.2.1. Ultrases Ön İşlem Uygulaması 46
2.2.2. Nem Özelliklerinin Belirlenmesi 47
2.2.3. Nem Oranının Hesaplanması 47
2.2.4. Kuruma Hızının Hesaplanması 48
2.2.5. Matematiksel Modelleme 48
2.2.6. Renk Değerlerinin Belirlenmesi ve Hesaplanması 49
2.2.7. Görüntülerin Alınması ve İşlenmesi 50
2.2.8. Kırılma ve Sertlik Testleri 53
2.2.9. Biyokimyasal Özelliklerin Belirlenmesi 53
2.2.9.1. pH ve Suda Çözünen Kuru Madde Miktarı (°Briks) 53
2.2.9.2. Kuru Madde, Kül ve Protein İçeriği (%) 54
2.2.9.3. Ekstraksiyon 54
2.2.9.4. Antioksidan Kapasite (AK) 54
2.2.9.5. Toplam Fenolik Madde (TFM) 55

2.2.9.6. Askorbik Asit İçeriği (AA) 55
2.2.9.7. HPLC ile HMF (5-hidroksimetil-2-furfural) Analizi 55
2.2.10. Rehidrasyon Kapasitesi 56
2.2.11. Büzülme Oranı 57
2.2.12. Enerji Analizleri 57
2.2.12.1. Enerji Tüketimi 57
2.2.12.2. Efektif Nem Difüzyonu 58
2.2.12.3. Termal Etkinlik 58
2.2.13. Yapay Zekâ 59
2.2.13.1. Öznitelik Seçimi 59
2.2.13.2. Bölme ve Çapraz Doğrulama 60
2.2.13.3. Tahminleme Algoritmaları 60
2.2.13.4. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) 61
2.2.13.5. k-En Yakın Komşu (kNN) 62
2.2.13.6. Rastgele Orman (RF) 62
2.2.13.7. Gauss Süreçleri (GP) 63
2.2.13.8. Destekçi Vektör Regresyonu (SVR) 63
2.2.13.9. Model Performanslarının Değerlendirilmesi 64
2.2.14. Spektral ve Termal Ölçümlerin Alınması 65
2.2.15. İstatistiksel Analizler 67
2.2.15.1. Varyans Analizi 67

3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Elmaların Nem İçeriği Değişimi 68
3.2. Kuruma Hızının Zamana Bağlı Değişimi 77
3.3. Elmaların Kuruma Eğrilerinin Modellenmesi 85
3.4. Fiziksel Özellikler 112
3.5. Renk Özellikleri 119
3.6. Rehidrasyon Kapasitesi ve Büzülme Oranı 123
3.7. Enerji Etkinliği, Efektif Nem Difüzyonu ve Termal Etkinlik 129
3.8. Biyokimyasal Özellikler 134
3.9. Sertlik ve Kırılganlık Tekstür Profili 144
3.10. Tek Sıcaklık ve Spektral Yansıma 146

3.11. Yapay Zekâ Algoritmaları ile Tahminleme 151
3.11.1. Biyokimyasal Özelliklerin Tahminlenmesi 151
3.11.2. Kurutma karakteristiklerinin Tahminlenmesi 159
4. BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER
KAYNAKÇA 172
ÖZGEÇMİŞ 198

KISALTMALAR ve SİMGELER

A : Amper
AA : Askorbik asit
ANN : Yapay sinir ağları
BI : Kahverengileşme indeksi
C : Santigrat
CAD : Bilgisayar destekli tasarım
C_{α} : Havanın özgül ısısı
CI : Renk indeksi
cm : Santimetre
DC : Doğru akım
D_{eff} : Difüzyon katsayısı
dk : Dakika
DPPH : Radikal süpürme aktivitesi
DR : Kuruma hızı
$E_{t,cal}$: Toplam enerji tüketimi
exp : Eksponansiyel
FRAP : Ferrik iyon indirgeme antioksidan parametresi
G : Güneşte kurutma
g (.) : Aktivasyon fonksiyonu
GAE : Gallik asit eşdeğeri
GD : Golden Delicious
GP : Gauss süreçleri
GS : Granny Smith
Hz : Hertz
k.a. : Kuru ağırlık
kg : Kilogram
kHz : Kilohertz
KM : Numunenin içerdiği kuru madde miktarı
kNN : En yakın komşu k
kW : Kilowatt

L : Ürünün dilim kalınlığı

lt : Litre

m : Numunenin ağırlığı

MAE : Ortalama mutlak hata

M_o : Başlangıçtaki nem içeriği

M_e : Denge anındaki nem içeriği

MHz : Megahertz

ml : Mililitre

MLP : Çok katmanlı algılayıcı

mm : Milimetre

MPPT : Maksimum güç noktası izleme

MR : Nem oranı

$MR_{exp,i}$: Deneysel nem oranı

$MR_{pre,i}$: Tahmin edilen nem oranı

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği

N : Gözlemlenen deneysel veri sayısı

NoE : Döngü sayısı

OS : Oregon Spur

Pa : Pascal

PV : Fotovoltaik

R : Evrensel gaz sabiti (Kj mol^{-1} K)

R : Belirleme katsayısı

RAE : Kök mutlak hata

RF : Rastgele orman

RMSE : Kök ortalama kare hatası

RRSE : Kök nispi kare hatası

RSS : Artık kareler toplamı

S : Büzülme oranı

SD : Starking Delicious

SEE : Tahminin standart hatası

SVR : Destek vektör regresyonu

S_v : Hurda değeri

T : Mutlak sıcaklık (°C)

TFM : Toplam Fenolik Madde

Us : Ultrases

V : Volt

V_S : Örneğin kurutma sonrası hacmi

V_O : Örneğin kurutma öncesi hacmi

W : Watt

W_w : Buharlaşan suyun ağırlığını

WI : Beyazlık indeksi

YI : Sarılık indeksi

z : Modeldeki bağımsız değişken sayısı

α : Momentum katsayısı

λ_w : Suyun buharlaşma gizli ısısı

μ : Mikro

η : Öğrenme oranı

$\eta_{en,\ act}$: Enerji etkinliği

ρ_α : Hava yoğunluğu

χ^2 : Ki-kare

ΔE : Toplam renk değişimi

ΔT : Sıcaklık farkı

Δt : Zaman farkı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Çeşitli kurutucuların kurutma etkinlikleri ve buharlaşma hızları.....8
Tablo 2.1. Elmaların yetiştirildiği bahçeye uygulanan gübrelerin gübreleme zamanları ve miktarları (kg).....34
Tablo 2.2. Mikrodalga-konvektif fırının teknik özellikleri.....41
Tablo 3.1. Güneşte kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....86
Tablo 3.2. Güneşte kurutulan Oregon Spur çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....87
Tablo 3.3. Güneşte kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....88
Tablo 3.4. Kontrollü serada kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....91
Tablo 3.5. Kontrollü serada kurutulan Oregon Spur çeşidi ait elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....92
Tablo 3.6. Kontrollü serada kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....93
Tablo 3.7. Mikrodalga fırında kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....96
Tablo 3.8. Mikrodalga fırında kurutulan Oregon Spur çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....97
Tablo 3.9. Mikrodalga fırında kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....98
Tablo 3.10. Hibrit kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....101
Tablo 3.11. Hibrit kurutulan Oregon Spur çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....102
Tablo 3.12. Hibrit kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....103

Tablo 3.13. Konvektif kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları 106
Tablo 3.14. Konvektif kurutulan Oregon Spur çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları.....107
Tablo 3.15. Konvektif kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları 108
Tablo 3.16. Golden Delicious çeşidine ait kurutma öncesi ve sonrası fiziksel değişimler ve Tukey grupları*.....113
Tablo 3.17. Oregon Spur çeşidine ait kurutma öncesi ve sonrası fiziksel değişimler ve Tukey grupları*.....115
Tablo 3.18. Granny Smith çeşidine ait kurutma öncesi ve sonrası fiziksel değişimler ve Tukey grupları*.....117
Tablo 3.19. Golden Delicious çeşidine ait rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı sonuçları ve Tukey grupları*.....123
Tablo 3.20. Oregon Spur çeşidine ait rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı sonuçları ve Tukey grupları*.....125
Tablo 3.21. Granny Smith çeşidine ait rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı sonuçları ve Tukey grupları*.....126
Tablo 3.22. Farklı kurutma sistemlerinin hesaplanan ve ölçülen enerji analizleri* 130
Tablo 3.23. Efektif nem difüzyon (D_{eff}) değerleri 131
Tablo 3.24. Farklı kurutma sistemleri için termal etkinlik (η_{th}, %) değerleri..132
Tablo 3.25. Kurutma sonrası pH ve sçkm değerleri ve Tukey grupları*.....134
Tablo 3.26. Çeşitlere göre kuru madde ve kül özelliklerine ait ortalama değerleri ve Tukey grupları* 136
Tablo 3.27. Çeşitlere göre sertlik ve kırılganlık özelliklerine ait ortalama değerler ve Tukey grupları* 145
Tablo 3.28. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve toplam fenolik madde tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları 153
Tablo 3.29. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve toplam fenolik madde tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları 154

Tablo 3.30. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve DPPH tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları.....155
Tablo 3.31. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve FRAP tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları.....157
Tablo 3.32. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve askorbik asit için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları.....158
Tablo 3.33. Çeşitlerin nem oranı tahmininde uygulanan makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları 160
Tablo 3.34. Çeşitlerin nem içeriği tahmininde uygulanan makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları 162
Tablo 3.35. Çeşitlerin kuruma hızı tahmininde uygulanan makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları 164

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ultrases uygulamasında akustik kavitasyon kabarcıklarının yapısı .13
Şekil 1.2. Kuruma aşamaları 14
Şekil 2.1. Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşidi dip (döküntü) elmaları.....35
Şekil 2.2. Denemelerde kullanılan cihazlar* 39
Şekil 2.3. Hibrit Kurutma Sistemi (a) ve CAD çizimi (b) 40
Şekil 2.4. Seranın genel görünüşü (a), ısıtıcı (b), havalandırma ve sirkülasyon fanı (c), fotovoltaik paneller (d), kurutma masaları (e), kontrol paneli (f), invertör (g) 44
Şekil 2.5. Liyofilizatörün genel görünüşü.....45
Şekil 3.1. Güneşte (açık) kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi.....69
Şekil 3.2. Kontrollü serada kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi.....71
Şekil 3.3. 200 W gücünde mikrodalga fırında kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi 72
Şekil 3.4. 100 W-60ºC mikrodalga gücü ve sıcaklıkta (hibrit) kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi.....74
Şekil 3.5. Konvektif kurutucuda 70ºC'de kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi 76
Şekil 3.6. Güneşte kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi.....78
Şekil 3.7. Kontrollü serada Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) kurutulan elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi.....79

Şekil 3.8. Mikrodalga fırında kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi.....81
Şekil 3.9. Hibrit sistemde kurutulan elma Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi.....82
Şekil 3.10. Konvektif kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi.....84
Şekil 3.11. Güneşte kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Page modelinden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi.....90
Şekil 3.12. Kontrollü serada kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Logistic modelden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi 95
Şekil 3.13. Mikrodalga fırında kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Jena Das modelden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi 100
Şekil 3.14. Hibrit sistemle kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Wang & Sing modelinden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi 105
Şekil 3.15. Konvektif kurutucuda kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Weibull dağılımı modelden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi 110
Şekil 3.16. Ürünlerin kuruma öncesi renk özellikleri 119
Şekil 3.17. Golden Delicious ön işlemsiz örneklere ait renk özellikleri.....120
Şekil 3.18. Golden Delicious ultrases ön işlemli örneklere ait renk özellikleri 120
Şekil 3.19. Oregon Spur ön işlemsiz örneklere ait renk özellikleri 121

Şekil 3.20. Oregon Spur ultrases ön işlemli örneklere ait renk özellikleri 121
Şekil 3.21. Granny Smith ön işlemsiz örneklere ait renk özellikleri 122
Şekil 3.22. Granny Smith ultrases ön işlemli örneklere ait renk özellikleri 122
Şekil 3.23. Ön işlemsiz örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri 124
Şekil 3.24. Ultrases ön işlemli örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri 124
Şekil 3.25. Ön işlemsiz örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri 125
Şekil 3.26. Ultrases ön işlemli örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri 126
Şekil 3.27. Ön işlemsiz örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri 127
Şekil 3.28. Ultrases ön işlemli örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri 127
Şekil 3.29. Çeşitlerin ortalama toplam fenolik madde değerlerine göre Tukey grupları*.....137
Şekil 3.30. Çeşitlerin ortalama antioksidan (DPPH) değerlerine göre Tukey grupları*.....138
Şekil 3.31. Çeşitlerin ortalama antioksidan (FRAP) değerlerine göre Tukey grupları*.....139
Şekil 3.32. Çeşitlerin ortalama askorbik asit değerlerine göre Tukey grupları* 140
Şekil 3.33. Çeşitlerin kurutma sonrası HMF miktarları.....141
Şekil 3.34. Golden Delicious çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları.....148
Şekil 3.35. Golden Delicious çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları.....148
Şekil 3.36. Oregon Spur çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları 149
Şekil 3.37. Oregon Spur çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları 149

Şekil 3.38. Granny Smith çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları 150
Şekil 3.39. Granny Smith çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları 150
Şekil 3.40. Spektral yansıma değerlerinden toplam fenolik madde (TFM) değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı 152
Şekil 3.41. Biyokimyasal ve renk özelliklerine ait değerlerden toplam fenolik madde (TFM) değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı 153
Şekil 3. 42. Biyokimyasal ve renk özelliklerine ait değerlerden toplam antioksidan (DPPH) değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı.....155
Şekil 3.43. Biyokimyasal ve renk özelliklerine ait değerlerden andtioksidan (FRAP) değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı.....156
Şekil 3.44. Biyokimyasal ve renk özelliklerine ait değerlerden askorbik asit değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı 157
Şekil 3.45. Nem oranı değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı 159
Şekil 3.46. Nem içeriği değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı 161
Şekil 3.47. Kuruma hızı değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı 163

GİRİŞ

Sağlıklı beslenme için önemli bir yeri olan elma, Dünya'da en çok yetiştiriciliği yapılan ve tüketilen meyvelerden birisidir. Elma, 2019 yılı verilerine göre 4.717.384 ha üretim alanına ve 87.236.221 ton üretim değerine sahiptir (FAOSTAT, 2021). Ülkemiz üretim miktarında Çin ve Amerika Birleşmiş Devletleri'nin ardından 3.618.752 ton ile üçüncü sırada yer almaktadır. Bununla birlikte 2017 yılında toplam kuru meyve ihracatımız 493.221 ton ve elma kurusu ihracatımız ise 4.528 tondur (Anonim, 2017). Son yıllarda gıda güvenliği ve kalitesiyle ilgili artan endişeler nedeniyle elma kalitesi giderek artan bir ilgi görmektedir. Hasar durumu, hastalıklar, tarım ilacı kalıntı kontaminasyonu ve depolama gibi elmanın iç ve dış kalitesi ile ilgili bazı sorunlar, tüketici sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmakta ve bunun yanı sıra fiyat-kalite dengesi sağlanamamaktadır. Ayrıca elmalar için biyokimyasal analizler zahmetli ve zaman alıcıdır. Bu nedenle endüstriyel işlemler, tüketici pazarında büyük ölçekli ve gerçek zamanlı elma kalite testi için artan talebi karşılayamamaktadır (Song vd., 2020).

Kurutma, gıda ürünlerinin işlenmesinde ve muhafazasında kullanılan en yaygın yöntemlerden birisidir (Deng vd., 2018). Farklı kurutma prosesleri arasında, dondurarak kurutma en yüksek ürün kalitesini sağlayabilmektedir. Ancak diğer kurutma sistemlerine göre nispeten yüksek işlem maliyeti ve uzun kurutma süreleri yöntemin en önemli dezavantajları olarak kabul edilmektedir (Hsu vd., 2003). Geleneksel sıcak havayla kurutma ise hala en yaygın kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kurutma işlemi boyunca ürünlerde bazı fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmektedir. Bu tür değişiklikler nihai ürünün duyusal ve beslenme özelliklerini değiştirmektedir (Deng vd., 2019). Ürünlerde uzun süre yüksek ısıya maruz kalma, renk kaybına ve ısıya duyarlı besin maddelerinde önemli tahribatlara neden olabilmektedir. Ayrıca ürünlerin antioksidan ve rehidrasyon kapasitesini de azaltabilmektedir (Zielinska ve Markowski, 2016).

Güneşte kurutma, endüstriyel kurutma işlemlerine bir alternatif olabilmektedir. Buna ilaveten bu yöntem enerji tasarrufuna da katkı sağlamaktadır (Dinçer, 1999). Ancak güneşte kurutmada ürünler, açık ortamlara maruz kaldıklarından toz, böcekler, kemirgenler ve kuşlar tarafından kolaylıkla tahrip edilebilir ve kirlenebilir. Buna ek olarak meyve ve sebzeler gece boyunca nemin yeniden emilmesine karşı hassastır ve bu durum, özellikle yağışlı mevsimlerde ürünün bozulmasına neden olmaktadır (Fudholi vd., 2013).

Mikrodalga ile kurutma günümüzde başarıyla uygulanan ve geleceği parlak bir kurutma yöntemidir. Çünkü mikrodalga, malzemelerin iç yüzeyine doğru homojen enerji ve ısı yayılımı sağlamakta, termal bozulma önlenmekte, oldukça yüksek nihai ürün kalitesi vermekte ve kısa kurutma süreleri ile de enerji tasarrufu sağlamaktadır (Sarimeseli, 2011).

Renk, gıda ürünleri için önemli bir kalite parametresidir (Wang vd., 2018). Bunun yanı sıra da ürünlerin besinsel özellikleriyle doğrudan ilişkilidir (Xiao vd., 2017). Kurutma işlemleri, renk değişikliklerine ve beslenme kayıplarına neden olmaktadır (Fratianni vd., 2017; Muliterno vd., 2017). Renkli maddeler bağışıklık sisteminin iyileştirilmesinde ve dejeneratif hastalık riskinin azaltılmasında büyük rol oynamaktadır (Topuz vd., 2011).

Ürünlerde kurumaya bağlı şekil değişimlerinin bir göstergesi olarak rehidrasyon kapasitesi kabul edilmektedir (Lewicki, 1998). Kurumuş ürünlerin yapısının tekrar kazandırılması, büyük ölçüde su emme kapasitesinden etkilenmektedir. Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon özellikleri bir kalite indeksi olarak kabul edilmekte ve kurutma işlemi sırasında karşılaşılan fiziksel ve kimyasal değişiklikleri işaret etmektedir (Maskan, 2001a). Ayrıca rehidrasyon davranışı, kurutma sırasında bütünlük kaybının ve hidrofilik özelliklerin azalmasına neden olan zararların bir göstergesidir. Bu tür durumlar, ürünlerin rehidrasyon kapasitesini azaltmaktadır (Marques vd., 2009). Hücre düzeyindeki yapısal zararlar en aza indirildiğinde rehidrasyon maksimuma ulaşmaktadır (Crapiste, 2000).

Matematiksel modelleme, kurutma teknolojilerinin en önemli aşamaları arasındadır. Kurutma oranının tahmini, kurutma parametrelerinin optimizasyonu ve kurutucuların tasarımı için uygun kurutma kinetiğinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bugüne kadar çeşitli ürünlerde ve sistemlerde matematiksel modeller başarıyla uygulanmış ve kanıtlanmıştır (Cruz vd., 2015; Naderinezhad vd., 2016).

Genel görünüm, şekil, boyut ve özellikle renkler, tüketicilerin genel izlenimini ve ürün kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle bu özellikler gıda maddelerinin seçiminde önemli bir kriter olarak kabul edilmektedir (Çetin vd., 2020). Kalite sınıflandırmaları gıda ve tarım endüstrisinde renk, şekil ve boyut parametrelerine göre başarıyla gerçekleştirilmektedir (Omid vd., 2010). Bu tür özelliklerin tanımlanması kurutma, depolama, sınıflandırma, paketleme ve nakliye işlemlerine de yardımcı olmaktadır. Bu özelliklerin görüntü işleme ile belirlenmesi, kalite derecelendirmesi ve çeşit sınıflandırması gibi tarım endüstrisi için büyük potansiyele sahip bir teknolojidir (Garrido-Novell vd., 2012). Bu teknoloji, düşük maliyeti, güvenilir, hızlı denetim oranına ve tutarlı bilgi sağlama yeteneğine sahip olması nedeniyle çok sayıda çalışmada uygulanmıştır (Beyaz vd., 2010; Beyaz ve Öztürk, 2016; Martinez vd., 2018).

Makine öğrenmesi, bir girdi-çıktı bağlantısı içinde geçmiş ve gelecek değerleri tahmin edebilen lineer ve nonlineer modeller sunmaktadır (Zhang vd., 2012). Makine öğrenimi tabanlı ürün sınıflandırma uygulamaları, doğru ve güvenilir sınıflandırıcıların tasarımında kullanılan etkili araçlardır. Bu tür uygulamalar, karar ağacı, yapay sinir ağları, genetik algoritma, regresyonlar ve bulanık mantık gibi çeşitli algoritmaları içermektedir. Ek olarak, çeşitli makine öğrenimi modellerinin eğitimi ve girdi-çıktı haritalama stratejilerini uyarlamanın yanı sıra yararlı özelliklerin seçilmesi ve kaldırılması için güçlü algoritmalar vardır. Bu modeller genellikle tarımsal ürünlerin kalite değerlendirmesinde tanımlayıcı özelliklerin doğru seçimi için kullanılır (Omid vd., 2010; Mollazade vd., 2012). Son zamanlarda, tarım ürünlerinin değerlendirilmesi için makine öğrenmesi teknolojileri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Bu teknikler, hızlı ve basit simülasyonlar yoluyla çözüm odaklı yaklaşımlar sunmaktadır (Soares vd., 2013). Gıda maddelerinin ve tarım ürünlerinin kalite değerlendirmesinde kullanılan belirleyici özelliklerin doğru bir şekilde tanımlanması için bu tür güçlü yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Omid vd., 2010). Ürünlerin iç kalite analizi için kullanılan spektral ve renk ölçümü gibi tahribatsız yöntemler, ürün özelliklerinin belirlenmesinde, tüketiciler için yüksek kaliteli ve standart ürünlerin sağlanmasında büyük önem taşımaktadır (Lu, 2004; Qing vd., 2007; Mendoza vd., 2011). Ayrıca bu sayede sektörde rekabet sağlanmakta ve kârlılık artmaktadır (Li vd., 2020). Bu nedenle, spektral görüntüleme, son zamanlarda tarım ürünleri ve gıda maddelerinin kalite değerlendirmesi ve denetimi için güçlü bir araç haline gelmiştir (Lu ve Chen, 1998; Peirs vd., 2003; Yang vd., 2020). Geleneksel tekniklerle

karşılaştırıldığında, bu yöntem, kullanıcıların bir numuneden hem spektral hem de uzamsal bilgi elde etmesine izin verir, böylece tarım ürünlerinin ve gıda maddelerinin fiziksel ve biyokimyasal özelliklerini tespit etmede bazı avantajlar sunar (Lu ve Chen, 1998). Gerçek zamanlı elma ölçümü için taşınabilir spektrometre kullanımı, pratik kullanım gereksinimlerini karşılayan güçlü bir yükseliş eğilimindedir (Gao vd., 2016; Song vd., 2016; Yuan vd., 2016). Bu tür aletlerin, değişken örnekleme koşulları nedeniyle doğrusal kemometrik algoritmalara zorluklar çıkaracağına dikkat edilmelidir. Veri sınıflandırması için en standart kemometrik yöntemlerden biri, yüksek boyutluluk, yüksek doğrusallık ve küçük örnek boyutu sorunlarını etkin bir şekilde ele alan makine öğrenmesi aloritmalarıdır. Bununla birlikte, bu algoritmalar yüksek derecede doğrusal olmayan veri setlerinde bazen tatmin edici olmayan performanslar sağlayabilmektedir (Song vd., 2018; Zou vd., 2010). Bu sorunu çözmek için birçok makine öğrenme algoritması incelenmiş ve kemometri alanında vazgeçilmez bir parça haline gelmiştir. Örneğin, destek vektör makinesi (SVM) ve rastgele orman (RF) gibi doğrusal olmayan sınıflandırıcılar, iyi genelleştirme performansı nedeniyle spektral verileri sınıflandırmada genellikle iyi performans göstermektedir (Devos vd., 2009; Zhang vd., 2016). Buna ilaveten yapay sinir ağları (YSA) ve aşırı öğrenme makinesi (ELM), gözlemler ve sınıflar arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri verimli bir şekilde yakalayabilmektedir. Buna ek olarak sınıflandırma doğruluğu ve sağlamlığı açısından da bir avantaj sağlamaktadır (Moncayo vd., 2015; Zheng vd., 2014).

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Gıda kurutma terminolojisinde "*Drying"* güneşte kurutma, "*Dehydration"* ise diğer yollarla kurutma işlemlerini ifade etmektedir. Kurutma işlemi güneş enerjisinden yararlanılarak ya da alternatif yöntemlerle elde edilen ısı yardımıyla gerçekleştirilmektedir (Lüle, 2014). Tarımsal ürünlerin muhafaza ve depolama süresini artırmak için uygulamada en yaygın kullanılan yöntem, ürünlerden nemin uzaklaştırıldığı kurutma işlemidir. Kurutma ile sağlanabilecek faydalar şu şekilde sıralanmaktadır (Işık ve Alibaş, 2000; Aktaş vd., 2013):

- Erken hasatla birlikte, ürünler yüksek nem içeriğine sahip olduğu için, dökülmeler önlenmekte ve hasatta oluşabilecek kayıplar azaltılmaktadır.
- Ürünlerin enzim ve mikrobiyolojik değişimleri önlenmekte ve muhafaza süresi uzatılmaktadır.
- Tohumların çimlenme yeteneği uzun süre korunabilmektedir.
- Ekonomik değeri olan yeni ürünlerin üretimine fırsat verilmektedir.
- Tarımsal artıklarının yeniden değerlendirilmesi sağlanmaktadır.
- Üründeki nem miktarının azalmasıyla besin değeri ve aroma gibi kalite özellikleri korunmaktadır.
- Ürünün hacminin azalmasıyla; paketleme, taşıma ve depolamada kolaylık sağlanmaktadır.
- Ürünün işlenmesine imkân sağlanmaktadır.

Kuruma işlemi bir ısı ve kütle transferi olayı olup, materyalin ısınması esnasında bu iki olay aynı anda gerçekleşmekte, ancak kuruma aşamalarına göre biri diğerinden daha üstün olabilmektedir. Bu durum kuruma hızını kontrol etmektedir. Kurumayı kontrol

eden sistem, kurutulan maddenin özellikleri, kurutma işlemi ve kuruma şartlarına göre değişmektedir (Dinçer ve Şahin, 2004).

Kurutmada kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyondan ikisi veya üçü aynı anda meydana gelebilmektedir. Isı transferinin başarılı bir şekilde yapılması için materyal ve kurutucu hava arasında etkin bir temas sağlanmalıdır. Ayrıca iki madde arasında yeterli bir sıcaklık ve nem farkının olması beklenmektedir. Bu sebeple çeşitli kurutma sistemleri tasarlanmakta ve geliştirilmektedir. Kurutma, diğer muhafaza yöntemlerine kıyasla daha az alet-ekipman ve işçilik gideri oluşturmaktadır. Günümüzde uygulanan birçok kurutma yöntemi vardır. Ön işlem yapılmadan veya yapıldıktan sonra güneşte ya da konvektif kurutma, mikrodalga ile kurutma, dondurarak kurutma, püskürterek kurutma ve ozmotik kurutma yaygın kullanılan yöntemlerdendir (Özenir, 2009).

Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olup yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük 7.5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1.527 kWh m^{-2} (günlük 4,2 kWh m^{-2})'dir. Bu durum tarımsal ürünlerin güneşte kurutulması için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Fakat açık alanda yapılan kurutma işlemi teknik olarak ekonomik olsa da kalite ve hijyen bakımından arzu edilen seviyelere ulaşamamıştır. Birçok farklı sistem ve tasarım bu durumun iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için kullanılmaktadır. Bu sayede kurutulan ürün hacminin artması, mevcut ürün yelpazesinin genişletilmesi ve ürünlerde kalite kontrol işlemlerinin kolaylaştırılması beklenmektedir.

1.1. Kurutma Sistemleri

1.1.1. Konvektif Kurutma

Sıcak hava ile kurutma olarak da adlandırılan bu yöntemde, buharlaşma için gerekli ısı ürüne konveksiyon yoluyla iletilmektedir. Kurutulacak ürün tabakasının üzerinden, içerisinden ve arasından sıcak hava geçirilmektedir. Isıl etkinliği temaslı kurutmaya göre daha düşüktür. Kurutma havasının hızı, konveksiyonla kurutmada kurutmayı etkileyen en önemli unsurlardandır. Buharlaşan nem, ürün yüzeyinde suya doymuş ince bir sınır tabaka oluşturmaktadır. Doymuş tabakanın kısmi buhar basıncının yüksek olması kurumayı engelleyici bir etki oluşturmaktadır. Hava hızı, üründen buharlaşan nemin ortamdan uzaklaşma hızını tayin ettiği için önemlidir. Hava hızının kuruma üzerine etkisi, belirli bir değere kadar ulaşmaktadır. Bu değerden sonra kuruma üzerinde ek bir etki göstermemektedir. Buna ilaveten sabit hızla kuruma evresinde hava hızı daha etkili olmaktadır. Azalan hızla kuruma evresinde ise nemin ürünün iç kısımlarından yüzeye

doğru difüzyonla taşınma hızı sınırlandığından, hava hızının etkisi, sıcaklığa göre daha düşük olmaktadır. Uygulamada akışkan yataklı kurutucu, tünel kurutucu ve püskürtmeli kurutucu gibi çeşitli tipte kurutucular mevcuttur (Yağcıoğlu, 1999; Cemeroğlu, 2011).

1.1.2. Temaslı Kurutma

Temaslı kurutmada ısı enerjisi, kurutulacak ürüne, ısıtılmış yüzeyden kondüksiyon yoluyla iletilmektedir. Kurutulan materyale iletilen ısı, sıcak yüzeye temas eden yaş materyalin ısıl kondüktivitesine ve sıcak yüzeyin ısı iletim katsayısına bağlıdır. Kurutulacak ürün hareket ederken ya da hareketsiz kalırken temas ettiği yüzeyden maddeye ısı taşınımı gerçekleşmektedir. Uygulamada silindirik-valsli kurutucular bu sınıfta yer almaktadır (Cemeroğlu, 2011).

1.1.3. Radyasyon ile Kurutma

Kurutma için gerekli ısı enerjisi kurutulacak ürüne, elektromanyetik tayfın kırmızı ötesi bölgesinde yer alan ışınlarla iletilmektedir. Işınlar, içinden geçtikleri ortamı değil kendilerini absorbe eden cisimleri ısıtarak bu işlemi gerçekleştirirler. Isı enerjisinin taşınımı sistemde bulunan radyasyon kaynağı ile sağlanmaktadır. Dielektrik, infrared ve mikrodalga gibi elektromanyetik enerji türlerinden faydalanılmaktadır. (Güzel vd., 1996, Yağcıoğlu, 1999, Cemeroğlu, 2011).

1.1.4. Dielektrik Kurutma

Kurutulacak üründeki su molekülleri polarize edilerek hızla hareketlenmeleri sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak, oluşan moleküllerde sürtünme yoluyla ısının ortaya çıkması sağlanmaktadır. Bu ışınımın etkileyeceği dalga boyu ve derinlik, kayıp faktörlere ve ürünün dielektrik sabitine bağlı değişmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

1.1.5. Mikrodalga ile Kurutma

Elektromanyetik spektrumun bir parçası olan mikrodalga, radyo dalgaları ile görünür ışık arasında bulunmaktadır. Ürünün içerisindeki su moleküllerinin titreşimini sağlayarak, ısı sürtünme şeklinde oluşmakta ve ürünün tamamı ısıtılmaktadır. Mikrodalga fırınlar 1 nm - 1 m arasında değişen dalga boylarında ve 300 MHz ile 300 GHz frekans bant aralığında çalışabilmektedir. Mikrodalga fırının bileşenleri, ürünün yerleştirildiği ortam, güç kaynağı ve magnetrondan oluşmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

1.1.6. Dondurarak Kurutma

Liyofilizasyon olarak da bilinen dondurarak kurutma teknolojisi; üründeki nemin önce hızla dondurulması, daha sonra süblimasyon yoluyla buharlaştırılması prensibiyle çalışmaktadır. Dondurarak kurutma yönteminin uygulamaları; farmakolojik ürünlerde, bakteri kültürlerinde, sebzelerde, meyve sularında, serumlarda, kahve ve çay özlerinin elde edilmesinde, et ve süt üretiminde görülmektedir (Güngör ve Özbalta, 1997; Yağcıoğlu, 1999).

1.1.7. Ozmotik Kurutma

Sebze ve meyve dilimleri gibi bazı ürünlerin hipertonik bir çözelti içinde bekletilerek su oranının azaltılmasına "ozmotik kurutma" denir. Suyun uzaklaştırılması işleminde buharlaşma değil ozmoz gerçekleştirilmektedir (Cemeroğlu, 2004). Ozmotik kurutmayla ürünlerin nemi %25-50 seviyesine kadar düşürülmektedir. Bu değerler dikkate alındığında ozmotik kurutma, bir nem azaltma (dehidrasyon) işlemidir (Yağcıoğlu, 1999). Bazı kurutucuların kurutma etkinlikleri ve buharlaşma hızları Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Çeşitli kurutucuların kurutma etkinlikleri ve buharlaşma hızları

Kurutucu Tipi	**Buharlaşma Hızı**		**Buharlaşma Hızı**
	kg su/hm^2	**kg su/hm^3**	**(%)**
Doğrudan - Sürekli			
Akışkan yatak		800 - 2500	20 -80
Bant			40 - 60
Döner	30 - 80		40 - 70
Hava sürüklemeli		4 - 100	50 - 75
Sprey	2 - 50		20 - 50
Tünel			35 - 40
Doğrudan Kesikli			
Raflı			95
Dolaylı - Sürekli			
Tank(Drum)			85
Döner			75 – 90
Dolaylı - Kesikli			
Karıştırmalı tava			90
Vakumlu döner			<70
Vakumlu raf			-
İnfrared			30 - 60
Dielektrik			60
*Kurutma Etkinliği = (Buharlaşma için harcanan enerji / Kurutucuya verilen toplam enerji) x 100			

1.2. Kurutma Esnasında Ürün Kalitesine Etki Eden Etmenler

Kurutma sırasında ürünlerin bünyelerinde bulunan serbest su sebebiyle sıcaklıkları fazla artmamakta ve çevreden ısı alımı gerçekleşmektedir. Buharlaşma oldukça ürün yüzeyi soğumaktadır. Kurutma nem oranının yaklaşık %10 olması istenmektedir. Nem %10'un altında ise su alma özelliği değişmekte ve sert bir yapı meydana gelmektedir. Eğer %10'un üstünde ise depolama süresi kısalmakta ve mikroorganizmalar üremektedir. Kurutma süresinin kısa ve sıcaklığın yüksek olması tercih edilmektedir. Kurutma süresi, ürünün çeşidine ve miktarına göre değişiklik göstermektedir.

Rehidrasyon kapasitesi, kurutma sanayisi için kritik bir ölçüt olup kurutulmuş ürünün kalitesine doğrudan etki etmektedir. Rehidrasyon, kurutulmuş bir ürünün suda bekletildikten sonra taze durumundaki kadar su alarak eski şekline ve formuna dönüşebilmesi olayıdır. Bu şekilde ürünün ideal nitelikte olduğu varsayılmaktadır. Rehidrasyon kabiliyeti hem parça halde kurutulan ürünlerde hem de sıvı şekilde kurutulup toz şekline getirilen meyve, süt ve domates tozları gibi ürünlerde dikkate alınmaktadır. Kurutulmuş materyalin rehidrasyon kabiliyeti, suda belli şartlarda bekletilmesi sonucu bünyesine giren su miktarı ile belirlense de suyun sıcaklığı ve kurutma süresi gibi faktörler rehidrasyonda etkili olmaktadır (Anonim, 2020).

Sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı kurutmayı etkileyen en temel faktörlerdir. Üründe ise; başlangıç ve son nem miktarı, ürünün dizilme şekli, kalınlığı, yüzey alanı kurutmada önemli unsurlardır. Kurutucuda dikkate alınması gereken parametreler ise; yapı malzemesi, özgül ısısı, yalıtımı, boyutları, kapasitesine ilaveten kurutma yöntemi ve iklim koşulları da kurutma işlemine etkilemektedir (Cemeroğlu vd., 2003). Materyalin kendine has özellikleri kuruma süresi boyunca değişiklikler göstermektedir. Bu sebeple ürünün biyokimyasal özellikleri önem arz etmektedir. Özellikle meyve ve sebzeler doğal dokulara sahiptir. Bu ürünlerde su hem hücreler arasında hem de hücre içinde bulunmaktadır. Hücreler arası suyun uzaklaştırılması daha kolay gerçekleşmektedir. Hücrenin ölmesi durumunda hücre zarı geçirgenlik kazanmakta, hücre içerisindeki suyun uzaklaşması kolaylaşmaktadır. Haşlama işlemiyle dokunun geçirgenlik hızı artar dolayısıyla haşlanmış ürünlerde kurutma daha hızlı meydana gelmektedir. Kuruma hızı materyalin kalınlığı ile ters, yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Bu sebeple yüzey alanının fazla ve kalınlığının az olması istenmektedir. Sıcak havanın yaş ve kuru termometre sıcaklık değerleri, kuruma hızına etki eden bir diğer unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yaş ve kuru termometre sıcaklık değerleri arasındaki farkın artması kuruma hızını artırmaktadır. Bir diğer unsur olan hava hızının artışı da kurutma hızını artırmaktadır. Fakat, 300 m dak^{-1} üzerindeki hava hızının kuruma hızı üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Cemeroğlu, 2011).

1.3. Kurutmada Meydana Gelen Başlıca Değişimler

Ürün kalitesini değerlendirirken; renk, görünüm, besin değeri, kütle yoğunluğu, aroma ve rehidrayon dikkate alınmaktadır. Kurutma şartlarının ve ortamının seçimi üründe fiziksel, kimyasal ve diğer bazı değişimlere neden olmaktadır (Cemeroğlu vd., 2003).

1.3.1. Fiziksel Değişimler

Bölgesel kuru madde birikimi; direkt olarak kuru madde hareketine bağlıdır. Su dokudaki gözeneklerde üç şekilde hareket etmektedir. Bunlardan ilki direkt olarak sıvı hareketi şeklinde, ikincisi su buharı şeklinde ve son olarak da bireysel serbest su molekülleri şeklindedir. Suyun hareketi, kuruma başlangıcındaki gibi sıvı hareketi formundaysa, su içerisinde bulunan çözünmüş maddeleri de yanında taşımaktadır. Bu şekilde alt tabakada bulunan kuru madde, su ile yüzeye kadar taşınmaktadır. Su uzaklaştığında ise yüzeyde kuru madde birikimi oluşmaktadır. Fakat, iç kısımlarda azalan kuru madde konsantrasyonunu dengelemek amacıyla yüzeyde biriken kuru madde miktarı içlere doğru taşınmaktadır. Kurutma şartlarına göre bu hareketlerden biri gerçekleşebilir ve iç kısımlarda veya yüzeyde bir kuru madde birikimi oluşabilir (Cemeroğlu vd., 2003).

1.3.2. Biyokimyasal Değişimler

Bu değişiklikler, ürünün renginde, tekstüründe, aromasında, akışkanlığında, besin değerinde ve depolama sırasında görülmektedir. Kurutulan ürünlerde en sık karşılaşılan olumsuzluklardan birisi esmerleşmedir. Esmerleşme kurutma sırasında ve öncesinde veya depolama esnasında olabilmektedir. Tepkimeye giren maddelerin konsantrasyonları ve sıcaklık arttıkça esmerleşme hızları artmaktadır. Nem %2'nin altında ise esmerleşme tepkimesi meydana gelmemektedir. Fakat %15-20 nem düzeyinde Maillard tepkimesi adı verilen renk esmerleşmesi en hızlı şekilde oluşmaktadır (Cemeroğlu vd., 2003). Depo koşullarında 10°C sıcaklık artışının, ürünün su oranına bağlı olarak esmerleşme tepkime hızını 6-8 kat artırdığı tespit edilmiştir (Saldamlı ve Saldamlı, 2004). Öte yandan kurutma işleminde materyalin mikro florası da değişim göstermektedir. Güneşte yapılan kurutmada, koşullar çevreye bağlı değiştiğinden ve hijyen istenilen seviyelerde

olmadığından mikroorganizmalar artmaktadır. Mikrobiyolojik olarak sağlıklı hammadde kullanımı, hammaddenin hazırlama ve kurutulması süreçlerinde hijyenik koşullara uyulmasının bu sorunu azaltacağı düşünülmektedir (Cemeroğlu, 2007). Ürünlerin dayanımı üzerinde en etkili unsurlardan birisi, içerdiği su miktarıdır. Üründen suyun uzaklaştırılması ürünün dayanıklılığını artırmaktadır. Fakat dehidrasyon sebebiyle her üründeki kalan su miktarı farklılık göstermektedir. Bunun sonucunda ürünlerin dayanım süreleri farklı olmaktadır (Saldamlı ve Saldamlı, 2004).

1.4. Meyve ve Sebzelerin Kurutulması

Bazı meyvelere kurutmadan önce ön işlemler uygulanmaktadır. Üzüm ve erikte alkali çözeltisine daldırma, elmada hafif bir haşlama, birçok çekirdekli (kayısı, şeftali, elma vb.) meyvelerde çekirdek çıkartma ve kükürtleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ülkemiz tarımsal üretim açısından çok fazla çeşitlilik göstermektedir. Kurutma ile ürünler iç ve dış pazarda kendilerine piyasa bulabilmektedir.

Ülkemizde birçok yazlık sebze güneşte ya da gölgede geleneksel olarak asılarak veya serilerek kurutulmaktadır. Kurutma süresinin uzun olması ve çevre koşullarındaki kirleticiler, ürünün besin değerlerinde önemli kayıplar oluşturmaktadır. A ve C vitamini kayıpları, güneş altına serilerek gerçekleştirilen kurutmada yapay kurutucularla yapılan kurutmaya göre daha fazla olmaktadır. Kurutulacak ürünler kurutmadan önce bazı ön işlemlere (yıkama, ayıklama, doğrama, kabuk soyma ve bazı ürünlerde haşlama) tabi tutulmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak kırmızı ve dolmalık biber olmak üzere, domates, kabak, patlıcan, havuç, yeşil taze fasulye, mantar gibi birçok sebze kurutulmaktadır (Yağcıoğlu, 1999).

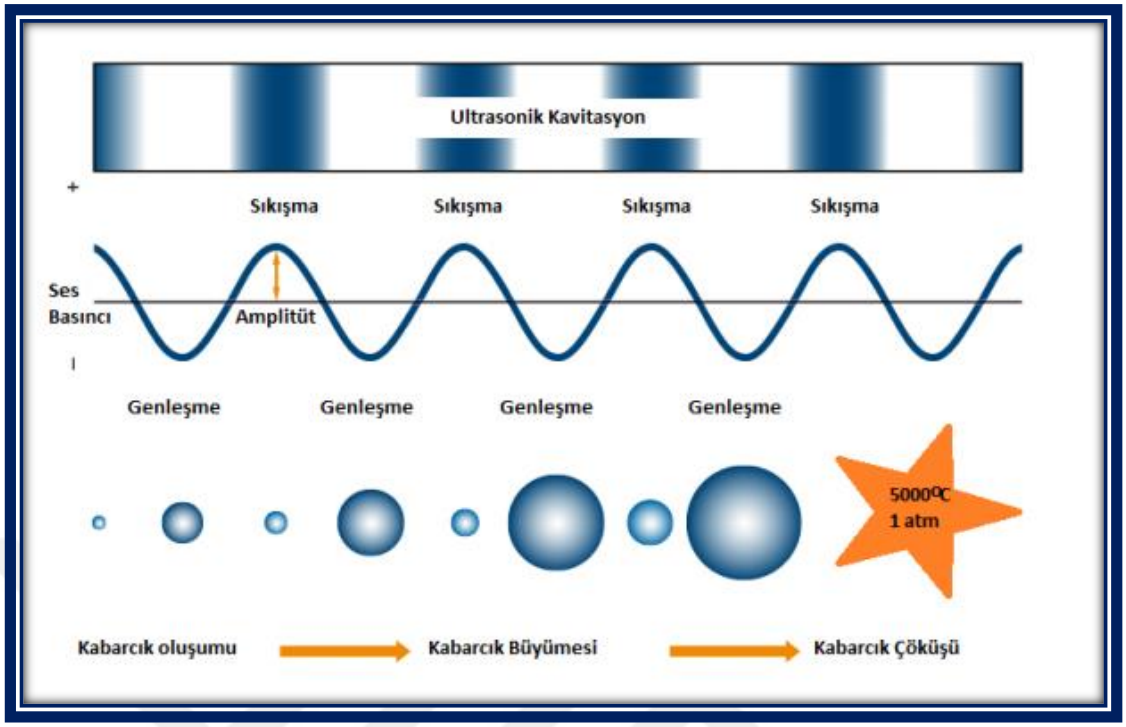
1.5. Ultrases Ön işlem

Tarımsal ürünler genellikle; kurutularak, ısıl işlem yoluyla ve dondurularak işlenmektedir. Bu ürünler işlenmeden önce bazı ön işlemlere tabi tutulmaktadır. Ön işlemler, ürünlerin kurutmadan önce nemin daha hızlı uzaklaştırılması, aromalarının, renklerinin ve besin içeriklerinin korunması, oluşabilecek mikrobik aktivitelerin engellenmesi ve hijyenik bir yapının oluşması, şekil ve boyut olarak standardizasyonun sağlanması için yapılan fiziksel ve kimyasal işlemlerin tamamıdır. Bu ön işlemler;

- Yıkama,
- Ayıklama,

- Kabuk Soyma,
- Doğrama,
- Çekirdek çıkarma,
- Haşlama**,**
- Ozmotik,
- Ultrases'tir.

Ultrases bir ortam boyunca hareket ettiğinde, kütle transferine hem iç hem de dış direnci etkileyebilecek bir dizi etki üretmektedir. Ultrases, zamana bağlı basınç değişimiyle, ortamın moleküler yapısını sıkıştırmakta olan moleküllerin titreşim hareketini basınç dalgaları sayesinde ortama iletmektedir. Sıvı sistemlerde ultrases, sıvının içindeki kabarcıkların oluşumu, büyümesi ve hızlı çökmesi kavitasyon diye adlandırılan fenomeni üretmektedir. Kavitasyon, moleküller arası mesafe Van der Waals mesafesinin en az iki katına çıktığında ve negatif basınç uygulandığında ortamda boşlukların oluşumu olarak nitelendirilmektedir (Kantaş, 2007). Ultrases molekülleri birbirinden uzaklaştırması bir sıvıdan geçerken, genleşme döngüleri sıvı üzerinde negatif basınç uyguladığında gerçekleşmektedir. Yeterli seviyede sahip bir ultrases sıvının saflığına ve tipine bağlı olarak değişim gösteren seyreltme döngüsü gerilme mukavetini geçtiğinde kavitasyon kabarcıkları meydana gelir (Çiçekdağı, 2011). Sistem özelliklerine bağlı olarak, oluşan kabarcıklar bazen çökmez ve uygulanan ultrases ile aynı frekansta titreşmeye devam eder. Bu titreşim aynı zamanda sıvının karıştırılmasına da katkıda bulunur. Tüm bu etkiler dış direnci etkiler ve kütle transferini mekanik karıştırma benzer şekilde etkilemelidir (Leighton, 1998). Kavitasyondan sonra meydana gelen mikro kabarcıklar sıvı içinde önceden yer alan zayıf noktalarda meydana gelir. Kavitasyon meydana geldiğinde ses dalgalarının büyümesi, ultrases yardımıyla ışınlanan mikro gaz kabarcıklarından enerjiyi absorbe etmesiyle olmaktadır. Sesin yoğunluğu kavitasyonu etkilemekte, yüksek bir yoğunluk oluştuğunda kavitasyon hızlı bir büyüme gerçekleştirebilir (Maynard, 2000). Akustik kavitasyon kabarcıklarının meydana gelmesi ve çökmesi, Şekil 1.1'de verilmiştir (Wu vd., 2013).



Şekil 1.1. Ultrases uygulamasında akustik kavitasyon kabarcıklarının yapısı

Kavitasyon kritik büyüklüğe ulaştığında, ultrasonik ışınlamadan enerjiyi verimli bir şekilde absorbe eder. Bu da rezonans boyutu olarak ifade edilmektedir. Rezonans boyutu, sesin frekansına ve sıvıya bağlıdır. Bu durumda kavitasyon tek bir ses döngüsüyle hızlıca büyüyebilir. Kavitasyon, büyüdüğünde, enerjiyi verimli bir şekilde absorbe edemez ve enerji girişi olmadan da kavitasyon sürdürülemez (Pétrier ve Suslick, 2000). Kavitasyon, geçici ve kararlı olmak üzere ikiye ayrılır. Geçici kavitasyon, kabarcıkların başlangıç büyüklüklerini ikiye katına çıkarmak amacıyla bir, iki veya üç akustik döngü büyüklüğünce genişlemesi ve sonrasında kabarcıkların yüzey kararsızlığı veya çökme ile bağlantılı olarak parçalanmasına sebep olmasıdır. Kararlı kavitasyon ise kabarcıkların, akustik alanından ayrılmadan veya çökmeden birkaç sıkıştırma/kırılma döngüsünce denge pozisyonları etrafında salınmasıdır (Kantaş, 2007, Güler Yaranlı, 2020).

1.6. Kurumayı Etkileyen İç Koşullar

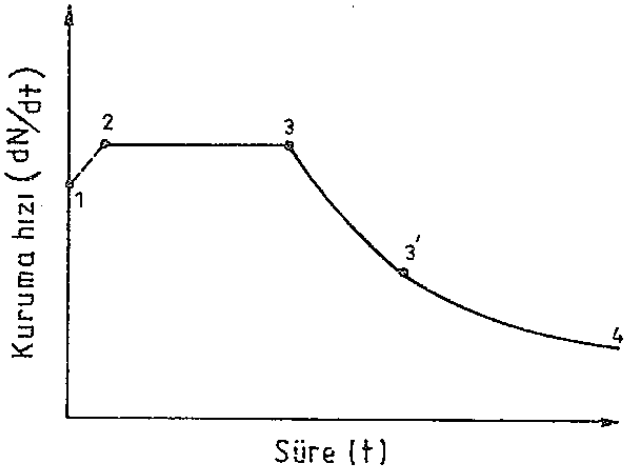
Kuruma esnasında materyalin yüzeyinden su buharlaşırken, iç kısmında sıcaklık ve nem farkı meydana gelmektedir. Buna ilaveten iç kısımdaki su, basınç, kılcal akış ve difüzyon ile yüzeye doğru taşınmaktadır. Materyaldeki nem, kritik nem seviyesinin altına düştüğü zaman kuruma süreci etkilenmeye başlamaktadır. Bu şartlarda kurumanın gerçekleşebilmesi için, kuruma süresinin uzatılması veya sıcaklığın artırılması

gerekmektedir. Suyun iç kısımdaki hareketi esnasında, bazı materyallerde gerilmeler olmakta ve bunun sonucu kırılmalar-çatlamalar oluşabilmektedir. Bunun için kurutmanın kontrollü şartlar altında yapılması gerekmektedir. Kurumayı etkileyen bazı malzeme özellikleri; boyut, gözeneklilik ve suyun materyal içerisindeki konumudur (Menon ve Mujmundar, 1987).

1.7. Kurumanın Aşamaları

Bir materyalin kurutulması genelde aşağıdaki Şekil 1.2'de belirtilen üç aşamada gerçekleşmektedir (Molnar, 1995):

- Isınma aşaması.
- Sabit hızda kuruma aşaması.
- Azalan hızda kuruma aşaması



Şekil 1.2. Kuruma aşamaları

1.7.1. Isınma Aşaması, [1-2]

Kuruma işleminin başlangıcı olan bu aşamada, materyal ısınmaktadır. Bu periyottan önemli miktarda buharlaşma gerçekleşmez. Isınma süresi, kurutucunun çalışma şartları ve kurutulacak materyalin fiziksel özelliklerine göre kısa veya uzun olabilmektedir.

1.7.2. Sabit Hızda Kuruma, [2-3]

Nemli materyalin kurutulması esnasında, ilk aşamada yüzeydeki nem buharlaşmaya başlar ve buharlaşma hızı sabittir. Bu durumda materyalin yüzey sıcaklığı ve sıvı filmi neredeyse aynıdır. Bununla birlikte yüzey sıcaklığı, gazın yaş termometre sıcaklığına

yakın veya ondan fazladır. Fark ne kadar fazla olursa kuruma hızı o kadar artmaktadır. Kuruma hızı; gazla temasta olan materyalin yüzeyi, kurutucunun ısı ve kütle transfer özellikleri, materyal ile gazın nem oranları ve sıcaklıkları arasındaki fark gibi çalışma şartlarına göre değişiklik göstermektedir.

1.7.3. Azalan Hızda Kuruma, [3-3'- 4]

Kuruma hızı, materyal serbest nem değerinin altına düştükten sonra aşamalı olarak azalmaya başlar. Materyalde bulunan nem, yüzeydeki serbest nem bölgesine taşınırken, yüzeyde bulunan serbest nem de buharlaşmaktadır. Uygulamada önce yüzey ve yüzeye yakın bölgeler kurumakta daha sonra ise iç kısımda bulunan su uzaklaşmaktadır. Bu sebeple kuruma hızı giderek azalmakta ve kuruma süresi artmaktadır. Kuruma süresi yaklaşık olarak materyal kalınlığının karesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Materyalin mümkün olduğunca küçük kalınlıklarda olması, nemin düşük değerlere indirilmesi ve enerji tüketimi bakımından fayda sağlayacaktır. Buna ilaveten gereğinden fazla kurutma yapılmamalıdır.

Denge Nemi: Bir materyalin nem içeriği, belirli bir değerde buhar basıncı oluşturur. Bu durum, kurutulacak materyalin özelliğine ve sıcaklığına göre değişim gösterir. Kurutma sonucunda materyalin buhar basınçları aynı duruma geldiğinde, yani nem alış-verişinin dengeye ulaştığı durumda materyalin nem miktarı denge nemi olarak tanımlanmaktadır. Atmosfere açık bir şekilde değerlendirilecek materyalin nemini, denge neminin altına düşecek şekilde kurutma yapmak faydasızdır. Bu işlem kurutucuda fazla enerji tüketimine ve verimin azalmasına sebep olur (Molnar, 1995).

1.8. Kurutmada Matematiksel Modelleme

Kurutma çalışmalarında kullanılan matematiksel modeller, kurutma sürecinin etkin bir şekilde kontrol edilebilmesinde, yeni kurutucu ekipmanların tasarlanmasında ve geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca kurutma işleminin tanımlanabilmesi için de bu modeller kullanılmaktadır. İnce tabaka kurutma modelleri, en çok çalışılan matematiksel modellerdir. Bu modeller, ampirik, teorik ve yarı-teorik olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Doymaz, 2011). Birçok ürünün kuruma süresinin tahmin edilmesinde ve kuruma eğrilerinin oluşturulmasında ince tabaka kurutma eşitlikleri ön plana çıkmaktadır. Gıda ürünleri için ince tabaka kurutma modeli geliştirilmektedir. Genel olarak sabit bağıl nemde sıcaklık uygulaması ile ürünün herhangi bir zamandaki nem içeriği ölçülmekte ve ölçülen değerler kurutma parametreleri

ile ilişkilendirilmektedir (Midilli vd., 2002; Evin, 2012). Optimizasyon, gıda endüstrisinde, ürün kabulünde ve işlem randımanının yüksek olmasını sağlamada kullanılan önemli bir yöntemdir. Yanıt-yüzey yöntemi, optimizasyonu da içeren önemli istatistiksel bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada bağımsız değişkenler işlemi etkileyen parametreler, bağımlı değişkenler ise cevaplardır. Optimum bölge veya nokta, istenilen hedefe ulaşma fonksiyonu, cevapların izohips eğrilerinin çizilerek üst üste yerleştirilmesi veya doğrusal olmayan programlama yaklaşımları kullanılarak belirlenmektedir. Gıda mühendisliğinde yanıt-yüzey yöntemi, ürünlerde osmotik dehidrasyon koşulları, akışkan yatak kurutma ve püskürtmeli kurutma şartlarının optimizasyonunda, pastörizasyon, ekstrüzyon ve fırında pişirme gibi ısıl işlemlerin optimizasyonunda uzun süredir kullanılmaktadır (Koç ve Kaymak Ertekin, 2009).

1.9. Görüntü İşleme Uygulamaları ve Tahminleme Teknikleri

Görüntü işleme yöntemleri; savunma, tıp, harita, jeoloji, endüstriyel tasarım, veterinerlik ve ziraat gibi önemli ve güncel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Sonka vd., 2007; Huang vd., 2015). Görüntü işleme uygulamaları tarımda; rekolte tahmini, renk analizi, olgunluğun belirlenmesi, yaprak alanı tespiti, kalite kontrol, sınıflandırma, yabancı ot mücadelesi, büyümenin ve kök gelişiminin izlenmesi ve ilaçlama gibi alanlarda görülmektedir (Karabacak 2007; Mustafa vd., 2008; Zhao vd., 2009; Örge, 2012; Kuncan vd., 2013; Ağın, 2014; Sabancı ve Aydın, 2014; Demir, 2016). Bununla birlikte görüntü işlemenin, gıda ve tarım ürünlerinde, özellikle de ürünlerin kalite değerlendirmesinde etkili, güvenilir, pratik ve tahribatsız bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Hornberg, 2007). Görüntü işleme yöntemi; boyut, şekil, renk ve doku gibi özelliklere göre tarımsal ürünleri tanımlamakta ve sınıflandırmaktadır (Rahman ve Cho, 2016).

Ürünün şekil ve boyut özelliklerinin bilinmesi; tarımsal ürünlerin yetiştirilmesine, işlenmesine ve değerlendirilmesine ilişkin mühendislik çalışmaları için önem arz etmektedir. Ancak, tarımsal ürünlerde bilinen geometrik şekillere benzemeyen yapıların elle ölçümü zordur. Bu nedenle ölçümler sırasında modern teknolojilerden biri olan görüntü işlemeden yararlanılması gerekmektedir (Kabaş ve Öten, 2015). Bu yöntem, kamera, fotoğraf makinesi veya tarayıcı tarafından elde edilen hareketli ya da sabit bir görüntünün önce sayısal dönüşüme tabi tutulması, sonrasında bu sayısal verinin algoritmalar yardımı ile anlamlandırılması işlemlerini içermektedir (Kabaş ve Özmerzi, 2010; Demir vd., 2016). Son yıllarda tarım teknolojisinde görüntü işleme yöntemiyle

gerçekleştirilen çalışmaların sayısı artış göstermiştir. Buna ek olarak spektrofotometrik ve spektral görüntüleme çalışmaları da bu alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Zapotoczny 2011a; b; Esteve vd., 2012; Pazoki vd., 2013; Plans vd., 2013; Behtari vd., 2014; Ferreira vd., 2014; Kandpal vd., 2015; Kandpal vd., 2016; Huang vd., 2016).

Ürünlerde kalite özellikleri tüketici tercihlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu niteliklerin iyi bir şekilde tanımlanması; sınıflandırma, kurutma, depolama, paketleme ve nakliye işlemlerinde de kabul görmektedir. Kurutma işlemlerinde ise ürün kalınlığı, ürün çapı ve şekli, ürünlerin sınıflandırılması ve kalite değerlendirmesi için önemli özellikler olarak karşımıza çıkmaktadır (Warmund, 2008; Mahawar vd., 2017; Çetin vd., 2020). Kurutulmuş ürünlerin sınıflandırılması ile ilgili kalite standartları ve ürün özelliklerine ait kataloglar ürünlerin değerlendirmesinde karşılık bulmaktadır. Son zamanlarda, bazı makine öğrenmesi teknikleri geliştirilmekte ve bu değerlendirmelerde kullanılmaktadır. Bu teknikler hızlı ve basit simülasyonlar yoluyla çözüm odaklı yaklaşımlar sunmaktadır (Soares vd., 2013). Bu yaklaşımlar, gıda ve tarım ürünlerinin kalite değerlendirmesinde kullanılan tanımlayıcı özelliklerin doğru bir şekilde tasvir edilmesi ve tanımlanması için gereklidir (Omid vd., 2010). Makine öğrenmesi tabanlı ürün sınıflandırma uygulamaları doğru sınıflandırıcı modellerini kavrama ve örnek gruplarını belirleme için etkili bir araçtır. Bununla birlikte, yararlı özelliklerin seçilmesi ve çıkarılmasının yanı sıra, girdi-çıktı haritalamalarının oluşturulması için çeşitli makine öğrenmesi modellerinin eğitilmesi için güçlü algoritmalar bulunmaktadır (Mollazade vd., 2012). Ayrıca, makine öğrenmesi, bir girdi-çıktı bağlantısı içindeki geçmiş ve gelecek değerleri tahmin edebilen doğrusal olmayan modeller sunmaktadır (Zhang vd., 2012).

1.10. Spektral ve Termal Özellikler

Farklı uygulamaların, bitkide veya üründe meydana getireceği yansımaların ölçülmesi ile elde edilen yansıma oranları sayesinde ürünün özellikleri arasındaki ilişkiler belirlenebilmektedir. Bununla birlikte farklı uygulamaların nem içeriğine ve bunun sonucunda ürün sıcaklığına etkisi, termal kamera ile ölçülerek kurutma koşullarının ürün üzerindeki etkisi ortaya konulmaktadır. Ürün özelliklerinin tanımlanmasında pek çok sayıda spektral vejetasyon indeksleri geliştirilmiştir. Bu indeksler doğrudan kullanım veya oranlama gibi yöntemlerle elde edilmektedir. Bu indekslerin en yaygını yakın kızıl ötesi ve kırmızı bölgedeki yansımaların baz alınarak elde edildiği indeksler olup bu indeksler pek çok bitki verileriyle önemli korelasyona sahiptir (İrik, 2018).

1.11. Literatür Özetleri

Ergüneş ve Tarhan (2005), araştırmalarında çeşitli ön işlem çözeltilerini kullanarak kırmızı biberi serada ve açık havada güneşte kurutmuşlardır. Ölçülen en önemli kalite parametrelerinden biri olan Paprika'nın renginin, kurutma işleminden büyük ölçüde etkilediğini belirlemişlerdir. Çalışmada, ürünler farklı daldırma sıcaklığında (23°C ve 60°C), farklı kurutma yöntemleriyle (sera kurutma ve açıkta güneşte kurutma) ve üç farklı kimyasal çözeltisinde ((I) 2% ethyl oleate, (II) 2% ethyl oleate + 2% NaOH, (III) 2% ethyl oleate + 2% NaOH + 4% potassium carbonate) kurutulmuş ürünün, kırmızı rengini muhafaza konusundaki kabiliyetini ölçmüştür. Yüzey rengini bir renk ölçer cihazı yardımıyla belirlemişlerdir. Bütün ön işlemlerin önemli ölçüde kurutma işlemini hızlandırdığı ifade edilmiştir. Fakat kuruma süresi oldukça uzun olduğundan, kuruma sonuna doğru çözeltilerin etkisinin azaldığını saptamışlardır. Buna ilaveten, kurutulmuş kırmızı biberlerin son rengi üzerindeki etkilerinin daha belirgin olduğunu tespit etmişlerdir. Ethyl oleate çözeltisine batırılmış kırmızı biber ve işlenmemiş kırmızı biberin (kontrol), siyahımsı renkte ciddi bir renk değişimi gösterdiğini ortaya koymuşlardır. %2 ethyl oleat +% 2 NaOH +% 4 K2C03 çözeltisine 60°C daldırma sıcaklığında kırmızı biberlerin en iyi renklenmeyle sonuçlandığını belirtmişlerdir.

Karaaslan (2008), ıspanak, kırmızıbiber ve çay yapraklarını mikrodalga fan destekli konveksiyonel fırın kombinasyonunda kurutmuştur. Kırmızıbiber, ıspanak ve çay yapraklarını mikrodalga, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla kurutmuştur. Ispanak, kırmızıbiber ve çayın kuruma zamanı, kuruma oranı, renk değişimi ve enerji tüketim değerleri üzerindeki mikrodalga ile kurutma (180, 360, 540, 720 ve 900W), mikrodalga güç (sabit 180W ve 540W) ile sıcak havayla kurutma (100, 180, 230ºC) ve sadece sıcak havayla kurutma (100, 180 ve 230ºC)'nın etkileri belirlenmiştir. Laboratuar tip kurutucuda ürünlerin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Wang ve Singh, Difüzyon yaklaşımı, Verma, iki Terimli Eksponansiyel, basitleştirilmiş Fick Difüzyonu, Midilli ve Küçük Modelleri birbiri ile kıyaslanmıştır. Bu modellerin performansları gözlemlenen ve tahmini nem oranları arasında belirtme katsayısı değeri (R^2), tahmini standart hatası (SEE) ve kalanların kareleri toplamına (RSS) göre karşılaştırmıştır. Bulgulara göre tüm ürünlerde Midilli ve Küçük Modelinin ürünlerin kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı saptanmıştır.

Mutlu ve Ergüneş (2008), çalışmalarında Tokat ilinde yetiştirilen Yüksel (Y-67-F1) domates çeşidi örneklerini ön işlemlerden geçirerek raflı tip kurutucuda ve aynı ışınım şartlarında eşzamanlı olarak açık havada ayaklı tel örgülü tepsilerde kurutmuşlarıdır. Kurutulan ürünler kuruma zamanı, yüzde ağırlık kaybı ve ürün kalitesi bakımından kıyaslamışlardır. Kurutma süresince dış ortamın ve güneş enerjili raflı kurutucunun en alt rafında sıcaklık ve bağıl nem değerleri elektronik kaydedicilerle 15 dakika aralıklarla ölçmüştür. Birinci denemede en alttaki rafta kurutulan domatesin 120 saatte, ikinci denemede ise 168 saatte kuruduğunu tespit etmişlerdir.

Kurutma sırasında gıda özelliklerinin sürekli izlenmesi, gıda işleme endüstrisi için çok önemlidir. Romano vd. (2011), araştırmalarında kurutma sırasında elmaların sertliği, nem içeriği ve çözünebilir katı madde içeriği (SSC) değişimlerini aynı anda tahmin etmek için lazer ışığı geri-saçılım teknolojisini uygulamışlardır. Elma dokusunda foton göçünü tahribatsız bir şekilde analiz etmek için 635 nm dalga boyuna sahip bir lazer diyot kullanmışlardır. Lazer ışık ile aydınlatılan alanı temsil eden piksel sayısındaki geri saçılma alanı ve gri değerlerle ölçülen ışık parlaklığı, kurutma sırasında iç kalite parametrelerindeki değişiklikleri tahmin etmede kullanılmıştır. Nem içeriğindeki azalmanın, meyve dokusunda azalan ışık yayılımı ile belirlenen foton saçılmasında bir azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Buna ilaveten saçılan görüntüler, meyve bileşikleri tarafından 635 nm'de ışığın emiliminden dolayı SSC arttıkça daha az foton göçü gösterdiğini belirlemişlerdir. Nem içeriğini tahmin etmek için kalibrasyon modelleri, geri-saçılım alanı ve ışık parlaklığı için sırasıyla 11.6 ve 9.8 çapraz doğrulama standart hataları (SECV) yöntemi ile en yüksek tayin katsayılarını (R^2 = 0.8 ve 0.89) ortaya koymuşlardır. Ancak, SSC için elde edilen tahminleri biraz daha düşük bulmuşlardır. 635 nm'de lazer ışık ölçümünün, farklı aşamalarda kurutma sırasında nem içeriğindeki ve elmanın SSC'sindeki değişiklikleri tahmin etmek için yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Aksine, 635 nm'de foton saçılması, sonuçlarına dayanarak, elma kurutma sırasında sertlikteki değişimin tahmincisi olarak önermemişlerdir.

İzli (2012), çalışmasında barbunya, domates, mantar ve patateslerin kurutma karakteristiklerini belirlemiş ve konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleri için en iyi ince tabaka kurutma modelini seçmeyi amaçlamıştır. Araştırmada Henderson ve Pabis, Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Logaritmik, İki Terimli, Wang ve Singh, Difüzyon Yaklaşımı, Midilli ve İki Terimli Eksponansiyel modellerini sonuçları

analiz etmek için kullanmışlardır. Buna ilaveten farklı sıcaklıklarda ve mikrodalga güçlerinde kurutulan örneklerin modellenmesi için yeni bir ince tabaka kurutma modeli geliştirilmiştir. Yeni modelin Midilli ile Wang ve Singh modellerinin bir kombinasyonu şeklinde olduğu bildirilmiştir. Bu modellerin performansları ki-kare (χ^2), hataların karelerinin karekök ortalaması (RMSE) ve belirtme katsayısı (R^2)'na göre ele alınmıştır. Geliştirilen model barbunya, domates, mantar ve patateslerin kurutma davranışlarının tanımlanması için incelenen kurutma modelleri arasında, deneylerin çoğunda en iyi model olarak tespit edilmiştir. Bulgulara göre artan kurutma sıcaklığı ve mikrodalga güç seviyeleri kurutma süresini kısaltmış ve kurutma işlemi azalan periyotta gerçekleşmiştir. Çoğu testlerde bu sonuçlar kısa bir ısınma süresinden sonra tespit edilmiştir. Kullanılan kurutma yöntemleri arasında, mikrodalga-konvektif kurutma yöntemi önemli ölçüde daha yüksek kuruma hızı ve daha fazla nemin uzaklaştırılmasını sağladığı belirtilmiştir. Mikrodalga-konvektif birleşimi kurutmanın hem konvektif hem de mikrodalga yöntemleriyle karşılaştırıldığında kurutma süresini azalttığı ortaya konulmuştur. Bununla birlikte çalışmada, taze ve kurutulan ürünlerin renk ve yapısal değişiklikleri saptanmıştır. Tüm kurutma şartları için taze örneklere en yakın sonuçların 50ºC sıcaklıkta kurutulan örneklerden elde edildiği belirtilmiştir. Tüm kurutma uygulamalarının taze örneklerle karşılaştırıldığında, ürünlerin mikro yapılarında farklı fiziksel değişikliklere neden olduğunu taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ortaya koymuştur. Daha yüksek sıcaklıkların ve mikrodalga güçlerinin örneklerin mikro yapılarına büyük zararlar verdiği belirtilmiştir.

Tarımsal malzemenin fiziksel özellikleri ile geometrik parametreleri, kalitesini belirlemek ve tanımlamak için çok önemlidir. Kumar vd. (2013), çalışmalarında yemeklik baklagil tanelerini şekilsel olarak sınıflandırmış ve görüntü işleme tekniğini kullanarak hacmini hesaplamıştır. Yeşil bezelye, nohut, barbunya, etiyopya fasulyesi ve pinto fasulyesini yerel bir marketten temin etmişlerdir. Çalışmada her türden on farklı fasulyenin fotoğrafını çekmek için bir dijital kamera kullanmıştır. Fasulyeleri iki farklı yönde (boyuna ve yanal) yerleştirerek dijital görüntüleri işlemek için görüntü işleme tekniğini kullanmışlardır. Görüntü analizinin sonuçlarını, dijital bir kumpas kullanarak, gerçek ölçümlerle elde edilen verilerle karşılaştırmışlardır. Bin tane ağırlığı, hacimsel yoğunluk, gerçek yoğunluk, gözeneklilik ve seçilen tek tahılın ağırlığı gibi ilgili gözlemleri de kaydetmişlerdir. Fasulyelerin eksenel boyutları ile piksel değeri arasında R^2:0.64-0.96 aralığında doğrusal bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir.

Polatçı (2013), araştırmasında normal etüv, vakumlu etüv, hassas kurutucu, güneş enerji destekli ısı pompalı kurutucu, gölgede kurutma ve güneşte kurutma yöntemlerini kullanmıştır. Isı pompalı kurutucuda 55ºC'de, diğer kurutuculardа ise 55, 60, 65 ve 70ºC'de, kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kurutma denemeleri üç tekerrürlü yapılmıştır. Çalışmada kuruma performansı, kuruma kinetiği, matematiksel modellemesi, renk analizi, enerji tüketim miktarı, kimyasal özellikleri (pH, Titrasyon asitliği) belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre örnekler 20-300 saat arasında istenilen nem seviyesine ulaşmıştır. Kurutucular kendi arasında karşılaştırıldığında ise 55ºC'de en hızlı kurutma 28 saat ile ısı pompalı kurutucuda elde edilmiştir. Zamana bağlı nem oranı değişimini tanımlamak için üç adet eşitlik (Page, Logaritmik ve Midilli-Küçük) kullanılmıştır. Eşitlikler arasında en düşük değerler page eşitliğinde görülmüştür. "a" kırmızılık değeri incelendiğinde ise taze ürünün değerleri ile normal etüvde 65 ve 70°C'de, hassas kurutucuda bütün sıcaklıklarda ve ısı pompalı kurutucuda fark olmadığı tespit edilmiştir. Isı pompalı kurutucu tasarlanırken sistemden nem alarak enerji tasarrufu sağlamak amaçlanmıştır. Kurutucu tipleri içerisinde en düşük özgül enerji tüketimi değeri 2.34 kWh/kg su ile ısı pompalı kurutucuda elde edilmiştir. Kimyasal analizler sonucunda ise pH değeri açısından taze ürüne en yakın pH değeri ısı pompalı kurutucuda elde edilmiştir. Sonuç olarak ısı pompalı kurutucunun Selinus domatesin çeşidinin kurutulması için uygun olduğu belirlenmiştir.

Sharifian vd. (2013), çalışmada darbeli mikrodalgada kuru incir (Ficus carica L.) için kalitatif endekslerini görüntü işleme teknikleriyle incelemişlerdir. Kurutma öncesi ve sonrası üç yüz renkli incir meyvesi, RGB renk uzayına dönüştürmüşlerdir. RGB renk alanını L*, a*, b* birimlere dönüştürdükten sonra, L*, a*, b* birimlerindeki renk değerlerini, kurutma işleminden önce ve sonra beş mikrodalga gücü yoğunluğu seviyesinde ve altı darbe oranı seviyesinde analiz etmişlerdir. Renk değişimi için kinetik parametreleri, toplam renk değişimi parametresi, kroma, ton açısı ve esmerleşme indeksi kullanılarak belirlemişlerdir. Sonuçlar, L* değerinin darbe oranı ile azaldığını ve mikrodalga güç yoğunluğunda a* değerinin sabit kaldığını ve mikrodalga güç yoğunluğunda arttığını tespit etmişlerdir. Kuru incir için renk açısı değerleri 1.21 ile 1.32 arasında radyan, yani kurutulmuş meyveleri çekici sarı/turuncu renkte olarak bulmuşlardır. Ek olarak, artan mikrodalga güç yoğunluğunun daha yüksek esmerleşme endekslerine yol açtığı ifade etmişlerdir.

Karataş (2014), Malatya Meyvecilik Araştırma Enstitüsü bahçelerinden hasat edilen 13 farklı kayısı çeşidini (Adilcevaz, Alkaya, Aprikoz, Çataloğlu, Hacıhaliloğlu, Hasanbey, İsmailağa, Kabaaşı, Mahmudun Eriği, Soğancı, Şam, Şekerpare, Tokaloğlu-Erzincan) incelemiştir. Kayısılar dört farklı kurutma yöntemi (güneşte kurutma, kükürtleyerek güneşte kurutma, mikrodalga kurutma ve dondurarak kurutma) ile kurutulmuştur. Taze kayısı meyvelerinde kurumadde (KM) %13.05-23.12, pH 3.68-5.04, titrasyon asitliği %0.22-1.40 olarak tespit edilmiştir. Buna ilaveten taze kayısı meyvelerinde kuru maddede; indirgen şeker 11.64-24.70 g 100 g^{-1}, sakaroz 9.70-23.32 g 100g^{-1}, toplam şeker 26.47-40.93 g 100 g^{-1}, toplam fenolik madde 86.50-297.82 µg GAE mg^{-1} kuru ağırlık, likopen 18.92- 78.08 mg 100g^{-1}, β-karoten 96.40-232.48 mg 100g^{-1}, A vitamini 0.85-3.28 µg/g, E vitamini 74.72-144.76 µg g^{-1}, C vitamini 6.24-47.94 µg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Taze kayısı meyvelerinde kabuk renk değerleri L, a ve b değerleri sırasıyla 48.66-64.40, 8.12- 22.82 ve16.50-42.45 arasında belirlenmiştir. Kurutma yöntemi, kayısı çeşitlerinin KM, titrasyon asitliği, toplam şeker, sakkaroz, indirgen şeker, pH, hidroksimetil furfural (HMF), toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivitesi, β-karoten, likopen, A, E ve C vitaminleri, renk (*L, a, b*), esmerleşme düzeyi ve rehidrasyon kapasitesi üzerine istatistiksel olarak çok önemli ($P<0.01$) bulmuştur. Çalışmada kurutma ile kayısı meyvelerinin KM, indirgen şeker, titrasyon asitliği, pH, fenolik madde, sakkaroz ve toplam şeker miktarlarının genel olarak arttığı, antioksidan aktivitesi, likopen, β-karoten, A, E ve C vitaminleri miktarlarının ise azaldığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, taze ve kurutulmuş kayısı meyvesinin doğal antioksidan, karotenoid ve vitamin kaynağı oldukları, kurutmanın kayısı meyvelerinin antioksidan, karotenoid ve vitamin miktarlarında azalmaya neden olduğu belirtilmiştir.

Niamnuy vd. (2014), yaptıkları derleme çalışmasında seçilen ön işlem yöntemlerinin ve kurutma teknolojilerinin kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada yüksek oranda yağsız atıştırmalıklar üretmek için daha gözenekli bir yapı oluşturarak seçilen mikroyapısal modifikasyon örnekleri, bir bileşiğin gıda matrisinden salınmasını kolaylaştıran bir yapı ve bileşiğin elde edilebilirliği veya ekstrakte edilebilirliği sunulmaktadır. Ayrıca araştırmada mikroyapısal değişiklikleri izlemek için görüntü analiz tekniklerinin kullanımı ve mikroskopik seviyedeki değişiklikleri makroskopik seviyedeki değişikliklerle ilişkilendiren bir yapı kalitesi göstergesi de kısaca gözden geçirilmiştir.

Sampson vd. (2014), çoklu elma dilimlerinin kurutulmasında hacim ve görüntü tekstür analizi için düşük maliyetli çift görüşlü bir bilgisayarlı görme sistemi (computer-vision system, CVS) kullanmışlardır. Araştırmada fiziksel parametreleri ve nem içeriğini karşılaştırarak kurutma işleminin elma dilimlerinin hacim ve renk özelliklerini eşzamanlı ölçme kabiliyetini değerlendirmişlerdir. Elma dilimlerini üç farklı sıcaklıkta (40, 60 ve 80°C) kurutmuşlardır. Ürünlerin hacimlerini hem CVS hem de bir pergel yardımı ile ölçmüşlerdir. Fiziksel parametreleri ve görüntü özelliklerini nem içeriğine göre belirlemişlerdir. CVS, kurutma işlemi sırasında elma dilimlerinin hacmini ölçmek için kullanılabildiğini, hacim ve porozitenin ise değişimi nedeniyle kurutma sonunda iyi bir gösterge olmadığını belirtmişlerdir. On bir görüntü özelliği ile nem içeriği arasında iyi bir ilişki (R^2> 0.9) olduğu ayrıca kendi aralarında da yüksek bir korelasyon olduğu sonucuna varmışlardır. Bununla birlikte görüntüde yoğunluk dağılımının da nem içeriği ile arasında iyi bir korelasyona sahip olduğunu bildirmişlerdir. Nem içeriğine ve yoğunluk dağılımına göre kuruma sürelerini sırasıyla 4.31±0.313 saat ve 4.42±0.125 saat olarak tespit etmişlerdir.

Demiray (2015), çalışmasında havuç ve kırmızı biberi kurutmuştur. Kurutma işlemini, sıcak hava ile, vakumla, mikrodalgayla, mikrodalga destekli sıcak hava ile ve mikrodalga destekli vakumlu kurutma kombinasyonlarıyla gerçekleştirmiştir. Sıcak hava ile kurutmada sıcaklıkları 45, 55 ve 65°C ve bağıl nemi %20 olarak alınmıştır. Vakumlu kurutma yönteminde 21,5 ve 48 kPa mutlak basınç altında ve 45, 55 ve 65°C sıcaklıkta kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma işlemleri 780 W mikrodalga gücünde ayarlanmıştır. Örneklerin kuruma karakteristikleri saptanmış ve yarı teorik kurutma modelleri olan Page ve Modifiye Page modelleri nem oranı değişimini en iyi tanımlayan modeller olarak belirlenmiştir. Kurutma sürecinde renk, toplam kuru madde, askorbik asit, β-karoten ve su aktivite değerleri belirlenmiştir. Kurutma sürecinde havuçlarda β-karoten ve kırmızı biberlerde ise askorbik asit değişiminin birinci derece kinetik modele uygunluk gösterdiği belirtilmiştir. Mikrodalga kurutma ile kurutulan örneklerde en fazla β-Karoten kaybının olduğu, en az kaybın ise 21.5 kPa mutlak basınç altında 45°C'de kurutulan havuç örneklerinde gerçekleştiği bildirilmiştir. Sarılığı ifade eden Hunter *b* değeri, havuçların kurutma sürecinde, kurutma yöntemleri ve koşullarından önemli düzeyde etkilenmiştir. Bununla birlikte taze havuç örneklerinin Hunter *b* değerlerinden istatistiksel açıdan farklı olduğu ($p<0,05$) ortaya konmuştur. Aynı şekilde, taze kırmızıbiber örneklerinin kırmızılığını ifade eden Hunter *a* değeri ile

kurutulmuş örneklerin Hunter *a* değerleri arasındaki farkın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($p<0,05$) çalışmada belirtilmiştir.

Golpour vd. (2015), çeltik nem içeriğini makine görme ve yapay sinir ağları (YSA) kullanarak tahmin etmiştir. Taneleri, 30, 40, 50, 60, 70 ve 80°C hava sıcaklıklarında ve 0.54, 1.18, 1.56, 2.48 ve 3.27 ms^{-1} hava hızlarında ince tabaka halinde kurutmuşlardır. L*, a*, b* kinetiğini ölçmüşlerdir. Hava sıcaklığı, hava hızı ve L*, a*, b* değerlerini YSA'da giriş olarak kullanmışlardır. Kuruma süresinin artmasıyla L* değerinin azaldığını, ancak a* ve b* değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Hava sıcaklığı ve hava hızının L*, a*, b* değerleri üzerindeki etkisini sırasıyla istatistiksel olarak anlamlı ($P <0.01$) ve anlamlı değil ($P> 0.05$) olarak saptamışladır. Renk değerlerinin 80°C'de değişiminin diğer sıcaklıklara göre daha fazla olduğu belirtilmiştir. Optimize edilmiş YSA topolojisini, gizli katmandaki Logsig transfer fonksiyonunu ve çıkış katmanındaki Tansig ile 5-7-1 olarak bulmuşlardır. Ortalama kare hatası, belirleme katsayısı ve optimize edilmiş YSA'nın ortalama mutlak hatasını sırasıyla; 0.001, 0.9630 ve 0.031 olarak ortaya koymuşlardır.

Aghilinategh vd. (2016), kurutma parametrelerinin elma dilimlerinin renk özellikleri üzerindeki etkisini saptamak için, gerçek zamanlı bir bilgisayarla görme tekniği ile kesikli bir mikrodalga konvektif kurutma yöntemini kullanmışlardır. Deneyleri, 40 ile 80°C'lik hava sıcaklıkları, 1 ile 2 m/s'lik hava hızları, 200 ile 600 W'lık mikrodalga güçleri ve 2 ile 6'lık atım oranlarında (pulse ratio, PR) gerçekleştirmişlerdir. Kurutma hızı ve kuruma süresinin sırasıyla 0,014 ile 0,000001 dk^{-1} ve 27 ile 244 dk arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Normalize edilmiş açıklık değerlerini, ürün nem içeriğinde azalma ile artan ve azalan parabolik eğilimlerde bulmuşlardır. Azalan boyutsuz nem içeriği ile kırmızılık, sarılık, renk değişimi, ton açısı ve kroma değerlerini artırmışlardır. Normalleştirilmiş kırmızılık değeri -4'ten 3'e indirilmiştir. Kurutma parametreleri, kuruma süresi, kuruma hızı ve açıklık ile ilgili modelleri elde etmiş ve istatistiksel açıdan anlamlı bulmuşlardır ($P <0.01$). Bulgulara göre, mikrodalga gücünün ve PR'lerin açıklık ve renk değişimi üzerinde diğer parametrelere göre daha etkili olduğunu saptamışlardır.

Bilgisayarlı görmeye dayalı görüntü analiz sistemleri gıda işlemede kalite değişikliklerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeşitli ürünlerin yüzey rengi objektif olarak ölçülerek belirgin avantajlar sağlanmaktadır. Gao vd. (2017), anlık kontrollü basınç düşmesi yardımlı sıcak hava kurutması (AD-DIC) ile kurutulan elma dilimlerinin

renk değişimlerini araştırmak için bilgisayarlı görmeye dayalı bir görüntü analiz sistemi kullanmışlardır. Elma dilimlerindeki CIE L* değeri ve polifenol oksidaz aktivitesi, tüm kurutma işlemi sırasında azalırken, CIE a*, b*, ΔE ve C* değerleri de dahil olmak üzere diğer renk indekslerinin arttığını belirtmişlerdir. Kurutma işlemi sırasında görüntü analiziyle hesaplanan esmerleşme oranının arttığını gözlemişlerdir. 5-hidroksimetilfurfural (5-HMF) ve flüoresan bileşiklerinde (FIC) değişiklik, Maillard reaksiyonu nedeniyle esmerleşme oranıyla aynı eğilimi gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, 5-HMF ve FIC konsantrasyonlarının, esmerleşme oranı ile iyi bir kuadratik korelasyonunun olduğunu (R^2> 0.998) saptamışlardır. Esmerleşme oranı, kurutma sırasında elma dilimlerinde 5-HMF ve FIC değişikliklerinin güvenilir bir göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir. Görüntü analiz sistemi, AD-DIC işlemi sırasında kurutulmuş elma dilimlerindeki renk değişikliklerinin, 5-HMF ve FIC'yi izlemek için kullanılabilir olduğunu bildirmişlerdir.

Ghaitaranpour vd. (2017), tarhanada kurutma sıcaklığının fiziksel özellikler üzerindeki etkisini araştırmak için görüntü işleme yöntemini kullanmışlardır. Silindirik ve küresel şekillerin kırılmadığını, ancak yerleştirme biçiminin yalnızca 90°C'de bazı kırıklara sebep olduğunu ortaya koymuşlardır. Tarhananın kurutma sırasındaki hacminin büyük ölçüde kuruma sıcaklığına bağlı olarak değiştiğini belirlemişlerdir. Numunelerin 25° C'de hacim azalması ve büzülme gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, 55°C ve 90°C'de, numune hacminin önce arttığı, ancak daha sonra azaldığını bildirmişlerdir. Elde edilen regresyon modeli, rengin nem içeriğini %96.3 doğrulukla tahmin edebildiği için tarhananın renk değişimi ile nem içeriği arasında bir korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Tarhana görüntülerinin tekstür özellikleri, 1.5 saatlik kuruma sırasında çok fazla değişiklik gösterdiğini saptamışlardır. Buna ilaveten, bu değişikliklerdeki yoğunluğun daha sonra azaldığı ifade edilmiştir. Bu araştırma, görsel makinelerin ve görüntü işleme uygulanmasının, kurutma sırasında tarhananın fiziksel özellik değişikliklerinin izlenmesini sağlayan hızlı bir teknik olabileceğini göstermektedir.

Heybeli (2017), yaptığı çalışmada farklı kurutma yöntemlerinde Stanley erik çeşidinin kuruma özelliklerini incelemiştir. Denemelerde, ısıtılmış hava, mikrodalga destekli ısıtılmış hava ve kızılötesi ışın destekli ısıtılmış hava kullanılarak kurutma işlemi yapılmıştır. Kullanılan mikrodalga ve kızılötesi ışın gücü 300, 400 ve 500 W, kurutma havası sıcaklığı 60, 70 ve 80°C ve giriş havası hızı ise sabit 2 m/s olarak belirlenmiştir.

Kurutma işlemi, ürünün nem içeriği %20'ye (y.b.) indirilinceye kadar sürdürülmüştür. Araştırma sonuçlarında kurutma süresi açısından, örneklerin hava destekli kızılötesi ışın (60°C kurutma havası ve 300 W kızılötesi ışın) ile kurutulmasında, ön işlem gören örneklerde kuruma süresi 3074 dakika, işlem görmeyen örneklerde ise 3218 dakika olarak belirlenmiştir. Isıtılmış havanın tek başına kullanılmasıyla ön işlem görmüş örneklerde kuruma süresi 4780, işlem uygulanmamışlarda ise 5280 dakika olarak ortaya konmuştur. Isıtılmış hava destekli mikrodalga güç kullanımı ile örneklerde yüksek parlaklık (L*) değerleri elde edilmiştir. Taze örneğe en yakın kroma (C) değeri, ön işlem gören örneklerin 60°C kurutma havası sıcaklığında elde edilmiştir. Hue açısında ise en yakın değer örneklerin sadece sıcak hava ile kurutulmalarında elde edilmiştir. Isıtılmış hava destekli mikrodalga ya da kızılötesi ışın uygulamalarında örneklerin esmerleşme indeksinin düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Çalışmada kuru örneklerin hacim ağırlıklarının taze örneklerden yüksek olduğu saptanmıştır. Özgül ağırlığı ve hacimsel büzülme değerleri açısından tüm kurutma koşullarında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Sadece 60 ve 70°C kurutma havası uygulaması yapılan örneklerde, özgül enerji tüketiminin ısıtılmış hava destekli mikrodalga ve kızılötesi ışın gücü uygulamalarına göre oldukça yüksek oldukları belirlenmiştir. Kurutma koşulu olarak 80°C kurutma havası sıcaklığı seçiminde, örneklerin kuruması için gerekli enerjinin diğer tüm uygulamalardan daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Renk ve tekstür özelliklerini ölçmek gibi en tipik yaklaşımlar zaman alıcıdır. Pieniazek ve Messina (2017), dondurularak kurutulmuş patateslerde doku ve rengi değerlendirmek için görüntü işleme tabanlı bir yöntem kullanmıştır. Pişirilmiş, pişirilmiş dondurulmuş ve rehidre edilmiş patateslerin mikroyapılarını elektron mikroskobundan tarayarak analiz etmişlerdir. Tekstür özelliklerini, bir tekstür analizcisi ve görüntü işleme ile analiz etmişlerdir. Renk değerlerini bir spektrocolorimetre ve bir dijital kamera ile belirlemişlerdir. Pişirilmiş ve pişirilmiş dondurularak kurutulmuş rehidre patateslerde istatistiksel açıdan önemli farklılıklar ($p < 0.05$) elde etmişlerdir. Tesktür ve renk değerleri için enstrümantal ve görüntü özellikleri için ise doğrusal bir eğilim uygulamışlardır. Sonuçlar, kontrast, entropi, enerji ve homojenlik gibi görüntü özelliklerinin, sertlik, yapışkanlık, sakızlık ve esneklik gibi tekstür özellikleri ile korelasyon gösterdiğini ortaya koymuştur. Renk özellikleri için de benzer sonuçları elde etmişlerdir. Çalışmada, görüntü işleme tekniklerinin patateslerde kaliteyi analiz etmek için yararlı bir araç olarak uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Sun vd. (2017), kurutma işlemi sırasında nem içeriğini ve dondurulabilir su içeriğini ölçmede hiperspektral görüntülemenin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Temaslı ultrason destekli sıcak kurutma (CUHAD) işlemi sırasında mor etli tatlı patates dilimleri için hiperspektral görüntüler elde etmişler, görünür ve yakın kızılötesi (371-1023 nm) bölgelerinde ilgilenilen bölgelerden ilgili ortalama yansıma spektrumlarını almışlardır. Ham spektrumun ön işleme tabi tutulması için hareketli ortalama, Savitzky-Golay yumuşatma filtresi (S_G filtresi) ve çoklayıcı saçılma düzeltmesini (MSC) incelemişler ve elde edilen spektral veriler ile ölçülen kalite arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kısmi en küçük kareler regresyonu (PLSR) kalibrasyon modelini oluşturmuşlardır. Modelin farklı ön işleme yöntemlerine göre performansının karşılaştırılması, MSC ön işlemine sahip PLSR modeli, sırasıyla nem içeriğini ve dondurulabilir su içeriğini sırasıyla 0.9837 ve 0.9323 tahmin (R^2_P) belirleme katsayıları ile daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Tam aralıklı spektrum verilerini seçmek yerine, regresyon katsayıları (RC) yöntemine dayanarak optimal dalga boylarını belirlemişlerdir. Daha sonra PLSR ve çoklu lineer regresyon (MLR) adlı iki lineer kalibrasyon algoritması ve backpropagation (BP) sinir ağı adlı lineer olmayan bir kalibrasyon algoritmasını, numunelerin eşzamanlı olarak özelliklerini belirlemede modeller oluşturmak için kullanmışlardır. Sonuçların, 0.9359 ve 0.8592 ile R^2_P'ye sahip RC-MLR'nin, mor etli tatlı patates dilimlerinin nem içeriğini ve dondurulabilir su içeriğini belirlemek için en iyi olarak kabul edildiğini tespit etmişlerdir. Bu nedenle, çalışmanın, farklı susuz zamanlarda nem içeriğini ve dondurulabilir su içeriğini tahmin etmek için nesnel, hızlı ve tahribatsız bir yöntem olarak kemometrik analiz ile hiperspektral görüntüleme kullanma potansiyelini gösterdiğini bildirmişlerdir.

Bora vd. (2018), elmadaki renk değişikliklerini izlemek ve kurutma aşamalarında nem içeriği ile ilişkilendirmek için görüntü işleme yöntemini kullanmışlardır. Deneylerde elmanın farklı sıcaklıklarda kurutma sırasında RGB değerlerinde meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Çalışmada, elmanın nem içeriğinde önemli bir değişiklik olduğunda rengin nasıl değiştiğine vurgu yapmışlardır. Rastgele seçilen üç elma çeşidini, 8 mm kalınlığa kadar dilimlemişler ve 60, 70 ve 80°C'de vakumlu fırında kurutmuşlardır. Her 30 dakikada bir nem kaybı kaydedilmiş ve RGB değerindeki değişimi belirlemek için karşılık gelen dijital görüntüleri almışlardır. Çalışma sırasında elde edilen görüntüleri, MATLAB yazılımının görüntü işleme ara yüzünde analiz etmişlerdir. Nem içeriğinin ve ortalama renk paylaşımının zamana göre analizi, ortalama renk paylaşım değerinin üç sıcaklıkta da zamanla azaldığını gösterdiğini bildirmişlerdir. Nem içeriğindeki değişimin

yüzde 50'den fazlasını ortalama renk payı ile açıklamışlardır. Nem içeriği ile RGB'deki renk değişimleri arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu ve kurutma işlemi sırasında elmanın nem içeriğini tahmin etmek için kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Doerflinger ve Pagay (2018), kurutulmuş Sultana üzüm kalitesini görüntü işleme yöntemi kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada "sultanas" olarak adlandırılan kurutulmuş üzümlerin kalitesini değerlendirmek için objektif bir metodoloji geliştirmeyi amaçlamışlardır. MATLAB programlama dili kullanılarak dijital görüntü analizine dayanan meyve kalitesi değerlendirmesi için tahribatsız bir yöntem, yüzey kalitesine göre meyve kalitesinin sınıflandırılması için yeni bir kalite endeksinin ve bilgisayar uygulamasının geliştirilmesini sağlamışlardır. Yöntemin, bireysel meyveleri çeşitli renk sınıflarına ayırdığı ve endüstriyel bir değerlendirme için bir derecelendirme sistemini ortaya koymuşlardır. Yeni yöntem kullanılarak berry yüzey renginin dijital görüntü analizi, kurutulmuş sultana kalitesini objektif olarak değerlendirmek için doğru ve güvenilir bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir. Bu yöntem ile, üreticilere adil bir fiyat ödemesi sağlanacağı ve insanlar tarafından subjektif meyve derecelendirmesinden kaynaklanan potansiyel çatışmaları azaltmak için paketleme tesislerinde sultana kalitesinin hızlı ve objektif bir şekilde değerlendirilmesini kolaylaştıracağını belirtmişlerdir.

Süfer (2018), ön işlem olarak dondurulmuş Hicaz çeşidi nar tanelerinin (*Punica granatum* L.) mikrodalga-vakum (MV) ve sıcak hava tekniği (tepsili kurutucu) yardımıyla yaş temelde %10 nem içeriğinin altına düşecek şekilde kurutulması işlemini araştırmıştır. Çalışmada, belirli zaman aralıklarında alınan nem oranı verilerinin, literatürde yer alan 22 farklı ince tabaka modeline uygunluğu test edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen kuru ürünlerin fiziksel ve kimyasal bazı özellikleri üzerine kurutma koşullarının etkisi belirlenerek, yanıt-yüzey yöntemi (YYY) sayesinde model eşitlikleri oluşturulmuş ve belirtilen kurutma yöntemlerinin optimizasyonu yapılmıştır. Çalışılan MV koşulları; 180 W, 270 W, 360 W (sürekli) güç ve 40 mbar, 75 mbar, 110 mbar mutlak basınçtır. Tepsili kurutucudaki işlem sıcaklıkları ise 55, 65 ve 75°C olarak ele alınmıştır. Sigmoid ve kübik modeller nar tanesinin kuruma davranışını her iki yöntemde de başarılı bir şekilde tanımlayan modeller olarak tespit edilmiştir. YYY ile MV tekniğinde yedi (hue açısı, sertlik, büzülme, toplam fenolik bileşen, antioksidan kapasite, toplam monomerik antosiyanin, gallotanen), sıcak hava yönteminde ise altı farklı (sertlik, büzülme, toplam

fenolik bileşen, antioksidan kapasite, toplam flavonoid, gallotanen) kalite kriteri modellenmiş ve yazılımın önerdiği optimizasyon koşullarında (MV kurutma için 360 W-59.70 mbar ve sıcak hava tekniği için 69°C) testler yapılarak optimum koşulların doğrulaması gerçekleştirilmiştir. İstenilen hedefe ulaşma fonksiyonu değeri her iki yöntem için de 0.59'a eşittir. Temel bileşenler analizi (PCA) sonucunda taze nara en yakın özellikler sergileyen örneklerin, MV uygulamasıyla kurutulmuş örnekler olduğu belirtilmiştir.

Polat vd. (2019), çalışmasında mikrodalga-vakumlu kurutmanın elmanın kurutma özellikleri, protein, mineral içeriği ve rengi üzerine etkisini araştırmıştır. Mikrodalga gücü seviyeleri (200 ve 300 W), vakum koşulları (200 ve 400 mmHg) ve darbe oranları (PR = 1 [Sürekli] ve PR = 2 [30 s ton / 30 s toff]) kullanılarak sekiz farklı kurutma işlemi uygulanmıştır. Kullanılan kurutma ayarlarına bağlı olarak artan mikrodalga gücü ve vakum uygulamaları ile azalan puls oranının, daha kısa kurutma süresi sağlandığı bildirmiştir. Page modelinin, kurutulmuş elma örneklerinin kurutma kinetiğini açıklamak için kullanılan tüm verilerde, yüksek düzeyde istatistiksel değerler verdiğini belirlemiştir. Buna ilaveten 300W–200mmHg–PR=2 uygulamasında potasyum miktarını diğer kurutma koşullarına daha yüksek bulmuştur. Kurutulan örneklerde en düşük L* (78.27), a* (10.70) ve b* (32.72) değerlerini sırasıyla 200W–400mmHg–PR=2, 300W–200mmHg–PR=1, and 200W–200mmHg–PR=2 uygulamalarında tespit etmiştir. Ayrıca kurutulmuş elmaların protein oranını taze örneklerden daha yüksek olarak saptamıştır. Sonuç olarak, 300W–400mmHg–PR=1 işleminin daha kısa kuruma süresine (30 dakika) ve yüksek protein içeriğine (% 2.5) sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Lv vd. (2020), ultrases ön işleminin gıdalardaki fiziksel özellikleri ve nem kaybını hızlı bir şekilde değiştirebildiğini belirtmiştir. Ultrasesin elma dilimlerinin mikrodalgada kurutulması üzerindeki etkisini incelemek için, ultrases ön işlem destekli mikrodalga vakumlu kurutma (UOAMVD) cihazı tasarlamıştır. Kurutma süresine karşı nem içeriği eğrilerini, dielektrik sabitini, dielektrik kayıp faktöründeki değişimi ve su moleküllerinin akış özelliklerini, ön işlemsiz mikrodalga vakumlu kurutma (MVD), ultrases ön işlemli mikrodalga vakumlu kurutma (MVDPU) ve tasarladığı ultrases ön işlem destekli mikrodalga vakumlu kurutma (UOAMVD) için bir vektör ağ analizörü, düşük alanlı nükleer manyetik rezonans ve görüntüleme analizörü ile ölçmüştür. Ayrıca kurutulmuş ürünlerin renk ve mikro gözenekli yapılarındaki farklılıkları belirlemiştir. MVD ve

MVDPU ile karşılaştırıldığında, UOAMVD uygulanan elma dilimlerinin daha yüksek bir kuruma hızına ve geliştirilmiş kurutma homojenliğine sahip olduğunu ve dielektrik sabitinin önemli ölçüde azaldığın tespit etmiştir. Ek olarak, UOAMVD ile kurutulmuş numunelerin renginin, taze elma dilimlerine en yakın sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. UOAMVD kurutmanın, elma dilimlerinin mikrodalga kurutma verimliliğini ve kalitesini önemli ölçüde geliştirdiğini vurgulamıştır.

Rojas vd. (2020), çalışmasında ilk kez, elmanın ultrases destekli konvektif kurutulmasında ön işlem olarak etanolu değerlendirmiştir. Elma dilimlerinin etanolde bekletilmesiyle (0-30 dakika) ön işlemleri gerçekleştirmiştir. Ön işleme tabi tutulmuş numuneleri, ultrases olmadan ve ultrasesle (21.77 kHz, 20.5 kW/m^3) konvektif olarak kurutmuştur (50°C, 1 m s^{-1}). Sonuç olarak, her iki teknoloji de dikkate alındığında, geleneksel kuruma süresini %70 ± 2 azaldığını bildirmiştir. Kurutma kinetiğinde, etanol ön işlemlerinin kütle transferine karşı dış direnci azalttığını, ultrasesinde bu durumda büyük bir etkiye sahip olduğu tespit etmiştir. Kurutulmuş numunelerde, etanol ön işlem süresi arttıkça büzülmenin azaldığını ve rehidrasyon kapasitelerinin ise arttığını ortaya koymuştur. Rehidrasyondan sonra, numunelerin viskoelastik özelliklerde >% 85'lik bir azalma gösterdiğini vurgulamıştır. Antioksidan kapasite ve toplam fenolik içeriğin, ultrases uygulamasıyla daha iyi korunduğunu belirlemiştir. Elde edilen sonuçları göre, ön işlemlerin, fiziksel özellikler üzerinde olumsuz etkiler olmaksızın kurutmayı önemli ölçüde hızlandırdığını doğrulamıştır.

1.12. Problem Durumu

Elma (*Malus communis* L.) dünya çapında muzdan sonra en yaygın üretilen ikinci meyve durumundadır. Çeşitli ekolojik ortamlara uyum sağlama yeteneğine sahip olan elma, geniş bir coğrafi alanda yetiştirilmektedir (Baytekin ve Akça, 2011). Dünyanın yıllık elma üretimi yaklaşık 87 milyon tondur. Yıllık yaklaşık 3 milyon ton üretim yapan Türkiye; Çin ve ABD'den sonra üçüncü sırada yer almaktadır (FAO, 2021). Ülkemizde hasat zamanı dökülen dip elmaları ya atık olarak kalmakta ya da meyve suyu üreticileri tarafından cüzi fiyatlarda çiftçilerden satın alınmaktadır. Bu elmaların farklı alanlarda değerlendirilmesi ile hem çiftçiye hem de ülke ekonomisine katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Bir ısı ve kütle transferi olan kurutma, bu alanda en önemli alternatiflerden birisidir. Dip elmaların kurutulması ve depolanması hem iç pazarda hem de dış pazarda ürünün yaygınlaştırılmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla, Dünya'nın önde

gelen elma üreticilerinden biri olan ülkemizde, katma değeri artırılmış ve pazar süresi uzatılmış ürün çeşitlerinin artırılabileceği düşünülmektedir.

1.13. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, ön işlem uygulanmış farklı çeşit dip elmalarının kurutma ve kalite karakteristiklerinin belirlenmesi ve elde edilen parametrelerin makine öğrenmesi algoritmalarıyla değerlendirilmesini kapsamaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın başlıca hedefleri;

- Kurutma için en uygun matematiksel modelin seçilmesi,
- Kurutma için tam otomasyonlu sera modifikasyonu,
- Kurutma sonrası görüntü işleme ile ürünlerde boyut farklılıklarının tespit edilmesi,
- Ürünlerin biyokimyasal ve tekstürel özelliklerinin belirlenmesi,
- Ürünlerde spektral yansıma ve renk özelliklerinin ortaya konulması,
- Rehidrasyon, büzülme ve ayrılabilir nem oranlarının saptanması,
- Kurutma sistemlerinin enerji analizinin yapılması,
- Kurutma esnasında elde edilen parametrelerden makine öğrenmesi ile biyokimyasal özelliklerin ve kurutma karakteristiklerinin tahmin edilmesidir.

1.14. Araştırmanın Önemi

Tarımda dip ürünler üreticiler için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Bu ürünler görünüş ve kalite açısından istenen seviyelerde olmadığından ekonomik olarak değerlendirilememektedir. Dip ürünlerin tekrar tarımsal süreçlere kazandırılması ve ekonomik olarak istenilen seviyelerde değerlendirilmesi için kurutma en uygun yöntemlerden birisidir. Kurutma ile bu ürünler hem fiziksel hem de biyokimyasal özellikler bakımından sağlam ürünlerle rekabet edebilecek duruma gelecektir.

Tüketiciler sebze ve meyve seçerken yüksek kaliteli ürünler talep etmektedir (Leon vd., 2006). Renk, şekil ve boyut meyve için en önemli dış faktörlerden olup tüketiciler tarafından genellikle ürünün kalitesiyle ilişkilendirilmektedir (Campbell vd., 2004, Singh ve Reddy, 2006). Bununla birlikte ürünlerin biyokimyasal özellikleri de iç kalite değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı kurutma koşullarında ve ön işlemler ile bu özellikler değişiklikler gösterebilmektedir. Bu değişikliklerin geniş ürün

hacmine sahip endüstriyel alanlarda ölçülmesi uygulamada pratik ve kolay olmamaktadır. Bu doğrultuda bu özelliklerin güncel teknolojiler kullanılarak ele alınması kaçınılmazdır. Yapay zekâ algoritmaları, görüntü işleme ve spektral yansıma gibi yöntemlerin kurutma işlemlerinde kullanılmasının literatüre ve endüstriye önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Doğru ve uygun olarak bu yöntemlerin seçimi ve kullanımı, çalışmaların pratik olarak gerçekleştirmesine de imkân verecektir. Ayrıca kurutma sistemleri için optimum kurutma oranı, nem içeriği ve kuruma hızı gibi kurutma karakteristiklerinin belirlenmesine de yardımcı olacaktır.

2. BÖLÜM

MATERYAL ve YÖNTEM

Kurutma işlemleri Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada farklı kurutma sistemleri için kurutma karakteristikleri belirlenmiştir. Ayrıca nem oranı ile kuruma süresi arasındaki ilişkiyi temsil edecek en uygun matematiksel modeller tüm sistemler için tespit edilmiştir. Çalışmada kurutulmuş dip elma örneklerine ait renk, rehidrasyon, büzülme, sertlik, kırılganlık, tek sıcaklık, spektral yansıma, fiziksel ve biyokimyasal özellikler belirlenmiştir. Ayrıca, sistemlerin enerji etkinlikleri belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler bazı biyokimyasal özelliklerinin ve kurutma karakteristiklerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır.

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith çeşit dip (döküntü) elmaları Kayseri Yeşilhisar'da yetiştirilen bahçelerden toplanmıştır (Şekil 2.1). Deneylerde kullanılan ürünler, hasat dönemini izleyen 10 gün içerisinde, ağaçların 2 metre taç çapı içerisine dökülmüş elmalar toplanarak seçilmiştir. Toplanan elmalar kurutma işlemi tamamlanana kadar 4±0.5ºC'de muhafaza edilmiştir (Soysal, 2004). Örneklerin ilk nem içeriğinin belirlenmesi için, 100 gramlık örnekler 3 tekerrürlü olarak 70°C sıcaklıktaki fırında 24 saat kurutulmuş ve ortalama nem içeriği değerleri belirlenmiştir. Tablo 2.1'de elmaların yetiştirildiği bahçenin üretim sezonunda gübreleme programında gübrelerin isimleri, gübreleme zamanları ve gübreleme miktarları sunulmuştur.

Tablo 2.1. Elmaların yetiştirildiği bahçeye uygulanan gübrelerin gübreleme zamanları ve miktarları (kg)

Uygulama Zamanı (Ay ve Hafta)		**Soli One 30-5-5**	**Soli One 10-40-10**	**Ore Ca**	**Soli One 3-7-39**	**Soli One 19-19-19**	**Effect 70**	**Yellov Force**	**Quantum**	**Action Dreep**	**Wander-full**	**Ferroforte (Demir)**
Nisan	**H1**			100		100		100		100		
	H2	100	100				200				100	50
	H3		100	100		100				100		
	H4	100	100		100						100	
Mayıs	**H1**		100	100		100			100	100		
	H2	100	100		100						100	50
	H3		100	100		100		100		100		
	H4	100	100		100						100	
Haziran	**H1**			100		100			100	100		
	H2	100			100						100	50
	H3	100		100				100		100		
	H4				100	100	200				100	
Temmuz	**H1**			100		100				100		
	H2	100			100				100		100	50
	H3	100		100				100		100		
	H4				100	100					100	
Ağustos	**H1**		100	100	100	100			100	100		
	H2	100			100						100	
	H3	100		100			100	100		100		
	H4		200		100	100			100		100	
Toplam	**H20**	**1000**	**1000**	**1000**	**1000**	**1000**	**500**	**500**	**500**	**1000**	**1000**	**200**



(a)



(b)



(c)

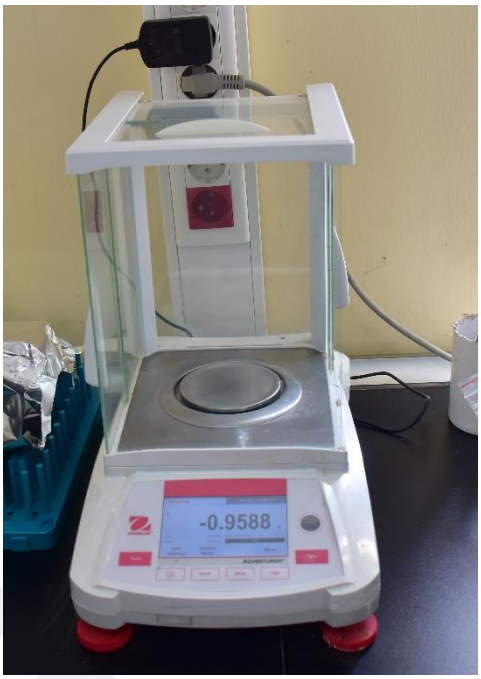
Şekil 2.1. Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşidi dip (döküntü) elmaları

Ürünlerin başlangıç nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla etüv (Memmert UN55, Almanya) kullanılmıştır. Ürünler kurutma esnasında ağırlığı 0.0001 hassasiyetli bir hassas terazi (Ohaus Adventurer AX224, Avusturalya) ile ölçülmüştür. Elma örneklerini silindirik şekilde kesmek amacıyla dilimleyici (Börner V5 Powerline, Almanya)

kullanılmıştır. Fırın ve kontrollü seradaki fan hızını ölçmek için 0.1 m s^{-1} hassasiyete sahip bir adet dijital bluetooth özelliğine sahip el tipi anemometre (UNI-T UT 363 BT, Çin) kullanılmıştır. Ürün çekirdeklerinin bulunduğu kısım, elma çekirdeği çıkarıcı (Tchibo 91433, Almanya) ile çıkarılmıştır. Ultrases ön işlemi için 150 W ısıtma gücüne ve 40 kHz'lik frekansa sahip, 4.5 lt hacmi olan dijital sıcaklık ve zaman ayarlı ultrasonik banyo cihazı (LAB.ULT.4045, Türkiye) kullanılmıştır. Örneklerin pH ölçümü, masaüstü pH metre cihazı (Hanna HI 2002-02, ABD) ve suda çözünür kuru madde miktarı ölçümleri, 0-32° Briks aralığındaki dijital refraktometre cihazı (Milwaukee, Romania) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. °Briks ölçümleri için ürünlerin sıvı hale getirilmesinde katı meyve sıkacağı (Arzum AR1060 Multivit, Türkiye) kullanılmıştır. Kurutulacak taze ürünlerin sertlik ölçümleri üzerinde 11 mm prob olan meyve sertliği ölçer (GY-3 Penetrometre, Türkiye) ile yapılmıştır. Kurutma esnasında ve sonrasında ürünlerin sıcaklıkları termal kamera (Testo 872, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür. Dış ortam ve kontrollü serada -50 ile +150°C aralığında ölçüm yapabilen termometre (Testo 905i, Almanya) kullanılmıştır. Bununla birlikte, eş zamanlı olarak kurutmanın yapıldığı dış ortam ve seraya sıcaklık kayıt cihazı datalogger (Elitech RC-4 Mini, İngiltere) bırakılarak saatlik sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir. Kurutulmuş örneklerin spektral yansımalarının ölçülmesinde portatif el spektroradyometresi (ASD HandHeld 2, İngiltere) kullanılmıştır. Spektroradyometre cihazı ile 325-1075 nm dalga boyu aralığında 1 nm adımlarla ölçüm alınabilmektedir. Ürünlerin boyutları 0.01 hassasiyetli bir dijital kumpas (Mitutoyo 500-181-30, Japonya) ile ölçülmüştür. Biyokimyasal analizler için kurutulmuş örnekler bir öğütücü (Bosch TSM6A014R, Almanya) yardımıyla öğütülmüştür (Şekil 2.2).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)


HANNA
edge

(g)


Milwaukee
MA871 Refractometer
0 to 85% Brix

(h)


arzum

(i)



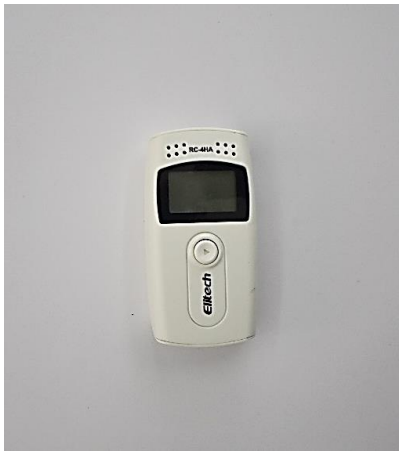
(j)



(k)



(l)



(m)



(n)



(o)



(p)

Şekil 2.2. Denemelerde kullanılan cihazlar*

*Etüv (a), hassas Terazi (b), dilimleyici (c), anemometre (d), çekirdek çıkarıcı (e), su banyosu (f), ph metre (g), refraktometre (h), katı meyve sıkacağı (i), penetrometre (j), termal kamera (k), termometre (l), datalogger (m), spektroradyometre (n), dijital kumpas (o), öğütücü (p)

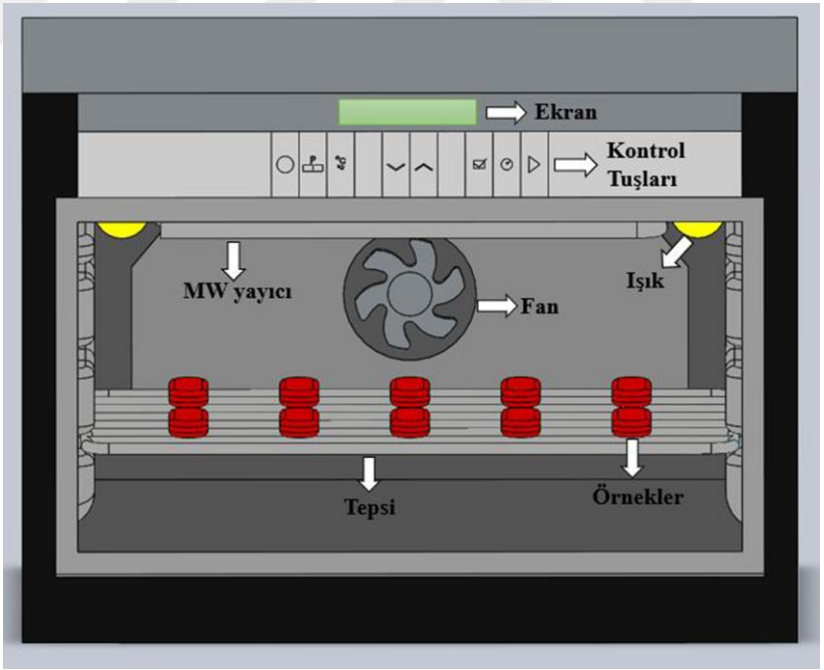
2.1.1. Konvektif-Mikrodalga Fırının Özellikleri

Elmaların kurutulması için konvektif ve mikrodalga özelliklere sahip hibrit bir fırın (Arçelik KMF 833 I, Turkey) kullanılmıştır. Hibrit fırında mikrodalga ve konvektif özellikler aynı anda kullanılabilmektedir. Mikrodalgalar fırının içinde üst kısmından yayılmaktadır. Fırın 2.465 MHz frekansa ve 900W çıkış gücüne sahiptir. Ayrıca ortam sıcaklığı 40°C'den 280°C'ye kadar ayarlanabilir yapıdadır. Fırın, hava sirkülasyonu için

bir fan ve numuneleri tutan delikli poliamid platformlar ve tepsileri içermektedir. Hibrit kurutma sistemi ve CAD çizimi Şekil 2.3.'te ve teknik özellikleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.3. Hibrit Kurutma Sistemi (a) ve CAD çizimi (b)

Tablo 2.2. Mikrodalga-konvektif fırının teknik özellikleri

Özelikler	**Değerler**
Yükseklik	45.5 cm
Genişlik	59.4 cm
Derinlik	56.7 cm
Fırın Hacmi	40 lt
Programlama	Dijital LCD Ekran Dokunmatik
Voltaj/frekans	220-240 V ~ 50 Hz
Mikrodalga güç çıkışı	900W
Mikrodalga frekansı	2465 MHz
Toplam elektrik gücü	3.6 kW

2.1.2. Kontrollü Seranın Özellikleri

Sera, 72 m^2 (6x12 m) boyutunda, 8 mm kalınlığında ve %80-85 ışık geçirgenliği olan polikarbonat kaplı, çelik profil konstrüksiyonlu ve tek çatılı yapıda olup, havanın homojen dağılımı için 4 havalandırma ve 1 sirkülasyon fanına sahiptir. Kurutma sırasında seranın ortalama sıcaklığı 35.02ºC ve bağıl nem oranı %34.20 olarak kaydedilmiştir. Seranın kenar yüksekliği 4 m, mahya yüksekliği ise 5 m'dir. İklim (sıcaklık, nem, rüzgâr hızı-yönü vb.) kontrol paneli sayesinde ayarlanabilen senaryolar kontrol edilebilecek durumdadır. Sera içerisinde galvanizli sacdan yapılmış 4x1x0.9 m ölçülerinde 6 adet kurutma masası bulunmaktadır (Şekil 2.4).

Serada kullanılan materyaller ve özellikleri şu şekildedir;

- **Tekon HT13 bağıl-nem ve sıcaklık transmitteri**: 16-36V DC, -20+80°C sıcaklık aralığı, 0-100 %RH bağıl nem aralığı, 58x89x35 mm boyutlarında (ExBxY),
- **Anemometer for vantage pro2 6410 rüzgâr sensörü (hız-yön):** -40-65°C çalışma sıcaklığı (±3° doğruluk payı) 0.5-89±1 m s^{-1} rüzgâr hızı aralığında,
- **ABB PM554-TP-ETH PLC:** iklim kontrol yazılımına sahip**,**
- **CP-405 kontrol paneli**: 24V DC, AC500-eCo PM554 modelinde,
- **40 ve 45 cm monofaze sanayi aspiratörü (2'şer adet):** 200-220W güç, 220V elektrik, 1400 d/d, 4550-5300 m^3 h^{-1} debi, 0.54-0.62 akım, 408-455 mm pervane çapı, 9.1-9.6 kg ağırlığında,
- **Gen Fan GF450 trifaze sanayi tipi sirkülasyon fanı:** 400V, 1380 rpm, 50 Hz, 0.37 kW, 1.2 mm 6 adet kanat, 7500m^3 h^{-1} debi, 0,80 A akıma sahip,

- **Telmika sanayi tipi fanlı ısıtıcı:** 30 kWh, AC 220V, 1900-2200 m^3/h, 1400 d/d, ısıtma kapasitesi 300-350 m^2, 380 V, 3 kademeli,
- **Wago röle soketleri**: 12V DC, 250 V, 15x86x54 mm boyutunda (EBY),
- **Fotosel röleler (4 adet aydınlatma)**: 190-255A DC, 50-60 Hz, CdS foto direnç (fotosel göz), 1-10 lux ışık şiddeti, min: %5 max: %30 histerisis değerinde,
- **Miksan 63 4C M trifaze motor (2 adet):** 0.18 kw, 1385/min, 50 Hz, 230 V, 1.64 A, Cos: 0.93 güç katsayısına sahiptir.



(a)



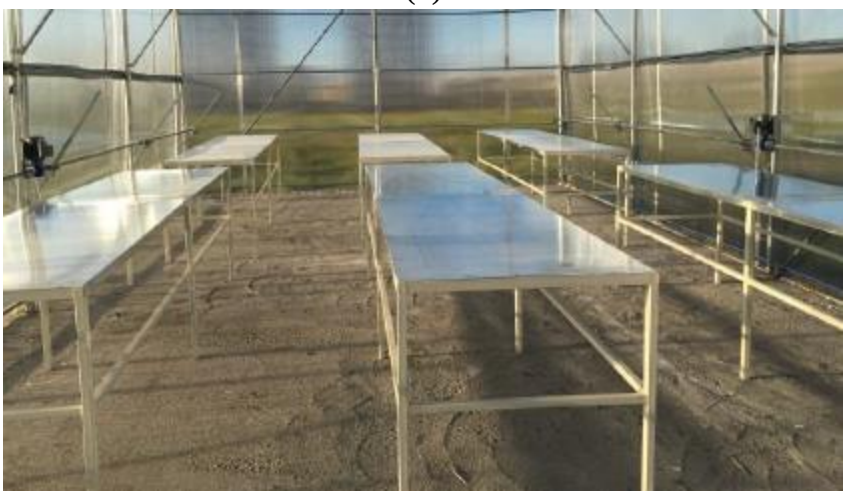
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 2.4. Seranın genel görünüşü (a), ısıtıcı (b), havalandırma ve sirkülasyon fanı (c), fotovoltaik paneller (d), kurutma masaları (e), kontrol paneli (f), invertör (g)

Fotovoltaik (PV) paneller, 250Wp gücünde, polikristal özellikte %15.4 panel verimliliği olan toplam 1.5 kW kurulu güce sahip yapıdadır. Ayrıca 2400 Pa rüzgâr ve 5400 Pa kar yüküne dayanıklı yapıdadır (IEC 61701 standardına uygun). Panellere ait açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı sıfıra daha yakın veya -0.36%/K değerinde olmaktadır. Panellere ait max. sistem gerilimi 1000 V olup, ters akım dayanımı en az 15 A'dir. Panellerin dişi-erkek konnektör bağlantısı yapılmış (IP 67) entegre konnektörlere sahiptir. Panellerin IP67 koruma sınıfında bağlantı kutuları mevcut olup kutularda en az üç adet bypass diyotu bulunmaktadır. Panellerin pozitif güç toleransı en az %±5'tir. Panel çerçevesinde malzeme paslanmaz yapıda olup korozyona dayanıklıdır. Tek panel boyutu 1.7x1.0x0.4 m olup ağırlığı 19 kg'dır. Fotovoltaik paneller %0-85 bağıl nem oranında ve -40°'ten +95°C'ye kadar çalışabilir yapıdadır. PV sisteminin nominal gücü 1.5 kWh, sıcaklık ve düşük aydınlanma sebebiyle oluşabilecek sıcaklık kaybı yaklaşık %9.5, açısal yansımadan dolayı oluşabilecek tahmini kayıp %2.7, diğer kayıplar (kablolar, invertör vb.) %2.0 ve kombine PV sistem kayıpları %13.8'dir (Polat, 2018). Kurutmanın yapıldığı ayda verilen sistemden ortalama günlük elektrik üretimi 9.26 kWh, ortalama aylık elektrik üretimi 277.80 kWh, verilen sistemin modülleri tarafından alınan ortalama günlük radyasyon miktarı 7.47 kWh m^{-2} ve ortalama küresel radyasyon miktarı 232 kWh olarak hesaplanmıştır. Aspiratörün, fanın ve ısıtıcının tükettiği enerji miktarı değerleri sırasıyla 0.44 kWh, 0.37 kWh ve 30 kWh'dır. Kontrollü serada ve güneşte elma örnekleri

50x50 kurutma kağıtlarının üzerine serilmiştir. Örnekler ağustos ayında Kayseri'de 08:00-18:00 saatleri arasında 25.8-42.5ºC (ortalama sıcaklık: 25.8ºC) ve ortalama %48.75 bağıl nemde direkt güneş ışığı altında kurutulmuştur.

2.1.3. Liyofilizatörün Özellikleri

Dondurarak kurutma işlemi laboratuvar tipi liyofilizatörde (Teknosem Toros TRS 2/2V, Türkiye) gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.5). Cihaz ölçüleri (YxGxU) 700x350x500 mm'dir. Liyofilizatör 10^{-3} mbar basınç altında, -55°C'de kondanser sıcaklığında çalışmaktadır. Kondenser hacmi 5.8 lt, vakum pompası kapasitesi 5.4 m^3'tür. Cihaz 24 saatte 2.5 kg buz tutma kapasitesine sahiptir. Akrelik vakum odacığı içerisinde 3 adet numune rafı bulunmaktadır. Cihazın kontrol ünitesi grafik LCD kontrol ile oldukça basit ayarlanabilir ve çalışma durumu ekrandan izlenebilir yapıdadır. Cihaz sıcak gaz ile otomatik buz eritebilir, bu sayede sıcak suya ihtiyaç duymadan kondanserde toplanan buz erimektedir. Cihazın soğutma ünitesinde CFC (kloro floro karbon) içermeyen çevre dostu freon gazı kullanılmıştır. Donmuş çözeltide süblimleşme meydana geldiğinde, prekürsörün sıcaklığı kademeli olarak +10°C yükselir. Daha sonra, vakum korunarak sıcaklık kademeli olarak 50°C'ye çıkarılır. Bölmedeki basınçta hiçbir değişiklik kaydedilmediğinde, dondurarak kurutma işleminin başarılı olduğu kabul edilir. Kurutma işleminden önce ürünler tartılmış ve ultra-düşük sıcaklıklı dondurucuda -80ºC'de (VWR Symphony Model 414005-087, United States) 24 saat muhafaza edilmiştir.



Şekil 2.5. Liyofilizatörün genel görünüşü

2.2. Yöntem

Kurutma işlemi için ağaçların yanına dökülen dip ürünler toplanmış, çürük kısımları kesilerek çıkarılmıştır. Ürünler yıkanmış, kurulanmış ve çekirdeklerinin olduğu kısım elma çekirdeği çıkarıcı ile çıkarılmıştır. Ürünler, dilimleyici yardımıyla 1.4 mm dilim kalınlığında silindirik olarak kesilmiştir. Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith elma çeşitlerinin başlangıçtaki nem seviyeleri kuru bazda (k.b.) sırasıyla 14.78 (g su. g kuru madde^{-1}), 16.55 (g su. g kuru madde^{-1}) ve 19.98 (g su. g kuru madde^{-1}) olarak etüvde 24 saat süre ile 70°C'de kurutularak belirlenmiştir. Numunelerin nem değeri denge nemine ulaşıncaya kadar kurutma işlemi devam ettirilmiştir. Kurutma işlemleri için kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir:

- Güneşte (açıkta) kurutma
- Kontrollü serada kurutma
- Mikrodalga kurutma
- Hibrit kurutma (Mikrodalga+Konvektif)
- Konvektif kurutma
- Liyofilizatörde kurutma

Kurutma işlemleri, 200 W gücünde mikrodalga fırında, 70°C sıcaklıkta konvektif fırında, 100W+60ºC gücünde ve sıcaklığında hibrit fırında 0.5 m s^{-1} hava hızında yürütülmüştür. Tüm testler tam faktörlü deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin ağırlıkları güneşte 2 saat, kontrollü serada 1.5 saat, mikrodalga fırında 3 dakika, hibrit fırında 10 dakika ve 70°C konvektif fırında 1 saat aralıklarla, 0.001 hassasiyetli bir hassas terazi (Precisa, İsviçre) ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Tartım işlemleri 20 s içinde bitirilmiş ve numuneler kurutma ortamına geri bırakılmıştır (Kayışoğlu ve Ertekin, 2011).

2.2.1. Ultrases Ön İşlem Uygulaması

Ultrases ön işlem uygulaması, 150W ısıtma gücünde ve 40 kHz frekans ultrasonik banyoda, 50ºC sıcaklıkta, 20 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Dilimlenmiş elmalar metal bir sepet içine konulmuş, ardından ürün miktarı ile saf su oranı 1:4 olacak şekilde ultrasonik banyoya saf su ilave edilmiştir Ultrases ön işlemin uygulanan örnekler suyunu bırakması için filtre kağıdının üzerinde 10 saniye bekletilmiştir. Ultrases ön işlem

uygulanmayan örnekler ise buzdolabından (+4±0.5ºC) alınarak kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

2.2.2. Nem Özelliklerinin Belirlenmesi

Kuruma eğrilerinin çizilmesi ve kurutmanın matematiksel modellemesinin yapılabilmesi için denemelerde alınan ağırlık değişimi değerlerinin nem içeriği ve nem oranı değerlerine dönüştürülmesi gerekir (Dadalı, 2007; İzli, 2012). Deneysel verilerin herhangi bir *t* anındaki nem içeriği değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{m - KM}{KM}$$

Burada;

M_t: Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1})

m: Numunenin ağırlığı (g)

KM: Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g) olarak ifade edilmiştir.

Ayrıca yaş baza göre nem oranı değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Yağcıoğlu, 1999).

$$N_y = \frac{W_i - W_s}{W_i} \times 100$$

Burada;

Ny: Yaş baza göre nem oranı (%)

Wi: Ürünün ilk ağırlığı (g)

Ws: Ürünün son ağırlığı (g)'dır

2.2.3. Nem Oranının Hesaplanması

Nem oranı (MR) belirli bir *t* anında üründe bulunan alınabilir nem miktarını göstermektedir. Kurutma eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan nem oranı boyutsuz bir terim olup aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Yağcıoğlu, 1999).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}$$

Burada;

MR: Nem oranı (birimsiz),

M_e: Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1}),

M_o: Başlangıçtaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1}) olarak tanımlanmıştır.

2.2.4. Kuruma Hızının Hesaplanması

Nem içeriği belirlendikten sonra üründen birim zamanda alınan nem miktarını gösteren kuruma hızı değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Dadalı, 2007; Therdthai ve Zhou, 2009).

$$KH = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt}$$

Burada;

KH: Kuruma hızı (g su g kuru madde^{-1} dk),

M_{t+dt}: *t dt* anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde-1),

dt: Kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır.

2.2.5. Matematiksel Modelleme

Kurutma işleminin tanımlanabilmesi için ince tabaka kurutma modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modeller, ampirik, teorik ve yarı-teorik olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Doymaz, 2011). Birçok ürünün kuruma süresinin tahmin edilmesinde ve kuruma eğrilerinin oluşturulmasında bu eşitlikler ön plana çıkmaktadır. Genel olarak sabit bağıl nemde sıcaklık uygulaması ile ürünün herhangi bir zamandaki nem içeriği ölçülmekte ve ölçülen değerler kurutma parametreleri ile ilişkilendirilmektedir (Midilli vd., 2002; Evin, 2012). Bu çalışmada kullanılan modeller Tablo 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.3. Çalışmada kullanılan matematiksel modeller

No	Model ismi	Model*	Literatür
1	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Agrawal ve Singh (1977)
2	Henderson ve Pabis	$MR = a\exp(-kt)$	Westerman vd. (1973)
3	Newton	$MR = \exp(-kt)$	Ayensu (1997)
4	Geliştirilmiş Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	White vd. (1981)
5	Logaritmik	$MR = a\exp(-kt) + c$	Yağcıoğlu vd. (1999)
6	İki Terimli	$MR = a\exp(-k_0 t) + b\exp(-k_1 t)$	Madamba vd. (1996)
7	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh (1978)
8	Difüzyon Yaklaşımı	$MR = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$	Kasem (1998)
9	Verma	$MR = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$	Verma vd. (1985)
10	Logistic	$MR = a_0 / \left[1 + a\exp(kt)\right]$	Soysal vd. (2006)
11	Weibull dağılımı	$MR = a - b\exp\left[-(kt^n)\right]$	Babalis vd. (2006)
12	Jena Das	$MR = a\exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	Jena ve Das (2007)

*a: Katsayı (birimsiz), a_0: Katsayı (birimsiz), b: Katsayı (birimsiz), *c*: Katsayı (birimsiz), g: Katsayı (birimsiz), *n*: Katsayı (birimsiz), k: Kinetik sabit (dk^{-1}), k_0: Kinetik sabit (dk^{-1}), k_1: Kinetik sabit (dk^{-1}), t: Kuruma zamanı (dk)

2.2.6. Renk Değerlerinin Belirlenmesi ve Hesaplanması

Taze ve kurutulmuş ürünlerin renk ölçümleri bir renk ölçüm cihazı (PCE-CSM 5 PCE Instruments, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her testten önce, cihazın hem siyah hem de beyaz yansıtıcı plakası ile kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçümler CIELab renk uzayında gerçekleştirilmiştir L* (parlaklık, 0 karanlık, 100 aydınlık), a* (+ değerler kırmızılığı, - değerler ise yeşilliği) ve b* (+ değerler sarılığı, - değerler ise maviliği) değerleri ölçülmüştür. Ölçülen CIE-L *, a * ve b * değerleri kroma (C) ve toplam renk değişimi (ΔE) değerlerini hesaplamak için Tablo 2.4'te yer alan formüller kullanılmıştır (McGuire, 1992). Toplam renk değişimi eşitliğinde verilen ($_0$) alt indisi taze örneklere ait değerleri temsil ederken, alt indis olmayanlar kurutulmuş örneklere ait değerleri temsil etmektedir (Maskan, 2001b). Kurutma öncesi ve sonrası örneklerin yüzeylerinde okuma alınmıştır. Ölçülen L*, a* ve b* değerleri kullanılarak tüketiciler tarafından algılanan (Şekil 2.7) ve renk algısına hitap eden kroma değerleri hesaplanmıştır (McGuire, 1992). Ayrıca kırmızılık ve sarılık değerlerini birlikte kullanan C değeri rengin doygunluğunu göstermektedir. Bu değer canlı renklerde yüksek iken donuk renklerde düşük olmaktadır.

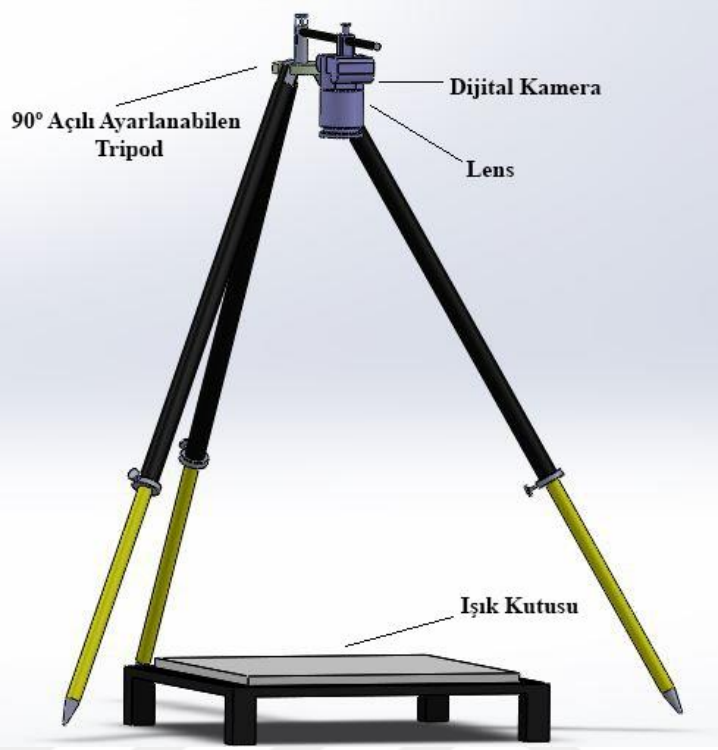
Tablo 2.4. Renk değerlerinin hesaplanmasında kullanılan formüller

Parametreler	Eşitlikler	Literatür
Kroma (C)	$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$	McGuire (1992)
Toplam renk değişimi (ΔE)	$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$	Maskan (2001b)

2.2.7. Görüntülerin Alınması ve İşlenmesi

Taze ve kurutulmuş ürünlerin boyut ve şekil özelliklerini ve değişimlerini belirlemek amacıyla görüntü işleme yönteminden yararlanılmıştır (Kara vd., 2013). Görüntü elde etme sistemi; dijital bir CCD (Charge-Coupled Device) kamera (Nikon D5600, Japonya), 18-140 mm lens (Nikon AF-S Nikkor, Japonya), 90º açılı ayarlanabilen tripod (Slik Able 300HC Pro, Japonya) aydınlatma ekipmanları ve görüntüleme platformundan oluşmaktadır. Ürünlerin görüntüleri, arka planda gölgesiz bir görüntü elde etmek amacıyla karanlık bir ortamda alınmıştır (Sayıncı vd., 2012). Ürünler dahili led aydınlatması bulunan beyaz renkli fiberglas cam plaka üzerine yatay konumda yerleştirilmiştir. Görüntüler dikey konumdaki kamerayla 50 cm sabit yükseklikten alınmıştır (Şekil 2.8).

Görüntülerde boyut ölçümü için kalibrasyonu sağlamak amacıyla beyaz plaka üzerine bir cetvel yerleştirilmiştir. Görüntülerin birim dönüşüm oranı piksel mm^{-1} olarak elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler bilgisayara aktarılmış ve tanımlayıcı analiz için görüntü dosyaları *.tiff uzantılı olarak kaydedilmiştir. Uzunluk (L, mm), genişlik (W, mm), projeksiyon alanı (PA, mm^2), eşdeğer çapı (mm), çevre (mm), şekil faktörü (mm), uzama (E) ve sıkılık (SK) her tekerrür için yatay yönde SigmaScan®Pro 5.0 (2004) ve MATLAB yazılımı yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 2.9). Şekil indeksi (SI), yuvarlaklık (R), geometrik ortalama çap (Dg, mm), yüzey alanı (S, mm^2), uzama (E) ve küreselliğin (φ, %) hesaplanmasında kullanılan denklemler ise Tablo 2.5'te verilmiştir (Sayıncı vd., 2015; Demir vd., 2018). Kurutulmuş elmaların kalibrasyon, arka planın kaldırılması ve gürültülerin giderilmesi işlemlerinin görüntüsü Şekil 2.9'da verilmiştir.

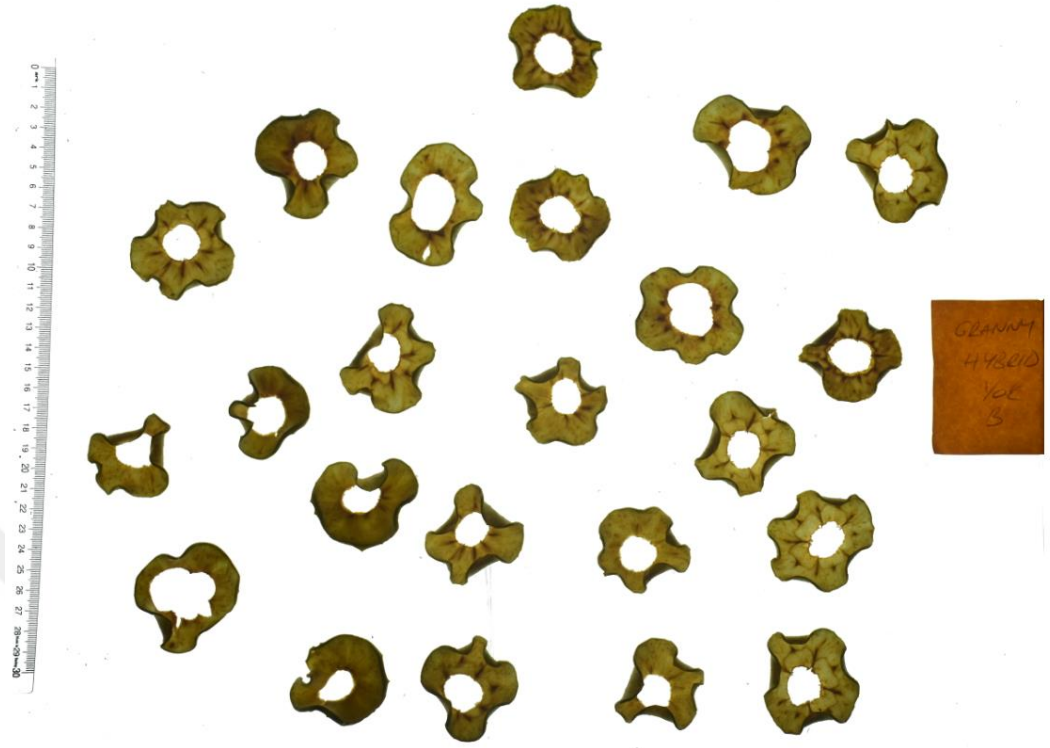


Şekil 2.6. Görüntü elde etme düzeneği

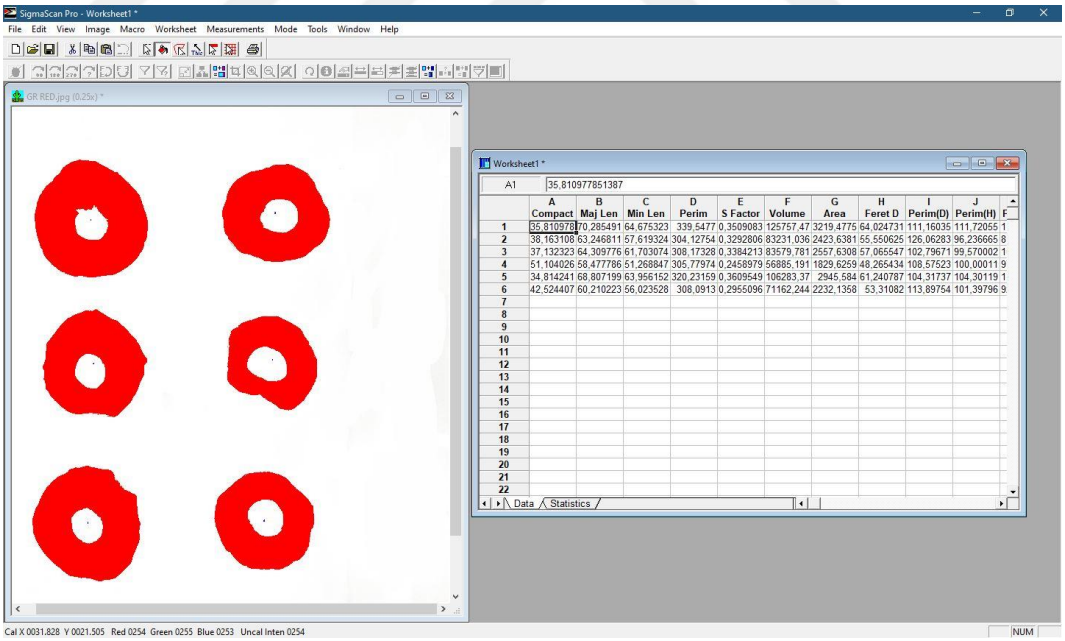
Tablo 2.5. Ürünlerin boyut özelliklerini hesaplamak için kullanılan denklemler

Parametreler	**Eşitlikler***	**Literatür**
Uzama (E, %)	$E = L / W$	Fıratlıgil-Durmus vd. (2008)
Ortalama aritmetik çap (D_a, mm)	$D_a = (L + W + T) / 3$	Mohsenin (1980)
Projeksiyon Alanı (A_p, mm^2)	$A_p = (\pi / 4)\ D_g^2$	Mohsenin (1986)
Yüzey Alanı (S, mm^2)	$S = \pi D_g^2$	McCabe vd. (1986)
Küresellik (φ)	$\varphi = (D_g / L) \cdot 100$	Mohsenin (1986)
Ortalama geometrik çap (D_g, mm)	$D_g = (L \cdot W \cdot T)^{(1/3)}$	Mohsenin (1986)
Yuvarlaklık (R)	$R = A_p / A_c$	Mohsenin (1980)

*L: uzunluk (mm); W: genişlik (mm); T: kalınlık (mm); D_g: geometrik ortalama çap (mm); A_p: Projeksiyon alanı (mm^2) A_c: en büyük dairesel alan (mm^2)



(a)

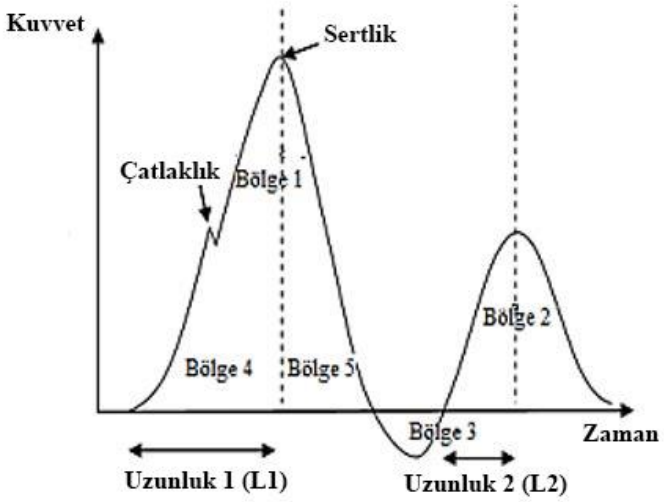


(b)

Şekil 2.7. Ürünlerin kalibrasyon görüntüsü (a), arka planın kaldırılması, gürültülerin giderilmesi görüntü işleme yazılımında fiziksel özelliklerinin belirlenmesi (b)

2.2.8. Kırılma ve Sertlik Testleri

Sertlik ve kırılganlık testleri, 100 kg yük hücresi ve silindirik bir prob (36 mm P / 36) kullanılarak bir tekstür analizörü (TA.XT Plus, Stable Micro System Ltd., Surrey, İngiltere) ile ölçülmüştür. Ölçüm koşulları: Ön test hızı = 2.0 mm s^{-1}, test hızı = 2.0 mm s^{-1}; test sonrası hız = 10 mm s^{-1}; mesafe = 2.5 mm olarak ele alınmıştır. Doku profili analizi sonrası oluşan kuvvet-zaman eğrisi Şekil 2.10'da verilmiştir (Jangam vd., 2010).



Şekil 2.8. Doku profili analizinden sonra oluşturulmuş kuvvet zaman eğrisi

2.2.9. Biyokimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

Kurutulan elmalara ait biyokimyasal özelliklerin belirlenmesi için gerekli analizler, Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Gıda Analizleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2.2.9.1. pH ve Suda Çözünen Kuru Madde Miktarı (°Briks)

Denemelerden önce 4.01 ve 7.01'lik kalibrasyon sıvılarıyla pH metre kalibre edilmiştir. Taze elmalar katı meyve suyu sıkacağında sıvı hale getirilmiş, ardından pH probu sıvıya daldırılmış ve pH değeri sabitlenince kaydedilmiştir. Kurutulmuş elmalar ise distile suda 2 saat süreyle bekletilmiş ve pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Suda çözünen kuru madde miktarı (°Briks) dijital refraktometrenin ölçüm yuvasına çok katlı tülbent yardımı ile süzülüp 1 ml meyve suyu damlatılarak belirlenmiştir. °Briks değerleri ölçülmeden önce ürünlerin suyu tülbent yardımıyla süzdürüldükten sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir.

2.2.9.2. Kuru Madde, Kül ve Protein İçeriği (%)

Kuru madde içeriği, numunenin 105°C'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmasıyla belirlenmiştir. Örneklerden alınan 1 g kuru örnek 550ºC'de 8 saat yakılarak kül içeriği belirlenmiştir. 0.2 g'lık örnekler alınarak, Kjeldahl yöntemi ile azot oranları bulunmuştur. Bulunan azot değerleri 6.25 katsayısı ile çarpılarak örneklerin ham protein oranları belirlenmiştir (AOAC, 1990).

2.2.9.3. Ekstraksiyon

Kurutulmuş elmada toplam fenolik ve antioksidan özellikleri ölçmek için öncelikle ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 25 g etanol (%96) içerisine 3 g kurutulmuş elma tozu ilave edilmiştir. Karışım 15 dakika boyunca bir ultrasonik banyoda işlemden geçirilmiştir. Bundan sonra, numuneler 1000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiş ve 4.5 µm'lik şırınga filtre kullanılarak süzülmüştür. Sıvılar depolanmış ve ışıktan korunarak toplam fenolik madde ve antioksidan özellikleri belirlenmiştir (Martins vd., 2019).

2.2.9.4. Antioksidan Kapasite (AK)

Elma ekstraktlarının AK'si, DPPH ve FRAP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. FRAP reaktifi, 40 mM HCl ile 2.5 mL 20 mM $FeCl_3.6H_20$ çözeltisine 2.5 ml 10 mM TPTZ ve 2.5 mL asetat tamponu (0.3 M pH 3.6) ilave edilerek hazırlanmıştır. AK tayini için, her bir numuneden 30 µL ekstrakt, 30 µl distile su ve 900 µl FRAP reaktifi ile tamamlanacak ve 37°C'de 30 dakika tutulmuştur. Absorbanslar spektrofotometre ile 595 nm'de okunmuş daha önce bilinen Trolox konsantrasyonlarının etanol çözeltileri kullanılarak bir kalibrasyon eğrisi belirlenmiş ve kuru elma kütlesinin gramı başına milimol Trolox eşdeğeri olarak sonuç verilmiştir (Martins vd., 2019).

Numunelerin DPPH radikal süpürme aktivitesi, Uysal vd. (2014) çalışmasında kullandıkları yöntem dikkate alınrak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 100 µl numune 3000 µl DPPH (metanol içinde 0.1 mM) ile karıştırılmış, karışım vortekslenmiş, karanlık koşullarda 30 dakika inkübe edilmiş ve ardından numunelerin absorbansları UV–vis spektrofotometre (UV1800 Shimadzu, Japonya) kullanılarak 517 nm'de kaydedilmiştir. Elma numunelerindeki DPPH radikali süpürme miktarı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\%\,Inhibition = \left(\frac{A_c - A_s}{A_c} \right) \times 100$$

Burada: A_c kontrolün absorbansı, A_s ekstraktın absorbansını temsil etmektedir.

2.2.9.5. Toplam Fenolik Madde (TFM)

Elma numunelerinin TFM'si Folin-Ciocalteu yöntemi ile belirlenmiştir. Bu amaçla, 200 µl Folin-Ciocalteu fenol reaktifi ve 2 ml distile sudan oluşan bir solüsyona 100 µl elma ekstresi eklenmiştir. Karışım 3 dakika 25°C'de tutulduktan sonra 1 ml Na_2CO_3 çözeltisi (Na_2CO_3 ve su 20:80, g ml^{-1}) eklenmiştir. Absorbans, çözelti karanlıkta 20±1°C'de 1 saat tutulduktan sonra 765 nm'de bir spektrofotometre ile okunmuştur. Numunelerin TPC'sini belirlemek için bilinen bazı konsantrasyonlarda gallik asit ile belirlenen standart bir eğri kullanılmış ve elde edilen değerler, kuru elma kütlesinin gramı başına miligram Galik asit eşdeğeri (GAE) olarak tanımlanmıştır. (Martins vd., 2019).

2.2.9.6. Askorbik Asit İçeriği (AA)

AA içeriğinin belirlenebilmesi için, 0.5 ml elma ekstresi, 0.5 ml %7,5 trikloroasetik asit çözeltisi ile karıştırılmış, karışım hafifçe karıştırılmış, 4°C'de 5 dakika boyunca tutulmuş ve süzülmüştür (4.5 um). Daha sonra, 2 ml distile suya 0.2 mL filtrat ve 0.2 ml Folin-Ciocalteu reaktifi (1: 10) ilave edilmiştir. Nihai çözelti, oda sıcaklığında (20 ± 1°C) 10 dakika boyunca karanlıkta tutulmuş ve absorbans 760 nm'de bir spektrofotometre ile okunmuştur. C vitamini konsantrasyonu, bilinen AA konsantrasyonunun çözeltilerinden oluşan bir kalibrasyon eğrisinden elde edilmiştir (Martins vd., 2019).

2.2.9.7. HPLC ile HMF (5-hidroksimetil-2-furfural) Analizi

HMF analizinde, kurutulmuş elmaların HMF miktarı Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisi (HPLC Shimadzu Tokyo Japonya) ve DAD dedektörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizde kromatografi mobil fazı 95:5 (su:asetonitril) oranında HPLC saflığında, standart çözelti 5-hidroksimetil-2-furfural 6.25-50 ppm aralığında 4 farklı konsantrasyonda standart HMF çözeltisi saf su içinde hazırlanmıştır. Kurutulmuş elmalar laboratuar tipi öğütücüden geçirildikten sonra 1 g örnek 0.001 g hassasiyetle 100 ml'lik balon jojeye tartılıp saf su ile çözdürülmüştür. Çözelti 0.45 mikrometrelik selüloz filtreden geçirilerek viale alınmıştır. Şartlanmış durumda olan, 1 ml/dk akış hızlı, 285 nm dalga boyunda, HPLC'ye oda sıcaklığında 20 µl enjekte edilmiştir. Sonuçlar hesaplanırken seyreltme faktörü göz önünde bulundurulmuş ve çalışma standartlarının

kalibrasyon eğrisine göre ele alınmıştır. Örnekteki HMF miktarı standart ve numune çözeltilerinin pik alanlarının birbirlerine göre oranları ve gerekli seyreltmeler göz önünde bulundurularak hesaplama işlemi yapılmıştır. HMF miktarı mg/kg olarak aşağıdaki prensibe göre cihaz tarafından hesaplanmıştır (Kaya, 2019).

$C_{HMF}=(A_N/A_C)$ x C_1 x Seyreltme Oranı

A_N: Deney çözeltisinin verdiği HMF pik alanı

A_C: Standart HMF çözeltisinin verdiği HMF pik alanı

C_1: Standart HMF çözeltinin konsantrasyonu mg/kg

Seyreltme Oranı = Alınan numune (mg) / Deney numunesi ağırlığı (kg)

2.2.10. Rehidrasyon Kapasitesi

Rehidrasyon kapasitesi belirlenirken üç tekerrürlü olarak yaklaşık 3'er g numune 100 mL distile suda oda sıcaklığında 12 saat süreyle bekletilmiştir (Şekil 2.11). Daha sonra çıkarılan örnekler kurutma kağıtları üzerinde 30 dk bekletilmiş ardından tartımlar yapılmıştır (Saengrayap vd., 2015).

$$RR = \frac{m_2}{m_1}$$

Burada; m_1 ve m_2 sırasıyla kurutma öncesi ve sonrası ürünlerin ağırlıklarını ifade etmektedir.



Şekil 2.9. Rehidrasyon testleri

2.2.11. Büzülme Oranı

Elmaların hacimleri kurutma öncesi ve sonrasında 3 adet parça 200 ml'lik tolüen sıvısına bırakılarak belirlenmiştir (Heybeli ve Ertekin, 2007). Örnekler, dereceli silindirlere yerleştirilmiş üzerine 200 ml'ye kadar toluen sıvısı boşaltılmıştır. Kurutma öncesi ve sonrasında hacme bağlı örneklerin büzülme oranları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Heybeli, 2006; Koç vd., 2008; Seiiedlou, 2010).

$$S = 1 - \frac{V_S}{V_O}$$

Burada;

S: Büzülme oranı,

V_S: Örneğin kurutma sonrası hacmi (mm^3),

V_O: Örneğin kurutma öncesi hacmi (mm^3) olarak nitelendirilmektedir.

2.2.12. Enerji Analizleri

2.2.12.1. Enerji Tüketimi

Çalışmada enerji tüketimi iki farklı açıdan ele alınmıştır. İlk olarak kurutma işlemi sırasında enerji tüketimini (Et, ac) belirlemek amacıyla dijital watt-metre (Tt Technic PM-001, Türkiye) kullanılmıştır. İkinci olarak ise sistemlerin enerji tüketimini belirlemek (Et, cal) için ise aşağıdaki denklemlerden yararlanılmıştır (Motavali vd., 2016, Horuz vd., 2017).

$$E_{t,cal} = Av\rho_\alpha C_\alpha \Delta Tt \qquad (konvektif)$$

$$E_{t,cal} = (P + Av\rho_\alpha C_\alpha \Delta T)t \qquad (hibrit)$$

$$E_{t,cal} = Pt \qquad (mikrodalga)$$

Burada, $E_{t,cal}$ her kurutma sistemi için toplam enerji tüketimini (kWh), A, numunenin yerleştirildiği tepsinin kesit alanını (m^2), v hava hızını ($m\ s^{-1}$), ρ_α hava yoğunluğunu ($kg\ m^{-3}$), C_α havanın özgül ısısını ($kJ\ kg^{-1}\ °C$), ΔT sıcaklık farkını (°C), t toplam kurutma süresini (h) ve P mikrodalga gücünü (kW) temsil etmektedir.

Çalışmada 1 kg taze numunenin kurutulması için gereken özgül enerji gereksinimi aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır (Motavali vd., 2016, Horuz vd., 2017).

$$E_{kg,ac} = \frac{E_{t,ac}}{W_w} \qquad E_{kg,cal} = \frac{E_{t,cal}}{W_w}$$

Burada, $E_{t,ac}$ ve $E_{t,cal}$ özgül enerji gereksinimini (kWh kg^{-1}) ve W_w buharlaşan suyun ağırlığını (kg) temsil etmektedir.

Enerji etkinliği değerleri suyun buharlaşması için kullanılan ısı enerjisinin toplam enerjiye bölünmesiyle hesaplanmıştır.

$$\eta_{en,act} = \frac{W_w \lambda_W}{E_{t,ac}} \qquad \eta_{en,act} = \frac{W_w \lambda_W}{E_{t,cal}}$$

Burada $\eta_{en,\,act}$ ve $\eta_{en,\,cal}$ enerji etkinliğini (%), λ_w suyun buharlaşma gizli ısısını (kj kg^{-1}) ifade etmektedir (Soysal vd., 2006). Suyun buharlaşma gizli ısısı, hava yoğunluğu ve havanın özgül ısısı değerleri kurutma koşullarına göre seçilmiştir.

2.2.12.2. Efektif Nem Difüzyonu

Efektif nem difüzyonu (D_{eff}) değerleri, Fick yasasının ikinci difüzyon denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Nemin sadece difüzyon ile taşındığı, büzülmenin önemsiz olduğu, sabit difüzyon katsayıları ve sıcaklık varsayımları ile slap geometrisi için denklemin genel çözümü aşağıda verilmiştir (Crank, 1975):

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[\frac{(2+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right]$$

D_{eff} efektif nem difüzyonu değerini ($m^2\ sn^{-1}$), L ürünün dilim kalınlığının (m) yarısını, t kurutma süresini ifade etmektedir.

Uzun kurutma süreleri için üstteki denklemin ilk terimi çözüm için kullanılmaktadır (Wang vd., 2007). Kurutma süresine karşı ln(MR) grafiğinin eğimi, aşağıdaki denklemdeki K'yı vermektedir.

$$\ln(MR) = \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t \qquad K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2}$$

2.2.12.3. Termal Etkinlik

Termal etkinlik, termal enerji kullanan bir cihazda enerji dönüştürme veya taşınım işleminin ne kadar iyi gerçekleştirildiğini göstermektedir. Kurutmada termal etkinlik, numunenin gizli nem buharlaşma ısısının, nemi serbest sudan buharlaştırmak için gereken

enerji miktarına oranı olarak tanımlanmaktadır. Termal etkinlik değerleri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Beigi, 2016):

$$\eta_{th} = \frac{P A \lambda_w M_w}{F t}$$

Burada P, A, λ_w, M_w, F ve t sırasıyla yüklenen ürün miktarını (kg m^{-2}), tepsi alanını (m^2), suyun buharlaşma gizli ısısını (kj kg^{-1}), üründen buharlaşan su miktarını (kg), kurutucunun ısıtma kapasitesi kullanımını (kW) ve kurutma süresini temsil etmektedir.

2.2.13. Yapay Zekâ

2.2.13.1. Öznitelik Seçimi

Ham veri setleri makine öğrenmesi algoritmalarında işlenmeden önce gerekli olan ön işleme adımlarında öznitelik seçimi ve min-maks normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Analizlerde daha doğru ve kesin sonuçlar elde etmek, tepe değerleri belirli bir aralığa indirmek ve algoritmalar ile daha uyumlu veriler sağlamak için çıktı değerleri üzerinde normalizasyon işlemi yapılmıştır. Veri ön işlemede, WEKA Explorer ortamında varsayılan ayarlarıyla "Normalleştir" filtresi uygulanmıştır. Tüm sayısal özellikleri uyumlu olarak sıralamak için "Normalleştir" filtresi kullanılmıştır. Veri normalizasyonuyla, farklı ölçeklerdeki ham veriler [0,1] aralığında dağılan ortak bir ölçekte sıralanmıştır. Normalizasyon işleminde min-maks (x^1) normalleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde normalize edilmiş değer aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır:

$$x^{1} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

Burada;

x: gözlem değeri,

min(x): en düşük x değeri,

max(x): en yüksek x değeri.

Öznitelik seçiminde kullanılan çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada, öznitelik seçiminde değerlendirici olarak (evaluator) sarmalama yöntemi (wrapper-based feature selection) içerisinde k-en yakın komşu araması, arayıcı olarak ise ileri yönlü (forward direction) ve en iyi öncelikli (best first) yöntem seçilmiştir (Witten ve Frank,

2005). Spektral yansıma, renk ve biyokimyasal özellikler için öznitelik seçimi Weka® v3.8 (Hall vd., 2009) yazılımı ile yapılmıştır.

2.2.13.2. Bölme ve Çapraz Doğrulama

Çapraz doğrulama, makine öğrenmesi algoritmasıyla yapılan analizin bağımsız bir veri setinde nasıl bir sonuç elde edeceğini sınayan bir model doğrulama tekniğidir. Bu yöntem, sınıflandırma ve tahminlemede pratik ve etkin bir şekilde uygulanmaktadır (Stegmayer vd, 2013). Bu çalışmada, oluşturulan tahminleme modelini doğrulamak için k-katlamalı çapraz doğrulama (k-fold cross validation) ve eğitim-test bölme (train-test split) yöntemleri kullanılmıştır. Makine öğrenmesi uygulamalarında k-katlamalı çapraz doğrulamada k değeri genellikle 5 veya 10 (Ataş vd., 2012) olarak seçilmektedir. Bu çalışmada k değeri 10 olarak seçilmiştir. Veri seti, 10 kat çapraz doğrulama tekniği kullanılarak 10 alt gruba bölünmüştür. Bu şekilde, her alt küme, her sınıf örneğinin eşit bir oranına sahip olmuştur. Eğitim ve testler 10 yineleme ile gerçekleştirilmiştir. Her yinelemede, test için 1 alt küme kullanılmış ve alt kümelerin geri kalanı (9 alt küme) eğitim için kullanılmıştır. Ayrıca k alt kümelerinin her biri sırasıyla test seti olarak birer kez kullanılmıştır. Ardından, her bir yinelemedeki tüm hataların ortalaması, tahminleyicinin hata tahmini olarak alınmıştır. Eğitim-test bölmede ise veri setinin belirli bir yüzdesi eğitim seti olarak, kalanı ise test seti olarak değerlendirilmiştir. Hata matrisine dayalı olarak, algoritmalar için değerlendirme ölçütlerinin değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra tahminleme algoritmalarının performansı, belirlenen değerlendirme ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır (Witten ve Frank, 2005; Stegmayer vd., 2013).

2.2.13.3. Tahminleme Algoritmaları

Bu çalışmada yapay zekâ algoritmalarıyla tahminleme yapmak amacıyla Weka® v3.8 kullanılmıştır. Parametrelerin tahminlenmesinde ileri beslemeli yapay sinir ağının bir sınıfı olan çok katmanlı algılayıcılı yapay sinir ağları (Multilayer Perceptron), k-en yakın komşu algoritması (k Nearest Neigbors), rastgele orman (Random Forest), gauss süreçleri (Gaussian Processes), destekçi vektör regresyonu (support vector regression) algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmada dalga boylarındaki spektral yansıma değerleri kullanılarak toplam fenolik madde (TFM) değeri tahmin edilmiştir. Sonuçlar R (korelasyon katsayısı), RMSE, MAE, RAE ve RRSE değerleri üzerinden tartışılmıştır. Yapay zekâ algoritmaları core i5 CPU ve 2.5 GHz 8 GB ram sahibi bilgisayarla uygulanmıştır. Çalışmada renk ve biyokimyasal özellikler kullanılarak toplam fenolik

madde, antioksidan (DPPH), antioksidan (FRAP) ve askorbik asit değerleri tahmini için tüm algoritmalarda optimum sonuçları veren %75 eğitim ve %25 test bölmesi uygulanmıştır.

Kurutma karakteristiklerinin tahminlenmesinde ham veriler kullanılmış ve herhangi bir veri ön işleme yapılmamıştır. Buna ilaveten 10-k katlamalı çapraz doğrulama ve eğitim-test bölme yöntemleri, tahminlenen özelliklere göre seçilmiştir. k-NN algoritması için k değerleri 1, 3 ve 5 olarak ele alınmıştır. GP ve SVR algoritmalarında fonksiyon çekirdeği (kernel) olarak Pearson VII (PUK) tercihe edilmiştir. Tüm MLP tahminlemelerinde döngü sayısı 500, momentum katsayısı 0.2 ve öğrenme oranı değerleri 0.3 olarak seçilmiştir. Ayrıca aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir modelde tahminleme için 600 girdi verisi kullanılmıştır. Bu işlemler için yaygın olarak kullanılan çalışmada kullanılan teknikler genel hatlarıyla aşağıda verilmiştir.

2.2.13.4. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin davranışını simüle ederek çalışan bir makine öğrenme modelidir. İşlevselliği biyolojik nöronlara benzeyen çok sayıda birbiriyle bağlantılı işleme elemanından oluşmakta ve beyin sinapslarına karşılık gelen ağırlıklı bağlantılar ile birbirine bağlanmaktadır (Karray ve Silva, 2004). Multilayer Percepteron (MLP), sınıflandırma amacıyla yaygın olarak kullanılan bir YSA türüdür (Omid vd., 2010). MLP'ler giriş katmanları, gizli katmanlar ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. MLP, ileri beslemeli bir sinir ağıdır, yani verilerin giriş katmanından çıktıya bir yönde aktığı anlamına gelmektedir. Sınıflandırmada genellikle MLP modelinin eğitimi, her bir nöron için aktivasyon fonksiyonunun ağırlıklarını hesaplayan geri yayılım (backpropagation) algoritması kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Karray ve Silva, 2004). Uygulamada, hataların minimize edilmesi şu prosedürler kullanılarak gerçekleştirilmektedir; gradient descent, momentum gradient descent, Levenberg–Marquardt, conjugate gradient. (Omid vd., 2010). YSA, tarım ürünlerinin modellenmesinde, regresyon analizinde ve sınıflandırılmasında kullanılan çok popüler makine öğrenmesi uygulamalarından birisi olarak değerlendirilmektedir (Marini vd., 2004; Mollazade vd., 2012). Bu tez çalışmasında spektral yansıma değerlerinden toplam fenolik madde içeriği değerinin tahmin edilmesinde MLP tipi yapay sinir ağı yardımıyla tahminleme yapılmış, veri setinin %75'i ağın eğitiminde, kalan %25'i ise test edilmesinde ayrılmıştır. Renk ve biyokimyasal özelliklerden, toplam fenolik

madde, DPPH, FRAP ve askorbik asit değelerinin tahmin edilmesinde MLP algoritmasında %75 eğitim ve %25 test bölmesi yapılmıştır. MLP tipi yapay sinir ağında; girdi sayısı 16, gizli katmandaki nöron sayısı 8 ve çıktı sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak en yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından birisi olan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Öğrenme oranı, momentum katsayısı ve döngü sayısı olarak sırasıyla 0.3, 0.2 ve 1000 seçilmiştir. Bununla birlikte, renk ve biyokimyasal özellikler kullanılarak toplam fenolik madde, antioksidan (DPPH), antioksidan (FRAP) ve askorbik asit değerleri tahmini için MLP'de girdi sayısı 9, gizli katmandaki nöron sayısı 5 ve çıktı sayısı 1'dir. Aktivasyon fonksiyonu olarak ise yine sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Kurutma karakteristikleri tahmininde girdi sayısı 10, gizli katmandaki nöron sayısı 5 ve çıktı sayısı 1 olarak ele alınmıştır. Öğrenme oranı, momentum katsayısı ve döngü sayısı olarak sırasıyla 0.3, 0.2 ve 500 olarak seçilmiştir.

2.2.13.5. k-En Yakın Komşu (kNN)

K en yakın komşu (kNN) algoritması tarımsal ürünler için çok kullanışlı bir ayırma, sınıflandırma ve tahminleme algoritmasıdır. Bu algoritmada; öncelikle, tüm gözlem değerleri bir küme (cluster) olarak değerlendirilir ve aşamalı olarak, bu kümeler yeni kümeler halinde birleştirilir. Mesafe hesaplaması amacıyla Euclidean distance yöntemi kullanılmaktadır (Romero vd., 2013; Nettleton vd., 2010). Bu algoritmada, çok düşük bir k değeri çok karmaşık bir karar sınırı oluşturabilirken, çok yüksek bir k değeri ise fazla genellenmiş çıktılar ile sonuçlanabilmektedir. Burada, eğitimli bir model üretilmediğinden, kNN sınıflandırmasının eğitim (training) örneklerinin sayısı artıkça daha doğru sonuçlar vermesi beklenmektedir. Bu nedenle de sınıflandırmada doğru değerin seçimi önem kazanmaktadır (Maxwell vd., 2018). Bu çalışmada, k-NN algoritmasında arama işleminde öklidyen mesafe kuralı uygulanmış, k en yakın komşu değeri 1, 3 ve 5 olarak seçilmiş ve seçilen k değerleri tahminleme işlemlerinde kullanılmıştır. Spektral yansımadan toplam fenolik madde içeriği tahmini için k-NN algoritmasında 10-k katlamalı çapraz doğrulama yapılmıştır. Renk ve biyokimyasal özelliklerden, toplam fenolik madde, DPPH, FRAP ve askorbik asit değelerinin tahmin edilmesinde k-NN algoritmasında %75 eğitim ve %25 test bölme yapılmıştır.

2.2.13.6. Rastgele Orman (RF)

Rastgele orman algoritması, regresyon ve sınıflandırmada her ağacı eğitmek için orijinal eğitim verilerinden önyükleme (bootstrap) örnekleri kullanarak birden fazla karar ağacı

oluşturmaktadır. Daha sonra, ağaçlar kümesi aralarındaki en sık sınıflandırmaya dayanan bir örneğin sınıflandırılması için kullanılır. RF'de her ağaç ayrı bir sınıflandırıcı olduğundan, bu algoritma grup sınıflandırma için bir örnektir (Breiman, 2001). DT'nin tersine, veri kümelerinin atanan sınıfına RF tarafından inşa edilen ağaçlar topluluğunun (ensemble of trees) çoğunluğu ile karar verilir (Berhane vd., 2018). Önyükleme ve topluluk şeması DT'nin sebep olduğu aşırı öğrenme (overfitting) probleminin üstesinden geldiği için RF'de budama (prunning) adımı da bulunmamaktadır (Ali vd., 2012). Buna ilaveten, RF, yüksek tahmin doğruluğuna sahip ve verilerde kirlilik (noise) olmasına karşı toleranslı bir algoritmadır (Breiman, 2001; Rodriguez-Galiano vd., 2012). Bu çalışmada spektral yansımadan toplam fenolik madde içeriği tahmini için RF algoritmasınıdna 10-k katlamalı çapraz doğrulama yapılmıştır. Renk ve biyokimyasal özelliklerden, toplam fenolik madde, DPPH, FRAP ve askorbik asit değelerinin tahmin edilmesinde RF algoritmasında %75 eğitim ve %25 test bölmesi yapılmıştır.

2.2.13.7. Gauss Süreçleri (GP)

Gauss süreçleri rastgele değişkenlerin bir alandaki belirli bir değer aralığındaki her nokta ile ilişkilendirildiği bir olasılık dağılımıdır (Rasmussen ve Williams, 2006). Bu teknikte doğrusal olmayan (non-linear) regresyon için Bayesian Gaussian tekniği uygulanmaktadır. Ayrıca bir "noise" düzenleme parametresiyle veya uyum yakınlığını (closeness of fit) kontrol ederek bir çekirdek (kernel) fonksiyonun belirtilmesini gerektirir. Buna ilaveten, teknik, regresyonu öğrenmeden önce normalize edilecek veya standartlaştırılacak eğitim verilerini seçmemizi sağlamaktadır (MacKay, 1998). Gaussian süreçleri, istatistiksel modellemede çok önemlidir, çünkü normal dağılımdan elde edilen tüm özellikler; hata, varyans ve kovaryansın normal dağılımı açıkça elde edilebilir (Rasmussen ve Williams, 2006). Bu çalışmada, tahminlemelerde tüm modellerde gauss süreçleri için Pearson VII (PUK) çekirdek fonksiyonu tercih edilmiştir. Spektral yansımadan toplam fenolik madde içeriği tahmini için GP algoritmasında 10-k katlamalı çapraz doğrulama yapılmıştır. Renk ve biyokimyasal özelliklerden, toplam fenolik madde, DPPH, FRAP ve askorbik asit değelerinin tahmin edilmesinde GP algoritmasında %75 eğitim ve %25 test bölmesi yapılmıştır.

2.2.13.8. Destekçi Vektör Regresyonu (SVR)

Destek vektör makineleri (SVM), sınıflandırma modellerinin geliştirilmesi için kullanılan farklı öğrenme algoritmaları ile denetimli öğrenme tekniğidir (Vapnik, 1998). SVM, en

az hata ve maksimum kenar boşluğuna sahip yüksek boyutlu bir alanda bir hiper düzlem (optimum sınır) veya hiper düzlemler kümesi oluşturmaktadır. En yakın eğitim (training) veri noktalarına en büyük mesafeye sahip olan hiper düzlem ile iyi bir ayrılma elde edilmektedir. Doğrusal olmayan ayrılabilir alanda, ayırmayı kolaylaştırmak için orijinal veriler daha yüksek boyutlu bir alana eşlenmektedir (Zhao vd., 2010). Destek vektör regresyonu (SVR) ise regresyon problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. SVR çekirdek tabanlı bir işleve sahiptir. Çekirdek fonksiyonunun seçimi SVR'nin performansı üzerinde yüksek etkiye sahiptir. SVR doğrusal olmayan problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar vermektedir. SVR'de girdileri bir özellik uzayında haritalamak amacıyla doğrusal olmayan çekirdek dönüşüm formülü uygulanmaktadır. Bu şekilde girdiler ve çıktılar arasındaki ilişki dönüştürülen uzayda doğrusallaştırılmış olur. Genel destek vektör regresyonu denklem aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$y = w\,\Phi(x) + b \quad (\Phi : R_n \rightarrow R_N)$$

Burada; $x \in R_n$ girdi, $y \in R_N$ çıktı, b bias terimi, $w \in R_N$ katsayı faktörü ve Φ ise girişi yükse boyutlu bir vektörü dönüştürülen haritalama fonksiyonudur.

Bu çalışmada, tahminlemelerde tüm modellerde destek vektör regresyonu için Pearson VII (PUK) çekirdek fonksiyonu tercih edilmiştir. Spektral yansımadan toplam fenolik madde içeriği tahmini için SVR algoritmasında 10-k katlamalı çapraz doğrulama yapılmıştır. Renk ve biyokimyasal özelliklerden, toplam fenolik madde, DPPH, FRAP ve askorbik asit değelerinin tahmin edilmesinde SVR algoritmasında %75 eğitim ve %25 test bölmesi yapılmıştır.

2.2.13.9. Model Performanslarının Değerlendirilmesi

Modellerin performansı, aşağıdaki istatistiksel indekslere göre değerlendirilir: korelasyon katsayısı (R), kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), bağıl mutlak hata (RAE) ve kök bağıl kare hatasıdır (RRSE). Hesaplamalar için aşağıdaki denklemler kullanılır (Parker, 2001):

$$r = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\frac{(M_i - \dot{M})\,(E_i - \dot{E})}{S_M\ S_E} \qquad MAE = \sum_{i=1}^{n}\frac{|\,E_i - M_i\,|}{n}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(E_i - M_i\right)^2}{n}} \qquad RAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} | E_i - M_i |}{\sum_{i=1}^{n} | \dot{M} - M_i |} \times 100$$

$$RRSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(E_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(\dot{M} - M_i)^2}} \times 100$$

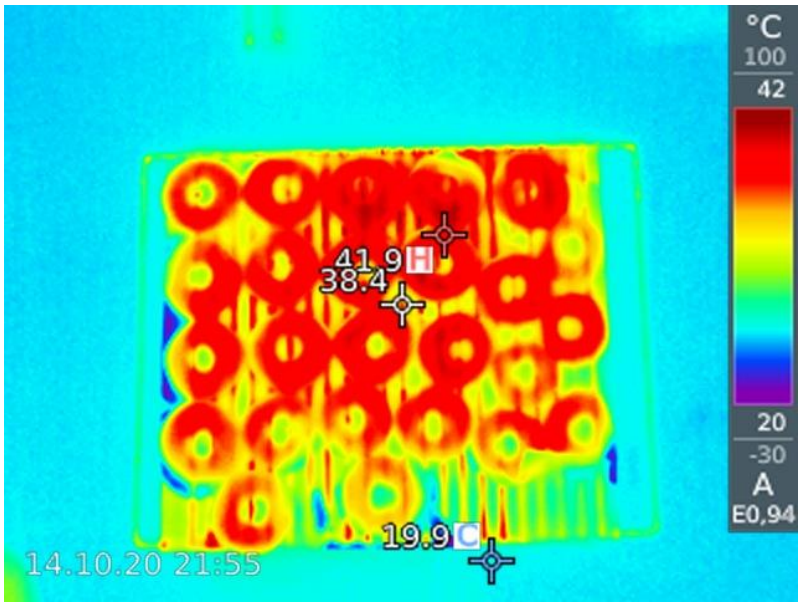
Burada; n, veri örneklerinin sayısı, Mi ölçülen hedef değer, Ei tahmin edilen hedef değer, Ṁ ölçülen hedef değerlerin ortalaması, Ė tahmin edilen hedef değerlerin ortalaması, S_E tahmini hedef değerlerin toplamı, S_M ölçülen hedef değerlerin toplamıdır. Tahminlemenin başarısı Colton (1974) tarafından verilen kurallara göre değerlendirmek amacıyla korelasyon katsayısı (R) analiz edilmiştir. Bu çalışmada korelasyon katsayıları dikkate alınarak; 0-0.25 arası hiç ilişki yok ya da çok az ilişki; 0.25-0.50 arasında orta ilişki; 0.50-0.75 orta ya da iyi bir ilişki; 0.75-1 arası ise mükemmel ilişkiyi ifade etmektedir.

2.2.14. Spektral ve Termal Ölçümlerin Alınması

Çalışmada el tipi spektroradyometre kullanılarak farklı dalga boyundaki spektral yansıma dalga boyları elde edilmiştir. Farklı uygulamaların kuruma bitiminde sıcaklığını belirleyebilmek amacıyla kızılötesi termal görüntüler alınmıştır (Şekil 2.12). Ölçümler 360×240 piksel ve ±0.05°C termal hassasiyete sahip termal kamera ile gerçekleştirilmiştir. Görüntülerde ürün yüzeylerine gelen piksellerin ortalaması dikkate alınarak ürünün ortalama sıcaklığı elde edilmektedir (Köksal ve Yıldırım, 2011).



(a)



(b)

Şekil 2.10. Spektral görüntüleme için kalibrasyon düzeneği (a), kurutma sırasında elde edilen termal görüntü

2.2.15. İstatistiksel Analizler

Kurutma eğrilerinin matematiksel modellemesi SigmaPlot yazılımı (SigmaPlot for Windows version 14.0, Erkrath, Germany) ile yapılmıştır. En uygun modelin belirlenmesi için kullanılan istatistiksel terimler korelasyon katsayısı (R^2), ki-kare (χ^2), kök ortalama kare hatası (RMSE), tahminin standart hatası (SEE) ve artık kareler toplamıdır (RSS). En yüksek R^2 ve en düşük RMSE, χ^2, SEE ve RSS değerleri en iyi modeli göstermektedir (Kaleta ve Górnicki, 2010).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{pre,i} - MR_{\exp,i})^2}{N}} \qquad \chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{\exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z}$$

$$SEE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{\exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - 2}\right]^{0.5} \qquad RSS = \sum_{i=1}^{N}(MR_{\exp,i} - MR_{pre,i})^2$$

Burada; $MR_{exp,i}$ deneysel nem oranı, $MR_{pre,i}$ tahmin edilen nem oranı, N gözlemlenen deneysel veri sayısı, z modeldeki bağımsız değişken sayısıdır.

2.2.15.1. Varyans Analizi

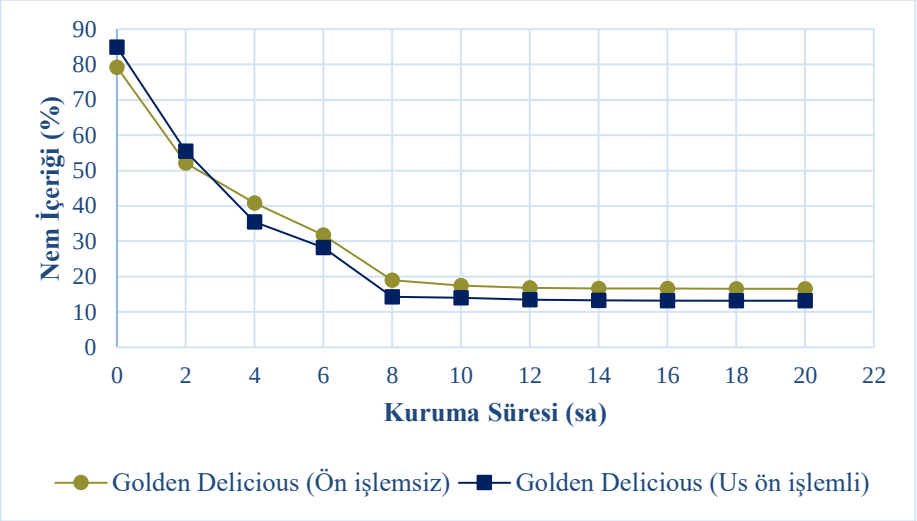
Kurutma parametreleri arasındaki ilişki tam faktöriyel düzende varyans analiziyle (ANOVA) belirlenmiştir. Önemli bulunan faktörlerin ortalamaları arasındaki fark %95 önem düzeyinde Tukey çoklu karşılaştırma testiyle belirlenmiştir. Örneklerin istatistiksel analizleri SPSS v20.0 yazılımı (IBM SPSS® 2010) kullanılarak yapılmıştır.

3. BÖLÜM

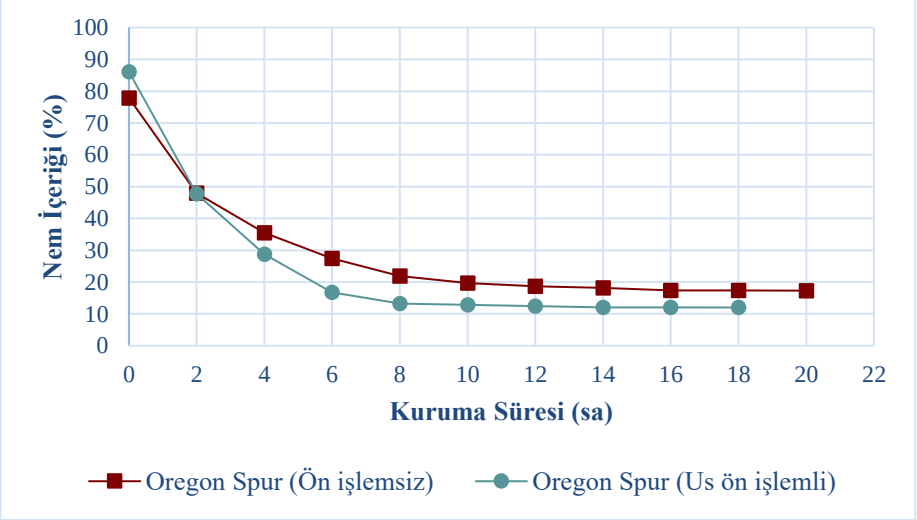
BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Elmaların Nem İçeriği Değişimi

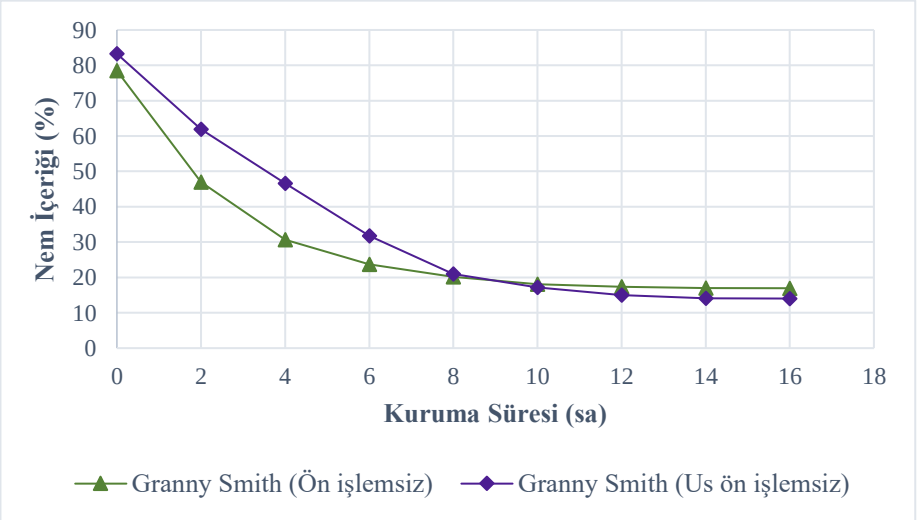
Çalışmada, farklı koşullarda kurutulan dip elmalarının, yaş baza göre nem içeriğinin kurutma süresine bağlı değişimi incelenmiştir. Şekil 3.1'de güneşte kurutulan Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith elmalarının kurutma süresine bağlı nem içeriği değişimi verilmiştir. İlk kurutma sürelerinde tüm uygulamalarda nem içeriğinin hızlı bir şekilde azaldığı sonrasında ise nem içeriğindeki azalmanın çok yavaşladığı gözlemlenmiştir. Tüm uygulamalarda başlangıçta ürün ağırlıkları birbirine yakın olarak belirlenmiştir. Fakat ultrases ön işlem uygulaması sonrası ürünlerin nem içeriği artmış ve başlangıçta uygulama olmayan örneklere göre daha fazla nem içeriği değerleri oluşmuştur. Güneşte kurutma işlemi, Golden Delicious çeşidi için nem sabitleninceye kadar 20 saat sürdürülmüştür. Ultrases uygulanan örneklerin başlangıç nem içeriği fazla olmasına rağmen, ilk kurutma sürelerinde nem içeriği bakımından uygulama olmayan örneklere yaklaştığı görülmüştür. Güneşte kurutulan Oregon Spur çeşidine ait örneklerin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi incelendiğinde ön işlemsiz örnekler 20 saatte, ultrases ön işlemli örnekler ise 18. saatte denge nemine ulaşılmıştır. Ultrases ön işlem uygulanmış örneklerin nem içeriği, kurutma süresinin başlarında ön işlemsiz örneklere yaklaşmıştır. Çeşitler arasında güneşte en kısa sürede denge nemine ulaşan çeşit Granny Smith olmuştur. Granny Smith elma örneklerinin kurutma süresi her iki uygulama için de 16 saat sürmüştür. Granny Smith çeşidi en kısa sürede kuruyan çeşit olmasına karşın ultrases ön işlem uygulamasına nem içeriği değişimi bakımından en geç tepki veren çeşit olmuştur.



(a)



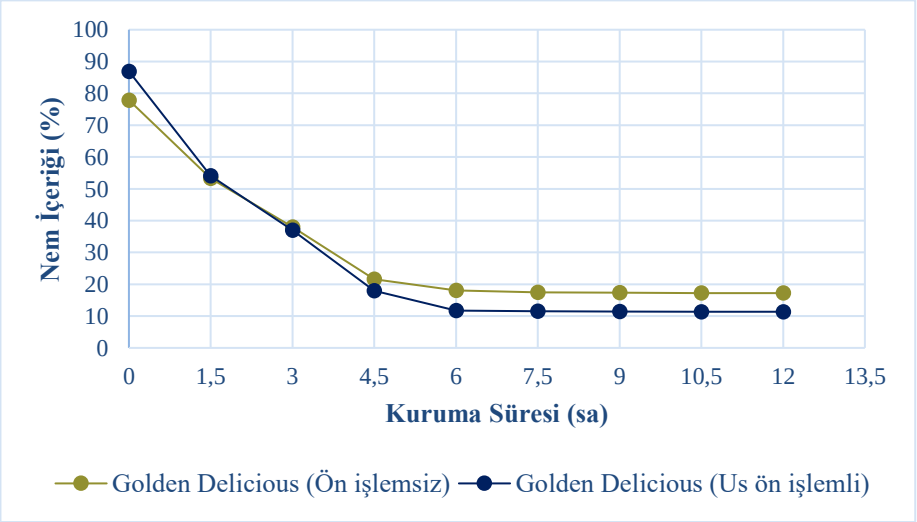
(b)



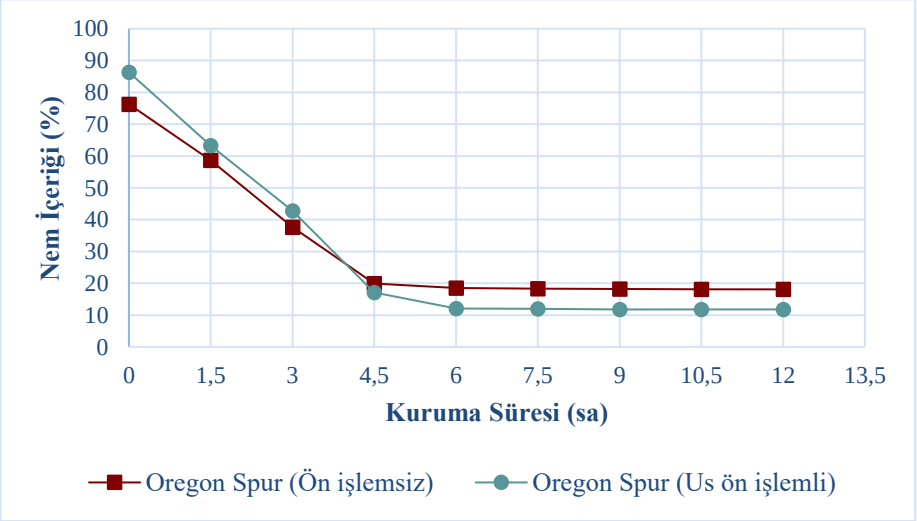
(c)

Şekil 3.1. Güneşte (açık) kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi

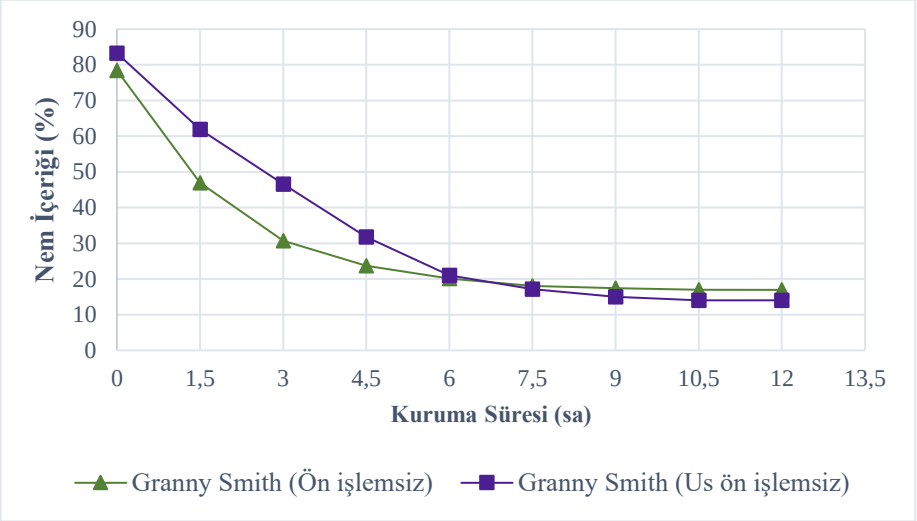
Kontrollü serada kurutulan Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith çeşidine ait örneklerin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi Şekil 3.2'de sunulmuştur. Ürünlerin denge nemine 12. saatte ulaşılmıştır. Ultrases uygulanan örnekler, kurutma süresi yarılanınca uygulama olmayan örneklerle nem içeriği açısından benzeşmiştir. Oregon Spur çeşidi elmaların kontrollü serada denge nem içeriğine ulaşması 12 saat sürmüştür. Uygulama olmayan örnekler ile ultrases uygulanan örnekler, 6. saatte nem içeriği bakımından benzerlik göstermiştir. Diğer iki çeşide benzer şekilde Granny Smith çeşidinin kontrollü serada kurutma işlemi de 12 saat sürmüştür. Ultrases ön işlem uygulaması yapılan örneklerin uygulanmayan örneklerin nem içeriğine yaklaşması yaklaşık 4.5 saat sürmüştür. Kontrollü serada Granny Smith çeşidi nem içeriği değişimi bakımından ultrases uygulamasına en erken tepki veren çeşit olmuştur.



(a)



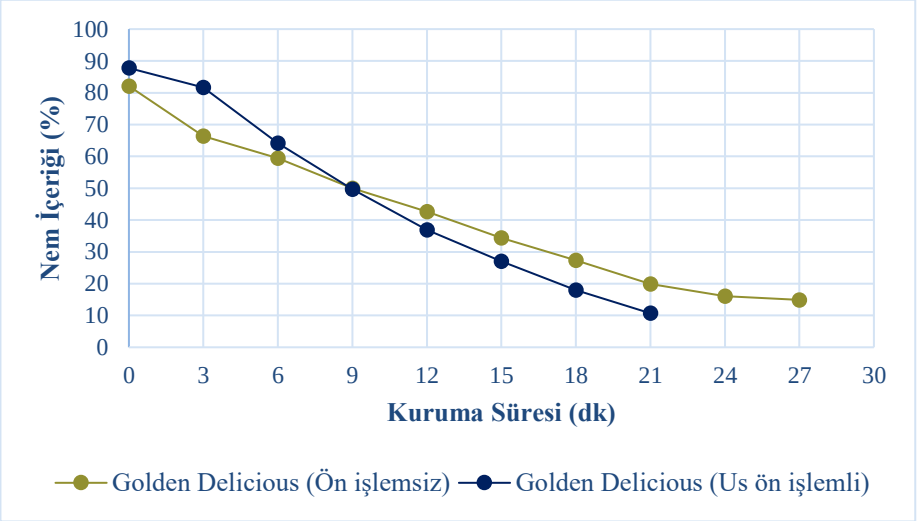
(b)



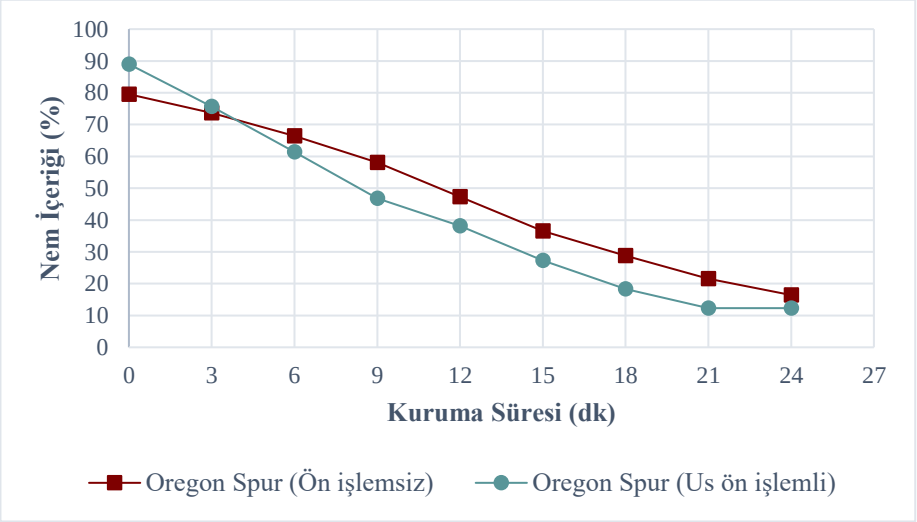
(c)

Şekil 3.2. Kontrollü serada kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve GrannySmith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi

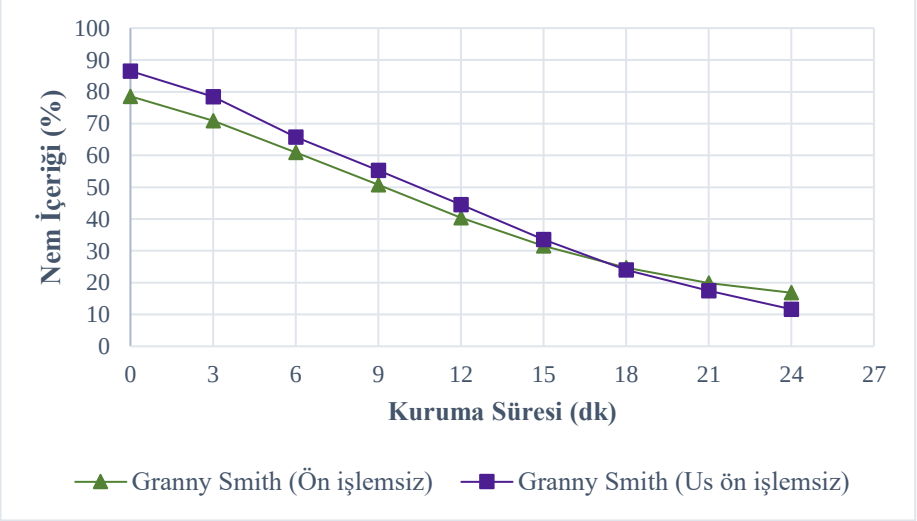
Şekil 3.3'te 200 W gücünde mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith elma örneklerinin nem içeriğinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Ultrases ön işleme tabi tutulan örnekler denge nemine 21. dakikada ulaşırken uygulama olmayan örnekler 27. dakikada ulaşmıştır. Her iki uygulamanın nem içeriği değerleri 15-18 dakika arasında birbirine yaklaşmıştır. Mikrodalga ile kurutmada, Golden Delicious çeşidinde diğer çeşitlerden farklı olarak ultrases uygulaması ile kurutma süresini kısalmıştır. Oregon Spur çeşidi elma numuneleri 200 W gücünde mikrodalga fırında her iki uygulamada 24. dakikada denge nemine ulaşmıştır. Nem içeriği değerleri 18. dakika sonunda birbiriyle yakınlık göstermiştir. Mikrodalga fırında kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerinin denge nem içeriğine ulaşması her iki uygulama için 24 dakika sürmüştür. Nem içeriği değerleri ancak örnekler denge nemine ulaştığı anda benzerlik göstermiştir. Mikrodalga ile kurutmada Granny Smith çeşidinde ultrases ön işlemin etkisi görülmemiştir.



(a)



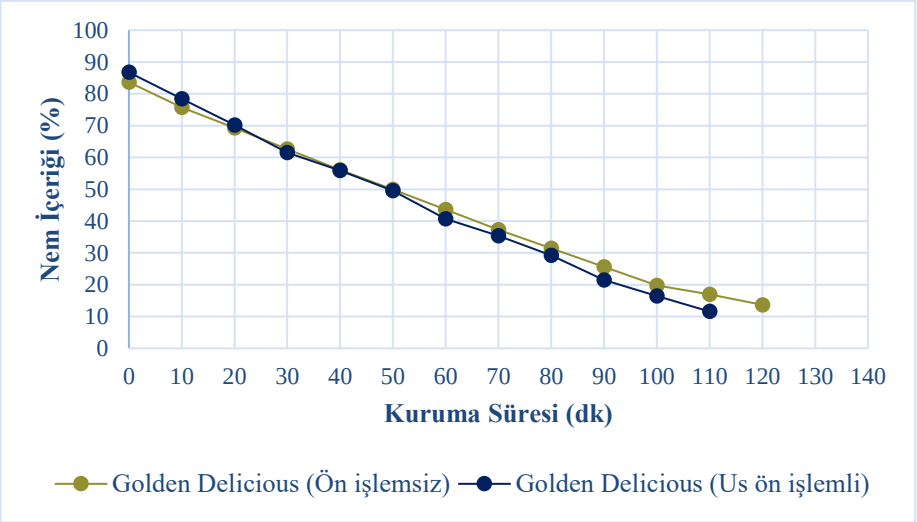
(b)



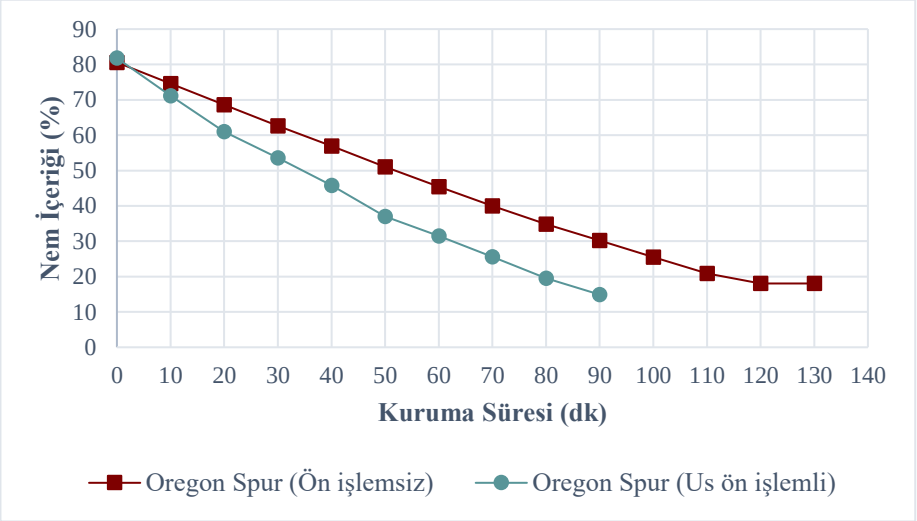
(c)

Şekil 3 3. 200 W gücünde mikrodalga fırında kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi

Şekil 3.4'te 100W+60ºC mikrodalga gücü ve sıcaklıkta hibrit kurutulan Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith çeşidi elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi gösterilmiştir. Ultrases uygulanan örnekler 110 dakikada denge nemine ulaşırken, uygulanmayan örnekler 120 dakikada denge nemine ulaşmıştır. Farklı başlangıç nem içeriğine sahip örnekler 90. dakikada nem içeriği bakımından benzerlik göstermiştir. 100W+60ºC mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan Oregon Spur çeşidinde ultrases uygulanan ve uygulanmayan elma numuneleri sırasıyla 90. ve 130. dakikada denge nem içeriğine ulaşmıştır. Hibrit kurutma ultrases ön işleminin en fazla ön plana çıktığı sistem olmuştur. Bu sistemde çeşitler arasında kurutma süresi farkı en fazla olan çeşit Oregon Spur olmuştur. Hibrit kurutulan Granny Smith çeşit elmada ultrases uygulanan örnekler denge nemine 110. dakikada ulaşırken uygulanmayan örnekler 120. dakikada ulaşmıştır. Başlangıç nem içeriği fazla olmasına karşın 60-70 dakika arasında nem içeriği değerleri benzerlik göstermiştir.



(a)



(b)

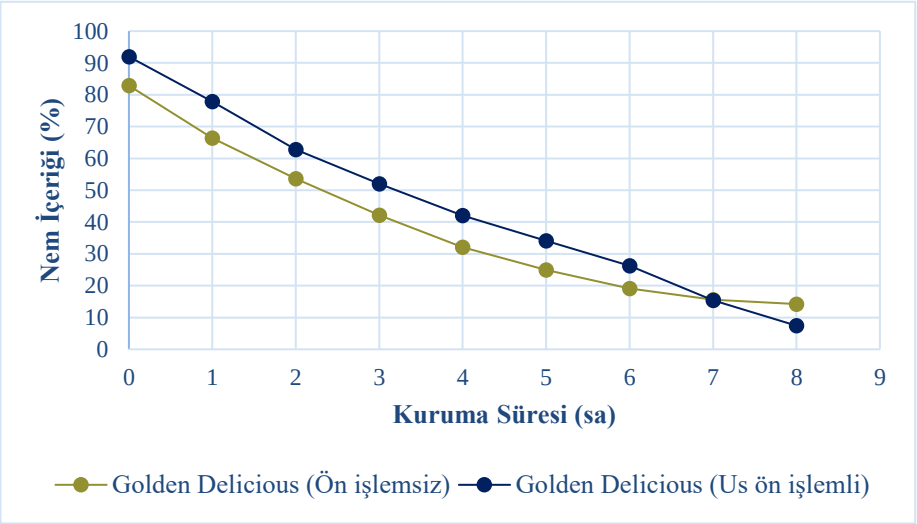


(c)

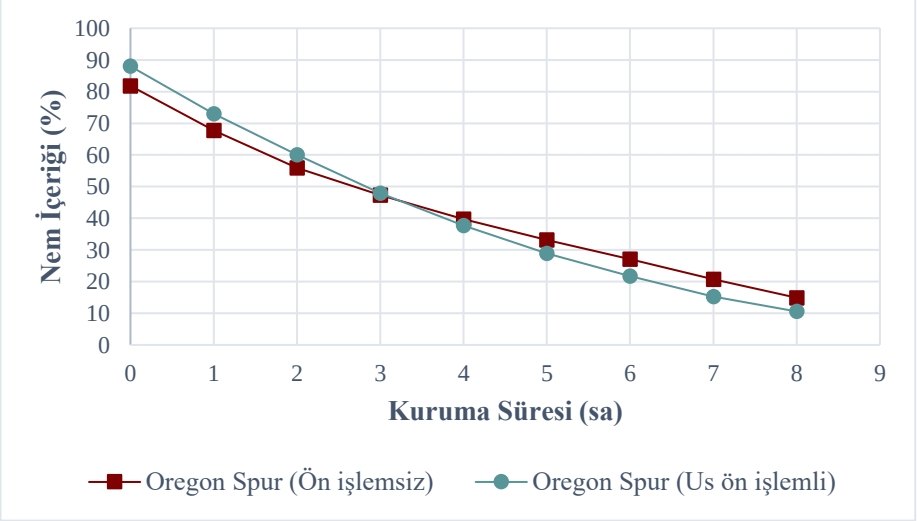
Şekil 3.4. 100 W-60ºC mikrodalga gücü ve sıcaklıkta (hibrit) kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi

Şekil 3.5'te konvektif kurutucuda 70ºC'de kurutulan Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith elmalarının nem içeriklerinin kuruma süresine bağlı değişimi verilmiştir. Kurutma işlemi her iki uygulama için de 8 saat sürmüştür. Ultrases uygulamasında kurutma süresi artışına bağlı nem içeriği değerlerinin daha fazla azaldığı gözlemlenmiştir. Konvektif kurutucuda 70ºC'de kurutulan Oregon Spur elma çeşitlerinin nem içeriklerinin kuruma süresine bağlı değişiminde elde edilen nem içeriği değerleri, 8 saatlik uygulama süresinde iki uygulama için birbirine yakın olarak bulunmuştur. Yine nem içeriği değerleri ultrases uygulamasında kurutma süresi artışına bağlı daha fazla azalmıştır. Granny Smith elma çeşitlerinin nem içeriklerinin kuruma süresine bağlı değişimi Oregon Spur çeşidine benzer olarak nem içeriği değerleri, 8 saatlik uygulama süresinde iki

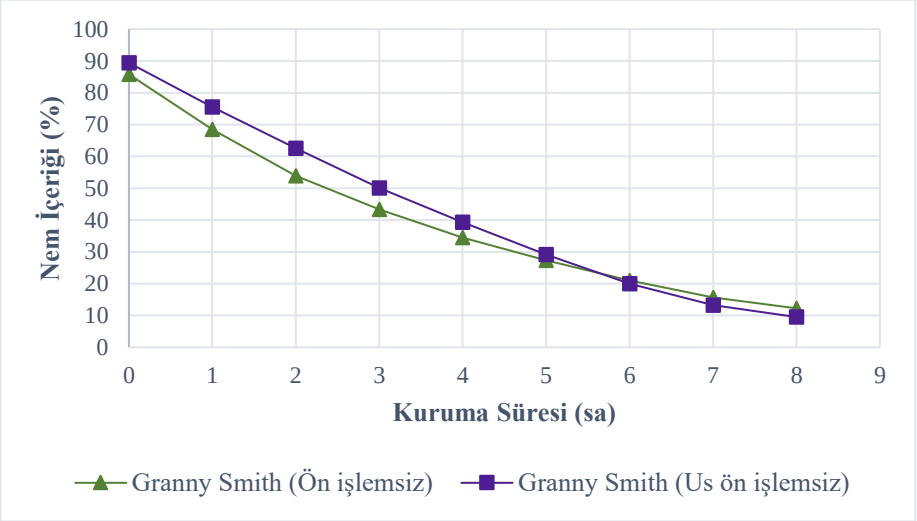
uygulama için de birbirine benzer şekilde azalma göstermiştir. Üç çeşit için ultrases uygulaması başlangıçta fazla nem içeriğine sahip olmasına karşın kurutma süresinin sonlarına doğru uygulama olmayan örneklere yaklaşmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.5. Konvektif kurutucuda 70ºC'de kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşit elma örneklerinin nem içeriğinin kuruma süresine bağlı değişimi

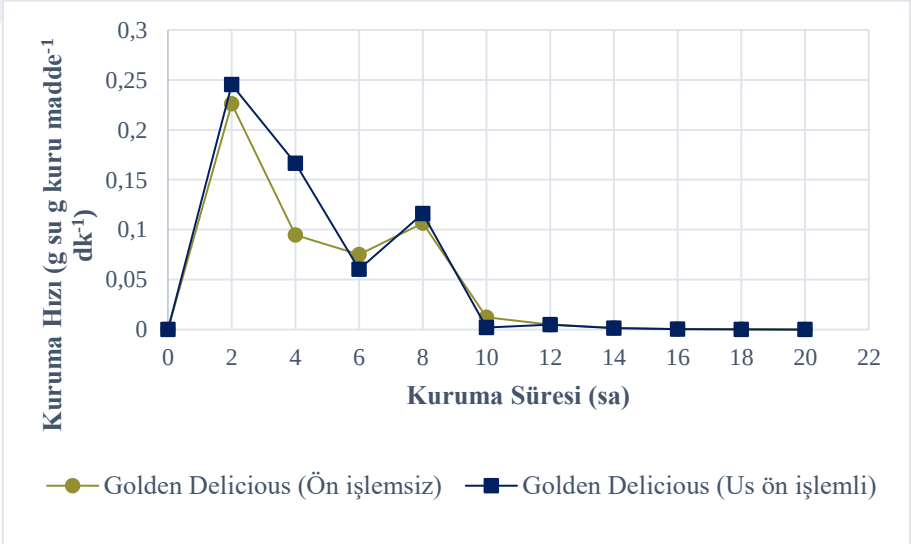
Deney sonuçlarına göre en uzun kuruma süre liyofilizatörde elde edilirken en kısa kurutma süresi mikrodalgada elde edilmiştir. Çalışmada, ultrases ön işlem uygulamalarında başlangıç nem içeriği daha fazladır. Çünkü benzer ağırlıklarda hazırlanan ürünler 20 dakika ultrases ön işlemde bekletildikten sonra nem içeriğinde artış meydana gelmiştir. Fakat ultrases ön işlem uygulanan örnekler, kurutmanın ilerleyen evrelerinde ön işlem uygulaması olmayan örneklerle nem içeriği bakımından benzerlik göstermiş ve denge nemine aynı sürelerde ya da daha erken ulaşmıştır. Testler sırasında liyofilizatörde kurutma kinetiği ve kuruma hızı ölçümleri takip edilemediğinden bu bölümlerde bu kurutma yöntemine yer verilmemiştir. Çeşitler kurutma süresi bakımından güneş ve konvektif kurutmada benzer kurutma sürelerine sahip olmuştur. Kontrollü serada her iki uygulamada da Granny Smith çeşidi 16 saat ile diğer çeşitlerden daha kısa sürede denge nemine ulaşmıştır. Mikrodalga kurutmada ise en erken (21 dk.) denge nemine ulaşan çeşit ultrases uygulanan Golden Delicious olurken en geç (27 dk.) ulaşan çeşit ise yine ultrases uygulanmayan aynı çeşit olmuştur. Hibrit kurutma yönteminde ise denge nemine en erken (90 dk.) ulaşan çeşit ultrases uygulanan Oregon Spur, en geç (130 dk.) ulaşan çeşit ise yine ultrases ön işlem uygulanmayan aynı çeşit olmuştur.

Elma için farklı uygulamalarda nem miktarının kurutma süresine bağlı değişimi literatür ile benzerlik göstermiştir. Kaya (2019), çalışmasında mikrodalgada kuruttuğu elmalara 3 farklı ön işlem uygulamış (ön işlemsiz, 15 dk. ultrases 360 W ve 30 dk. ultrases 360 W) ve nem miktarının kurutma süresine bağlı değişimi açısından benzer sonuçlar elde

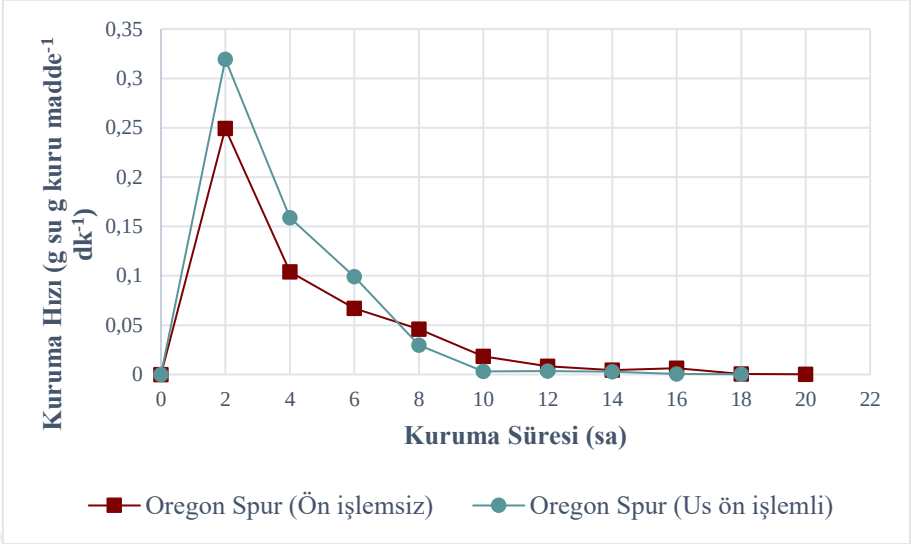
etmiştir. Rodriguez vd. (2014), ultrases ön işlem uygulayarak konvektif (30, 50 ve 70 °C) kuruttukları elmalarda 70°C'de benzer kurutma eğrileri elde etmişlerdir. Martins vd. (2018), elmaları 30, 50 ve 70°C'de ve ultrases ön işlem uygulamışlar ve kuruma sürelerinin tüm uygulamalarda azaldığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak kuruma süresinin nem içeriğine bağlı oluşturulan kurutma eğrileri de mevcut çalışmayla benzerlik göstermiştir.

3.2. Kuruma Hızının Zamana Bağlı Değişimi

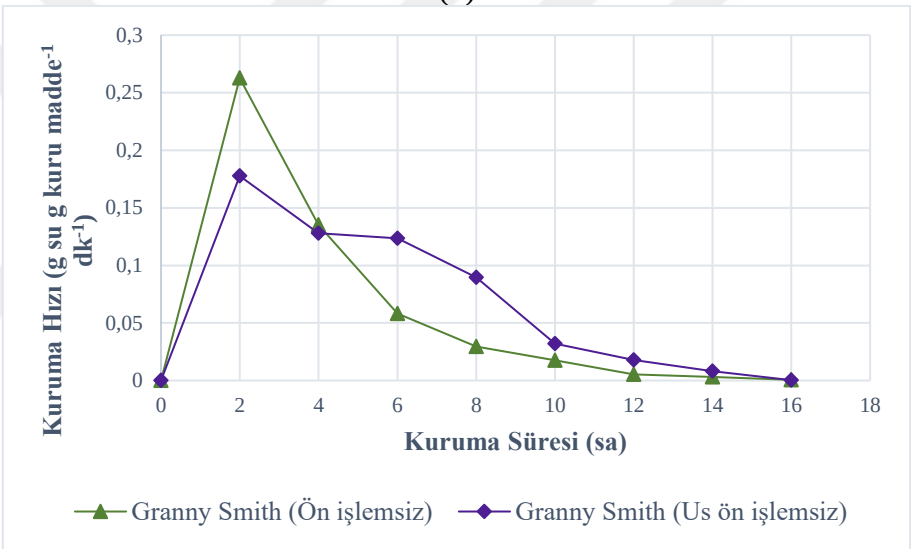
Kuruma hızlarının kuruma süresi ile ilişkisini incelemek amacıyla farklı kurutma uygulamalarında kurutulan elmalar çeşitler bazında karşılaştırılmıştır. Güneşte kurutulan elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi Şekil 3. 6'da verilmiştir. Güneşte kurutma yönteminde ultrases uygulanan Oregon Spur çeşidi en fazla kuruma hızına sahip olurken bunu sırasıyla ultrases uygulanan Golden Delicious ve Granny Smith çeşitleri izlemiştir. En düşük kuruma hızı değerleri ise ön işlem uygulaması olmayan Oregon Spur çeşidinde elde edilmiştir. Kuruma hızı, kuruma süresine bağlı giderek azalan bir eğilim göstermiştir.



(a)



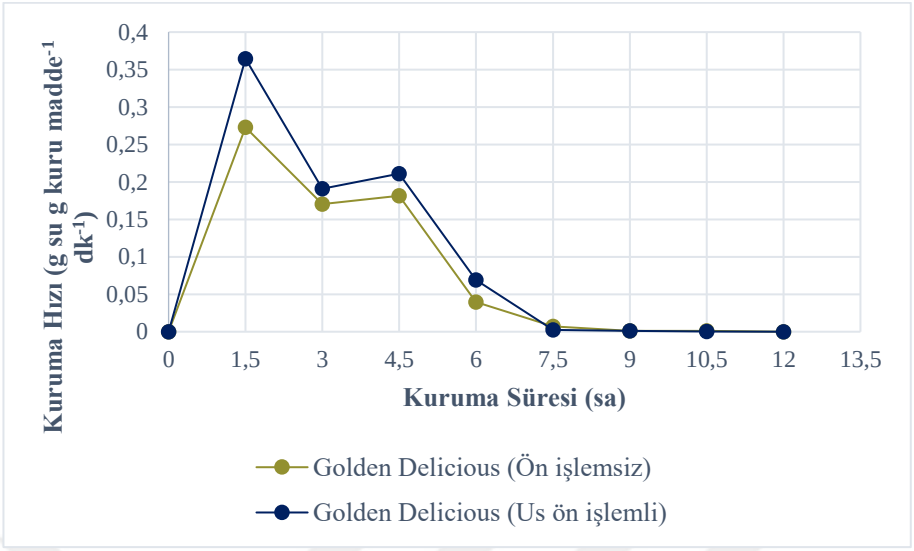
(b)



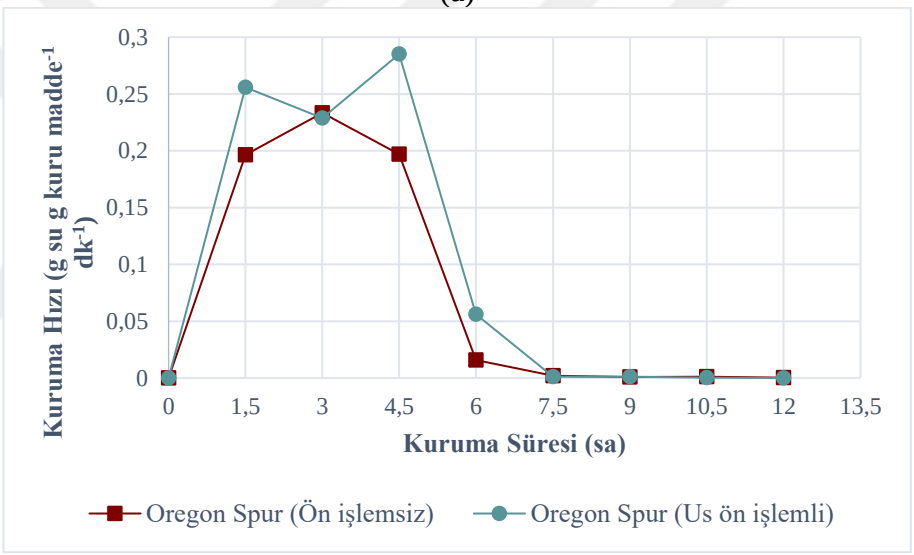
(b)

Şekil 3.6. Güneşte kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi

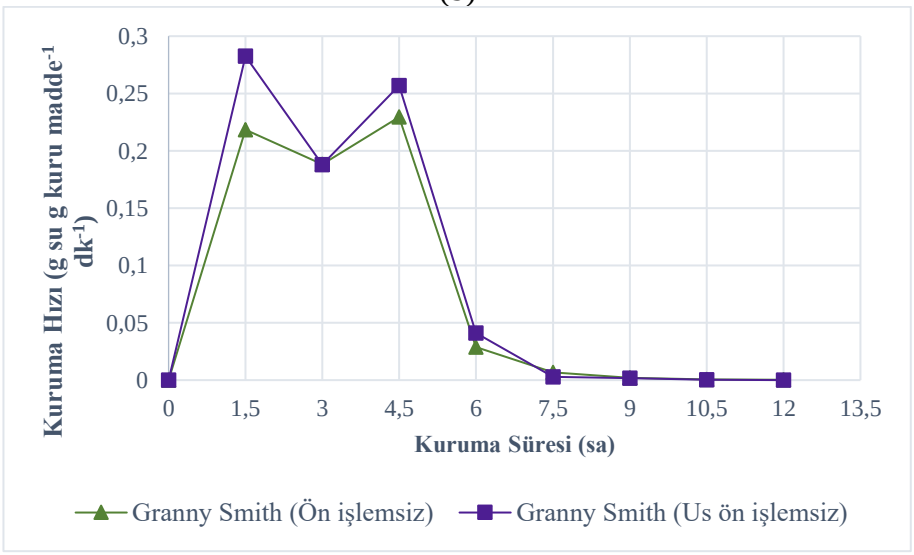
Kontrollü serada kurutulan elma örnekleri arasında ultrases ön işlem uygulanan Golden Delicious çeşidi kuruma hızı bakımından en yüksek değerlere sahip olmuştur. En düşük kuruma hızı değerleri ise ön işlem uygulanmayan Oregon Spur çeşidinde elde edilmiştir. Deneylerde ön işlem uygulanmayan Golden Delicious ve Granny Smith çeşitlerinin kuruma hızı bakımından birbirine yakın değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.7).



(a)



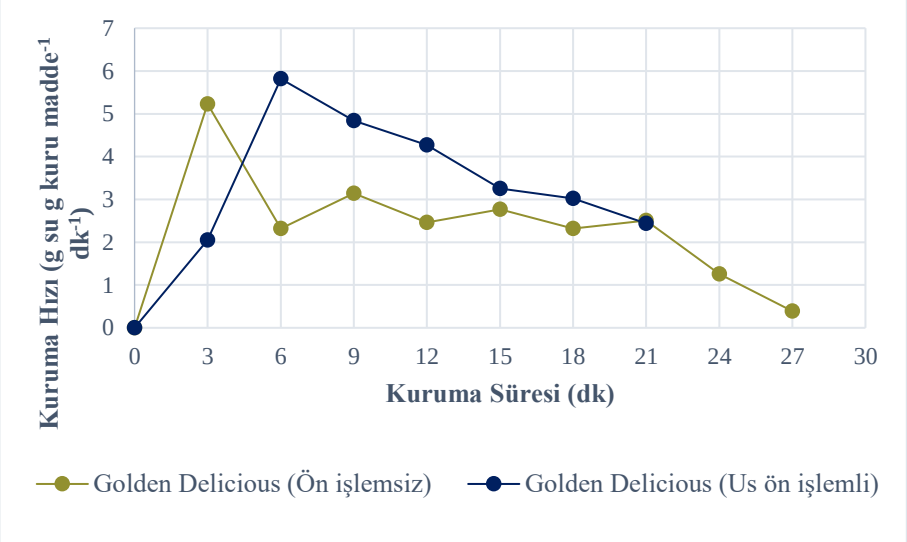
(b)



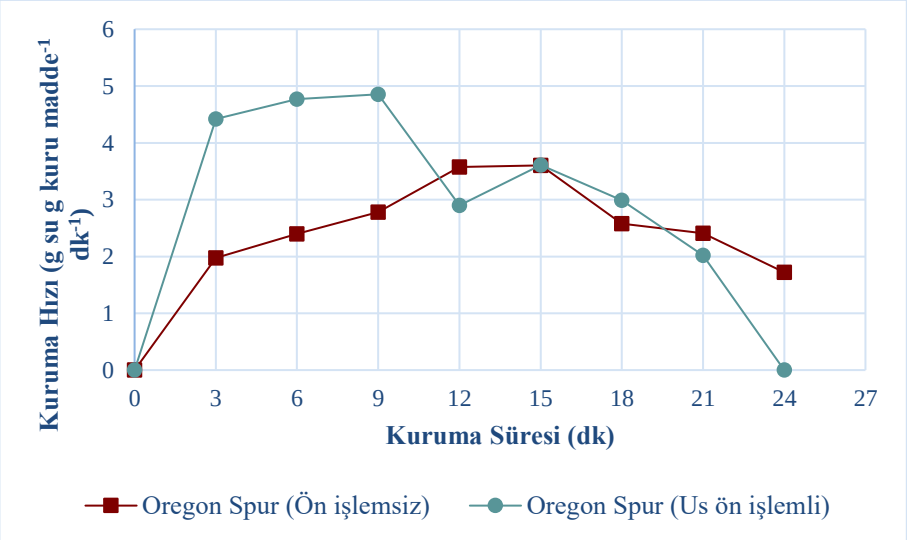
(c)

Şekil 3.7. Kontrollü serada Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) kurutulan elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi

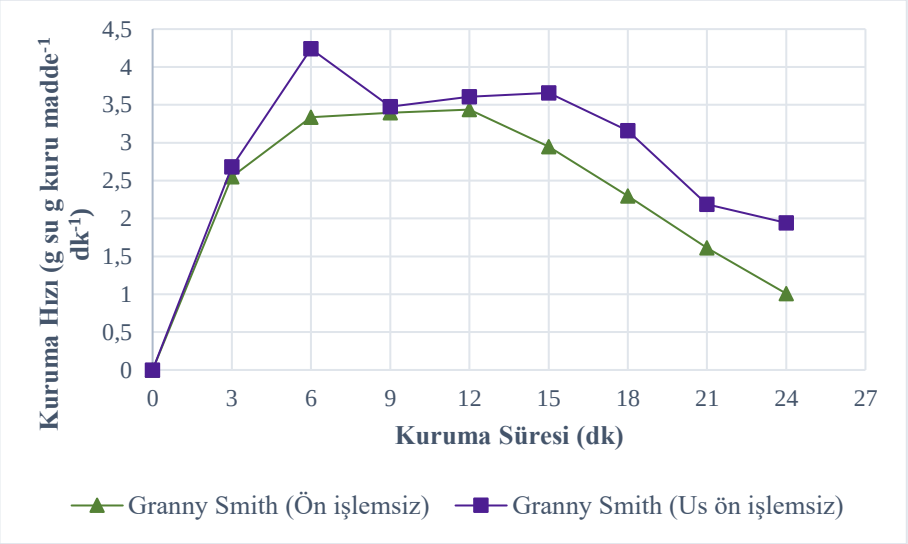
Şekil 3. 8'de mikrodalga fırında 200W gücünde kurutulan elmaların kuruma hızlarının kuruma süresine göre değişimi verilmiştir. Kuruma hızının en fazla olduğu uygulama ve çeşitler, yine ultrases ön işleme tabi tutulan Golden Delicious ve Oregon Spur çeşitleri olmuştur. Ultrases ön işlem uygulanmayan üç çeşide ait örneklerin birbirine yakın değerlerde ve düşük kuruma hızlarına sahip olduğu saptanmıştır.



(a)



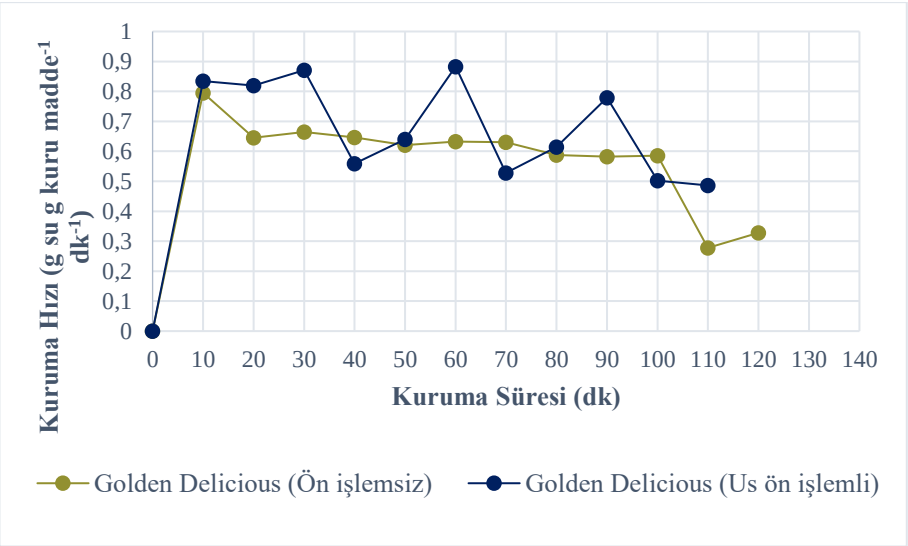
(b)



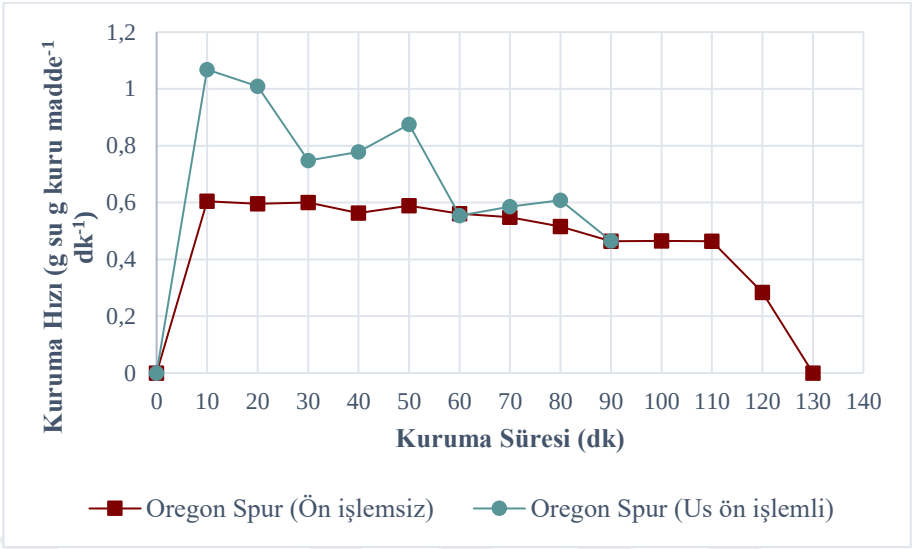
(c)

Şekil 3.8. Mikrodalga fırında kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi

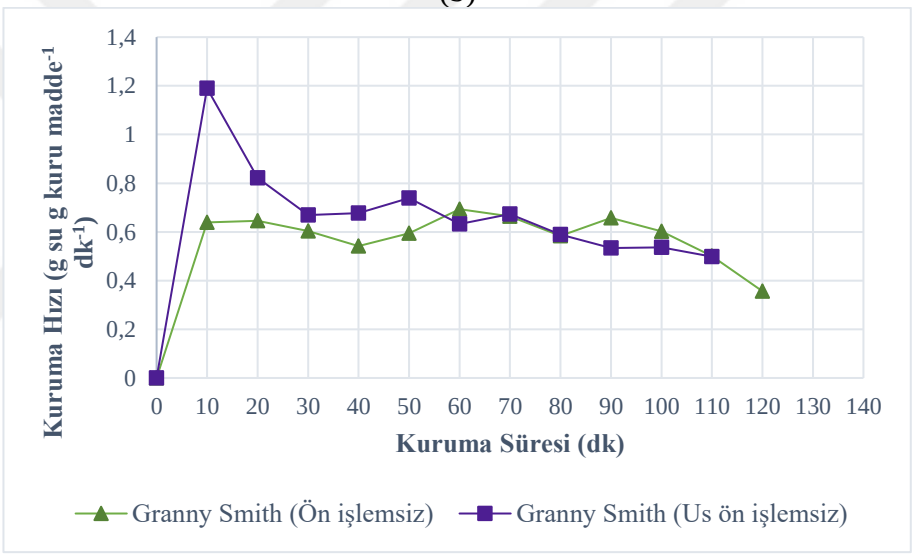
Hibrit sistemde (100W+60ºC) kurutulan elma örnekleri arasında, ultrases uygulanan tüm çeşitler kuruma hızı bakımından en yüksek değerler sahip olmuştur. Zamana bağlı en düşük kuruma hızı değerleri ise ön işlemsiz Oregon Spur çeşidinde belirlenmiştir. Testlerde ön işlemsiz Golden Delicious ve Granny Smith çeşitlerinin kuruma hızı değerleri birbirine çok yakın olarak bulunmuştur (Şekil 3. 9).



(a)



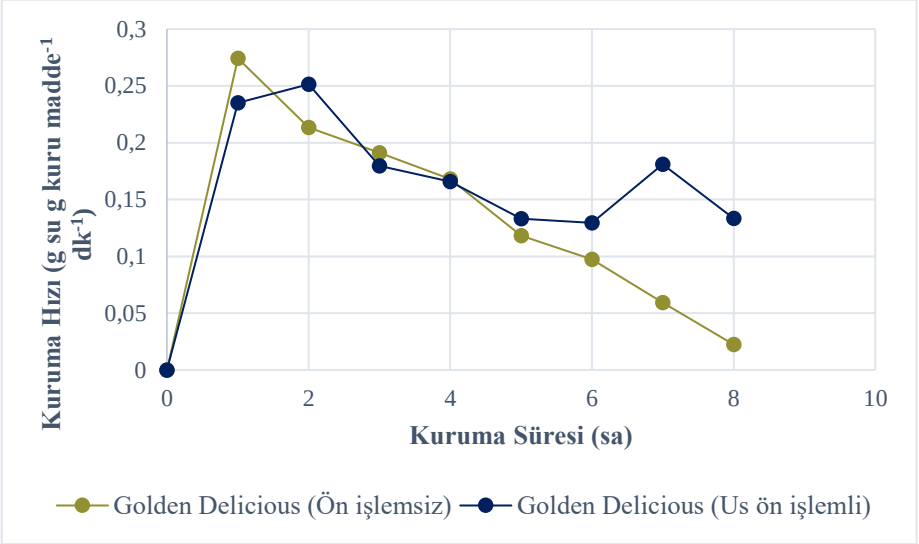
(b)



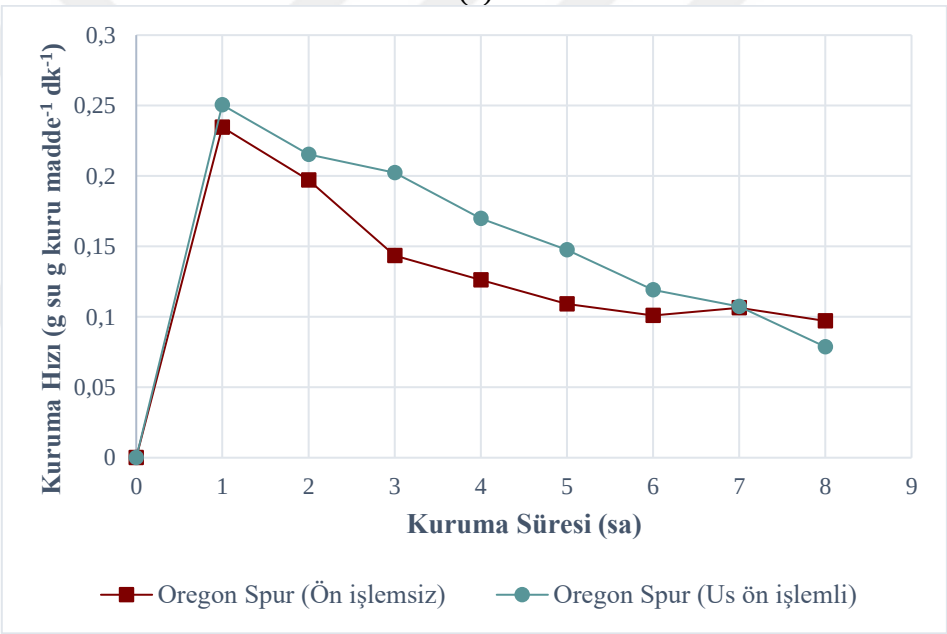
(c)

Şekil 3.9. Hibrit sistemde kurutulan elma Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi

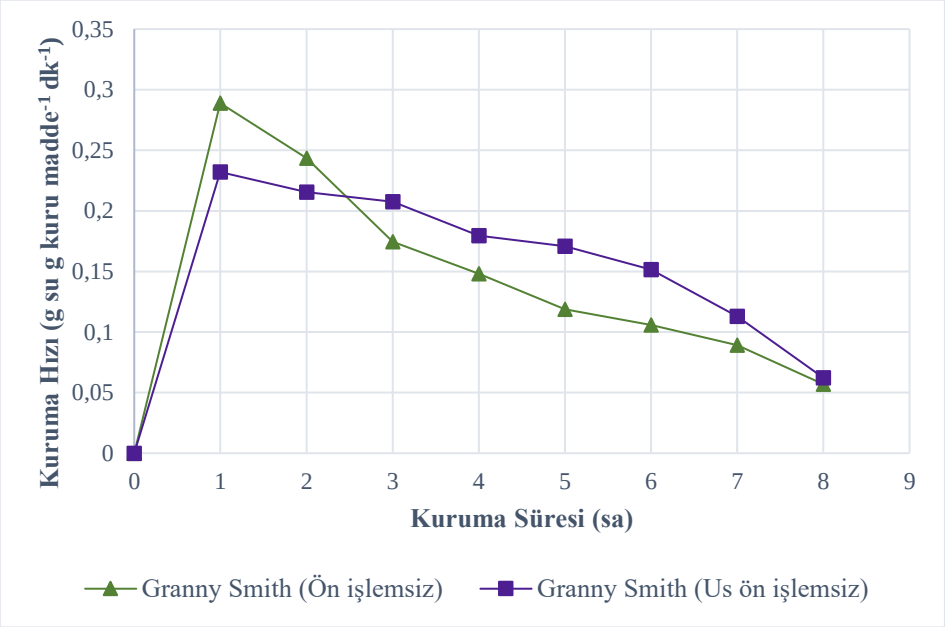
Konvektif kurutucuda elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi Şekil 3.10'da verilmiştir. Kuruma süresinin başlarında ultrases ön işlemli çeşitlerin kuruma hızları birbirine benzer olarak seyretmiştir. Bununla birlikte en yüksek kuruma hızı, ultrases ön işlem uygulanmış Golden Delicious çeşidinde görülürken en düşük ise ön işlem uygulanmamış Oregon Spur çeşidinde ortaya konulmuştur.


Kuruma Hızı (g su g kuru madde-1 dk-1)
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
2
4
6
8
10
Kuruma Süresi (sa)
Golden Delicious (Ön işlemsiz)
Golden Delicious (Us ön işlemli)

(a)


Kuruma Hızı (g su g kuru madde-1 dk-1)
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Kuruma Süresi (sa)
Oregon Spur (Ön işlemsiz)
Oregon Spur (Us ön işlemli)

(b)



(c)

Şekil 3. 10. Konvektif kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) elma örneklerinin kuruma hızlarının kuruma süresine bağlı değişimi

Numumelerin tümünde kurutma şartlarında sabit hız periyodu tespit edilmemiştir. Kurutma testlerinde azalan hız periyodunun olduğu gözlemlenmiştir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında hibrit kurutma yönteminin kuruma zamanını önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir (Maskan, 2000, Contreras vd., 2008, İzli, 2012). Farklı kurutma uygulamalarının tümünde azalan hız periyodu görülmüştür. Azalan hız periyodu ile kurutulan ürünün yüzeyi daha fazla doygunluğa ulaşmaktadır. Bu sebeple ürünün iç kısmından dış kısmına doğru nemin difüzyonu kuruma hızını kontrol etmektedir (Karaaslan, 2009). Kuruma hızının başlangıçta artış göstermesinin sebebi ürün yüzeyindeki nemin, daha fazla sıcaklığı ve mikrodalga enerjisini absorbe etmesidir. Nem uzaklaştıkça absorpsiyon azalmakta, kuruma hızında yavaşlama meydana gelmektedir (Sharma vd., 2005). Mikrodalga kurutmada, mikrodalga enerjisinin kurutulacak ürünün iç kısımlarına kolay ulaşabilmesi sonucu kuruma hızı artmakta ve kuruma süreleri kısalmaktadır (İzli, 2012). Mevcut çalışmaya benzer şekilde Fijalkowska vd. (2015), elmaları ön işlemsiz ve 30 dk ultrases (21 kHz ve 35 kHz frekanslarında) ön işlem uygulayarak 70°C'de ve 2 m s^{-1} hava hızında kurutmuşlardır. Ön işlemin kurutma süresini %13 ile %17 arasında azalttığını bildirmişlerdir. Sabarez vd. (2012), elmalarda 60°C konvektif kurutma öncesi 0 W ve 75 W olmak üzere iki farklı ultrases ön işlemi uygulamışlardır. Ultrases gücü 75 W olan uygulamada birim zamanda buharlaşma oranının yaklaşık %35 arttığını tespit etmişlerdir. Bu durum ultrasesin bu koşullar altında

dış ısı-kütle transfer sürecini artırdığını göstermektedir. Bu mekanizma hızlı bir şekilde gerçekleştiğinde, ürünün iç kısmından yüzeyine doğru su iletimi sebebiyle ürünün yüzeyindeki doygunluk sürdürülmekte ve kuruma hızı stabil hale gelmektedir. Katı-gaz sistemlerinde ultrases uygulaması, salınım hızını, mikro akışı ve difüzyon sınır tabakasını azaltan katmanlar üzerindeki basınç değişimi nedeniyle gaz ortamının mekanik olarak karıştırılmasını sağlar. Bunun sonucunda, katı-gaz katmanında ısı ve kütle transfer süreçleri hızlanmaktadır (Garcia-Perez vd., 2010). Buna ilaveten ultrases uygulaması, su damlalarını mikro hale getirmekte ve buharlaşmada daha az enerji gerektirmektedir (Korobeinikov vd., 2006).

3.3. Elmaların Kuruma Eğrilerinin Modellenmesi

Elmaların kurutulması esnasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma sürelerine bağlı değişimi belirlenmiştir. Çalışmada, modele ait kurutma katsayıları, R^2, RMSE, χ^2, SEE ve RSS gibi istatistiksel indeksler kullanılmıştır. Güneşte kurutmada tüm çeşitler için 12 farklı matematiksel model kullanılmıştır. Çalışmada, Golden Delicious çeşidi için kurutma süresine bağlı nem oranı değerlerinin değişimininde en yüksek R^2 değerine sahip olan modeller, ön işlem uygulanmayan örneklerde 2 numaralı Henderson & Pabis modeli, ultrases uygulanan örneklerde ise 11 numaralı Weibull Dağılımı modeli olmuştur. En düşük R^2 sonuçlarını veren modelin ise her iki uygulamada da 7 numaralı Wang & Singh modeli olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.1). Tablo 3.2. incelendiğinde Oregon Spur çeşidi elmaların güneşte kurutulmasıyla elde edilen nem oranı değerlerinin istatistiksel sonuçlarına göre, en yüksek R^2 değerleri ön işlemsiz örneklerde 2 numaralı Henderson Pabis ve 12 numaralı Jena Das modellerinde 0.9994 olarak elde edilmiştir. Aynı uygulamada en düşük RMSE değeri ise 11 numaralı Weibull Dağılım modelinde elde edilmiştir. Ultrases ön işlemin uygulandığı numunelerde en yüksek R^2 ve en düşük RMSE değerleri Weibull Dağılımı modelinde tespit edilmiştir. Wang & Singh modeli her iki uygulama için de en düşük R^2 değerlerine ve en yüksek RMSE değerlerine sahip olmuştur. Granny Smith çeşidinde ön işlemsiz elma örneklerine ait nem oranı değerlerinin istatistiksel sonuçları incelendiğinde Wang & Sing modeli hariç tüm modellerin 0.9998 ve üzeri olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.3). Ultrases uygulanan örneklerde ise sonuçları en iyi açıklayan modelin en yüksek R^2 (0.9978) değerine sahip olan 10 numaralı Logistic model olduğu saptanmıştır. Logistic modele ait katsayılar a=0.4269, b=1.4126 ve k=0.4047 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.1. Güneşte kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.2234 n=1.1288	0.9880	0.0341	1.42E-03	0.0377	0.0128	k=0.2193 n= 1.2055	0.9939	0.0243	7.23E-04	0.0269	0.0065
2	**k=0.0498** **a=1.4790**	**0.9917**	**0.0370**	**1.67E-03**	**0.0343**	**0.0082**	k=0.3020 a= 1.0178	0.9897	0.0313	1.20E-03	0.0351	0.0111
3	k=0.2745	0.9858	0.0372	1.52E-03	0.0390	0.0152	k=0.2977	0.9893	0.0323	1.14E-03	0.0338	0.0114
4	k=0.2650 n=1.1292	0.9880	0.0341	1.42E-03	0.0377	0.0128	k=0.2841 n= 1.2057	0.9939	0.0243	7.23E-04	0.0269	0.0065
5	k=0.2544 a=1.0292 c=-0.0283	0.9887	0.0332	1.52E-03	0.0389	0.0121	k=0.2825 a=1.0358 c=-0.0232	0.9918	0.0280	1.08E-03	0.0331	0.0088
6	a=0.5040 k_0=0.2762 b=0.5040 k_1=0.2765	0.9859	0.0370	2.15E-03	0.0454	0.0151	a=0.5089 k_0=0.3012 b=0.5089 k_1=0.3028	0.9897	0.0313	1.54E-03	0.0398	0.0111
7	a=-0.1544 b=0.0055	0.9412	0.0756	6.98E-03	0.0836	0.0629	a=-0.1592 b= 0.0058	0.9251	0.0855	8.92E-03	0.0945	0.0803
8	a=1.0000 k=0.2745 b=1.0000	0.9858	0.0372	1.90E-03	0.0436	0.0152	a=1.0000 k=0.2977 b=1.0000	0.9893	0.0323	1.43E-03	0.0378	0.0114
9	a=3.8723 k=0.3786 b=0.4329	0.9884	0.0335	1.55E-03	0.0393	0.0124	a=2.6410 k=0.4260 b=0.5642	0.9938	0.0246	8.33E-04	0.0289	0.0067
10	a=1.4649 b=2.4363 k=0.3525	0.9885	0.0334	1.53E-03	0.0392	0.0123	a=1.0117 b=2.0055 k=0.4182	0.9939	0.0313	1.35E-03	0.0285	0.0065
11	a=-0.0192 b=-1.0112 k=0.2254 n=1.0850	0.9892	0.0323	1.64E-03	0.0406	0.0115	**a=-0.0088** **b=-1.0063** **k=0.2213** **n=1.1811**	**0.9942**	**0.0237**	**8.80E-04**	**0.0297**	**0.0062**
12	a=1.0216 b=0.0374 k=0.2732 c=-0.0248	0.9888	0.0330	1.71E-03	0.0414	0.0120	a=1.0115 b=0.1673 k=0.3702 c=-0.0125	0.9938	0.0246	9.53E-04	0.0309	0.0067

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 4: Geliştirilmiş Page, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 11: Weibull dağılımı, 12: Jena Das

Tablo 3.2. Güneşte kurutulan Oregon Spur çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.3375 n=0.9512	0.9990	0.0094	1.08E-04	0.0104	0.0010	k=0.3177 n= 1.1614	0.9991	0.0281	1.13E-04	0.0106	0.0009
2	k=0.3125 a=0.9933	0.9994	0.0106	1.38E-04	0.0117	0.0012	k=0.3905 a= 1.0082	0.9972	0.0163	3.33E-04	0.0185	0.0027
3	k=0.3144	0.9993	0.0108	1.29E-04	0.0113	0.0013	k=0.3880	0.9971	0.0167	3.11E-04	0.0176	0.0028
4	k=0.3192 n=0.9512	0.9990	0.0094	1.08E-04	0.0104	0.0010	k=0.3725 n= 1.1614	0.9991	0.0095	1.13E-04	0.0106	0.0009
5	k=0.3111 a=0.9942 c=-0.0014	0.9987	0.0104	1.47E-04	0.0124	0.0012	k=0.3778 a=1.0173 c=0.0111	0.9978	0.0145	3.02E-04	0.0175	0.0022
6	a=0.9244 k_0=0.2931 b=0.0756 k_1=149.28	0.9993	0.0080	1.02E-04	0.0101	0.0007	a=0.5042 k_0=0.3904 b=0.5042 k_1=0.3905	0.9972	0.0163	4.44E-04	0.0213	0.0027
7	a=-0.1578 b=0.0057	0.8799	0.1030	1.30E-02	0.1139	0.1167	a=-0.1833 b= 0.0075	0.8742	0.1100	1.51E-02	0.1230	0.1210
8	a=1.0000 k=0.3144 b=1.0000	0.9987	0.0108	1.61E-04	0.0127	0.0013	a=1.0000 k=0.3880 b=1.0000	0.9971	0.0167	4.00E-04	0.0200	0.0028
9	a=1.0205 k=0.3153 b=0.3152	0.9987	0.0108	1.61E-04	0.0127	0.0013	a=4.0069 k=0.5584 b=0.6483	0.9991	0.0094	1.27E-04	0.0113	0.0009
10	a=19261.20 b=19132.07 k=0.3125	0.9987	0.0106	1.55E-04	0.0124	0.0012	a=1.4174 b=2.4145 k=0.5079	0.9991	0.0094	1.27E-04	0.0113	0.0009
11	a=-0.0102 b=-1.0090 k=0.3434 n=0.9182	0.9993	0.0065	7.70E-05	0.0101	0.0007	**a=-0.0022 b=-1.0012 k=0.3184 n=1.1536**	**0.9991**	**0.0026**	**1.20E-05**	**0.0121**	**0.0009**
12	**a=1.0085 b=-0.1029 k=0.2546 c=-0.0091**	**0.9994**	**0.0075**	**1.01E-04**	**0.0093**	**0.0006**	a=1.0036 b=0.1880 k=0.4880 c=-0.0040	0.9989	0.0030	1.60E-05	0.0134	0.0011

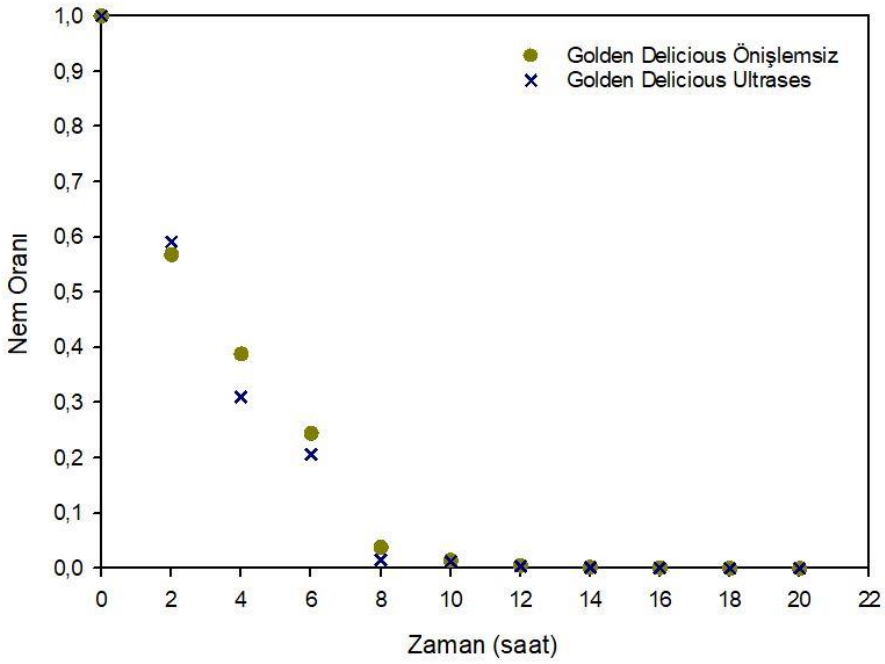
*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 4: Geliştirilmiş Page, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 11: Weibull dağılımı, 12: Jena Das

Tablo 3.3. Güneşte kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

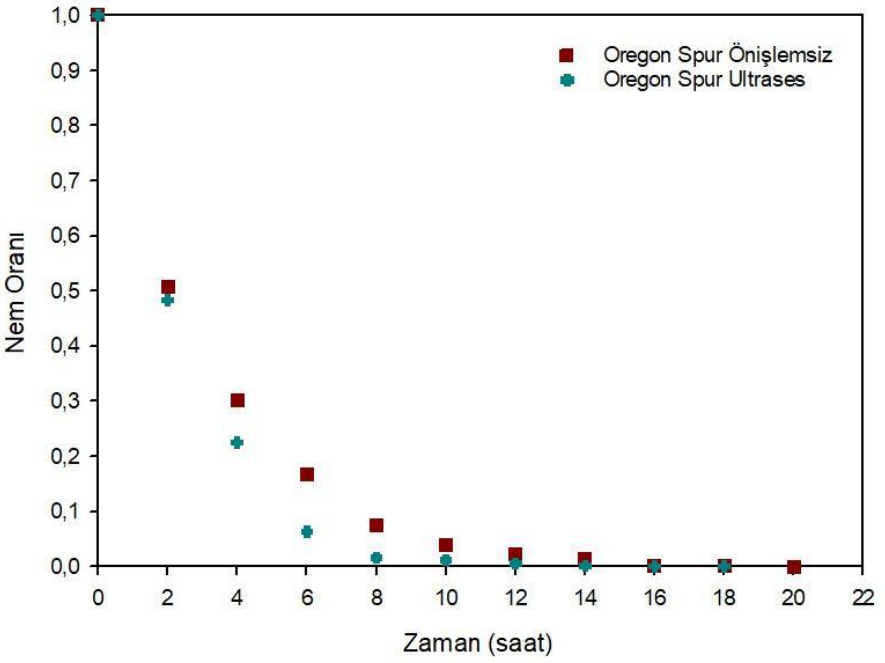
No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.3507 n=1.0357	0.9999	0.0033	1.37E-05	0.0037	0.0001	k=0.1256 n= 1.3554	0.9970	0.0187	4.48E-04	0.0212	0.0031
2	k=0.3680 a=1.0024	0.9998	0.0047	2.83E-05	0.0054	0.0002	k=0.2372 a= 1.0390	0.9828	0.0426	2.34E-03	0.0505	0.0179
3	k=0.3672	0.9998	0.0048	2.62E-05	0.0051	0.0002	k=0.2297	0.9810	0.0468	2.47E-03	0.0497	0.0197
4	k=0.3636 n=1.0357	0.9999	0.0033	1.37E-05	0.0037	0.0001	k=0.2163 n= 1.3554	0.9970	0.0187	4.48E-04	0.0212	0.0031
5	**k=0.3616 a=1.0068 c=-0.0056**	**0.9999**	**0.0032**	**1.58E-05**	**0.0040**	**0.0001**	k=0.1919 a=1.1087 c=-0.0874	0.9925	0.0286	1.23E-03	0.0361	0.0078
6	a=0.5012 k_0=0.3679 b=0.5012 k_1=0.3680	0.9998	0.0047	3.96E-05	0.0064	0.0002	a=0.5195 k_0=0.2372 b=0.5195 k_1=0.2372	0.9828	0.0426	3.27E-03	0.0598	0.0179
7	a=-0.1928 b=0.0085	0.9145	0.0926	1.10E-02	0.1050	0.0771	a=-0.1574 b= 0.0060	0.9964	0.0205	5.39E-04	0.0232	0.0038
8	a=1.0000 k=0.3672 b=1.0000	0.9998	0.0048	3.49E-05	0.0059	0.0002	a=1.0000 k=0.2297 b=1.0000	0.9810	0.0468	3.29E-03	0.0574	0.0197
9	a=1.8897 k=0.4229 b=0.5043	0.9999	0.0033	1.63E-05	0.0040	0.0001	a=7.0994 k=0.3977 b=0.4486	0.9962	0.0209	6.53E-04	0.0255	0.0039
10	a=7.5727 b=8.5735 k=0.3926	0.9999	0.0033	1.67E-05	0.0041	0.0001	**a=0.4269 b=1.4126 k=0.4047**	**0.9978**	**0.0160**	**3.86E-04**	**0.0196**	**0.0023**
11	a=-0.0034 b=-1.0036 k=0.3534 n=1.0222	0.9999	0.0042	3.16E-05	0.0038	0.0001	a=-0.0203 b=-1.0134 k=0.1280 n=1.3080	0.9977	0.0083	1.25E-04	0.0218	0.0024
12	a=1.0036 b=-0.0316 k=0.3806 c=-0.0035	0.9999	0.0044	3.42E-05	0.0036	0.0001	a=1.0400 b=0.1789 k=0.2858 c=-0.0423	0.9964	0.0097	1.69E-04	0.0275	0.0038

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 4: Geliştirilmiş Page, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 11: Weibull dağılımı, 12: Jena Das

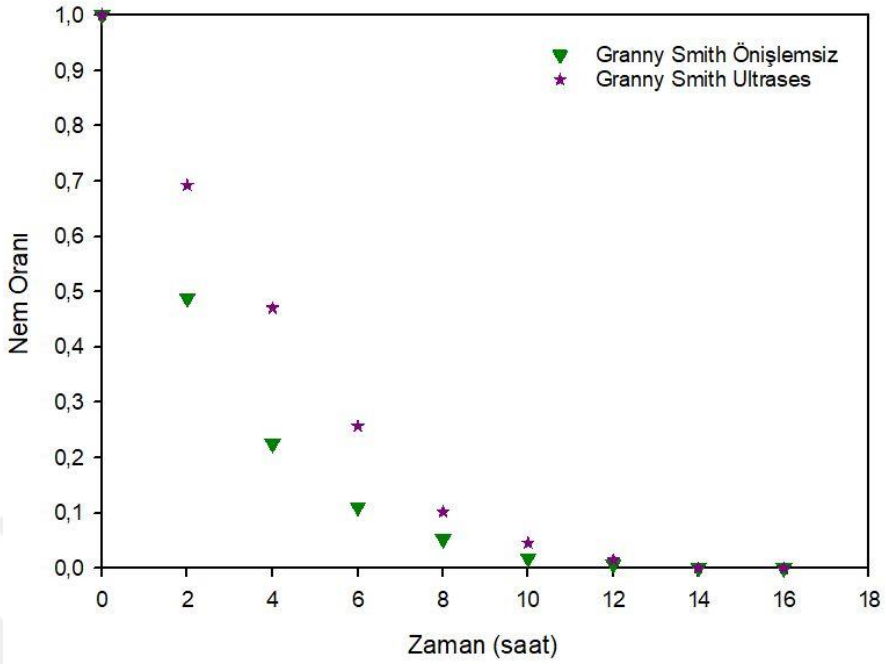
Şekil 3.11'de güneşte kurutulan elma örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi verilmiştir. Güneşte kurutma için numunelerin nem oranı değerlerinin 8. saatte 0.1 nem oranının altına düştüğü gözlemlenmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.11. Güneşte kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Page modelinden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi

Kontrollü sera koşullarında kurutma işlemi için tüm çeşitlerde 12 farklı matematiksel model kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre Golden Delicious çeşidi için kontrollü serada kurutulan ön işlemsiz ürünlerin hesaplanan nem oranı değerlerinde en yüksek R^2 değerine sahip olan model 10 numaralı Logistic olurken ultrases ön işlemli örneklerde 11 numaralı Weibull dağılım modeli olmuştur (Tablo 3.4). Bu hususta en düşük RMSE değerleri yine aynı modellerde elde edilmiştir. Tablo 3.5'te kontrollü serada kurutulan Oregon Spur çeşidine ait elma örneklerine uygulanan modellere ilişkin katsayılar ve istatistiksel analiz sonuçlar sunulmuştur. Ön işlemsiz numunelerde R^2 ve RMSE sonuçlarına göre en uygun model 4 numaralı Geliştirilmiş Page modeli olmuştur. Ultrases ön işlem uygulanarak kurutulmuş örneklerde ise kurutma davranışını için en yüksek R^2 değerine sahip model 10 numaralı Logistic model olmuştur. Tablo 3.6'da kontrollü serada kurutulan Granny Smith çeşidine ait örnekler için modellere ait istatistiksel değerler ve model katsayıları verilmiştir. Ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli örnekler için en yüksek R^2 değerine sahip model yine 10 numaralı Logistic modeli olmuştur.

Tablo 3.4. Kontrollü serada kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.2675 n=1.4059	0.9943	0.0255	8.35E-04	0.0289	0.0058	k=0.3026 n= 1.3135	0.9931	0.0276	9.82E-04	0.0313	0.0069
2	k=0.4312 a=1.0284	0.9812	0.0452	2.62E-03	0.0523	0.0192	k=0.4378 a= 1.0214	0.9844	0.0409	2.15E-03	0.0471	0.0155
3	k=0.4220	0.9803	0.0472	2.51E-03	0.0501	0.0201	k=0.4306	0.9839	0.0422	2.01E-03	0.0448	0.0160
4	k=0.3914 n=1.4055	0.9943	0.0255	8.35E-04	0.0289	0.0058	k=0.4025 n= 1.3130	0.9931	0.0276	9.82E-04	0.0313	0.0069
5	k=0.3860 a=1.0632 c=-0.0419	0.9861	0.0390	2.28E-03	0.0486	0.0142	k=0.3940 a=1.0535 c=-0.0390	0.9888	0.0349	1.82E-03	0.0431	0.0112
6	a=0.5142 k_0=0.4334 b=0.5142 k_1=0.4292	0.9812	0.0452	3.67E-03	0.0619	0.0192	a=0.5107 k_0=0.4381 b=0.5107 k_1=0.4377	0.9844	0.0409	3.02E-03	0.0557	0.0155
7	a=-0.2513 b=0.0146	0.9677	0.0604	4.70E-03	0.0685	0.0329	a=-0.2526 b= 0.0147	0.9652	0.0621	4.96E-03	0.0704	0.0347
8	a=1.0000 k=0.4220 b=1.0000	0.9803	0.0472	3.34E-03	0.0578	0.0033	a=1.0000 k=0.4306 b=1.0000	0.9839	0.0422	2.67E-03	0.0517	0.0160
9	a=6.8115 k=0.7421 b=0.8506	0.9933	0.0276	1.15E-03	0.0339	0.0069	a=4.5422 k=0.6923 b=0.8289	0.9925	0.0288	1.25E-03	0.0353	0.0075
10	**a=0.3960 b=1.3864 k=0.7538**	**0.9946**	**0.0247**	**9.16E-04**	**0.0304**	**0.0055**	a=0.5715 b=1.5604 k=0.6920	0.9934	0.0270	1.09E-03	0.0331	0.0066
11	a=-0.0089 b=-1.0032 k=0.2650 n=1.3873	0.9946	0.0248	1.10E-03	0.0332	0.0055	**a=-0.0129 b=-1.0073 k=0.3009 n=1.2824**	**0.9937**	**0.0264**	**1.26E-03**	**0.0354**	**0.0063**
12	a=1.0155 b=0.3831 k=0.6300 c=-0.0170	0.9928	0.0286	1.47E-03	0.0384	0.0074	a=1.0187 b=0.2762 k=0.5704 c=-0.0204	0.9923	0.0291	1.53E-03	0.0391	0.0076

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 4: Geliştirilmiş Page, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 11: Weibull dağılımı, 12: Jena Das

Tablo 3.5. Kontrollü serada kurutulan Oregon Spur çeşidi ait elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**Katsayı**	**R^2**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**Katsayı**	**R^2**	**RSS**
1	k=0.1552 n=1.8726	0.9965	0.0208	5.55E-04	0.0236	0.0039	k=0.1520 n= 1.7584	0.9921	0.0314	1.26E-03	0.0356	0.0089
2	k=0.4226 a=1.0556	0.9578	0.0701	6.31E-03	0.0822	0.0473	k=0.3927 a= 1.0549	0.9574	0.0707	6.42E-03	0.0828	0.0479
3	k=0.4063	0.9546	0.0751	6.35E-03	0.0797	0.0508	k=0.3774	0.9543	0.0756	6.43E-03	0.0802	0.0515
4	**k=-0.2954 n=0.6793**	**0.9999**	**0.0027**	**1.14E-05**	**0.0014**	**0.0003**	k=0.3426 n= 1.7593	0.9921	0.0314	1.26E-03	0.0356	0.0089
5	k=0.3696 a=1.1036 c=-0.0555	0.9655	0.0635	6.05E-03	0.0802	0.0386	k=0.3340 a=1.1123 c=-0.0676	0.9672	0.0623	5.83E-03	0.0785	0.0370
6	a=0.5276 k_0=0.4235 b=0.5276 k_1=0.4209	0.9578	0.0701	8.85E-03	0.0972	0.0473	a=0.5272 k_0=0.3933 b=0.5272 k_1=0.3912	0.9574	0.0707	9.00E-03	0.0979	0.0479
7	a=-0.2515 b=0.0146	0.9635	0.0674	5.84E-03	0.0764	0.0409	a=-0.2427 b= 0.0137	0.9746	0.0564	4.08E-03	0.0639	0.0286
8	a=1.0000 k=0.4063 b=1.0000	0.9546	0.0751	8.47E-03	0.0920	0.0508	a=1.0000 k=0.3774 b=1.0000	0.9543	0.0756	8.58E-03	0.0926	0.0515
9	a=9.9995 k=0.8908 b=1.0294	0.9932	0.0290	1.26E-03	0.0356	0.0013	a=9.4181 k=0.7718 b=0.8822	0.9878	0.0391	2.30E-03	0.0479	0.0138
10	a=0.1069 b=1.0986 k=1.0717	0.9965	0.0207	6.43E-04	0.0255	0.0039	**a=0.1279 b=1.1108 k=0.9336**	**0.9929**	**0.0295**	**1.30E-03**	**0.0366**	**0.0080**
11	a=-0.0038 b=-0.9965 k=0.1509 n=1.8818	0.9966	0.0204	7.51E-04	0.0274	0.0038	a=-0.0086 b=-0.9949 k=0.1443 n=1.7719	0.9926	0.0304	1.67E-03	0.0408	0.0083
12	a=1.0113 b=-0.7968 k=0.8743 c=-0.0126	0.9927	0.0301	1.63E-03	0.0403	0.0081	a=1.0197 b=0.5871 k=0.6927 c=-0.0222	0.9871	0.0402	2.91E-03	0.0540	0.0146

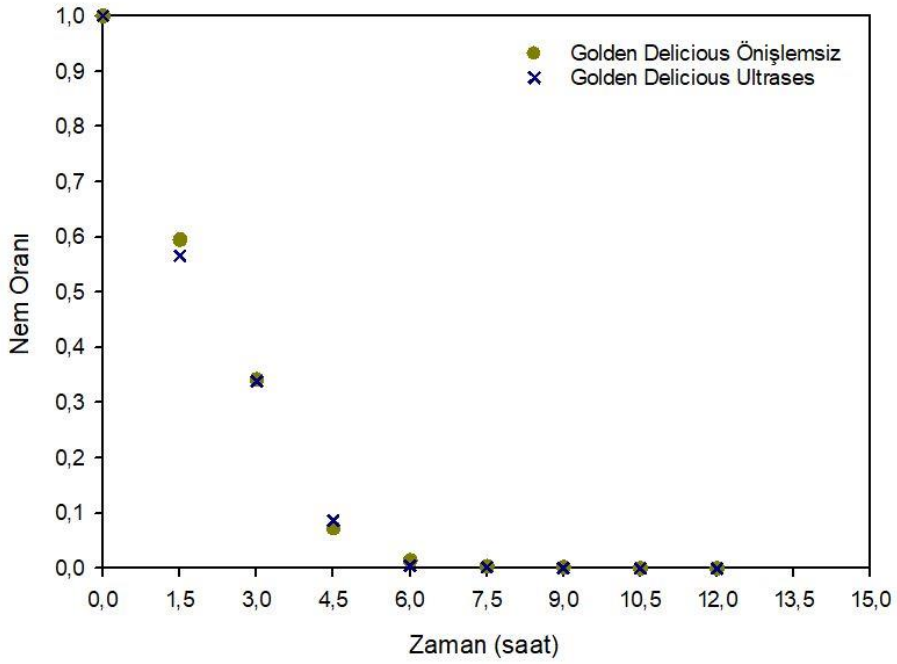
*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 4: Geliştirilmiş Page, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 11: Weibull dağılımı, 12: Jena Das

Tablo 3.6. Kontrollü serada kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

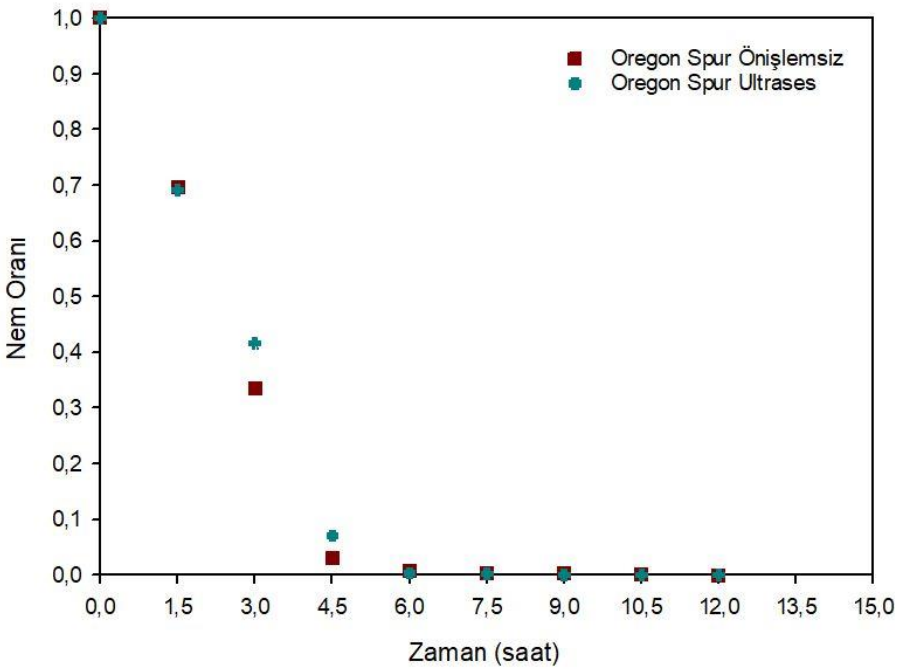
No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.1689 n=1.7059	0.9922	0.0309	1.23E-03	0.0351	0.0086	k=0.2069 n= 1.5631	0.9895	0.0354	1.61E-03	0.0401	0.0113
2	k=0.4010 a=1.0502	0.9615	0.0666	5.71E-03	0.0779	0.0425	k=0.4114 a= 1.0401	0.9671	0.0612	4.82E-03	0.0710	0.0353
3	k=0.3867	0.9589	0.0710	5.68E-03	0.0753	0.0454	k=0.3995	0.9654	0.0642	4.64E-03	0.0681	0.0371
4	k=0.3525 n=1.7064	0.9922	0.0309	1.23E-03	0.0351	0.0086	k=0.3650 n= 1.5636	0.9895	0.0354	1.61E-03	0.0401	0.0113
5	k=0.3459 a=1.1015 c=-0.0605	0.9699	0.0593	5.27E-03	0.0745	0.0333	k=0.3583 a=1.0862 c=-0.0550	0.9745	0.0542	4.40E-03	0.0676	0.0046
6	a=0.5249 k_0=0.3989 b=0.5249 k_1=0.4026	0.9615	0.0667	8.00E-03	0.0922	0.0425	a=0.5199 k_0=0.4100 b=0.5199 k_1=0.4124	0.9671	0.0612	6.75E-03	0.0841	0.0353
7	a=-0.2428 b=0.0139	0.9723	0.0583	4.37E-03	0.0661	0.0306	a=-0.2476 b= 0.0142	0.9716	0.0582	4.35E-03	0.0659	0.0304
8	a=1.0000 k=0.3867 b=1.0000	0.9589	0.0710	7.57E-03	0.0870	0.0454	a=1.0000 k=0.3995 b=1.0000	0.9654	0.0642	6.19E-03	0.0787	0.0371
9	a=9.4181 k=0.7718 b=0.8822	0.9878	0.0381	2.18E-03	0.0479	0.0138	a=5.8649 k=0.7356 b=0.8866	0.9868	0.0397	2.37E-03	0.0486	0.0142
10	**a=0.1505 b=1.1359 k=0.9157**	**0.9928**	**0.0293**	**1.29E-03**	**0.0363**	**0.0079**	**a=0.2263 b=1.2108 k=0.8338**	**0.9901**	**0.0340**	**1.74E-03**	**0.0420**	**0.0106**
11	a=-0.0066 b=-0.9952 k=0.1622 n=1.7154	0.9925	0.0303	1.66E-03	0.0407	0.0083	a=-0.0102 b=-0.9993 k=0.2007 n=1.5569	0.9900	0.0345	2.14E-03	0.0463	0.0107
12	a=1.0166 b=-0.5819 k=0.7058 c=-0.0187	0.9879	0.0385	2.67E-03	0.0517	0.0134	a=1.0190 b=0.4729 k=0.6523 c=-0.0213	0.9862	0.0406	2.96E-03	0.0545	0.0148

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 4: Geliştirilmiş Page, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 11: Weibull dağılımı, 12: Jena Das

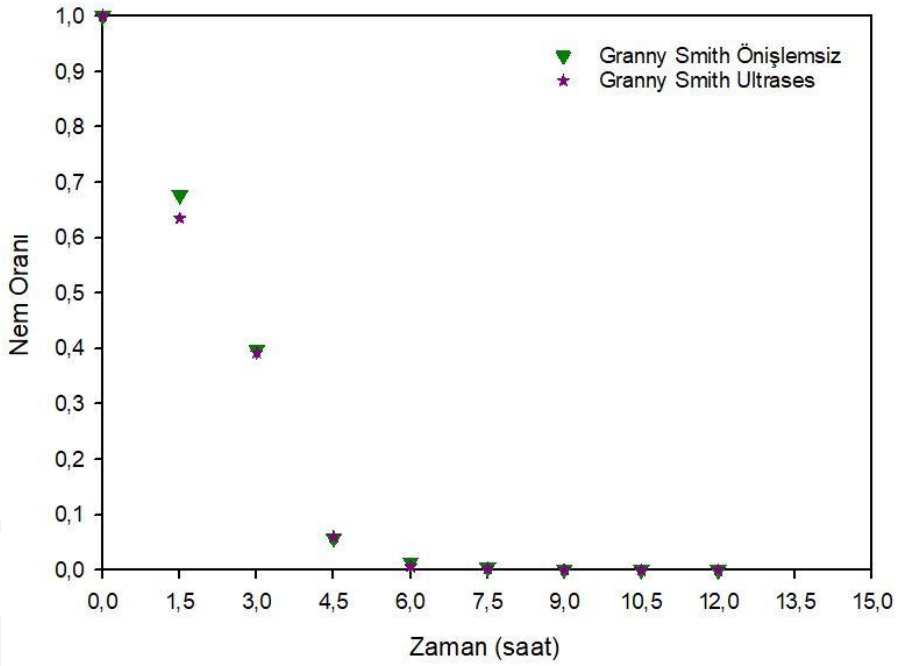
Nem oranı değerlerinin kuruma süresine bağlı değişimi için elde edilen deneysel değerler Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Tüm çeşitlerin nem oranı değeri 4.5 saatin sonunda 0.1 nem oranı değerinin altına düşmüştür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.12. Kontrollü serada kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Logistic modelden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi

Mikrodalgada 200 W gücünde kurutma işlemi için tüm çeşitlerde 10 farklı matematiksel model ele alınmıştır. Geliştirilmiş Page ve Weibull dağılımı modelinde işlem sonuçları tanımsız çıktığı için bu modeller göz ardı edilmiştir. Tablo 3.7 incelendiğinde ön işlemsiz grupta en iyi istatistiksel sonuçlar R^2: 0,9954, RMSE: 0,0188, χ^2: 5,90E-04, SEE: 0,0284 ve RSS:0,0049 değerleri ile Jena Das modelinde belirlenmiştir. Ultrases ön işlemli örneklerde ise en yüksek R^2 değerine sahip model yine Jena Das olmuştur. Mikrodalga fırında kurutulan Oregon Spur çeşidine ait elma örneklerine uygulanan model katsayıları ve hesaplanan değerlerle deneysel veriler arasındaki belirtme katsayıları incelendiğinde en yüksek belirtme katsayısı hem ön işlemsiz hem de ultrases ön işlemli ürünlerde Jena Das modelinde elde edilmiştir. Tablo 3.8'de görüldüğü üzere ilgili modelin RMSE, SEE ve RSS değerleri de oldukça düşük bulunmuştur. Mikrodalga fırında gerçekleştirilen denemeler sonucunda, Granny Smith çeşidi elma örnekleri için uygulanan tüm modellere ait R^2, RMSE, χ^2, RSS ve SEE sonuçları Tablo 3.9'da verilmiştir. Diğer çeşitlere benzer şekilde mikrodalga kurutma sonucu en yüksek belirtme katsayısına sahip model bu çeşit için de Jena Das modeli olmuştur. Modeller arasında en düşük belirtme katsayısına sahip modeller ise her iki uygulama koşulunda da Newton ve Difüzyon yaklaşımı modeli olmuştur.

Tablo 3.7. Mikrodalga fırında kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.0318 n=1.3775	0.9801	0.0459	2.63E-03	0.0513	0.0210	k=0.0140 n= 1.7677	0.9961	0.0220	6.44E-04	0.0254	0.0039
2	k=0.0887 a=1.0446	0.9583	0.0663	5.49E-03	0.0741	0.0439	k=0.1001 a= 1.1069	0.9396	0.0861	9.88E-03	0.0851	0.0593
3	k=0.0851	0.9554	0.0686	5.23E-03	0.0723	0.0471	k=0.0905	0.9223	0.0976	1.09E-02	0.1043	0.0762
5	k=0.0373 a=1.6029 c=-0.6175	0.9951	0.0227	7.35E-04	0.0271	0.0051	k=0.0263 a=2.5099 c=-1.4652	0.9917	0.0319	1.63E-03	0.0404	0.0082
6	a=0.5223 k_0=0.0887 b=0.5223 k_1=0.0887	0.9583	0.0663	7.32E-03	0.0856	0.0439	a=0.5335 k_0=0.1001 b=0.5335 k_1=0.1001	0.9396	0.0861	1.48E-02	0.1217	0.0593
7	a=-0.0589 b=0.0008	0.9951	0.0663	5.49E-03	0.0255	0.0052	a=-0.0575 b= 0.0004	0.9891	0.0861	9.88E-03	0.0422	0.0107
8	a=1.0000 k=0.0851 b=1.0000	0.9554	0.0686	6.72E-03	0.0820	0.0471	a=1.0000 k=0.0905 b=1.0000	0.9223	0.0976	1.52E-02	0.1234	0.0762
9	a=8.0263 k=0.1488 g=0.1647	0.9784	0.0478	3.26E-03	0.0571	0.0228	a=7.9675 k=0.1982 g=0.2327	0.9925	0.0303	1.47E-03	0.0383	0.0073
10	a=0.2635 b=1.2046 k=0.1714	0.9862	0.0324	1.50E-03	0.0456	0.0145	a=0.1442 b=1.1554 k=0.2399	0.9949	0.0248	9.88E-04	0.0317	0.0050
12	**a=1.8182 b=-0.0144 k=0.0282 c=-0.8233**	**0.9954**	**0.0188**	**5.90E-04**	**0.0284**	**0.0049**	**a=1.3296 b=0.1219 k=0.0925 c=-0.3289**	**0.9998**	**0.0044**	**3.83E-05**	**0.0062**	**0.0002**

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 12: Jena Das

Tablo 3. 8. Mikrodalga fırında kurutulan Oregon Spur çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.0056 n=1.9693	0.9929	0.0291	1.09E-03	0.0330	0.0076	k=0.0290 n= 1.4829	0.9937	0.0269	9.29E-04	0.0305	0.0065
2	k=0.0801 a=1.1142	0.9154	0.1002	1.29E-02	0.1136	0.0904	k=0.1021 a= 1.0699	0.9642	0.0639	5.26E-03	0.0725	0.0368
3	k=0.0716	0.8952	0.1116	1.40E-02	0.1183	0.1120	k=0.0957	0.9572	0.0699	5.50E-03	0.0742	0.0440
5	k=0.0005 a=81.1948 c=-80.1637	0.9940	0.0268	1.08E-03	0.0328	0.0011	k=0.0487 a=1.5192 c=-0.5003	0.9971	0.0182	4.97E-04	0.0223	0.0030
6	a=0.5571 k_0=0.0801 b=0.5571 k_1=0.0801	0.9154	0.1002	1.81E-02	0.1344	0.0904	a=0.5350 k_0=0.1021 b=0.5350 k_1=0.1021	0.9642	0.0639	7.36E-03	0.0858	0.0368
7	a=-0.0398 b=-0.0001	0.9926	0.1002	1.29E-02	0.0336	0.0079	a=-0.0668 b= 0.0010	0.9980	0.0639	5.26E-03	0.0170	0.0020
8	a=1.0000 k=0.0716 b=1.0000	0.8952	0.1116	1.87E-02	0.1366	0.1120	a=1.0000 k=0.0957 b=1.0000	0.9572	0.0699	7.33E-03	0.0856	0.0440
9	a=9.3846 k=0.1607 g=0.1841	0.9782	0.0509	3.88E-03	0.0623	0.0233	a=8.2224 k=0.1818 g=0.2047	0.9911	0.0320	1.53E-03	0.0392	0.0092
10	a=0.0705 b=1.0479 k=0.2328	0.9955	0.0221	7.34E-04	0.0284	0.0048	a=0.2671 b=1.2520 k=0.1993	0.9948	0.0241	8.68E-04	0.0299	0.0053
12	**a=2.4005 b=-0.0371 k=0.0305 c=-1.4048**	**0.9974**	**0.0176**	**5.59E-04**	**0.0237**	**0.0028**	**a=1.2914 b=0.0540 k=0.0755 c=-0.2924**	**0.9987**	**0.0124**	**2.76E-04**	**0.0166**	**0.0014**

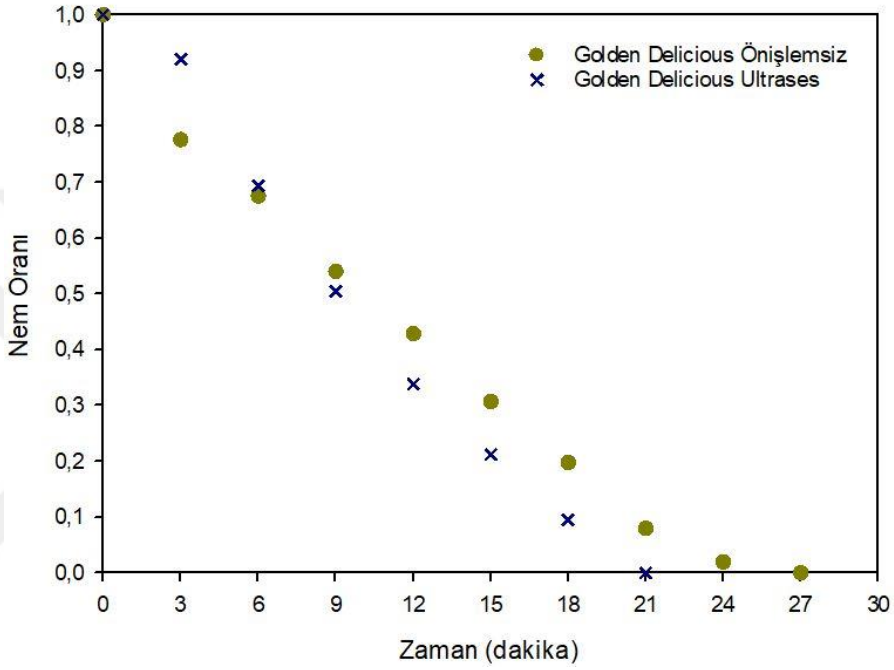
*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 12: Jena Das

Tablo 3.9. Mikrodalga fırında kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

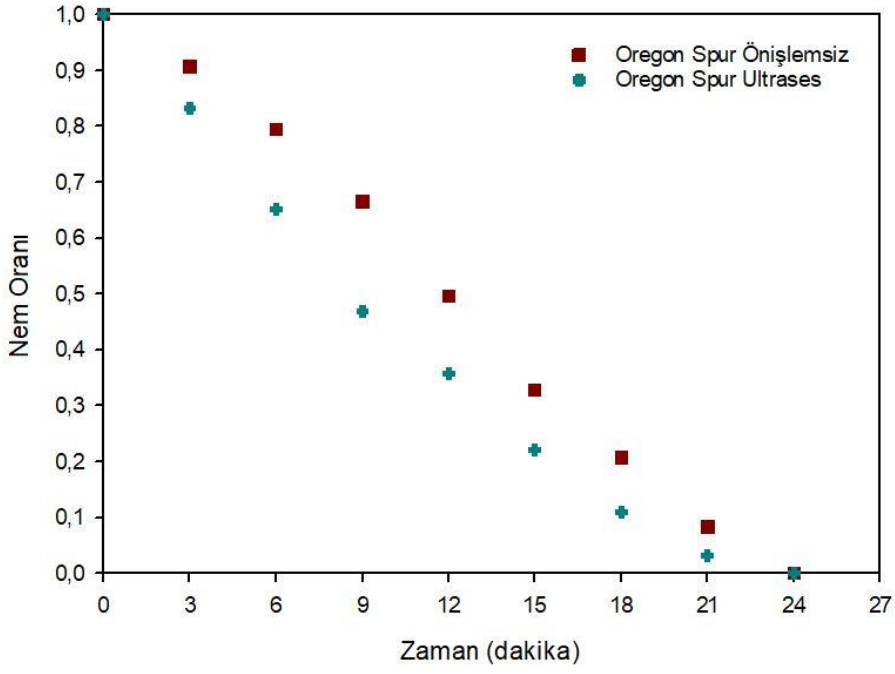
No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.0149 n=1.6940	0.9960	0.0219	6.17E-04	0.0248	0.0043	k=0.0133 n= 1.6943	0.9933	0.0277	9.84E-04	0.0314	0.0069
2	k=0.0940 a=1.0947	0.9469	0.0796	8.14E-03	0.0902	0.0570	k=0.0873 a= 1.0953	0.9432	0.0809	8.41E-03	0.0917	0.0589
3	k=0.0862	0.9340	0.0887	8.85E-03	0.0941	0.0708	k=0.0797	0.9293	0.0902	9.16E-03	0.0957	0.0733
5	k=0.0318 a=2.0017 c=-0.9689	0.9944	0.0258	9.97E-04	0.0316	0.0060	k=0.0206 a=2.6952 c=-1.6686	0.9968	0.0192	5.54E-04	0.0235	0.0033
6	a=0.5473 k_0=0.0940 b=0.5473 k_1=0.0940	0.9469	0.0796	1.14E-02	0.1068	0.0570	a=0.5477 k_0=0.0873 b=0.5477 k_1=0.0873	0.9432	0.0809	1.18E-02	0.1085	0.0589
7	a=-0.0571 b=0.0006	0.9938	0.0796	8.14E-03	0.0307	0.0066	a=-0.0508 b= 0.0003	0.9960	0.0809	8.41E-03	0.0243	0.0041
8	a=1.0000 k=0.0862 b=1.0000	0.9340	0.0887	1.18E-02	0.1086	0.0708	a=1.0000 k=0.0797 b=1.0000	0.9293	0.0902	1.22E-02	0.1105	0.0733
9	a=9.5939 k=0.1796 g=0.2023	0.9900	0.0345	1.79E-03	0.0313	0.0059	a=7.8679 k=0.2562 g=0.2893	0.9887	0.0391	2.29E-03	0.0434	0.0113
10	a=0.1449 b=1.1313 k=0.2200	0.9973	0.0176	4.67E-04	0.0221	0.0029	a=0.1443 b=1.1285 k=0.2065	0.9949	0.0238	8.53E-04	0.0297	0.0053
12	**a=1.3778 b=-0.0786 k=0.0717 c=-0.3805**	**0.9986**	**0.0128**	**2.94E-04**	**0.0172**	**0.0015**	**a=1.6402 b=0.0488 k=0.0497 c=-0.6413**	**0.9993**	**0.0092**	**1.52E-04**	**0.0123**	**0.0008**

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 12: Jena Das

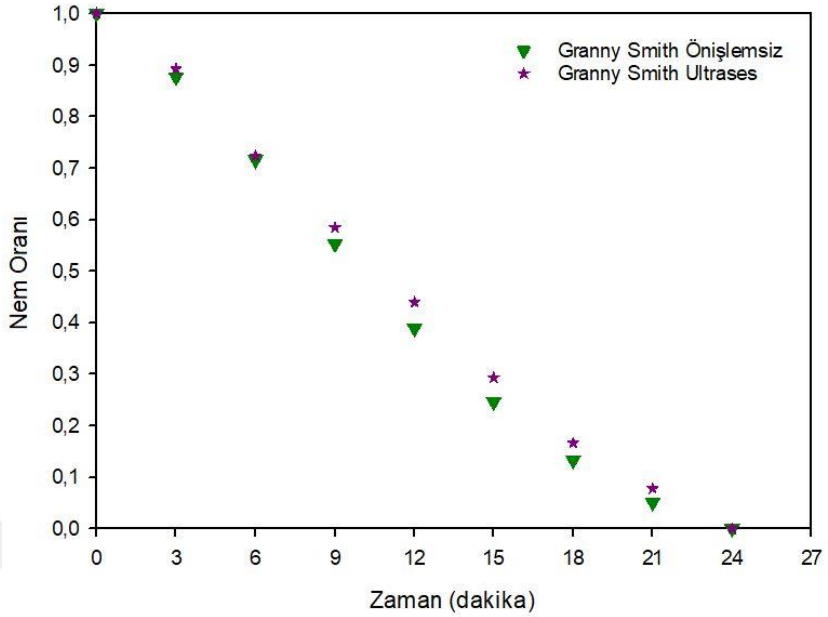
Nem oranı değerleri yarılanıncaya kadarki kuruma süresi, ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli Golden Delicious ve Granny Smith çeşitlerine ait örneklerde yaklaşık olarak 9. dakikada gerçekleşmiştir. Oregon Spur çeşidine ait örneklerde bu durum ön işlemsiz örneklerde 12. dakikada, ultrases ön işlemli örneklerde ise 9. dakikada meydana gelmiştir. Beklenildiği gibi nem içeriğinin ikinci yarısını uzaklaştırmak için gerekli olan süre ilk yarılanmaya göre daha uzun olmuştur (Şekil 3.13).



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.13. Mikrodalga fırında kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Jena Das modelden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi

Hibrit kurutulan örneklerde tüm çeşitler için 7 farklı matematiksel model ele alınmıştır. Bu kurutma yönteminde 4 numaralı Geliştirilmiş Page, 5 numaralı Logaritmik, 8 numaralı Difüzyon yaklaşımı, 11 numaralı Weibull dağılımı ve 12 numaralı Jena Das modelinde işlem sonuçları tanımsız çıktığı için bu modeller göz ardı edilmiştir. Tablo 3.10'da hibrit sistemle kurutulan Golden Delicious çeşidine ait elma örneklerine uygulanan modellere ilişkin katsayılar ve istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. Bulgulara göre ön işlemsiz uygulamada en iyi istatistiksel sonuçlara sahip model R^2: 0.9988 değerleri ile 7 numaralı Wang & Singh modeli olmuştur. Ön işlem uygulanan örneklerde ise en yüksek değerler 0.9991 belirtme katsayısı ile yine Wang & Singh modeli olmuştur. Hibrit kurutulan Oregon Spur çeşidine ait ön işlem uygulanmayan elma örneklerinde en yüksek değerler R^2: 0.9990 değeri ile Wang & Singh olmuştur. Ön işlemsiz örneklerde ise 0.9994 değeri ile yine Wang & Singh en yüksek belirtme katsayısına sahip model olmuştur. Bu koşulda en düşük belirtme katsayıları 3 numaralı Newton modelinde elde edilmiştir (Tablo 3.11). Hibrit kurutulan Granny Smith çeşidine ait elma örneklerinde kurutma davranışında en yüksek R^2 değerine sahip model hem ön işlemsiz uygulamada hem de ultrases ön işlemli uygulamada Wang & Singh modeli olmuştur. Hibrit kurutulan tüm çeşitlerde en düşük R^2 ve en yüksek RMSE değerleri Newton modelinde tespit edilmiştir (Tablo 3.12).

Tablo 3.10. Hibrit kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.0017 n=1.5406	0.9868	0.0368	1.60E-03	0.0400	0.0176	k=0.0022 n= 1.5018	0.9838	0.0400	1.92E-03	0.0438	0.0192
2	k=0.0178 n=1.0821	0.9497	0.0680	5.47E-03	0.0780	0.0669	k=0.0184 n= 1.0761	0.9504	0.0666	5.32E-03	0.0768	0.0590
3	k=0.0164	0.9395	0.0786	6.70E-03	0.0819	0.0804	k=0.0170	0.9410	0.0765	6.38E-03	0.0799	0.0702
6	a=0.5411 k_0=0.0178 b=0.5411 k_1=0.0178	0.9497	0.0680	6.68E-03	0.0862	0.0669	a=0.5380 k_0=0.0184 b=0.5380 k_1=0.0184	0.9504	0.0666	6.65E-03	0.0859	0.0590
7	**a=-0.0108 b=1.8990**	**0.9988**	**0.0108**	**1.39E-04**	**0.0118**	**0.0015**	**a=-0.0111 b=1.7891**	**0.9991**	**0.0096**	**1.11E-04**	**0.0105**	**0.0011**
9	a=1.1727 k=0.0193 b=33.3529	0.9602	0.0638	5.28E-03	0.0727	0.0528	a=1.1668 k=0.0200 b=33.8645	0.9609	0.0622	5.17E-03	0.0719	0.0465
10	a=0.1709 b=1.1265 k=0.0392	0.9919	0.0288	1.08E-03	0.0328	0.0108	a=0.1974 b=1.1577 k=0.0394	0.9886	0.0336	1.51E-03	0.0388	0.0136

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 9: Verma, 10: Logistic

Tablo 3. 11. Hibrit kurutulan Oregon Spur çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.0015 n=1.5535	0.9898	0.0324	1.23E-03	0.0350	0.0147	k=0.0050 n= 1.3958	0.9885	0.0342	1.46E-03	0.0382	0.0117
2	k=0.0167 n=1.0914	0.9522	0.0658	5.05E-03	0.0758	0.0689	k=0.0243 n= 1.0580	0.9652	0.0565	3.99E-03	0.0664	0.0353
3	k=0.0152	0.9400	0.0786	6.65E-03	0.0816	0.0865	k=0.0229	0.9598	0.0639	4.53E-03	0.0673	0.0408
6	a=0.5457 k_0=0.0167 b=0.5457 k_1=0.0167	0.9522	0.0658	6.06E-03	0.0830	0.0689	a=0.5290 k_0=0.0243 b=0.5290 k_1=0.0243	0.9652	0.0565	5.32E-03	0.0767	0.0353
7	**a=-0.0101 b=1.7096**	**0.9990**	**0.0102**	**1.21E-04**	**0.0110**	**0.0014**	**a=-0.0159 b= 5.3148**	**0.9994**	**0.0080**	**7.93E-05**	**0.0089**	**0.0006**
9	a=1.1831 k=0.0181 b=37.1954	0.9637	0.0612	4.76E-03	0.0690	0.0524	a=1.1612 k=0.0267 b=26.0663	0.9742	0.0511	3.73E-03	0.0611	0.0261
10	a=0.1791 b=1.1441 k=0.0362	0.9935	0.0259	8.52E-04	0.0292	0.0094	a=0.3059 b=1.2738 k=0.0459	0.9916	0.0291	1.21E-03	0.0348	0.0085

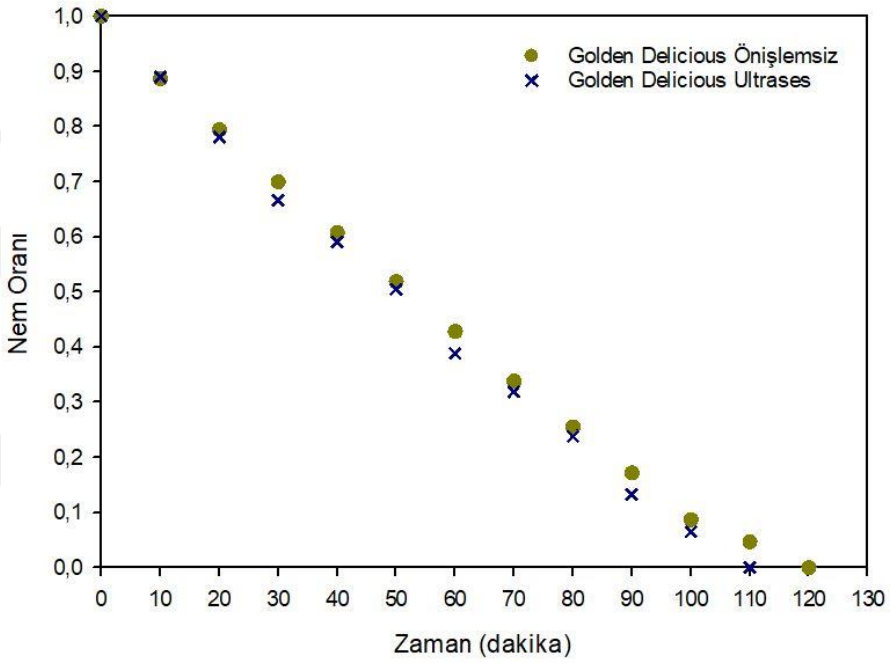
*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 9: Verma, 10: Logistic

Tablo 3. 12. Hibrit kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

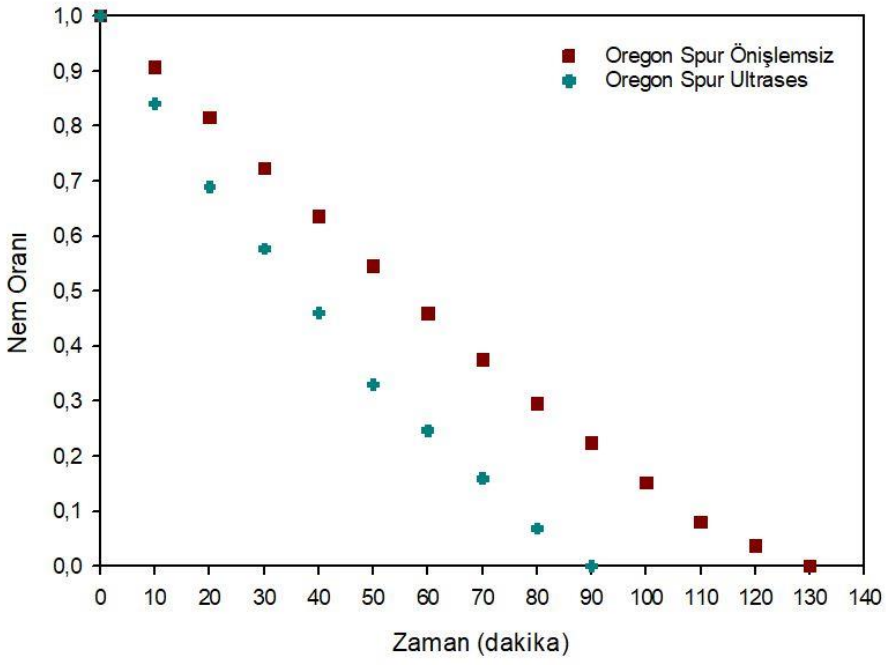
No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayı	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayı**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.0009 n=1.6568	0.9842	0.0401	1.90E-03	0.0436	0.0209	k=0.0042 n= 1.3570	0.9813	0.0418	2.10E-03	0.0458	0.0210
2	k=0.0163 n=1.0944	0.9358	0.0766	6.93E-03	0.0880	0.0851	k=0.0189 n= 1.0486	0.9602	0.0594	4.23E-03	0.0668	0.0447
3	k=0.0148	0.9216	0.0894	8.65E-03	0.0930	0.1038	k=0.0180	0.9562	0.0640	4.46E-03	0.0668	0.0491
6	a=0.5472 k_0=0.0163 b=0.5472 k_1=0.0163	0.9358	0.0766	8.47E-03	0.0972	0.0851	a=0.5243 k_0=0.0189 b=0.5243 k_1=0.0189	0.9602	0.0594	5.29E-03	0.0747	0.0447
7	**a=-0.0090 b=4.3798**	**0.9991**	**0.0095**	**1.08E-04**	**0.0104**	**0.0012**	**a=-0.0124 b= 3.0494**	**0.9976**	**0.0150**	**2.69E-04**	**0.0164**	**0.0027**
9	a=1.1896 k=0.0178 b=37.7953	0.9491	0.0720	6.74E-03	0.0821	0.0674	a=1.1076 k=0.0200 b=26.4130	0.9648	0.0574	4.39E-03	0.0662	0.0395
10	a=0.1207 b=1.0759 k=0.0402	0.9903	0.0315	1.29E-03	0.0359	0.0129	a=0.2744 b=1.2165 k=0.0367	0.9878	0.0337	1.52E-03	0.0389	0.0136

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 9: Verma, 10: Logistic

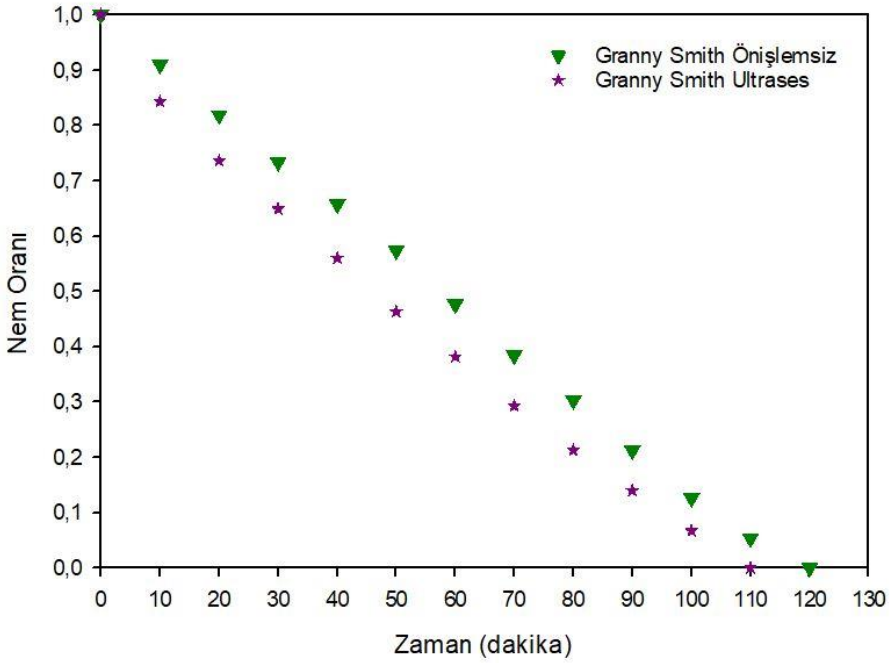
Nem oranı değeri 0.5 oluncaya kadarki kuruma süresi ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli Golden Delicious çeşidinde, ön işlemsiz Oregon Spur çeşidinde ve ultrases ön işlemli Granny Smith çeşitlerine ait örneklerde yaklaşık olarak 50 dakika sürmüştür. Ultrases ön işlemli Oregon Spur ve ön işlemsiz Granny Smith çeşitlerinde bu proses sırasıyla yaklaşık olarak 40 ve 60 dakikada gerçekleşmiştir. Oregon Spur çeşidi nem oranının kuruma süresine bağlı değişim farkının en fazla olduğu çeşit olarak saptanmıştır (Şekil 3.14).



(a)



(b)



(c)

Şekil 3. 14. Hibrit sistemle kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Wang & Sing modelinden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi

Fan destekli konvektif kurutucuda 70ºC'de gerçekleştirilen kurutma işlemi için tüm çeşitlerde 12 farklı matematiksel model kullanılmıştır. Deney sonuçlarında 70ºC'de kurutulan Golden Delicious çeşidine ait ön işlemsiz numunelerde en yüksek R^2 (0.9998) ile en düşük RMSE (0.0044), χ^2 (2.45E-05), SEE (0.0050) ve RSS (0.0002) değerine sahip olan model 7 numaralı Wang & Singh olmuştur. Bu modele ait katsayılar a=-0.2429 ve b=0.0147 olarak elde edilmiştir. Ultrases ön işlemli ürünlerde en yüksek R^2 (0.9985) değerine sahip olan model ise 11 numaralı Weibull dağılımı olmuştur. Her iki uygulamaya ait sonuçlarda 0.9605 değerinin altında belirtme katsayısı tespit edilmemiştir (Tablo 3.13). Konvektif olarak kurutulan Oregon Spur çeşidine ait elma örneklerine uygulanan modellere ilişkin katsayılar ve istatistiksel analiz sonuçları Tablo 3.14'te sunulmuştur. Hem ön işlemli hem de ön işlemsiz uygulamada en yüksek R^2 ve en düşük RMSE değerleri 11 numaralı Weibull dağılımı modelinde belirlenmiştir. Granny Smith çeşidine ait konvektif kurutucuda kurutulan hem ön işlemli hem de ön işlemsiz örnekler için en iyi istatistiksel sonuçları veren model Weibull dağılımı olmuştur. (Tablo 3.15).

Tablo 3. 13. Konvektif kurutulan Golden Delicious çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.2241 n=1.3257	0.9952	0.0230	6.78E-04	0.0260	0.0047	k=0.1484 n= 1.3491	0.9841	0.0398	2.03E-03	0.0451	0.0142
2	k=0.3521 n=1.0444	0.9798	0.0449	2.60E-03	0.0537	0.0202	k=0.2602 n= 1.0509	0.9649	0.0566	4.12E-03	0.0670	0.0314
3	k=0.3384	0.9771	0.0504	2.86E-03	0.0535	0.0229	k=0.2471	0.9605	0.0628	4.43E-03	0.0666	0.0355
4	k=0.3236 n=1.3257	0.9952	0.0230	6.78E-04	0.0260	0.0047	k=0.2446 n= 1.3078	0.9810	0.0401	2.07E-03	0.0487	0.0166
5	k=0.2285 a=1.2315 c=-0.0226	0.9983	0.0134	2.31E-04	0.0168	0.0017	k=0.0927 a=1.8676 c=-0.8754	0.9978	0.0147	2.78E-04	0.0180	0.0019
6	a=0.5222 k_0=0.3519 b=0.5222 k_1=0.3522	0.9798	0.0450	2.60E-03	0.0635	0.0202	a=0.5254 k_0=0.2601 b=0.5254 k_1=0.2604	0.9649	0.0566	4.12E-03	0.0793	0.0314
7	**a=-0.2429 b=0.0147**	**0.9998**	**0.0044**	**2.45E-05**	**0.0050**	**0.0002**	a=-0.1703 b= 0.0059	0.9970	0.0173	3.83E-04	0.0196	0.0027
8	a=1.0000 k=0.3384 b=1.0000	0.9771	0.0504	3.81E-03	0.0617	0.0229	a=1.0000 k=0.2471 b=1.0000	0.9605	0.0628	5.91E-03	0.0769	0.0355
9	a=6.8129 k=0.5788 b=0.6520	0.9945	0.0246	9.11E-04	0.0302	0.0055	a=5.0747 k=0.4286 b=0.5070	0.9829	0.0413	2.55E-03	0.0505	0.0153
10	a=0.4557 b=1.4345 k=0.5898	0.9966	0.0194	5.67E-04	0.0238	0.0034	a=0.3869 b=1.3620 k=0.4649	0.9864	0.0368	2.03E-03	0.0450	0.0122
11	a=-0.1200 b=-1.1157 k=0.2204 n=1.1395	0.9991	0.0097	1.70E-04	0.0130	0.0008	**a=-3.3639 b=-4.3674 k=0.0443 n=0.8492**	**0.9985**	**0.0123**	**2.73E-04**	**0.0166**	**0.0014**
12	a=1.1624 b=0.0686 k=0.2835 c=-0.1641	0.9989	0.0112	2.26E-04	0.0150	0.0011	a=2.6256 b=-0.0233 k=0.0513 c=-1.6229	0.9938	0.0130	3.04E-04	0.0175	0.0015

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 4: Geliştirilmiş Page, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 11: Weibull dağılımı, 12: Jena Das

Tablo 3. 14. Konvektif kurutulan Oregon Spur çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.1941 n=1.2403	0.9876	0.0348	1.56E-03	0.0395	0.0109	k=0.1674 n= 1.3670	0.9925	0.0281	1.02E-03	0.0319	0.0071
2	k=0.2815 n=1.0334	0.9771	0.0460	2.72E-03	0.0537	0.0202	k=0.2932 n= 1.0523	0.9725	0.0511	3.36E-03	0.0612	0.0262
3	k=0.2723	0.9752	0.0493	2.73E-03	0.0522	0.0218	k=0.2790	0.9682	0.0580	3.78E-03	0.0615	0.0303
4	k=0.2666 n=1.2404	0.9876	0.0348	1.56E-03	0.0395	0.0109	k=0.2704 n= 1.3668	0.9925	0.0281	1.02E-03	0.0319	0.0071
5	k=0.1445 a=1.4157 c=-0.4285	0.9984	0.0124	1.98E-04	0.0152	0.0014	k=0.1436 a=1.4774 c=0.4742	0.9999	0.0037	1.80E-05	0.0048	0.0001
6	a=0.5167 k_0=0.2817 b=0.5167 k_1=0.2817	0.9771	0.0460	2.72E-03	0.0635	0.0202	a=0.5261 k_0=0.2939 b=0.5261 k_1=0.2925	0.9724	0.0511	3.36E-03	0.0725	0.0262
7	a=-0.1956 b=0.0092	0.9960	0.0198	5.02E-04	0.0224	0.0035	a=-0.1975 b= 0.0091	0.9999	0.0029	1.06E-05	0.0033	0.0001
8	a=1.0000 k=0.2723 b=1.0000	0.9752	0.0493	3.64E-03	0.0603	0.0218	a=1.0000 k=0.2790 b=1.0000	0.9682	0.0580	5.05E-03	0.0710	0.0303
9	a=5.0076 k=0.4371 b=0.5045	0.9877	0.0347	1.80E-03	0.0424	0.0108	a=6.7676 k=0.4943 b=0.5609	0.9913	0.0304	1.38E-03	0.0372	0.0083
10	a=0.6120 b=1.5819 k=0.4419	0.9896	0.0319	1.53E-03	0.0391	0.0092	a=0.3720 b=1.3486 k=0.5242	0.9945	0.0242	8.77E-04	0.0296	0.0053
11	**a=-1.3999 b=-2.4016 k=0.0976 n=0.8187**	**0.9996**	**0.0065**	**7.70E-05**	**0.0088**	**0.0004**	**a=-0.3744 b=-1.3734 k=0.1478 n=1.0486**	**0.9999**	**0.0026**	**1.22E-05**	**0.0035**	**0.0001**
12	a=1.8500 b=-0.0508 k=0.0784 c=-0.8484	0.9994	0.0075	1.01E-04	0.0101	0.0005	a=1.4186 b=0.0162 k=0.1593 c=-0.4192	0.9999	0.0030	1.60E-05	0.0040	0.0001

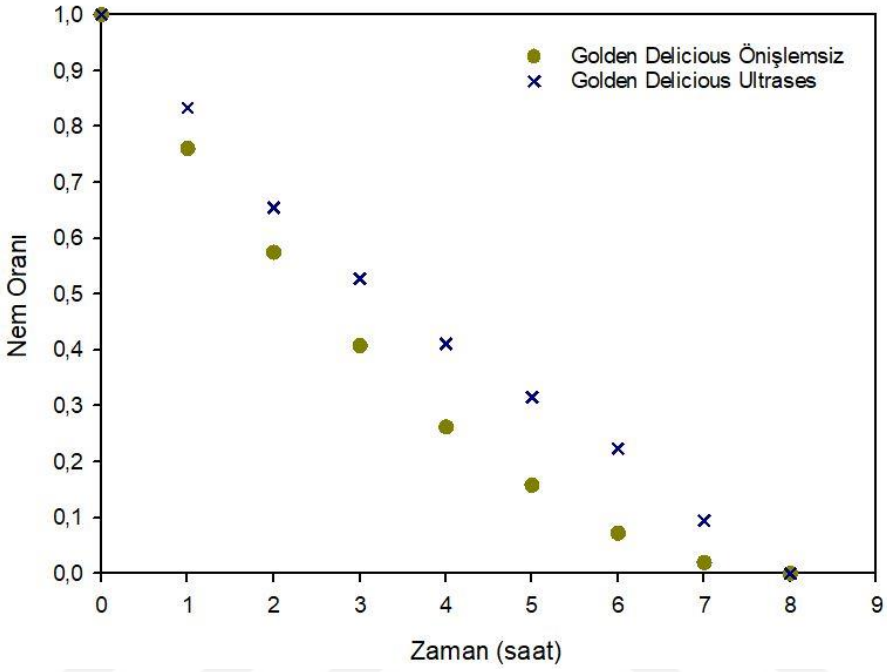
*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 4: Geliştirilmiş Page, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 11: Weibull dağılımı, 12: Jena Das

Tablo 3. 15. Konvektif kurutulan Granny Smith çeşidi elma örneklerine uygulanan modellerin katsayıları ve istatistiksel sonuçları

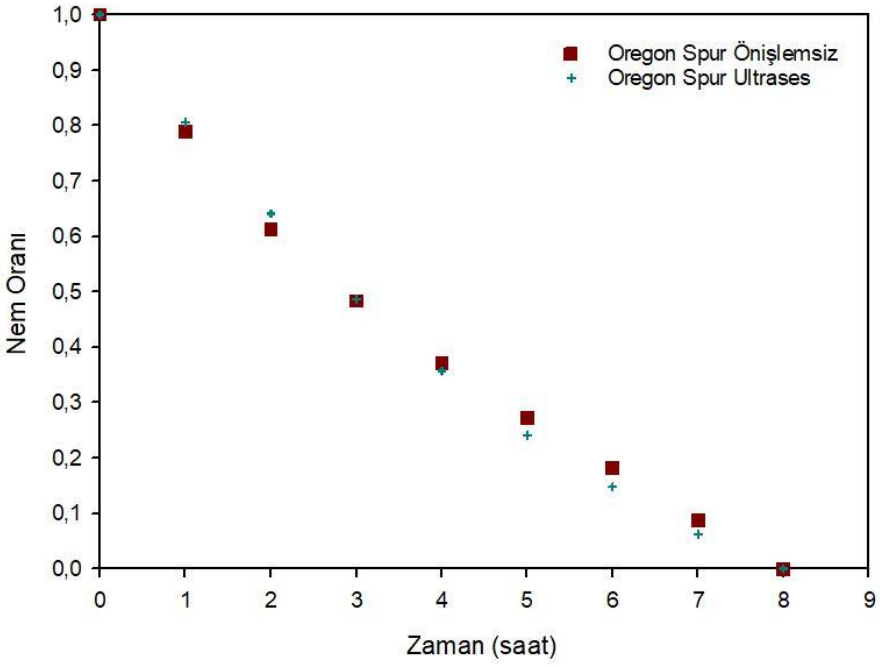
No*	Ön işlemsiz						Ultrases ön işlemli					
	Katsayılar	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**	**Katsayılar**	**R^2**	**RMSE**	**χ^2**	**SEE**	**RSS**
1	k=0.2343 n=1.2252	0.9936	0.0257	8.48E-04	0.0291	0.0059	k=0.1387 n= 1.4790	0.9917	0.0303	1.18E-03	0.0343	0.0082
2	k=0.3250 n=1.0325	0.9848	0.0381	1.87E-03	0.0449	0.0141	k=0.2898 n= 1.0659	0.9619	0.0612	4.82E-03	0.0737	0.0381
3	k=0.3152	0.9832	0.0417	1.95E-03	0.0442	0.0156	k=0.2724	0.9553	0.0704	5.57E-03	0.0747	0.0446
4	k=0.3060 n=1.2252	0.9936	0.0257	8.48E-04	0.0291	0.0059	k=0.2630 n= 1.4790	0.9917	0.0303	1.18E-03	0.0343	0.0082
5	k=0.2103 a=1.2249 c=-0.2279	0.9998	0.0050	3.28E-05	0.0062	0.0002	k=0.1201 a=1.6721 c=0.6620	0.9986	0.0118	1.79E-04	0.0150	0.0014
6	a=0.5163 k_0=0.3249 b=0.5163 k_1=0.3251	0.9848	0.0381	1.87E-03	0.0532	0.0141	a=0.5330 k_0=0.2873 b=0.5330 k_1=0.2923	0.9619	0.0612	4.82E-03	0.0873	0.0381
7	a=-0.2284 b=0.0132	0.9975	0.0161	3.32E-04	0.0182	0.0023	a=-0.1876 b= 0.0076	0.9992	0.0092	1.09E-04	0.0104	0.0008
8	a=1.0000 k=0.3152 b=1.0000	0.9832	0.0417	2.60E-03	0.0510	0.0156	a=1.0000 k=0.2724 b=1.0000	0.9553	0.0704	7.43E-03	0.0862	0.0446
9	a=4.8374 k=0.4959 b=0.5736	0.9937	0.0256	9.80E-04	0.0313	0.0059	a=8.0646 k=0.5132 b=0.5776	0.9887	0.0354	1.88E-03	0.0434	0.0113
10	a=0.7380 b=1.7168 k=0.4838	0.9946	0.0235	8.32E-04	0.0288	0.0050	a=0.2475 b=1.2222 k=0.5794	0.9941	0.0255	9.74E-04	0.0312	0.0058
11	**a=-0.2810 b=-1.2817 k=0.2083 n=0.9585**	**0.9998**	**0.0042**	**3.16E-05**	**0.0056**	**0.0002**	**a=-0.3231 b=-1.3195 k=0.1303 n=1.1579**	**0.9994**	**0.0084**	**1.27E-04**	**0.0113**	**0.0006**
12	a=1.2588 b=-0.0205 k=0.1919 c=-0.2584	0.9998	0.0044	3.42E-05	0.0059	0.0002	a=1.4636 b=0.0454 k=0.1637 c=-0.4652	0.9992	0.0097	1.69E-04	0.0130	0.0008

*1: Page, 2: Henderson & Pabis, 3: Newton, 4: Geliştirilmiş Page, 5: Logaritmik, 6: İki terimli, 7: Wang & Singh, 8: Difüzyon yaklaşımı, 9: Verma, 10: Logistic, 11: Weibull dağılımı, 12: Jena Das

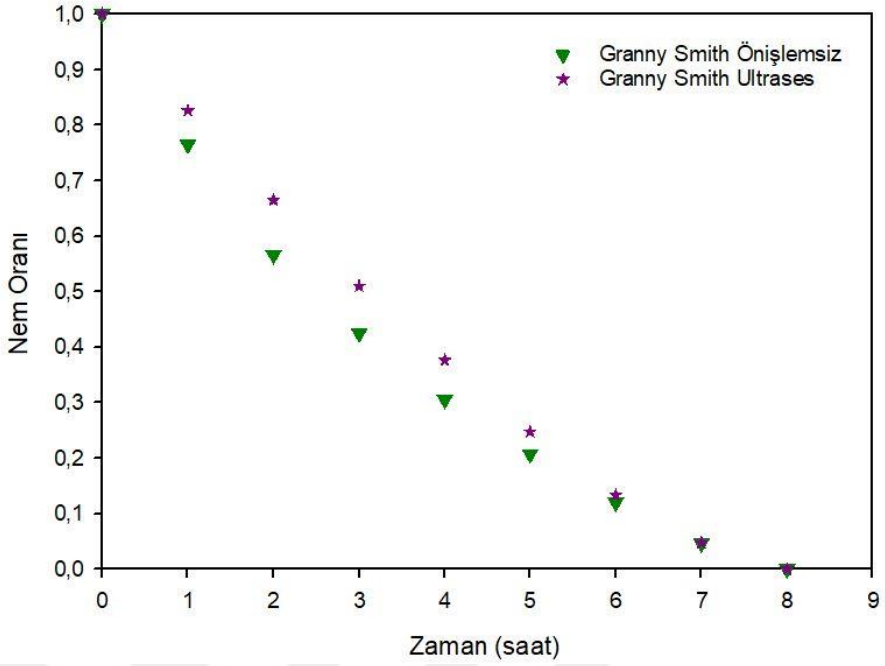
Şekil 3.15'te fan destekli konvektif kurutucuda kurutulan dip elmalarının deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi verilmiştir. Çalışmada konvektif kurutmada 7. saatin sonunda nem oranlarının 0.1'in altına düştüğü belirlenmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.15. Konvektif kurutucuda kurutulan Golden Delicious (a), Oregon Spur (b) ve Granny Smith (c) çeşitlerine ait örneklerin deneysel nem oranı değerleri ile Weibull dağılımı modelden elde edilen nem oranı değerlerinin zamana bağlı değişimi

Kurutma kinetiği modelleri, kurutma koşullarının uygunluğu hakkında bilgi vermektedir. Tipik kurutma davranışlarında ısınma, sabit hızla kuruma ve yavaş hızla kuruma evresi modellere göre değişiklik gösterebilmektedir. Model kurutma kinetiğine uygunsa, kurutma davranışını açıklamak için kullanılmaktadır. Kurutma kinetiği modeli aynı zamanda kuruma hızı ve azalan kuruma periyodunun başlangıcı hakkında fikir vermektedir (Torki-Herchagani vd., 2016). Yüksek kurutma sıcaklıkları ve mikrodalga güçleri, büyük bir ısı ve kütle transferi gücü oluşturmakta ve verimli nem difüzyonunu artırarak daha gelişmiş kurutma kinetiği sunmaktadır (Niamnuy vd., 2011). Ayrıca bu yüksek sıcaklıklar ve mikrodalga güçleri, ürünün içi ile yüzeyi arasında yüksek buhar basıncı farkı oluşturmakta ve böylece hızlı su buharı difüzyonuna sebep olmaktadır (Torki-Herchagani vd., 2016; Beigi, 2016).

Çalışmada nem oranları, artan kurutma sıcaklığı ve gücü ile artmıştır. Böyle bir olgu, artan kurutma sıcaklığı ile ürün içindeki suyun artan buhar basıncına bağlanabilir. Tarımsal ürünlerin kuruma süresi büyük ölçüde ürünün iç özellikleri, başlangıç ve denge nemi, kurutma teknikleri ve kurutma koşullarından etkilenmektedir (Beigi, 2016). Kurutma süresi, pazar taleplerinin verimli bir şekilde karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Tarım ürünlerinin endüstriyel kurutma uygulamalarında yüksek

sıcaklıklar kullanılmalıdır. Uzun kurutma süreleri, ürünlerin fiziksel ve biyokimyasal özelliklerinin bozulmasına neden olabilmektedir. Ayrıca sertleştirilmiş dış tabakalar nem difüzyonuna karşı direncin artmasıyla açıklanabilmektedir (Nadi ve Tzempelikos, 2018). Kurutma işleminde nemin yüzeye taşınımı amacıyla gerekli mekanizmalar gözenekli ürünlerin yüzeyinde yüzey ya da sıvı difüzyonu olarak tanımlanmaktadır. Eğer bu durum nem konsantrasyonundan kaynaklanıyorsa sıvı su difüzyonu olarak, su buharı basıncı farklılığından kaynaklanıyorsa su buharı difüzyonu olarak ve gözenekli ürünlerde yüzey kuvvetlerinden kaynaklanıyorsa kapillar hareket, kondensasyon veya evaporasyon olarak nitelendirilmektedir. Bu doğrultuda farklı kurutma uygulamalarıyla birlikte gözenekli ürünler için kavitasyon etkisi oluşturan ultrases gibi ön işlemler kurutma esnasında su moleküllerinin taşınımını hızlandırmaktadır (Erbay ve İçier, 2010, Kaya, 2019).

Benzer şekilde literatürde Ertekin Filiz, (2015) Starking Delicious, Golden Delicious ve Granny Smith elmaların kurutulmasında 7 farklı matematiksel model uygulamıştır. En uygun modelin 65. 70 ve 75°C sıcaklıklar için Midilli ve Küçük modeli olduğunu (tümünde R^2>0.998), buna en yakın sonuçların ise Page ve Modifiye Page modellerinde gözlendiğini bildirmiştir. Kaya (2019), ön işlemsiz ve ultrases ön işlem (15dk ve 30 dk bekletme) uyguladığı elmaların kurutulmasında 7 farklı matematiksel model kullanmıştır. Konvektif (65°C) kurutmada hem ön işlemsiz hem de ultrases ön işlem görmüş ürünler için en uygun modeller Page ve Modifiye Page olurken, mikrodalga (180, 360 ve 600W) için en uygun model Midilli modeli olmuştur. Schössler vd. (2012), ön işlemsiz ve sürekli, %50 kesikli, %10 kesikli (10 sn aralıklı) ultrases ön işlem uyguladıkları ve konvektif (70°C) olarak kuruttukları elmalarda kurutma süresinin ön işlemsiz grubuna göre sırasıyla %27 ve %20 daha az olduğunu belirlemiştir. Buna ek olarak en uygun matematiksel modelin Midilli olduğunu ve ön işlemsiz, sürekli ultrases, %50 kesikli ultrases ve %10 kesikli ultrases için R^2 değerlerini sırasıyla 0.99897, 0.99966, 0.9979 ve 0.99926 olarak bildirmiştir. Fijalkowska vd. (2015), ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli (21 kHz ve 35 kHz) elma kurutmada konvektif (70°C) için Lojistik modelde R^2, RMSE ve χ^2 değerlerini ön işlemsiz grubunda sırasıyla 0.997, 0.0145 ve 0.00021, ultrases 21 kHz için 0.997, 0.148 ve 000022, ultrases 35 kHz için ise 0.998, 0.0141 ve 0.00020 olarak hesaplamıştır.

3.4. Fiziksel Özellikler

Çalışmada kurutma öncesinde ve sonrasında değişimin tespit edilmesi amacıyla ürünlerin şekil, boyut ve ağırlık özellikleri belirlenmiştir. Golden Delicious çeşidi için kurutma öncesi ve sonrası fiziksel özellikler arasındaki farklar Tablo 3.16'da verilmiştir. Ön işlemsiz gruba ait fiziksel değişimler incelendiğinde en fazla uzunluk değişimi 23.95 mm ile serada kurutmada, genişlik değişimi 25.23 mm ile hibrit kurutmada, kalınlık değişimi ise 9.15 ve 9.05 ile sırasıyla konvektif ve hibrit kurutmada meydana gelmiştir. Kurutulmuş elmaların en fazla tek tane ağırlığı değişimi sırasıyla; serada kurutmada (4.88 gr), konvektif kurutmada (4.73 gr) ve güneşte kurutmada (4.52 gr) meydana gelmiştir. Çevre değişimi en fazla serada olurken en az mikrodalga ve konvektif kurutucuda saptanmıştır. Numunelere ait en fazla projeksiyon alanı değişimi istatistiksel olarak da aynı grupta yer alan sırasıyla sera, hibrit ve güneş kurutmada tespit edilmiştir. Yüzey alanında en yüksek değişim değerleri 3555.90 mm^2 ve 3335.09 mm^2 ile sırasıyla hibrit ve konvektif kurutucuda bulunmuştur. Sera ve hibrit kurutma sistemleri en fazla eşdeğer çap değişimine etki eden sistemler olmuştur. Geometrik ortalama çap değeri en fazla değişim gösteren uygulama hibrit sistem olmuştur. Küresellik, konvektif kurutmada en fazla, sera kurutmada en az değişimi göstermiştir. İstatistiksel olarak çevre, uzama, yuvarlaklık ve sıkılık değerleri arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir.

Golden Delicious çeşidinde ultrases ön işlem grubuna ilişkin veriler göz önüne alındığında en fazla uzunluk değişimi hibrit kurutmada (24.73 mm), kalınlık değişimi konvektif kurutmada (11.48 mm), tek tane ağırlığı değişimi ise yine konvektif kurutmada (6.31 gr) meydana gelmiştir. Projeksiyon alanında en fazla değişim olan ve aynı istatistiksel grupta yer alan kurutma koşulları sırasıyla sera, hibrit ve güneş olmuştur. Eşdeğer çap ve geometrik ortalama çap değişimi ise en fazla hibrit ve konvektif kurutuculardа elde edilmiştir. Çalışmada en fazla uzama değişimi -0.32 ile mikrodalgada, yuvarlaklık değişimi 0.29 ile hibritte, sıkılık değişimi -33.56 ile hibritte ve küresellik değişimi 22.59 ve 21.59 ile sırasıyla konvektif ve hibritte belirlenmiştir. İstatistiksel olarak çevre ve yüzey alanı değerleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Kurutma için başlıca parametreler olan kalınlık, ağırlık, alan ve çap özelliklerindeki değişimler ultrases ön işlem olan uygulamalarda daha fazla meydana gelmiştir.

Tablo 3. 16. Golden Delicious çeşidine ait kurutma öncesi ve sonrası fiziksel değişimler ve Tukey grupları*

Golden Delicious ön işlemsiz													
Uygulama	**Uzunluk (mm)**	**Genişlik (mm)**	**Kalınlık (mm)**	**Tek Tane Ağırlığı (gr)**	**Çevre (mm)**	**Projeksiyon Alanı (mm^2)**	**Yüzey Alanı (mm^2)**	**Eşdeğer çap (mm)**	**Geo. Ort. Çap (mm)**	**Uzama**	**Yuvarlaklık**	**Küresellik (%)**	**Sıkılık**
Güneş	19.01^{ab}	21.56^{ab}	6.99^{bc}	4.52^{a}	83.36^{a}	1885.24^{a}	3062.28^{ab}	22.77^{ab}	15.13^{b}	-0.11^{a}	0.19^{a}	8.68^{bc}	-10.64^{a}
Sera	23.95^{a}	23.04^{ab}	5.85^{c}	4.88^{a}	124.78^{a}	2160.88^{a}	3128.73^{ab}	25.62^{a}	14.91^{b}	-0.04^{a}	0.16^{a}	3.54^{c}	-2.76^{a}
Mikrodalga	13.59^{b}	16.58^{b}	8.53^{ab}	2.86^{b}	59.33^{a}	1071.99^{b}	2515.97^{b}	16.48^{b}	14.57^{b}	-0.22^{a}	0.18^{a}	14.27^{ab}	-12.54^{a}
Hibrit	20.96^{ab}	25.23^{a}	9.05^{a}	3.77^{ab}	90.67^{a}	1912.54^{a}	3555.90^{a}	24.59^{a}	18.56^{a}	-0.17^{a}	0.20^{a}	13.41^{ab}	-14.72^{a}
Konvektif	17.29^{ab}	22.13^{ab}	9.15^{a}	4.73^{a}	61.58^{a}	1710.68^{ab}	3335.09^{a}	21.92^{ab}	17.57^{ab}	-0.16^{a}	0.21^{a}	14.99^{a}	-16.88^{a}
Ortalama	18.96	21.71	7.91	4.15	83.94	1748.26	3119.59	22.28	16.15	-0.14	0.19	10.98	-11.51
Golden Delicious ultrases ön işlemli													
Uygulama	**Uzunluk (mm)**	**Genişlik (mm)**	**Kalınlık (mm)**	**Tek Tane Ağırlığı (gr)**	**Çevre (mm)**	**Projeksiyon Alanı (mm^2)**	**Yüzey Alanı (mm^2)**	**Eşdeğer çap (mm)**	**Geo. Ort. Çap (mm)**	**Uzama**	**Yuvarlaklık**	**Küresellik (%)**	**Sıkılık**
Güneş	21.59^{ab}	25.49^{a}	7.88^{c}	5.82^{ab}	99.10^{a}	2214.22^{a}	3614.14^{a}	26.47^{ab}	18.72^{b}	-0.12^{b}	0.23^{b}	12.86^{bc}	-13.79^{c}
Sera	21.35^{ab}	25.18^{a}	8.33^{bc}	6.07^{ab}	81.41^{a}	2343.98^{a}	3751.91^{a}	27.07^{ab}	18.35^{b}	-0.14^{b}	0.24^{b}	11.77^{c}	-20.14^{bc}
Mikrodalga	16.94^{b}	24.56^{a}	9.64^{abc}	4.69^{b}	61.97^{a}	1699.31^{b}	3446.22^{a}	23.10^{b}	18.95^{b}	-0.32^{a}	0.27^{ab}	18.50^{ab}	-27.81^{ab}
Hibrit	24.73^{a}	29.43^{a}	11.34^{ab}	4.95^{ab}	82.37^{a}	2250.22^{a}	4187.61^{a}	30.15^{a}	23.87^{a}	-0.22^{ab}	0.29^{a}	21.59^{a}	-33.56^{a}
Konvektif	21.17^{ab}	25.67^{a}	11.48^{a}	6.31^{a}	95.81^{a}	2074.05^{ab}	4160.01^{a}	26.47^{ab}	23.21^{a}	-0.17^{b}	0.25^{b}	22.59^{a}	-21.98^{bc}
Ortalama	21.16	26.07	9.73	5.57	84.13	2116.36	3831.98	26.65	20.62	-0.20	0.25	17.46	-23.46

* Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ düzeyinde önemlidir.

Oregon Spur çeşidi için kurutma öncesi ve sonrası fiziksel özellikler arasındaki farklar Tablo 3.17'de verilmiştir. Oregon Spur çeşidi için ön işlemsiz gruba ait en fazla uzunluk ve genişlik değişimi sırasıyla 15.94 mm ve 22.26 mm ile konvektif kurutmada, kalınlık değişimi 10.09 mm ile hibrit kurutmada olmuştur. Çalışmada en fazla çevre değişimi 53.87 ve 49.82 mm değerler ile sırasıyla mikrodalga ve konvektif kurutucuda saptanmıştır. Projeksiyon alanı bakımından en yüksek değişim değeri konvektif kurutucuda, en düşük değer ise serada kurutmada meydana gelmiştir. Bununla birlikte en fazla yüzey alanı değişimi 3276.78 ve 3271.36 mm^2 ile konvektif ve hibrit kurutma sistemlerinde belirlenmiştir. Çap değerleri incelendiğinde en yüksek eşdeğer çap değişimi konvektif sistemde, geometrik ortalama çap değişimi ise hibrit ve konvektif sistemlerde olmuştur. Buna ilaveten yuvarlaklık değişimi serada, küresellik değişimi hibritte ve sıkılık değişimi konvektifte en fazla değişimi göstermiştir. Tek tane ağırlığı ve uzama değerleri arasında istatistiki açıdan önemli bir fark bulunmamıştır.

Oregon Spur çeşidinde ultrases ön işlem grubunda en az uzunluk değişimi kontrollü serada kurutmada (7.95 mm) olmuştur. En fazla uzunluk değişimi bakımından diğer kurutucular istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Tek tane ağırlığı değişimi en çok serada (5.70) ve güneşte (5.25) meydana gelmiştir. Çevre değişimine en yüksek etkiyi gösteren kurutma uygulamaları sırasıyla konvektif, hibrit ve güneş olmuştur. En fazla eşdeğer çap değişimi 26.09 mm ile konvektif kurutucuda ortaya konmuştur. Bununla birlikte en fazla uzama -0.48 ile güneşte, yuvarlaklık 0.37 ile konvektifte, küresellik 18.61 ve 18.51 ile sırasıyla güneşte ve serada kurutmada meydana gelmiştir. En çok sıkılık değişimi ise -49.74 ile konvektif kurutma sisteminde elde edilmştir. İstatistiki açıdan genişlik, kalınlık, projeksiyon alanı, yüzey alanı ve geometrik ortalama çap arasında fark bulunmamıştır. Oregon Spur çeşidinde başlıca kurutma parametrelerinin değişimleri, ultrases ön işlem olan uygulamalarda daha fazla olmuştur.

Tablo 3. 17. Oregon Spur çeşidine ait kurutma öncesi ve sonrası fiziksel değişimler ve Tukey grupları*

Oregon Spur ön işlemsiz													
Uygulama	**Uzunluk (mm)**	**Genişlik (mm)**	**Kalınlık (mm)**	**Tek Tane Ağırlığı (gr)**	**Çevre (mm)**	**Projeksiyon Alanı (mm^2)**	**Yüzey Alanı (mm^2)**	**Eşdeğer çap (mm)**	**Geo. Ort. Çap (mm)**	**Uzama**	**Yuvarlaklık**	**Küresellik (%)**	**Sıkılık**
Güneş	8.97^{b}	14.37^{bc}	8.18^{b}	4.30^{a}	25.96^{ab}	1119.06^{bc}	2405.74^{b}	15.72^{bc}	13.12^{b}	-0.18^{a}	0.25^{abc}	15.20^{b}	-21.92^{ab}
Sera	3.39^{c}	10.89^{c}	7.68^{b}	3.64^{a}	11.99^{c}	842.49^{c}	1981.45^{c}	12.00^{c}	10.68^{c}	-0.22^{a}	0.27^{a}	16.00^{ab}	-19.99^{ab}
Mikrodalga	12.65^{ab}	17.84^{ab}	5.84^{c}	4.69^{a}	53.87^{a}	1358.22^{b}	2438.86^{b}	17.34^{b}	12.05^{bc}	-0.19^{a}	0.19^{c}	8.71^{c}	-13.60^{b}
Hibrit	11.25^{ab}	15.78^{bc}	10.09^{a}	4.42^{a}	24.45^{ab}	1352.97^{b}	3271.36^{a}	16.88^{bc}	17.23^{a}	-0.13^{a}	0.21^{bc}	19.22^{a}	-21.43^{ab}
Konvektif	15.94^{a}	22.26^{a}	8.96^{ab}	4.76^{a}	49.82^{a}	1750.69^{a}	3276.78^{a}	22.57^{a}	17.20^{a}	-0.19^{a}	0.26^{ab}	15.46^{b}	-26.24^{a}
Ortalama	10.44	16.23	8.15	4.37	33.22	1284.68	2674.84	16.90	14.05	-0.18	0.24	14.92	-20.64
Oregon Spur ultrases ön işlemli													
Uygulama	**Uzunluk (mm)**	**Genişlik (mm)**	**Kalınlık (mm)**	**Tek Tane Ağırlığı (gr)**	**Çevre (mm)**	**Projeksiyon Alanı (mm^2)**	**Yüzey Alanı (mm^2)**	**Eşdeğer çap (mm)**	**Geo. Ort. Çap (mm)**	**Uzama**	**Yuvarlaklık**	**Küresellik (%)**	**Sıkılık**
Güneş	14.83^{a}	25.38^{a}	8.90^{a}	5.25^{a}	66.31^{a}	1571.83^{a}	2967.51^{a}	24.19^{ab}	17.53^{a}	-0.48^{a}	0.37a	18.61^{a}	-31.05^{ab}
Sera	7.95^{b}	16.67^{a}	8.82^{a}	5.70^{a}	21.69^{b}	1269.55^{a}	2676.77^{a}	17.68^{b}	14.81^{a}	-0.30^{ab}	0.31^{ab}	18.51^{a}	-27.05^{b}
Mikrodalga	18.54^{a}	20.29^{a}	7.68^{a}	5.10^{ab}	62.92^{ab}	1542.41^{a}	2800.24^{a}	22.95^{ab}	15.50^{a}	-0.14^{b}	0.23^{b}	9.75^{b}	-38.73^{ab}
Hibrit	21.60^{a}	20.56^{a}	9.72^{a}	3.58^{b}	74.71^{a}	1421.29^{a}	2904.64^{a}	23.26^{ab}	18.29^{a}	-0.20^{ab}	0.21^{b}	14.93^{ab}	-27.43^{b}
Konvektif	20.53^{a}	23.87^{a}	9.33^{a}	5.12^{ab}	75.40^{a}	1707.82^{a}	3178.23^{a}	26.09^{a}	18.46^{a}	-0.23^{ab}	0.29^{ab}	14.99^{ab}	-49.74^{a}
Ortalama	16.69	21.36	8.89	4.95	60.21	1502.58	2905.48	22.83	16.92	-0.27	0.28	15.36	-34.80

***** Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ düzeyinde önemlidir.

Granny Smith için kurutma öncesi ve sonrası fiziksel özellikler arasındaki farklar Tablo 3.18'de verilmiştir. Granny Smith çeşidine ait ön işlemsiz uygulama için en fazla uzunluk (21.17 mm), kalınlık (9.76 mm), tek tane ağırlığı (4.81 gr), çevre (116.45 mm), projeksiyon alanı (2108.79 mm^2), yüzey alanı (3852.71 mm^2), eşdeğer çap (25.45 mm) ve geometrik ortalama çap (19.95 mm) değişimleri konvektif kurutucuda meydana gelmiştir. Sıkılık değişimi ise en fazla güneşte (-21.76) ve serada (-21.33) olmuştur. Buna ek olarak genişlik, uzama ve yuvarlaklık değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır.

Çalışmada ultrases ön işlem uygulamasında en fazla uzunluk ve genişlik değişimi sırasıyla 27.39 ve 30.46 mm değerler ile hibrit kurutma sisteminde meydana gelmiştir. En fazla kalınlık ve tek tane ağırlığı değişimi sırasıyla 11.03 mm ve 5.91 gr ile konvektif kurutmada olmuştur. En yüksek çevre ve projeksiyon alanı değişimleri istatistiksel olarak da aynı gruba ait hibrit ve konvektif kurutucuda elde edilmiştir. Yüzey alanı değişimi ise en fazla 4122.41 mm^2 ile konvektif kurutma sisteminde belirlenmiştir. Eşdeğer çap için en yüksek değişim hibrit kurutmada, en az değişim ise güneş ve mikrodalga kurutumada tespit edilmiştir. Buna ilaveten en fazla geometrik ortalama çap değişimi (22.59 mm) ve küresellik (19.40) konvektif kurutucuda olmuştur. En fazla yuvarlaklık değişimi 0.26 ile aynı değerde güneş ve hibrit kurutmada, sıkılık değişimi ise -26.32 ile güneşte kurutmada saptanmıştır. İstatistiksel olarak uzama değerleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır.

Tablo 3. 18. Granny Smith çeşidine ait kurutma öncesi ve sonrası fiziksel değişimler ve Tukey grupları*

Granny Smith ön işlemsiz													
Uygulama	**Uzunluk (mm)**	**Genişlik (mm)**	**Kalınlık (mm)**	**Tek Tane Ağırlığı (gr)**	**Çevre (mm)**	**Projeksiyon Alanı (mm^2)**	**Yüzey Alanı (mm^2)**	**Eşdeğer çap (mm)**	**Geo. Ort. Çap (mm)**	**Uzama**	**Yuvarlaklık**	**Küresellik (%)**	**Sıkılık**
Güneş	11.36^{b}	16.94^{a}	7.97^{b}	3.81^{ab}	42.64^{ab}	1230.90^{ab}	2482.81^{ab}	17.67^{ab}	13.69^{b}	-0.21^{a}	0.25^{a}	14.07^{a}	-21.76^{a}
Sera	4.59^{c}	11.64^{a}	7.90^{b}	4.18^{ab}	9.12^{b}	897.76^{b}	2101.80^{b}	12.46^{b}	11.37^{b}	-0.21^{a}	0.26^{a}	16.27^{a}	-21.33^{a}
Mikrodalga	19.25^{a}	11.74^{a}	7.57^{b}	2.80^{b}	72.57^{ab}	939.08^{b}	2109.50^{b}	15.39^{b}	12.86^{b}	0.13^{a}	0.04^{a}	5.98^{a}	-2.22^{b}
Hibrit	17.24^{ab}	16.19^{a}	9.01^{ab}	4.22^{ab}	95.38^{ab}	1434.17^{ab}	2932.47^{ab}	18.81^{ab}	15.88^{ab}	0.01^{a}	0.14^{a}	12.67^{a}	-4.14^{b}
Konvektif	21.17^{a}	24.84^{a}	9.76^{a}	4.81^{a}	116.45^{a}	2108.79^{a}	3852.71^{a}	25.45^{a}	19.95^{a}	-0.12^{a}	0.21^{a}	15.63^{a}	-4.11^{b}
Ortalama	14.72	16.27	8.44	3.97	67.23	1322.14	2695.86	17.96	14.75	-0.08	0.18	12.92	-10.71
Granny Smith ultrases ön işlemli													
Uygulama	**Uzunluk (mm)**	**Genişlik (mm)**	**Kalınlık (mm)**	**Tek Tane Ağırlığı (gr)**	**Çevre (mm)**	**Projeksiyon Alanı (mm^2)**	**Yüzey Alanı (mm^2)**	**Eşdeğer çap (mm)**	**Geo. Ort. Çap (mm)**	**Uzama**	**Yuvarlaklık**	**Küresellik (%)**	**Sıkılık**
Güneş	13.48^{c}	18.75^{b}	8.63^{bc}	4.46^{b}	52.79^{bc}	1233.34^{b}	2584.65^{c}	18.86^{c}	15.22^{cd}	-0.24^{a}	0.26^{a}	16.29^{ab}	-26.32^{a}
Sera	16.74^{c}	20.63^{b}	6.93^{c}	5.12^{ab}	89.14^{bc}	1567.65^{b}	2697.64^{c}	21.75^{bc}	14.35^{d}	-0.15^{a}	0.24^{ab}	9.16^{c}	-11.75^{b}
Mikrodalga	19.00^{bc}	17.42^{b}	10.37^{ab}	4.47^{b}	69.70^{abc}	1426.75^{b}	3259.28^{bc}	19.62^{c}	18.55^{bc}	-0.04^{a}	0.14^{b}	16.86^{ab}	-11.44^{b}
Hibrit	27.39^{a}	30.46^{a}	9.28^{ab}	5.44^{ab}	118.72^{a}	2145.42^{a}	3717.61^{ab}	30.52^{a}	21.01^{ab}	-0.26^{a}	0.26^{a}	13.13^{bc}	-14.30^{b}
Konvektif	23.31^{ab}	25.65^{ab}	11.03^{a}	5.91^{a}	114.85^{a}	2196.03^{a}	4122.41^{a}	27.73^{ab}	22.59^{a}	-0.09^{a}	0.23^{ab}	19.40^{a}	-11.33^{b}
Ortalama	19.98	22.58	9.25	5.08	89.04	1713.84	3276.32	23.70	18.35	-0.16	0.23	14.97	-15.03

* Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ düzeyinde önemlidir.

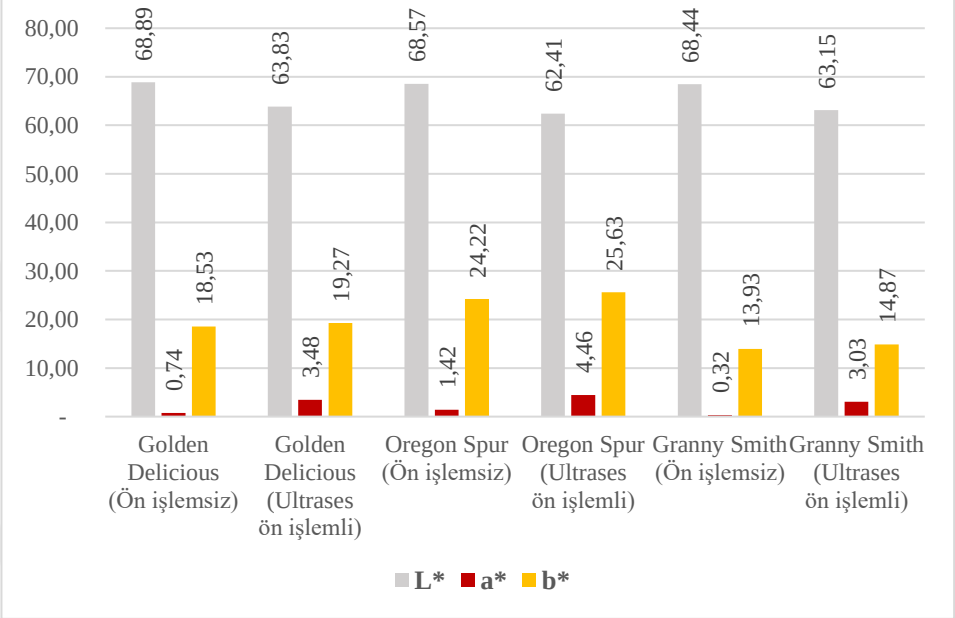
Çalışmamıza benzer şekilde Kaya (2019), ortalama çap değişimini 65°C konvektif kurutmada ön işlemsiz grubu için %14, 15 dk ultrases için %8, 30 dk ultrases için ise %10 olarak bildirmiştir. Buna ilaveten 180, 360 ve 600 W mikrodalga kurutmada ön işlemsiz grubu için sırasıyla %7, %6 ve %5 olarak, 15 dk ultrases için %15, %17 ve %8 olarak, 30 dk ultrases için ise %14, %8 ve 8 olarak belirlemiştir. Ortalama kalınlık değişimini ise konvektif kurutucuda ön işlemsiz %43, %15 dk ultrases 45 ve 30 dk ultrases %44 olarak hesaplamıştır. Mikrodalgada 180, 360 ve 600 W seviyeleri için ön işlemsiz grubunda sırasıyla %45, 45 ve 44, ultrases 15 ön işlem grubunda %49, 39 ve 44, ultrases 30 dk grubunda %42, 43 ve 42 olarak ortaya koymuştur.

Ramos vd. (2014), konvektif (20, 40, 50 ve 60°C) kurutucuda kurutulan üzümlerin görüntü işleme yöntemiyle bazı fiziksel özelliklerini (alan, çevre, uzunluk, genişlik, eşdeğer çap, uzama, yuvarlaklık ve sıkışıklık) tespit etmiştir. Çalışmada yaklaşık olarak alan değeri %20, genişlik %16, çevre ve eşdeğer çap %14-15 ve uzunluk değeri %12 azalmıştır. Ayrıca yuvarlaklık ve sıkışıklık değerleri %4-5 azalırken, uzama değeri %10 artış göstermiştir.

Fernandez vd. (2005), konvektif olarak (50°C) kuruttukları elmalarda görüntü analiziyle bazı şekil özelliklerinin (alan, çevre, eşdeğer çap, ortalama çap ve yuvarlaklık) değişimini ortaya koymuştur. Çalışmada yaklaşık olarak alan değerleri 4.5 cm^2'den, 2.5 cm^2'ye, çevre değerleri 7 cm'den 5.5 cm'ye, eşdeğer çap değerleri 2.35 cm'den 1.75 cm'ye, ortalama çap değerleri 1.2 cm'den 0.9 cm'ye ve yuvarlaklık değerleri ise 1.2'den 1.1'e azalmıştır. Ayrıca elma kurutmada görüntü işleme ile benzer fiziksel özellikler, Mayor vd. (2005), Sampson vd. (2014) ve Wang vd. (2017) tarafından elde edilmiştir.

3.5. Renk Özellikleri

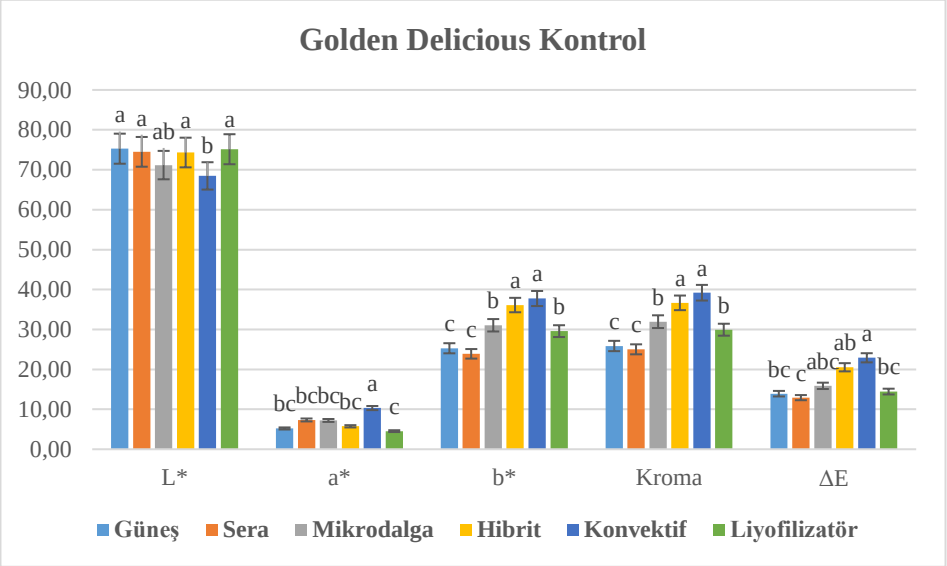
Çalışmada Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith çeşitlerine ait kuruma öncesi renk özellikleri Şekil 3.16'da verilmiştir. Kuruma öncesi ön işlem görmemiş ürünlerin L* değerleri ön işlemsiz ürünlerden daha yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte a* ve b* değerleri ise ultrases ön işlem görmüş ürünlerde daha yüksek olarak ölçülmüştür.



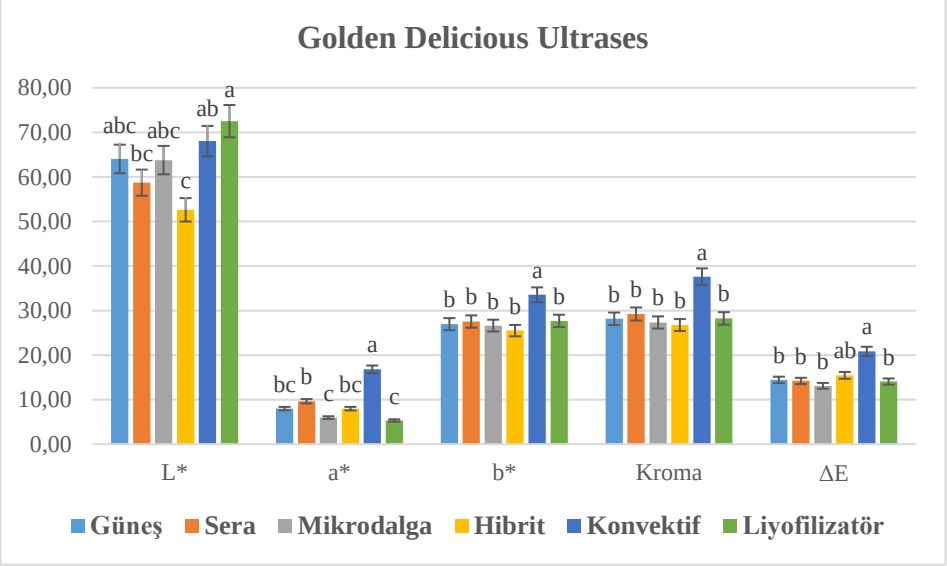
Şekil 3. 16. Ürünlerin kuruma öncesi renk özellikleri

Başlıca renk özelliklerinin, çeşitler ve ön işlemler için ortalama değerleri ve istatistiksel grup farklılıkları kurutucuların karşılaştırılması için oluşturulmuştur. Golden Delicious ön işlemsiz grubu için en yüksek L* değerleri sırasıyla güneş, liyofilizatör, hibrit ve sera kurutma sistemlerinde elde edilmiştir. Bununla birlikte en yüksek a* değeri konvektif (10.32) kurutmada, b* değerleri ise konvektif (37.76) ve hibrit (36.12) kurutmada elde edilmiştir. En yüksek kroma değerleri 36.21 ve 36.67 ile sırasıyla yine konvektif ve hibrit kurutmada elde edilmiştir. Buna ilaveten renk değişimi farkı en fazla 22.91 ile konvektif kurutucuda belirlenmiştir (Şekil 3.17).

Golden Delicious ön işlemsiz grubunda en yüksek L* değeri dondurarak (72.51), a* değeri konvektif (16.82), b* değeri konvektif (33.53) kurutmada elde edilmiştir. Bununla birlikte kroma ve renk değişimi (ΔE) özellikleri için en yüksek değerler yine konvektif kurutmada saptanmıştır. En düşük ΔE değerleri ise istatistiksel olarak aynı grupta yer alan mikrodalga, dondurarak, sera ve güneşte kurutmada belirlenmiştir (Şekil 3.18).



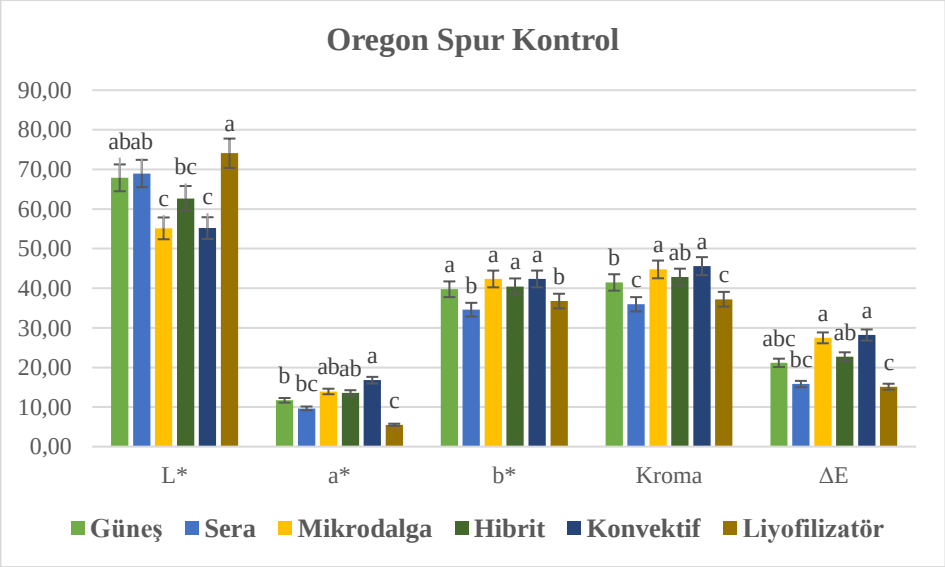
Şekil 3. 17. Golden Delicious ön işlemsiz örneklere ait renk özellikleri



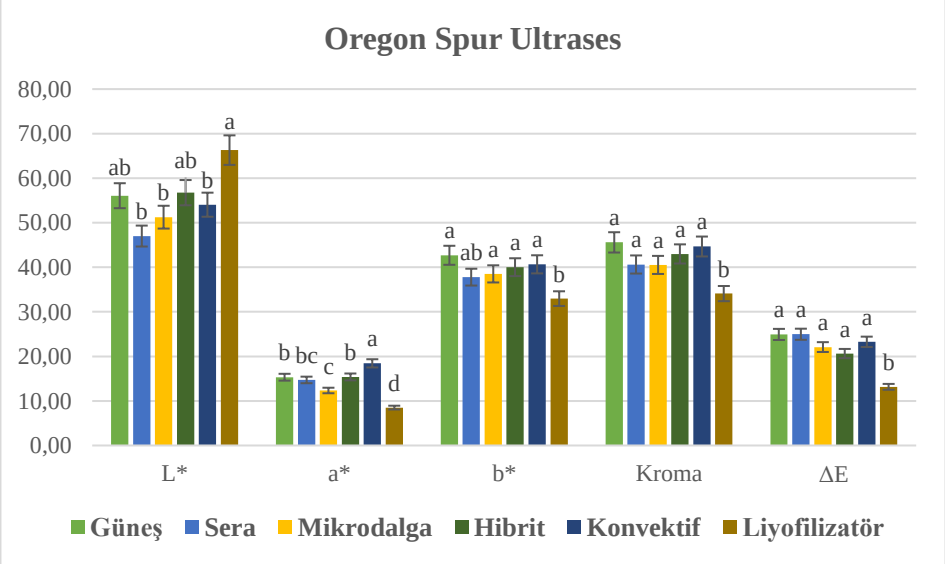
Şekil 3. 18. Golden Delicious ultrases ön işlemli örneklere ait renk özellikleri

Oregon Spur çeşidi için renk özelliklerinin ortalamaları ve istatistiksel farklılıkları Şekil 3.19'da gösterilmiştir. En yüksek parlaklık (L*) değeri liyofilizatörde, kırmızılık (a*,+) değeri konvektifte, sarılık değeri (b*,+) aynı grupta yer alan sırasıyla konvektif, mikrodalga, hibrit ve güneş ile kurutma uygulamalarında tespit edilmiştir. Kroma değeri en fazla olan elma örnekleri konvektif (45.58) ve mikrodalga (44.75) sistemde kurutulanlar olmuştur. Renk değişim özellikleri ele alındığında en fazla fark 28.18 ve 27.47 ile sırasıyla konvektif ve mikrodalga kurutmada gözlemlenmiştir. En az renk değişimi ise liyofilizatör ile kurutulan ürünlerde (15.13) belirlenmiştir.

Ultrases grubunda en fazla parlaklık değeri 66.30 ile liyofilizatör ile kurutmada belirlenmiştir. En yüksek kırmızılık değeri ise 18.44 ile konvektif kurutmada elde edilmiştir. İstatistiksel olarak aynı gruba tabi olan ve en yüksek b*, kroma ve ΔE değerlerine sahip olan kurutucular güneş, konvektif, hibrit, mikrodalga ve sera olmuştur. Çalışmada Oregon Spur ultrases grubunda a*, b*, kroma ve ΔE değerleri en düşük liyofilizatör ile kurutmada saptanmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3. 19. Oregon Spur ön işlemsiz örneklere ait renk özellikleri

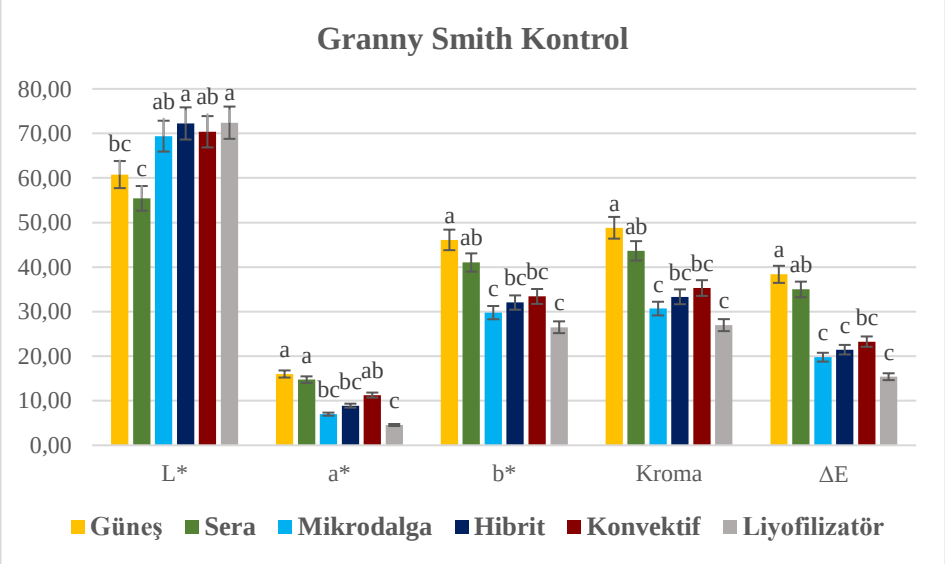


Şekil 3. 20. Oregon Spur ultrases ön işlemli örneklere ait renk özellikleri

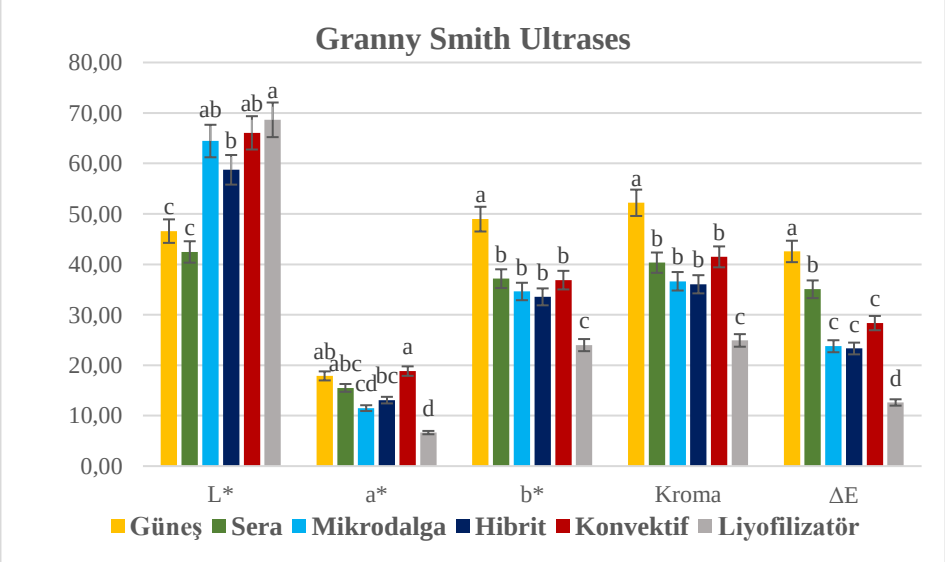
Granny Smith ön işlemsiz grubunda en yüksek L* değeri 72.41 ve 72.25 ile sırasıyla liyofilizatör ve hibrit kurutmada elde edilmiştir. En düşük parlaklık ise serada (55.43) kurutulan ürünlerde belirlenmiştir. Güneşte (16.00) ve serada (14.74) kurutulan ürünler

a* değeri bakımından en yüksek ortalamalara sahip olmuştur. Buna ilaveten güneşte kurutulan ürünler 46.10 b* değeri ile en yüksek değeri elde etmiştir. Granny Smith ön işlemsiz grubu için yine güneşte kurutulan ürünler en yüksek kroma (48.83) ve ΔE (38.37) değerine sahip olmuştur (Şekil 3.21).

Granny Smith çeşidi ultrases ön işlem uygulaması ile kurutulan elmalar için en yüksek L* ve a* ortalamaları sırasıyla liyofilizatör ve konvektif kurutucuda, b*, kroma ve ΔE ortalamaları ise güneşte kurutmada elde edilmiştir. Bu bağlamda en düşük değerler ise L* için güneş ve serada elde edilirken, a*, b*, kroma ve ΔE için liyofilizatör ile kurutulan ürünlerde saptanmıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3. 21. Granny Smith ön işlemsiz örneklere ait renk özellikleri



Şekil 3. 22. Granny Smith ultrases ön işlemli örneklere ait renk özellikleri

3.6. Rehidrasyon Kapasitesi ve Büzülme Oranı

Ürün kalitesini belirleyen önemli kalite parametrelerinden birisi de rehidrasyon kapasitesidir (Sumnu vd., 2005). Rehidrasyon, kuruma işlemi boyunca ürünün ne kadar etkilendiğinin ölçütü olarak tanımlanabilir (Çalışkan ve Dirim, 2017).

Çalışmada, kurutma işlemi sırasında 3 örnek rehidrasyon analizi için ayrılmıştır. Kurutulmuş numuneler oda sıcaklığında birer saatlik periyotlarla 5 saat takip edilmiş ve ardından 12 saat sonunda son durumları tespit edilmiştir. Golden Delicious çeşidi ön işlemsiz grubunda en fazla rehidrasyon kapasitesi 5.33 ve 5.70 değerlerle sırasıyla mikrodalga ve hibrit kurutmada elde edilirken bunu 4.72 ile konvektif kurutma uygulaması izlemiştir. En düşük rehidrasyon kapasitesi ise 3.10 ile güneşte kurutmada belirlenmiştir. Ultrases ön işleme tabii tutulmuş örneklerde ise en fazla rehidrasyon kapasitesi hibrit (11.45) kurutmada elde edilmiş olup bunu mikrodalga (8.74) kurutma izlemiştir. En düşük rehidrasyon kapasitesi ise 3.28 ile serada kurutulan örneklerde saptanmıştır. Tablo 3.19'da verilen büzülme değerleri incelendiğinde hem ön işlemsiz hem de ön işlem uygulamalarında en fazla büzülme liyofilizatörde kurutulan numunelerde meydana gelmiştir. Çalışmada ön işlem uygulamasının rehidrasyon kapasitesini ve büzülme oranını artırdığı belirlenmiştir. Fakat rehidrasyon için istatistiksel gruplar dikkate alındığında ön işlem uygulamasının kurutma sistemlerinin sıralamasını etkilemediği sonucuna varılmıştır.

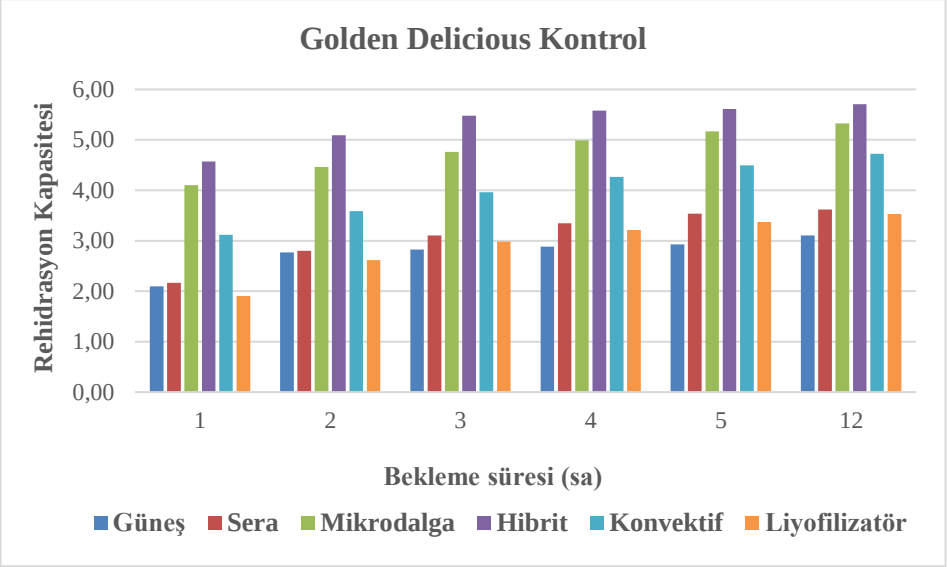
Tablo 3. 19. Golden Delicious çeşidine ait rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı sonuçları ve Tukey grupları*

Uygulama	**Ön işlemsiz**	**Ultrases ön işlemli**	**Ön işlemsiz**	**Ultrases ön işlemli**
	Rehidrasyon	**Rehidrasyon**	**Büzülme**	**Büzülme**
Güneş	3.10 ± 0.18^{c}	3.34 ± 0.85^{c}	0.82 ± 0.02^{ab}	0.83 ± 0.00^{b}
Sera	3.62 ± 0.25^{bc}	3.28 ± 0.47^{c}	0.81 ± 0.03^{ab}	0.83 ± 0.05^{b}
Mikrodalga	5.33 ± 0.28^{a}	8.74 ± 1.20^{ab}	0.75 ± 0.02^{b}	0.84 ± 0.01^{ab}
Hibrit	5.70 ± 1.07^{a}	11.45 ± 2.14^{a}	0.78 ± 0.01^{b}	0.80 ± 0.00^{b}
Konvektif	4.72 ± 0.27^{ab}	7.12 ± 1.25^{b}	0.73 ± 0.08^{b}	0.78 ± 0.02^{b}
Liyofilizatör	3.53 ± 0.44^{bc}	6.50 ± 0.02^{bc}	0.89 ± 0.02^{a}	0.90 ± 0.02^{a}

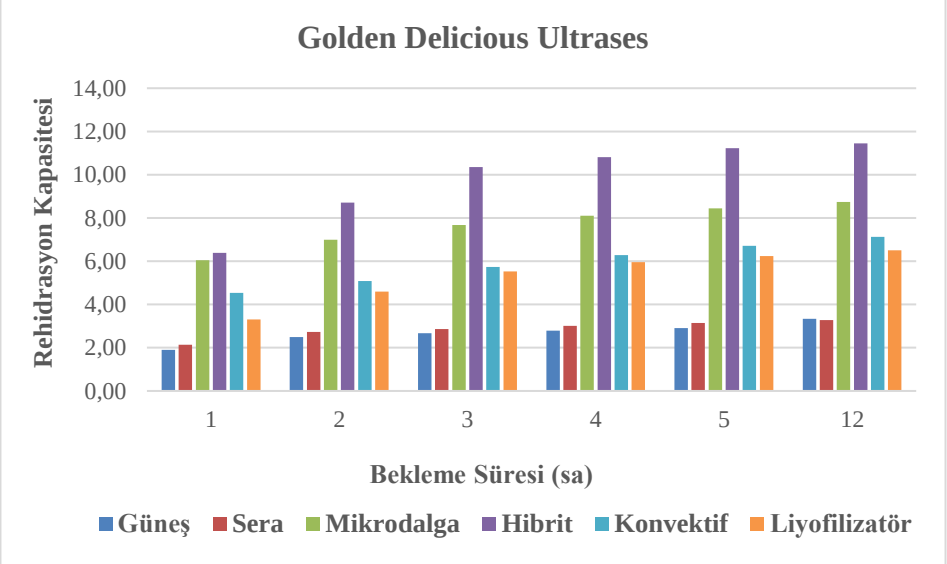
* Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P\leq0.05$ düzeyinde önemlidir.

Şekil 3.23 ve 3.24'te sırasıyla ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli uygulamalarına ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri verilmiştir. Rehidrasyon kapasitesi değerleri

beklenildiği gibi bekleme süresinin 5. saatinde azalmıştır. Fakat 5. saatinden ardından, örnekler 12. saatte doyma noktasına ulaşmıştır.



Şekil 3. 23. Ön işlemsiz örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri



Şekil 3. 24. Ultrases ön işlemli örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri

Oregon Spur çeşidinde ön işlemsiz ve ultrases ön işlem uygulamaları için rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranları Tablo 3.20'de sunulmuştur. Rehidrasyon kapasitesi açısından ön işlemsiz uygulamada herhangi bir istatistiksel grup farklılığı görülmemiştir. Bununla birlikte ultrases ön işlem uygulanan örneklerde en yüksek rehidrasyon kapasitesi 9.81 ile mikrodalga kurutmadan elde edilmiştir. En düşük değer ise 3.04 ile serada kurutulan örneklerde gözlemlenmiştir. Büzülme değerleri incelendiğinde en fazla değer 0.90 ile liyofilizatörde kurutulan, en az değer ise 0.66 ve 0.68 ile sırasıyla konvektif ve

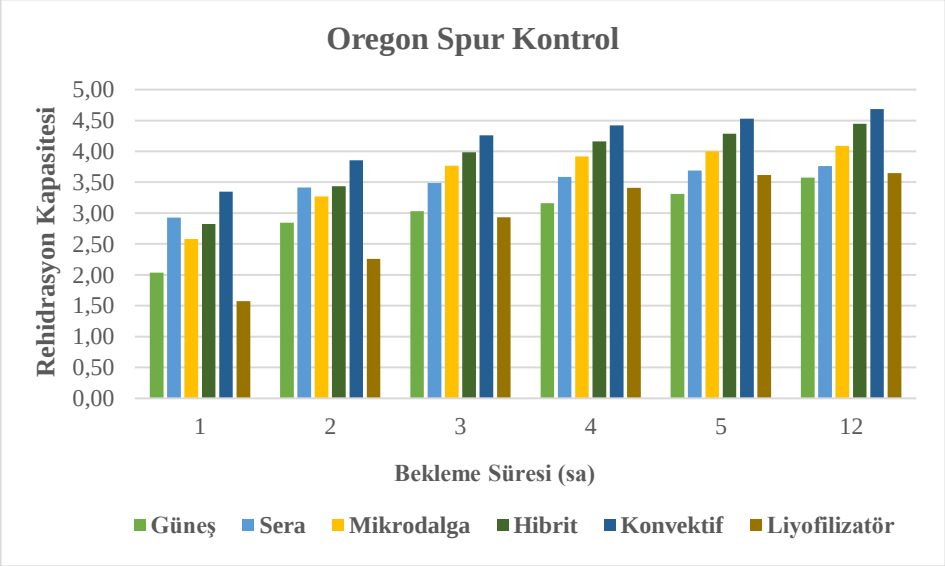
mikrodalgada kurutulan elmalardan elde edilmiştir. Buna ilaveten ultrases uygulamasında büzülme yine en fazla liyofilizatörde (0.92) kurutulan, en az ise serada (0.76) kurutulan örneklerde meydana gelmiştir. Oregon Spur çeşidinde de ön işlemsiz grubu ile karşılaştırıldığında ultrases uygulamasının büzülme değerlerini artırdığı belirlenmiştir.

Tablo 3. 20. Oregon Spur çeşidine ait rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı sonuçları ve Tukey grupları*

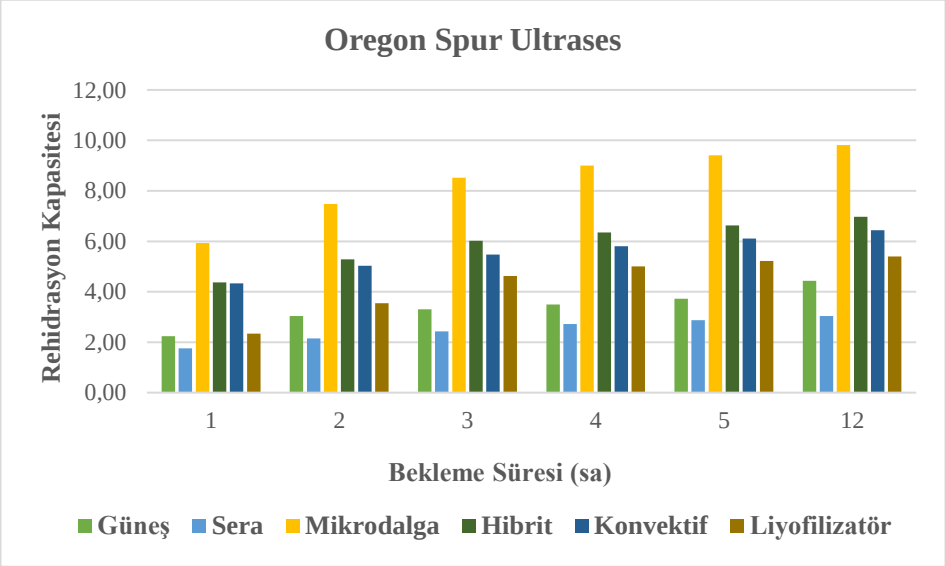
Uygulama	**Ön işlemsiz**	**Ultrases ön işlemli**	**Ön işlemsiz**	**Ultrases ön işlemli**
	Rehidrasyon	**Rehidrasyon**	**Büzülme**	**Büzülme**
Güneş	3.57±0.74^{a}	4.44±1.36^{bc}	0.77±0.01^{b}	0.80±0.02^{bc}
Sera	3.76±1.00^{a}	3.04±0.71^{c}	0.70±0.02^{bc}	0.76±0.04^{c}
Mikrodalga	4.09±0.10^{a}	9.81±1.18^{a}	0.68±0.03^{c}	0.82±0.01^{b}
Hibrit	4.45±0.46^{a}	6.98±0.67^{b}	0.75±0.01^{bc}	0.84±0.01^{b}
Konvektif	4.68±0.58^{a}	6.44±0.72^{b}	0.66±0.02^{c}	0.79±0.02^{bc}
Liyofilizatör	3.65±0.13^{a}	5.40±0.93^{bc}	0.90±0.01^{a}	0.92±0.02^{a}

* Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark P≤0.05 düzeyinde önemlidir.

Oregon Spur çeşidinde ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli uygulamalara ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri Şekil 3.25 ve 3.26'da verilmiştir. Tüm uygulamalar göz önünde bulundurulduğunda rehidrasyon kapasitesi değişimi en az Oregon Spur ön işlemsiz uygulamalarında meydana gelmiştir. Buna ilaveten ultrases uygulamalarında mikrodalgada kurutulan elmaların saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimlerinde artış diğer uygulamalara göre fazla olmuştur.



Şekil 3. 25. Ön işlemsiz örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri



Şekil 3. 26. Ultrases ön işlemli örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri

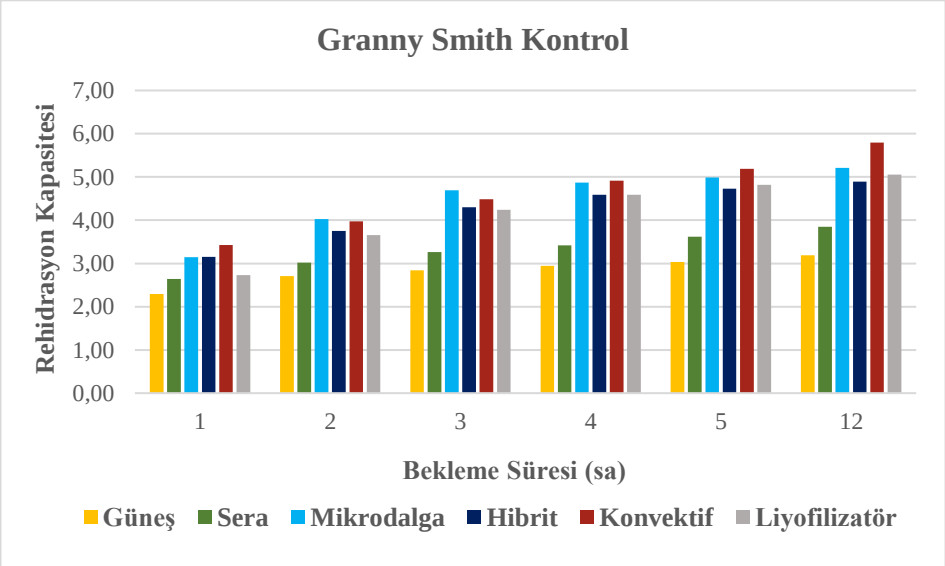
Granny Smith ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli uygulamaları için rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranları Şekil 3.21'de verilmiştir. En fazla rehidrasyon kapasitesi değerleri ön işlemsiz için konvektif (%5.80) ve ön işlem için hibrit (%13.90) kurutmada gözlemlenmiştir. En düşük değerler ise ön işlemsiz için güneşte (%3.19), ultrases ön işlem için ise güneşte (%3.21) kurutmada meydana gelmiştir. Büzülme değerleri incelendiğinde ultrases uygulamasında kurutma sistemleri arasında istatistiksel olarak bir farklılık görülmemiştir. Bu bağlamda ön işlemsiz uygulamasında ise öne çıkan kurutma sistemleri 0.80 ve 0.76 değerler ile sırasıyla hibrit ve konvektif sistemler olmuştur. En düşük büzülme serada kurutulan ürünlerde meydana gelmiştir. Granny Smith çeşidinde mikrodalga kurutma hariç diğer tüm kurutma sistemlerinde ön işlemin büzülmeyi artırdığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 3. 21. Granny Smith çeşidine ait rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı sonuçları ve Tukey grupları*

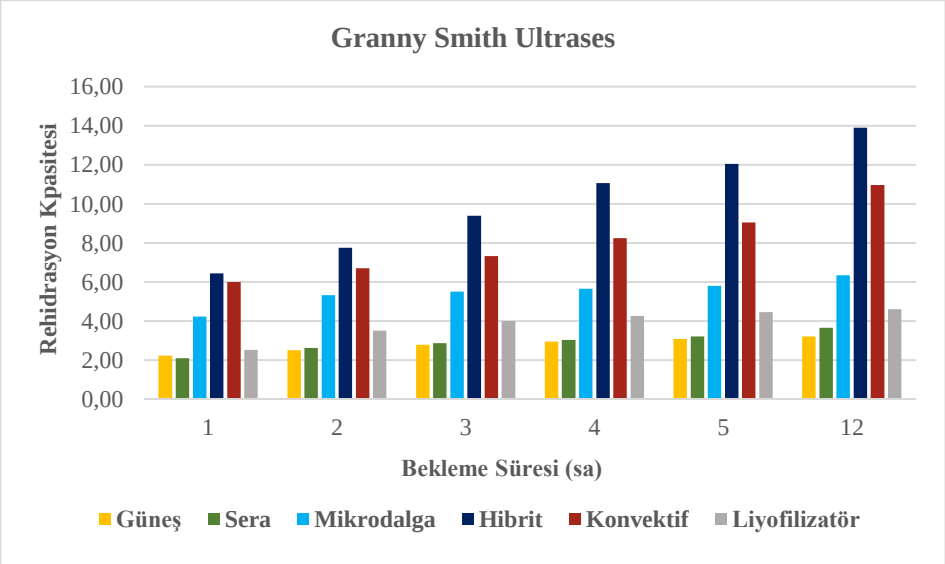
Uygulama	**Ön işlemsiz**	**Ultrases ön işlemli**	**Ön işlemsiz**	**Ultrases ön işlemli**
	Rehidrasyon	**Rehidrasyon**	**Büzülme**	**Büzülme**
Güneş	3.19±0.22^{c}	3.21±0.32^{d}	0.73±0.02^{ab}	0.78±0.01^{a}
Sera	3.85±0.61^{bc}	3.64±1.50^{cd}	0.69±0.03^{b}	0.76±0.06^{a}
Mikrodalga	5.21±0.06^{ab}	6.34±0.21^{c}	0.80±0.02^{a}	0.75±0.01^{a}
Hibrit	4.89±0.94^{ab}	13.90±1.36^{a}	0.76±0.01^{a}	0.82±0.03^{a}
Konvektif	5.80±0.33^{a}	10.96±0.68^{b}	0.74±0.04^{ab}	0.75±0.04^{a}
Liyofilizatör	5.06±0.33^{ab}	4.60±0.68^{b}	0.74±0.04^{ab}	0.75±0.04^{a}

* Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark P≤0.05 düzeyinde önemlidir.

Granny Smith çeşidine ait ürünlerin saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri Şekil 3.27 ve 3.28'de sunulmuştur. Oregon Spur ön işlemsiz gruptan sonra en az rehidrasyon değişiminin meydana geldiği grup Granny Smith ön işlemsiz grubu olmuştur. Başlangıçta mikrodalgada kurutulan ürünlerin rehidrasyon değişimleri artmış olsa da 4. saatten itibaren konvektif kurutma bu alanda ilerleme göstermiştir. Ön işlem uygulanan örneklere ait rehidrasyon kapasitesi değerlerinde ise hibrit ve konvektif kurutma diğer kurutma sistemlerinde belirgin şekilde ayrılmıştır.



Şekil 3. 27. Ön işlemsiz örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri



Şekil 3. 28. Ultrases ön işlemli örneklere ait saatlik rehidrasyon kapasitesi değişimleri

Rehidrasyon büyük ölçüde büzülme ve çökme gibi ürün dokularında ve hücrelerinde meydana gelen yapısal değişikliklere bağlıdır (Kaymak-Ertekin, 2002). Daha düşük sıcaklıklarda ve mikrodalga güçlerinde kurutulan ürünlerde rehidrasyon yeteneklerini azalmaktadır. Böyle bir durum, kurutma işlemi sırasında hücresel yapının çökmesine ve rehidrasyon işlemi sırasında ürünün içinden su difüzyonun önlenmesine bağlanabilmektedir (Saengrayap vd., 2015).

Çalışmamıza benzer şekilde Cui vd. (2008), dört farklı kurutma yöntemi için elmada rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranlarını mikrodalga vakum+dondurarak kombine için sırasıyla 5.22 ve %60.65, dondurarak için 5.61 ve %81.6, mikrodalga vakum (2 W g^{-1} güç yoğunluğu) için 5.11 ve %40.87 ve konvektif (65°C) için 4.81 ve 10.5 olarak ortaya koymuştur. Deng ve Zhao (2008), ultrases ön işlem görmüş iki farklı kurutucuda kurutulan elmaların rehidrasyon kapasitelerini ve büzülme oranlarını dondurarak kurutma için sırasıyla 3.10 ve %60, konvektif (55°C) için ise 2.25 ve %74 olarak bildirmiştir.

Mothibe vd. (2014), ön işlemsiz, ultrases ve mikrodalga ön işlemli olarak 7 farklı kurutma uygulamasında kuruttukları elmaların rehidrasyon kapasitesi değerleri mikrodalga+akışkan yataklı kurutucu (tümünde 70°C) için 2.409, ön işlemsiz akışkan yataklı kurutucu için 2.332, 5 dk ultrases+akışkan yataklı kurutucu için 2.849, 10 dk ultrases+akışkan yataklı kurutucu için 2.804, 15 dk ultrases+akışkan yataklı kurutucu için 2.668, 200W mikrodalga+akışkan yataklı kurutucu için 2.427 ve 300W mikrodalga+akışkan yataklı kurutucu için ise 2.568 olarak elde etmiştir. Nowacka vd. (2012), ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli (10, 20 ve 30 dk bekleme süresi) konvektif kuruttukları elmalarda rehidrasyon sonundaki nem içeriklerini ön işlemsiz için 5.32, 10 dk ön işlem için 4.23, 20 dk ön işlem için 5.00 ve 30 dk ön işlem için 5.48 kg nem kg kuru $madde^{-1}$ olarak tespit etmiştir.

3.7. Enerji Etkinliği, Efektif Nem Difüzyonu ve Termal Etkinlik

Tüm kurutma sistemleri dikkate alınarak hesaplanan ve ölçülen enerji değerleri Tablo 3.22'de verilmiştir. Kurutma sistemleri arasında hesaplanan en fazla enerji tüketimi (ET, kWh) 15.21 kWh ile konvektif kurutmada (Golden Delicious ön işlemsiz) meydana gelmiştir. Tüm sistemler dikkate alındığında en fazla enerji tüketimi mikrodalga kurutmada olmuştur. Buna ilaveten en az enerji tüketimi 1.45 kWh ile hibrit kurutmada (Golden Delicious ön işlemsiz) tespit edilmiştir. Sistemler arasında en az enerji tüketimi hibrit kurutma sisteminde olmuştur. Ölçülen değerler göz önüne alındığında en yüksek değerler mikrodalga kurutma sisteminde 13.44 ile 14.48 kWh arasında değişmiştir. Ölçülen en düşük enerji tüketimi değeri 3.18 kWh ile hibrit kurutma sisteminde (Oregon Spur ön işlemsiz) olmuştur. Ölçülen ve hesaplanan enerji tüketimi değerleri arasında pozitif yönlü ($r=0.926$) ve anlamlı ($p=0.000<0.025$, hipotez çift yönlü) bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bulgulara göre hesaplanan en yüksek özgül enerji gereksinimi (ÖEG, kWh kg su^{-1}) değerleri mikrodalga kurutma sisteminde meydana gelirken bunu sera kurutma sistemi izlemiştir. Ölçülen özgül enerji tüketiminde de aynı sistemler en yüksek değerlere sahip olmuştur. Hesaplanan ve ölçülen en düşük özgül enerji tüketimi değerleri hibrit sistemde meydana gelmiştir. Hesaplanan ve ölçülen özgül enerji gereksinimi değerleri arasında negatif yönlü ($r=-0.800$) ve anlamlı ($p=0.000<0.025$, hipotez çift yönlü) bir ilişki olduğu saptanmıştır. Enerji etkinliği (EE,%) bakımından hesaplanan ve ölçülen en yüksek değerler hibrit kurutma sisteminde, en düşük değerler ise mikrodalga kurutma sisteminde elde edilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan enerji etkinliği değerleri arasında negatif yönlü ($r=-0.552$) ve anlamlı olmayan ($p=0.005>0.025$, hipotez çift yönlü) bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Wattmetre ile ölçülen enerji tüketim değerleri sera, mikrodalga, hibrit, konvektif ve liyofilizatör için sırasıyla 0.700, 1.334, 0.215, 0.175 ve 0.496 kWh olarak belirlenmiştir. Liyofilizatörün enerji analizinde, kurutma sistemindeki yapısal farklılıklardan dolayı diğer sistemlerden farklı eşitliklerden yararlanılmıştır.

Tablo 3. 22. Farklı kurutma sistemlerinin hesaplanan ve ölçülen enerji analizleri*

Kurutucu	Çeşit	Ön işlem	Hesaplanan			Ölçülen			
			ET (kWh)	ÖEG (kWh kg su^{-1})	EE (%)	ET (kWh)	ÖEG (kWh kg su^{-1})	EE (%)	Wattmetre (kWh)
Sera	Golden Delicious	Ön işlemsiz	12.29	78.00	26.95	9.26	58.79	35.75	0.700
		Ultrases	14.95	100.69	18.70	9.26	62.36	30.19	
	Oregon Spur	Ön işlemsiz	10.13	49.67	42.05	9.26	45.40	46.01	
		Ultrases	13.20	72.48	25.44	9.26	50.83	36.28	
	Granny Smith	Ön işlemsiz	11.61	56.06	36.00	9.26	44.72	45.12	
		Ultrases	14.08	81.21	23.21	9.26	53.42	35.28	
Mikrodalga	Golden Delicious	Ön işlemsiz	4.20	35.28	44.40	4.52	32.67	54.04	1.334
		Ultrases	5.40	39.07	45.18	5.02	42.17	37.15	
	Oregon Spur	Ön işlemsiz	4.80	37.81	47.42	4.61	36.30	49.40	
		Ultrases	4.80	36.06	44.28	5.34	40.09	39.83	
	Granny Smith	Ön işlemsiz	4.80	39.77	43.82	4.28	35.49	49.10	
		Ultrases	4.80	44.69	35.32	4.98	46.38	34.03	
Hibrit	Golden Delicious	Ön işlemsiz	1.45	13.59	140.93	3.96	37.15	51.57	0.215
		Ultrases	1.69	18.90	94.35	4.24	47.45	37.58	
	Oregon Spur	Ön işlemsiz	2.41	32.57	57.25	3.18	42.93	43.43	
		Ultrases	2.61	27.72	59.03	4.65	49.33	33.17	
	Granny Smith	Ön işlemsiz	1.73	16.61	115.98	3.91	37.64	51.18	
		Ultrases	2.46	28.08	65.26	4.35	49.72	36.86	
Konvektif	Golden Delicious	Ön işlemsiz	15.21	87.82	24.43	13.44	77.62	27.64	0.175
		Ultrases	14.90	104.12	18.57	14.40	100.64	19.21	
	Oregon Spur	Ön işlemsiz	14.07	103.23	19.90	14.00	102.74	20.00	
		Ultrases	13.70	90.01	21.23	14.16	93.07	20.53	
	Granny Smith	Ön işlemsiz	13.50	91.55	22.78	14.08	95.46	21.85	
		Ultrases	15.15	92.55	21.63	14.48	88.44	22.63	

*ET: enerji tüketimi, ÖEG: özgül enerji gereksinimi, EE: enerji etkinliği

Farklı kurutma sistemleri ve ön işlem uygulamalarında kurutulan elma çeşitlerinin efektif nem difüzyonu (D_{eff}) değerleri Tablo 3.23'te verilmiştir. Çalışmada güneşte ve serada kurutulan ürünlerin D_{eff} ve R^2 değerleri kurutma ortamı sıcaklığının değişken olması ve homojen dağılmaması sebebiyle diğer kurutuculara göre daha düşük seviyelerde bulunmuştur. Bulgulara göre Golden Delicious çeşidi için en yüksek D_{eff} değeri ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli için sırasıyla $4.26x10^{-10}$ m^2 s^{-1} ve $6.48x10^{-10}$ m^2 s^{-1} ile mikrodalga kurutmada elde edilmiştir. En düşük değerler ise güneşte kurutmada elde edilmiştir. En yüksek R^2 değerleri ise ön işlemsiz grupta 0.969 ile konvektif kurutmada, ultrases grubunda 0.909 ile güneş kurutmada elde edilmiştir. Oregon Spur çeşidinde en yüksek D_{eff} değerleri yine mikrodalga kurutmada elde edilmiştir. Bununla birlikte en düşük değerler ise hem ön işlemsizde ($7.51x10^{-12}$ m^2 s^{-1}), hem de ultrases ön işlemde ($1.26x10^{-11}$ m^2 s^{-1}) güneşte elde edilmiştir. Kurutma süresine karşı deneysel ln(MR) verilerinin grafiğini çizilerek hesaplanan en yüksek R^2 değerleri ön işlemsiz için 0.903 ile hibrit ve ultrases için 0.888 ile mikrodalga kurutucuda belirlenmiştir. Granny Smith çeşidinde D_{eff} değerleri incelendiğinde öne çıkan kurutucu hem ön işlemsiz hem de ultrases ön işlemli için mikrodalga olmuştur. Bununla birlikte en düşük D_{eff} değerleri ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli için serada elde edilmiştir. Granny Smith ön işlemsiz grupta en yüksek R^2 değerleri sırasıyla 0.900 ile konvektif kurutucuda ve ultrases ön işlemli grupta ise 0.964 ile güneşte kurutmada tespit edilmiştir.

Tablo 3.23. Efektif nem difüzyon (D_{eff}) değerleri

Kurutucu	**Ön işlemsiz**					
	Golden Delicious		**Oregon Spur**		**Granny Smith**	
	D_{eff} (m^2 s^{-1})	**R^2**	**D_{eff} (m^2 s^{-1})**	**R^2**	**D_{eff} (m^2 s^{-1})**	**R^2**
Güneş	$7.84x10^{-12}$	0.819	$7.51x10^{-12}$	0.880	$1.79x10^{-11}$	0.862
Sera	$1.21x10^{-11}$	0.818	$1.22x10^{-11}$	0.764	$1.94x10^{-12}$	0.851
Mikrodalga	$4.26x10^{-10}$	0.933	$3.89x10^{-10}$	0.878	$5.09x10^{-10}$	0.895
Hibrit	$9.43x10^{-11}$	0.860	$7.94x10^{-11}$	0.903	$8.91x10^{-11}$	0.825
Konvektif	$2.53x10^{-11}$	0.969	$2.33x10^{-11}$	0.842	$2.67x10^{-11}$	0.900
Kurutucu	**Ultrases ön işlemli**					
	Golden Delicious		**Oregon Spur**		**Granny Smith**	
	D_{eff} (m^2 s^{-1})	**R^2**	**D_{eff} (m^2 s^{-1})**	**R^2**	**D_{eff} (m^2 s^{-1})**	**R^2**
Güneş	$1.83x10^{-11}$	0.909	$1.26x10^{-11}$	0.856	$2.24x10^{-11}$	0.964
Sera	$2.53x10^{-11}$	0.856	$2.17x10^{-11}$	0.837	$1.61x10^{-11}$	0.846
Mikrodalga	$6.48x10^{-10}$	0.887	$5.87x10^{-10}$	0.888	$5.02x10^{-10}$	0.842
Hibrit	$9.67x10^{-11}$	0.826	$1.27x10^{-10}$	0.840	$9.83x10^{-11}$	0.810
Konvektif	$2.49x10^{-11}$	0.771	$2.54x10^{-11}$	0.876	$2.77x10^{-11}$	0.866

Farklı kurutma sistemleri için tüm çeşitler ve ön işlemler için hesaplanan termal etkinlik değerleri Tablo 3.24'te sunulmuştur. Sonuçlara göre en yüksek termal etkinlik değerleri tüm gruplarda mikrodalgada elde edilirken en düşük değerler güneşte kurutmada elde edilmiştir. Çalışmada en yüksek termal etkinlik değeri %19.46 ile Golden Delicious ultrases grubunda mikrodalga kurutmada elde edilmiştir. En düşük değerler ise %0.66 ile Oregon Spur ön işlemsiz grupta güneşte kurutmada belirlenmiştir. Golden Delicious çeşidine ait termal etkinlik değerleri diğer çeşitlerden daha fazla bulunmuştur. Çeşitler arasında en düşük termal etkinlik değerleri ise Granny Smith çeşidinde tespit edilmiştir.

Tablo 3.24. Farklı kurutma sistemleri için termal etkinlik (η_{th}, %) değerleri

Kurutucu	**Ön işlemsiz**		
	Golden Delicious	**Oregon Spur**	**Granny Smith**
	η_{th} (%)	**η_{th} (%)**	**η_{th} (%)**
Sera	0.67	0.66	0.67
Mikrodalga	19.27	18.00	18.28
Hibrit	3.57	3.44	3.30
Konvektif	8.79	8.69	8.29
Liyofilizatör	1.00	0.95	0.92
Kurutucu	**Ultrases ön işlemli**		
	Golden Delicious	**Oregon Spur**	**Granny Smith**
	η_{th} (%)	**η_{th} (%)**	**η_{th} (%)**
Sera	0.72	0.70	0.67
Mikrodalga	19.46	19.09	18.09
Hibrit	3.54	3.50	3.30
Konvektif	8.81	8.61	8.24
Liyofilizatör	0.99	0.96	0.92

Çalışmamıza benzer şekilde, Horuz vd. (2017), Golden Delicious elma çeşidini konvektif ve hibrit kuruttuğu çalışmasında ölçülen enerji tüketimi değerlerini 50, 60 ve 70°C için sırasıyla 2.22, 1.56 ve 1.49 kWh, hesaplanan enerji tüketimi değerlerini sırasıyla 2.38, 1.66 ve 1.51 kWh olarak bildirmiştir. Bununla birlikte 50, 60 ve 70°C ölçülen enerji etkinliği değerlerini sırasıyla %15.64, 22.27 ve 23.31, hesaplanan enerji etkinliği değerlerini ise %14.59, 20.93 ve 23.00 olarak ortaya koymuştur. Hibrit kurutmada 120W+60°C için ölçülen enerji tüketimi ve enerji etkinliği değerlerini sırasıyla 2.37 kWh ve %14.68 olarak, hesaplanan enerji tüketimi ve enerji etkinliği değerlerini sırasıyla 2.79 kWh ve %12.46 olarak belirlemiştir. Efektif nem içeriğini ise 50, 60 ve 70°C için sırasıyla 2.34 x10^{-9}, 3.27 x10^{-9} ve 3.94 x10^{-9} m^2 s^{-1}, 120W+60°C hibrit kurutma için 1.76×10^{-9} m^2 s^{-1} olarak bulmuştur. Jafari vd. (2018), 6, 12 ve 18 mm tabaka kalınlıklarında çeltik

bitkisini mikrodalga ile kuruttukları çalışmasında 270W güç için enerji etkinliği ve özgül enerji gereksinimi değerlerini 6 mm için sırasıyla %31.57 ve 41.65 Mj kg^{-1}, 12 mm için %22.18 ve 46.42 Mj kg^{-1} ve 18 mm için ise %36.44 ve 28.23 Mj kg^{-1} olarak tespit etmişlerdir. Motavali vd. (2011), 70°C ve 0.5 m s^{-1} hava hızında kuruttukları nar bitkisi için enerji tüketimi değerini yaklaşık 2 kWh, özgül enerji gereksinimini 50.78 kWh kg^{-1} olarak saptamıştır. Buna ilaveten 200W mikrodalga gücünde elde edilen enerji tüketimi ve özgül enerji gereksinimi değerlerini 0.167 kWh ve 14 kWh kg^{-1}, 100W güçte ise 0.350 kWh ve 29 kWh kg^{-1} olarak ortaya koymuştur. Das ve Arora (2018), hibrit ve konvektif kuruttukları mantar içim özgül enerji tüketimi değerlerini tespit etmişlerdir. Hibrit sistemde 2.5, 5 ve 10 mm kurutma kalınlığı için sırasıyla 12.83, 25.67 ve 32.97 Mj kg^{-1}, konvektif için 108.96 Mj kg^{-1} olarak bildirmiştir. Ayrıca araştırmacılar etkin nem difüzyonu değerlerini hibrit kurutucuda 2.5, 5 ve 10 mm için sırasıyla $1.79x10^{-10}$, $1.79x10^{-10}$ ve $1.79x10^{-10}$ m^2 s^{-1} olarak, konvektif için ise $7.78x10^{-11}$ m^2 s^{-1} hesaplamışlardır. Çelen (2019), Trabzon hurması mikrodalga kurutma (120 W) işleminde 5 mm kurutma kalınlığı için enerji tüketimi, özgül enerji gereksinimi ve efektif nem difüzyonu değerini 0.08 kWh, 20 kWh kg^{-1} ve $2.97x10^{-8}$ m^2 s^{-1} olarak bildirmiştir. Ek olarak Garcia-Perez vd. (2012), Schössler vd. (2012) ve Dehghannya (2015) benzer sonuçları paylaşmıştır. Beigi (2016), elma kurutmada 1 m s^{-1} hava hızında farklı kurutma koşulları için termal etkinlik değerlerini konvektif 50ºC için %6.57, 60ºC için %8.06, ve 70ºC için %9.44 olarak belirlemiştir. Bir başka çalışmada Jafari vd. (2018), çeltik kurutmada 90W mikrodalga gücü için termal etkinlik değerlerini farklı tabaka kalınlığı değerlerinde 6 mm için %36.05, 12 mm için %40.26 ve 18 mm için ise %59.06 olarak bildirmiştir. Wang vd. (2018), kasımpatı kurutma işleminde kurutma etkinliği değerlerini 45, 75 ve 90ºC için sırasıyla %3.38, 2.81 ve 2.53, farklı bekletme sürelerinde hibrit kurutmada (700W+74ºC) 30 sn bekletme için %65.52, 60 sn bekletme için %41.95 ve 90 sn bekletme için %29.98 olarak ortaya koymuşlardır.

3.8. Biyokimyasal Özellikler

Çalışmada kurutma öncesi ve sonrası pH ve suda çözünebilir kuru madde (sçkm) miktarı ortalamaları belirlenmiştir. Kurutma öncesi pH ve sçkm değerleri Golden Delicious çeşidi için sırasıyla 3.70 ve 12.17, Oregon Spur için 4.03 ve 15.97 ve Granny Smith için 3.10 ve 13.02 olarak ölçülmüştür. Kurutma sonrası pH ve sçkm değerleri Tablo 3.25'te sunulmuştur. Kurutma sonrası en yüksek pH değerleri 4.74 ile hibrit kurutulan Oregon Spur ön işlemsiz grupta ve 4.64 ile mikrodalga ile kurutulan Oregon Spur ön işlemsiz ürünlerde elde edilmiştir. En düşük pH değerleri ise 2.60 ile güneşte kurutulan Oregon Spur ön işlemsiz grupta ve 2.81 ile güneşte kurutulan Golden Delicious ultrases grubunda elde edilmiştir. Kurutma sonrası en yüksek sçkm değerleri ise 13.50 ile mikrodalga ile kurutulan Golden Delicious ön işlemsiz grupta ve 12.90 ile mikrodalga ile kurutulan Golden Delicious ultrases grubunda bulunmuştur. En düşük değerler ise 6.80 ile hibrit kurutulan Granny Smith ön işlemsiz ve 6.90 ile hibrit kurutulan Granny Smith ultrases ön işlemli ürünlerde belirlenmiştir.

Tablo 3. 25. Kurutma sonrası pH ve sçkm değerleri ve Tukey grupları*

Uygulama	**Ön işlemsiz**					
	Golden Delicious		**Oregon Spur**		**Granny Smith**	
	pH	**Sçkm (%)**	**pH**	**Sçkm (%)**	**pH**	**Sçkm (%)**
Güneş	3.15^{d}	8.20^{c}	2.60^{c}	7.90^{c}	2.84^{b}	8.80^{b}
Sera	3.44^{cd}	8.00^{c}	3.42^{b}	9.70^{b}	4.24^{ab}	9.00^{b}
Mikrodalga	3.87^{bc}	13.50^{a}	4.64^{a}	9.50^{b}	4.25^{ab}	7.30^{c}
Hibrit	4.10^{ab}	9.00^{bc}	4.74^{a}	11.60^{a}	4.28^{ab}	6.80^{c}
Konvektif	4.60^{a}	9.70^{b}	4.50^{a}	7.70^{c}	4.63^{a}	12.80^{a}
Liyofilizatör	3.99^{b}	8.70^{bc}	4.28^{a}	8.90^{bc}	3.87^{b}	7.80^{bc}
Uygulama	**Ultrases ön işlemli**					
	Golden Delicious		**Oregon Spur**		**Granny Smith**	
	pH	**Sçkm (%)**	**pH**	**Sçkm (%)**	**pH**	**Sçkm (%)**
Güneş	2.81^{c}	8.40^{c}	3.06^{b}	8.40^{b}	2.97^{b}	7.30^{ab}
Sera	2.88^{bc}	7.90^{c}	3.59^{b}	9.30^{b}	3.04^{b}	6.40^{b}
Mikrodalga	3.39^{a}	12.90^{a}	4.24^{a}	9.30^{b}	3.62^{a}	7.60^{a}
Hibrit	3.32^{a}	7.80^{c}	3.44^{b}	9.20^{b}	3.39^{ab}	6.90^{ab}
Konvektif	3.36^{a}	9.90^{b}	4.57^{a}	11.10^{a}	3.59^{ad}	7.50^{a}
Liyofilizatör	3.31^{ab}	9.10^{bc}	4.23^{a}	12.10^{a}	3.05^{b}	7.50^{a}

* Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ düzeyinde önemlidir.

Çeşitlere göre kurutma sisteminin etkisini gösteren kuru madde, kül ve protein değerleri ile istatistiksel grupları Tablo 3.26'da verilmiştir. Golden Delicious ön işlemsiz grubunda istatistiki açıdan önemli bir fark bulunamamıştır. Bununla birlikte güneşte kurutulan

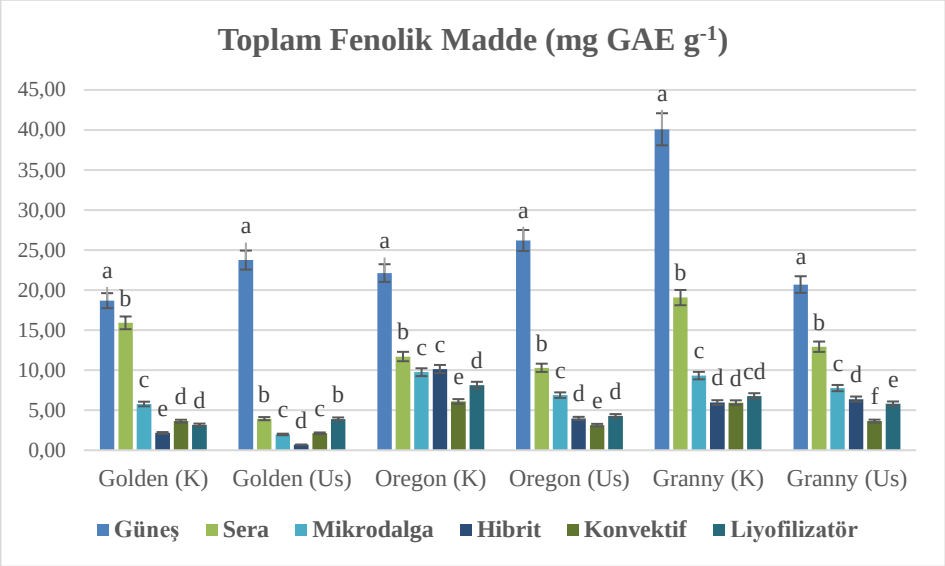
Golden Delicious ultrases grubu %84.36 en düşük değere sahip olurken diğer uygulamalar istatistiksel olarak aynı gruba tabii olmuştur. Kül değerlerinde Golden Delicious ön işlemsiz grubunda en yüksek değer mikrodalga ile kurutulan (%3.19), en düşük değer ise serada (%2.68) kurutulan ürünlerde elde edilmiştir. Ultrases grubunda ise en yüksek değer serada kurutulan (%2.13), en düşük mikrodalga ile kurutulan (%1.49) ürünlerde elde edilmiştir. Protein değerleri incelendiğinde Golden Delicious için en yüksek sonuç %2.55 ile konvektif kurutmada, en düşük sonuç ise %1.53 ile hibrit kurutmada tespit edilmiştir. Ultrases ön işlem uygulamasında en yüksek değer %3.89 ile mikrodalga kurutmada, en düşük değer ise %2.30 ile güneşte kurutmada elde edilmiştir.
Oregon Spur ön işlemsiz grubu için tüm uygulamalarda kuru madde ortalaması %92.98 olarak bulunurken en yüksek değer %94.59 ile konvektif kurutulan ürünlerde elde edilmiştir. Ultrases ön işlem uygulamasında en düşük kuru madde miktarı güneşte (%85.29) kurutmada elde edilmiş olup diğer kurutma sistemleri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Ön işlemsiz grubuna ait kül değerleri dikkate alındığında en yüksek değer %4.02 ile liyofilizatör ile kurutulan en düşük değer %1.62 ile hibrit ile kurutulan ürünlerde tespit edilmiştir. Buna ilaveten ultrases ön işlem uygulanan çeşitlerde kül değeri %1.36 ile 3.87 arasında değişiklik göstermiştir. Oregon Spur ön işlemsiz grupta en yüksek protein değeri hibrit kurutmada, en düşük ise liyofilizatör ile kurutmada saptanmıştır. Oregon Spur ultrases grubunda en yüksek protein değerleri %3.10 ve %2.99 ile sırasıyla konvektif ve hibrit kurutmada belirlenmiştir. En düşük değer ise %1.98 ile serada kurutulan ürünlerde ortaya konulmuştur.
Granny Smith çeşidinin hem ön işlemsiz hem de ultrases ön işlem grubunda sistemler kuru madde miktarları bakımından istatistiki olarak aynı grupta yer almışlardır. Granny Smith ön işlemsiz grubu için en yüksek kül değeri %3.27 ile liyofilizatör ile kurutmada, en düşük değer ise %2.38 ile güneşte kurutmada belirlenmiştir. Ultrases grubunda en yüksek değer mikrodalga (%3.60), en düşük değer güneşte kurutulan ürünlerde (%2.12) elde edilmiştir.

Tablo 3. 26. Çeşitlere göre kuru madde ve kül özelliklerine ait ortalama değerleri ve Tukey grupları*

Uygulama	Ön işlemsiz								
	Golden Delicious			Oregon Spur			Granny Smith		
	Kuru Mad. (%)	Kül (%)	Protein (%)	Kuru Mad. (%)	Kül (%)	Protein (%)	Kuru Mad. (%)	Kül (%)	Protein (%)
Güneş	91.31^{a}	2.68^{b}	1.89^{c}	88.89^{b}	2.89^{ab}	1.57^{e}	88.29^{a}	2.63^{c}	2.67^{c}
Sera	93.14^{a}	1.68^{d}	2.10^{b}	93.53^{ab}	2.73^{ab}	1.61^{e}	87.91^{a}	2.38^{c}	2.14^{d}
Mikrodalga	92.64^{a}	3.19^{a}	1.73^{d}	94.11^{ab}	3.72^{ab}	2.02^{c}	91.08^{a}	3.16^{ab}	3.44^{ab}
Hibrit	91.85^{a}	1.96^{cd}	1.53^{e}	92.35^{ab}	1.62^{b}	2.55^{a}	85.14^{a}	3.13^{ab}	3.32^{b}
Konvektif	93.17^{a}	3.02^{ab}	2.55^{a}	94.59^{a}	3.51^{a}	1.82^{d}	88.85^{a}	2.77^{bc}	3.65^{a}
Liyofilizatör	92.98^{a}	2.07^{c}	1.82^{cd}	94.42^{ab}	4.02^{a}	2.19^{b}	90.32^{a}	3.27^{a}	3.47^{ab}
Uygulama	**Ultrases ön işlemli**								
	Golden Delicious			**Oregon Spur**			**Granny Smith**		
	Kuru Mad. (%)	**Kül (%)**	**Protein (%)**	**Kuru Mad. (%)**	**Kül (%)**	**Protein (%)**	**Kuru Mad. (%)**	**Kül (%)**	**Protein (%)**
Güneş	84.36^{b}	2.13^{bc}	2.30^{d}	85.29^{b}	1.69^{b}	2.34^{c}	89.08^{a}	1.05^{c}	3.12^{b}
Sera	91.98^{a}	2.80^{a}	1.77^{e}	91.65^{a}	1.67^{b}	1.98^{d}	89.72^{a}	1.60^{b}	2.38^{c}
Mikrodalga	91.22^{a}	1.49^{d}	3.89^{a}	90.25^{a}	1.68^{b}	2.59^{b}	88.40^{a}	1.64^{b}	3.60^{a}
Hibrit	91.81^{a}	2.16^{b}	2.80^{c}	92.32^{a}	1.83^{ab}	2.99^{a}	86.11^{a}	1.96^{a}	3.03^{b}
Konvektif	89.35^{a}	1.86^{c}	3.83^{a}	90.99^{a}	1.62^{b}	3.10^{a}	86.24^{a}	1.65^{b}	2.52^{c}
Liyofilizatör	91.41^{a}	2.16^{b}	3.10^{b}	94.17^{a}	2.03^{a}	2.19^{c}	87.80^{a}	1.76^{ab}	2.92^{b}

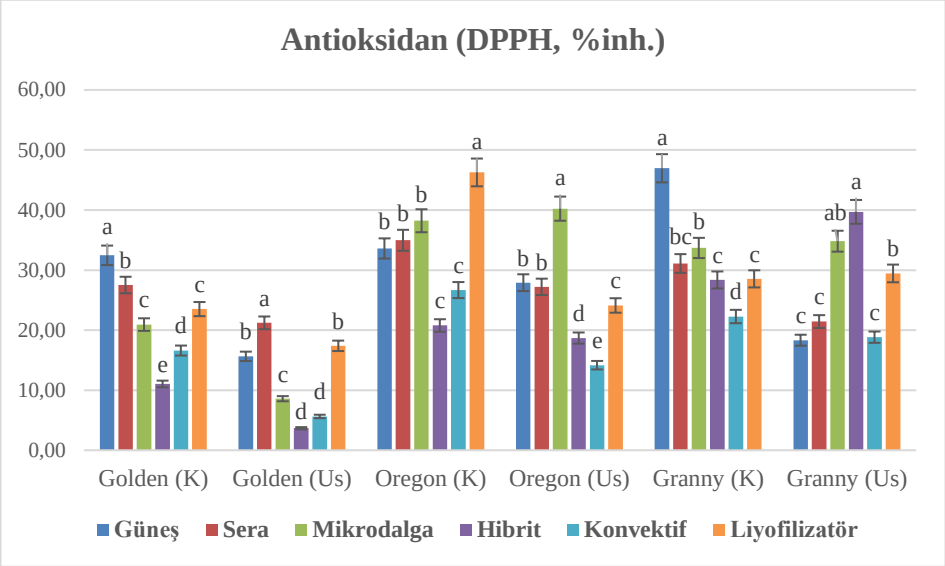
* Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark P≤0.05 düzeyinde önemlidir.

Çeşitlerin toplam fenolik madde içeriği gruplandırmaları Şekil 3.29'da sunulmuştur. Tüm çeşitler ve ön işlemler dikkate alındığında en yüksek değerler güneşte kurutmada elde edilmiştir. Golden Delicious ön işlemsiz grubu için en düşük değerler hibrit kurutmada (2.16 mg g^{-1}) belirlenmiştir. Golden Delicious ultrases grubunda ise en düşük değer yine hibrit (0.69 mg g^{-1}) kurutmada tespit edilmiştir. Oregon Spur için en düşük değer, hem ön işlemsiz grubunda (6.08 mg g^{-1}) hem de ultrases grubunda (3.14 mg g^{-1}) konvektif kurutmada saptanmıştır. Granny Smith için yine konvektif kurutucu ön işlemsiz (5.94 mg g^{-1}) ve ultrases ön işlemli (3.64 mg g^{-1}) gruplarında en düşük ortalamalara sahip sistem olmuştur.



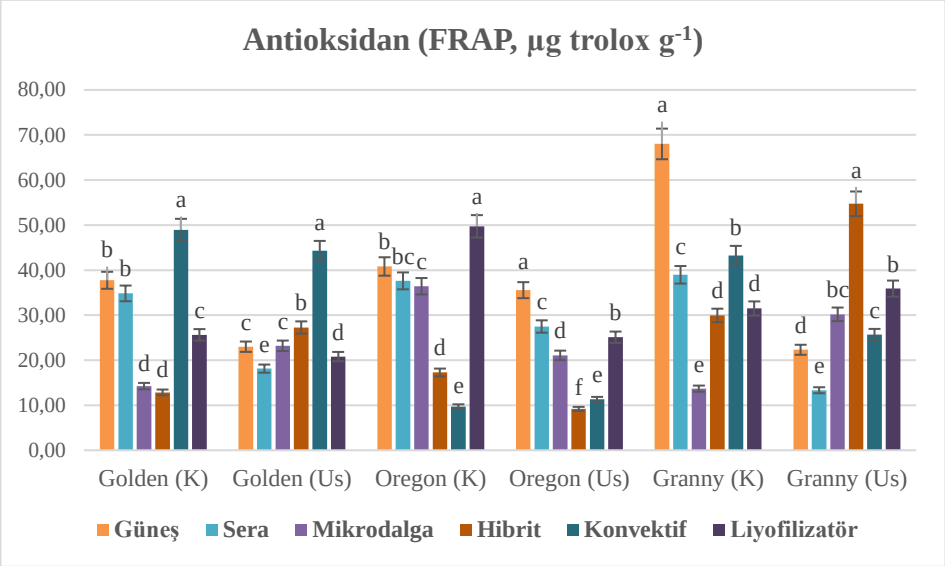
Şekil 3. 29. Çeşitlerin ortalama toplam fenolik madde değerlerine göre Tukey grupları*

Antioksidan (DPPH) kapasitesi tüm çeşitler ve ön işlemler için Şekil 3.30'da gösterilmiştir. Serbest radikal olan DPPH (2,2-difenil-1-pikril hidrazil) antioksidan, maddelerin radikal süpürme aktivitelerini belirlemek için en sık kullanılan bileşiklerdendir (Chen vd., 2013). Bulgulara göre Golden Delicious ön işlemsiz grubunda en yüksek değer güneşte elde edilirken bunu sera ve liyofilizatör kurutma sistemleri izlemiştir. Golden Delicious ultrases uygulaması için ise en yüksek ortalama, serada kurutulan ürünlerden elde edilmiştir. Oregon Spur ön işlemsiz grubunda en yüksek DPPH oranı %46.26 ile liyofilizatör kurutma sisteminde elde edilirken ultrases grubunda ise %40.23 ile mikrodalga kurutmada elde edilmiştir. Granny Smith çeşidi için ön işlemsiz grubunda güneşte kurutma (%46.96) ve ultrases grubunda ise hibrit kurutma (%39.60) öne çıkan sistemler olmuştur. Bununla birlikte Golden Delicious ön işlemsiz (%11.04) ve ultrases ön işlemli (%3.67) uygulamaları ile Oregon Spur ön işlemsiz (%20.78) uygulaması için en düşük %inhibisyon oranları hibrit kurutucuda bulunmuştur. Oregon Spur ultrases ve Granny Smith ön işlemsiz grubu için en düşük değerler sırasıyla %14.17 ve %22.27 ile konvektif kurutucuda belirlenmiştir. Güneş ve konvektif kurutma Granny Smith ultrases uygulaması için en düşük değere sahip sistemler olmuştur.



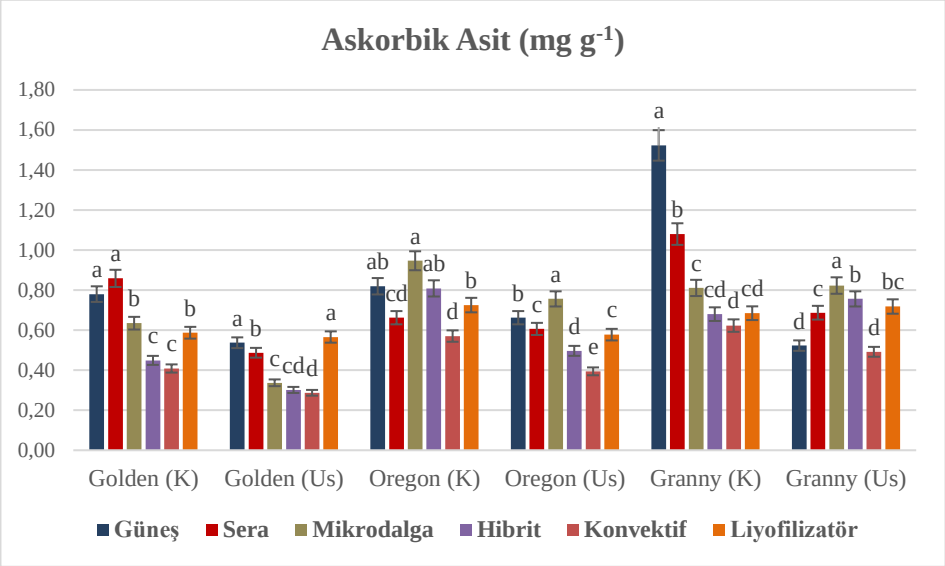
Şekil 3. 30. Çeşitlerin ortalama antioksidan (DPPH) değerlerine göre Tukey grupları*

Çeşitlere ait antioksidan (FRAP) aktivitesi için ortalamalar ve istatistiksel gruplar Şekil 3.31'de verilmiştir. Golden Delicious ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli gruplarında sırasıyla 48.94 ve 44.27 µg trolox g^{-1} değerler ile en yüksek değerler konvektif kurutmada tespit edilmiştir. En düşük değerler ön işlemsiz grubunda hibrit kurutulan ürünlerde (12.85 µg trolox g^{-1}), ultrases grubunda serada kurutulan ürünlerde (18.12 µg trolox g^{-1}) bulunmuştur. Oregon Spur ön işlemsiz grubu için en yüksek değer 49.72 µg trolox g^{-1} ile liyofilizatörde, ultrases grubu için ise 35.55 µg trolox g^{-1} ile güneşte kurutulan ürünlerde saptanmıştır. En düşük değerler ön işlemsiz grubunda konvektif kurutucuda, ultrases grubunda ise hibrit kurutucuda belirlenmiştir. Tüm uygulamalar arasında en yüksek değerler Granny Smith ön işlemsiz grubunda güneşte kurutmada (68.01 µg trolox g^{-1}) belirlenmiştir. Ultrases uygulamasında ise en yüksek FRAP değeri 54.73 µg trolox g^{-1} ile hibrit kurutulan ürünlerde elde edilmiştir.



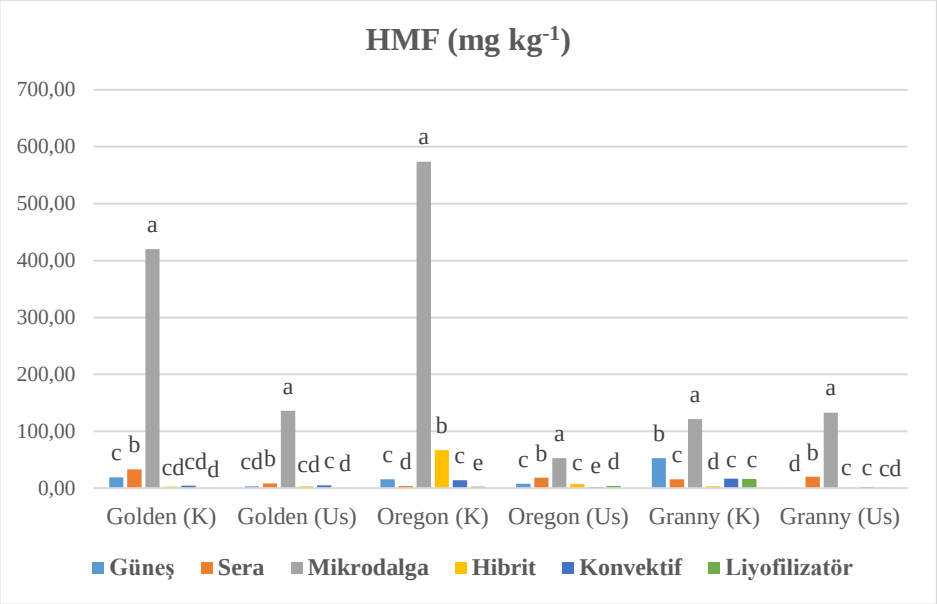
Şekil 3. 31. Çeşitlerin ortalama antioksidan (FRAP) değerlerine göre Tukey grupları*

Kurutma sonrası çeşitlerin askorbik asit ortalamaları ve gruplandırma farklılıkları Şekil 3.32'de gösterilmiştir. Golden Delicious ön işlemsiz için en yüksek değer serada kurutulan (0.86 mg g^{-1}), ultrases için liyofilizatör ile kurutulan (0.57 mg g^{-1}) ürünlerde elde edilmiştir. Oregon Spur için en yüksek değer hem ön işlemsiz hem de ultrases ön işlemli için sırasıyla 0.95 ve 0.76 mg g^{-1} olarak mikrodalga ile kurutulan ürünlerde belirlenmiştir. Granny Smith ön işlemsiz grubunda tüm uygulamalar arasında en yüksek değerler güneşte ve serada kurutulan ürünlerde sırasıyla 1.52 ve 1.08 mg g^{-1} olarak bulunmuştur. Granny Smith ultrases ön işlem uygulamasında en yüksek değer 0.82 0.86 mg g^{-1} ile mikrodalga ile kurutulan ürünlerde elde edilmiştir. Genel olarak ön işlem uygulanan çeşitlerin askorbik asit değerleri ön işlemsiz grubuna göre daha düşük olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 32. Çeşitlerin ortalama askorbik asit değerlerine göre Tukey grupları*

Elma çeşitlerinde, farklı ön işlem ve kurutma uygulamaları sonucu değişen HMF miktarları belirlenmiştir. Hesaplanan HMF miktarları mg kg^{-1} olarak Şekil 3.33'de verilmiştir. Uygulamalara göre HMF miktarı 0.10 mg kg^{-1} (güneşte Granny Smith ultrases) ile 574.01 mg kg^{-1} (mikrodalga Oregon Spur ön işlemsiz) arasında değişmiştir. En düşük HMF değerleri liyofilizatör ile, en yüksek ise mikrodalga ile kurutulan ürünlerde elde edilmiştir. Mikrodalga uygulamasının diğer kurutma işlemlerine göre HMF oluşumunu arttırıcı bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Çeşitler değerlendirildiğinde ise en yüksek sonuçlar Oregon Spur ön işlemsiz grubunda, en düşük sonuçlar Oregon Spur ultrases grubunda elde edilmiştir. Genel olarak ultrases ön işlem uygulanan örneklerin ve kurutma süresi fazla olan uygulamaların HMF değerleri daha düşük olarak belirlenmiştir. Bu gerekçeyle ultrases ön işlem uygulamasının HMF miktarlarını düşürücü bir faktör olduğu ortaya konulmuştur.



Şekil 3. 33. Çeşitlerin kurutma sonrası HMF miktarları

Bu çalışmada çeşitler, ön işlemler ve kurutma yöntemleri arasında biyokimyasal özellikler bakımından önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ürünlerin biyokimyasal özellikleri bitkinin genetiğine, tarımsal uygulamalara, toprak özelliklerine ve hasat zamanına göre değişiklik göstermektedir (Sarafi vd., 2018).

Askorbik asit, ısıl işlemler sırasında düşük stabiliteye sahip olduğundan gıda işlemede aşamalarında önemli kayıplara uğramaktadır (Podsedek, 2007). Kurutma işlemleri sırasında suda çözünür askorbik asit içeriklerinde önemli kayıplar meydana gelmekte ve bu kayıplar rehidrasyon sırasında oksidatif işlemlerle geri döndürülememektedir (Vega-Gálvez vd., 2008). Esansiyel bir besin öğesi olan askorbik asit, hastalıklara karşı koruma sağlamakta ve biyolojik antioksidan olarak da görev yapmaktadır (Santos ve Silva, 2008). Yüksek kurutma sıcaklıkları ve uzun kurutma süreleri fenolik bileşikleri ve antioksidan aktiviteyi azaltabilmektedir (Wojdyło vd., 2014). Aronya meyvesinin kurutulmasında benzer etkiler Samoticha vd. (2016) tarafından gözlemlenmiştir. Ancak Igual vd. (2012), kuru kayısıların taze olanlara göre daha fazla antioksidan aktiviteye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Böyle bir durum, kısmen oksitlenmiş polifenollerin oksitlenmemiş polifenollerden daha yüksek antioksidan kapasitesine (Kamiloğlu vd., 2015) ve kurutma işlemi sırasında Maillard reaksiyon ürünleri gibi yeni bileşiklerin oluşmasına bağlı olabilmektedir.

Genel olarak mikrodalgada kurutulmuş ürünler, konvektif kurutulmuş örneklere göre daha fazla antioksidan aktiviteye sahip olarak bulunmuştur. Bu durum, kurutma

sürelerinin az olmasına ve Maillard reaksiyon ürünlerinin serbest radikal temizleme aktivitesine bağlanabilmektedir (Igual vd., 2012).

Artan kurutma sıcaklıkları ve mikrodalga güçleri toplam fenolik maddeyi ve antioksidan aktiviteyi azaltmıştır. Yüksek sıcaklıklar ve uzun kurutma süreleri, yüksek antioksidan potansiyeline sahip fitokimyasalların oksidasyonuna ve bozulmasına (Kamiloğlu vd., 2016) ve biyoaktif bileşiklerin kaybına (Horuz vd., 2017) neden olmaktadır. Kurutma işlemi sırasında enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları da antioksidan özellikleri etkileyebilmektedir (Samoticha vd., 2016). Bazı elma çeşitlerinde, liyofilizatör ile kurutma gözenekliliği artırmıştır. Bu durum aynı zamanda antioksidan (DPPH) etkinliğini de artırmıştır. Liyofilizatör ile kurutmadaki yüksek fenolik seviyeler, bu tür artan verimliliklerle ilişkilendirilmektedir (Vashisth vd., 2011).

Protein oranı kurutma esnasında meydana gelen su kaybından dolayı kurutulmuş ürünlerde daha fazla olmaktadır. Polat vd. (2019), çalışmalarında elmanın hibrit kurutmada (mikrodalga+vakum) en yüksek protein içeriğini 30 dk kurutma süresiyle 300W-400 mmHg-P=1 kurutma uygulamasında %2.5 olarak bildirmiştir. Farklı vakum basınçlarında 200W mikrodalga gücünde kurutulan elmaların protein içeriği bu çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermiştir.

Benzer şekilde Horuz (2018), Golden Delicious elma çeşidi için 50, 60 ve 70°C konvektif kurutmada toplam fenolik madde (mg g^{-1}) içeriğini sırasıyla 222.83, 199.67 ve 192.04 mg g^{-1}, antioksidan kapasiteyi (DPPH, % inh.) sırasıyla %28.29, 25.53 ve 25.40, askorbik asit (mg g^{-1}) içeriğini ise 13.31, 10.44 ve 9.95 mg g^{-1} olarak bildirmiştir. Ayrıca 120W+60°C hibrit kurutma için toplam fenolik madde (mg g^{-1}), antioksidan kapasiteyi (DPPH, %inh.) ve askorbik asit (mg g^{-1}) içeriğini sırasıyla 187.71 mg g^{-1}, %25.62 ve 11.67 mg g^{-1} olarak ortaya koymuştur. Ertekin Filiz (2015), askorbik asit değerlerini 65°C'de kurutulan elma örneklerinde 6,29-7,24 mg 100 g^{-1}, 70°C'de kurutulan örneklerde 5,57-5,88 mg 100 g^{-1} ve 75°C'de kurutulan örneklerde ise 4,82-5,21 mg 100 g^{-1} aralığında bulmuştur. Bununla birlikte kurutma sonrası örneklerde toplam fenolik madde miktarlarını 65, 70 ve 75°C için Starking Delicious çeşidi için sırasıyla 419, 368 ve 337 mg GAE 100 g^{-1}, Golden Delicious çeşidi için 525, 473 ve 442 mg GAE 100 g^{-1} ve Granny Smith çeşidi için 488, 436 ve 408 mg GAE 100 g^{-1} olarak tespit etmiştir.

Vega-Galvez vd. (2012), Granny Smith kurutulmuş elmaların DPPH değerlerini 0.5 m s^{-1} 40, 60 ve 80°C için sırasıyla 1787.99, 3113.47 ve 2142.96 μg mg^{-1}, toplam fenolik içeriğini ise 31.94, 27.39 ve 27.34 mg GA 100 g^{-1} olarak belirlemiştir. Rodríguez vd.

(2014), Granny Smith elma çeşidinde ön işlemsiz, ultrases 1 (18.5kW m^{-3}) ve ultrases 2 (30.8 kw m^{-3}) ön işlemli kurutulmuş ürünlerin antioksidan (FRAP) aktivitesi değerlerini 30°C için sırasıyla 51.2, 49.3 ve 37.8 mg g^{-1}, 50°C için 45.6, 40.4 ve 39.6 mg g^{-1} ve 70°C için 38.1, 39.7 ve 41.6 mg g^{-1} olarak ortaya koymuştur. Al Juhaimi vd. (2016), antioksidan aktivitesi değerlerini Granny Smith ve Golden Delicious elma çeşitlerinde 70°C fırın kurutma için sırasıyla %52.49 ve 35.04, 180W mikrodalga kurutma için ise sırasıyla %61.88 ve 38.52 olarak, toplam fenolik madde içeriğini ise 70°C fırın kurutma için sırasıyla 363.75 ve 306.25 mg g^{-1}, 180W mikrodalga kurutma için ise sırasıyla 352.19 ve 254.06 mg g^{-1} olarak bildirmiştir.

Masztalerz vd. (2020), ozmotik dehidrasyon uygulaması ile farklı kurutma sistemlerinde kuruttukları elmalarda fenolik madde içeriğini 53.82 ile 216.99 mg GAE 100 g-1 dm arasında, antioksidan (FRAP) değerlerini 1.96 ile 14.23 mmol trolox 100 g-1 dm arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Opalić vd. (2009), farklı ultrases bekletme sürelerini ön işlem olarak uygulamışlar ve toplam fenolik madde miktarını en düşük, 54 dakika ultrases ön işlem uygulamasında ve 540 dakika konvektif (71.5ºC) uygulamasında 3.38 mg g-1 ve en yüksek ise 22.5 dakika ultrases ön işlem uygulamasında ve 720 dakika konvektif (71.5ºC) uygulamasında 5.47 mg g-1 olarak elde etmişlerdir. Buna ilaveten yine FRAP değerini en düşük, 54 dakika ultrases ön işlem uygulamasında ve 540 dakika konvektif (71.5ºC) uygulamasında yaklaşık 2.5 mM Fe(II) g-1 ve en yüksek ise 22.5 dakika ultrases ön işlem ve 720 dakika konvektif (71.5ºC) uygulamasında yaklaşık 4.0 mM Fe(II) g-1 olarak belirlemişlerdir.

Mevcut çalışmaya benzer şekilde Kaya (2019), çalışmasında Starking Delicious elma çeşitlerinde kurutma sonrası HMF miktarlarını 65ºC'de kurutma grubunda 18.52 mg kg^{-1} ve ultrases ön işlem grubunda 15 dk uygulama için 6.27 mg kg^{-1}, 30 dk uygulama için 5.41 mg kg^{-1} olarak belirlemiştir. Çalışmada 180W mikrodalga kurutmada HMF değerleri ön işlemsiz grubunda 312.69 mg kg^{-1} ve ultrases ön işlem grubunda 15 dk uygulama için 279.05 mg kg^{-1}, 30 dk uygulama için 189.53 mg kg^{-1} olarak elde etmiştir. Ertekin-Filiz (2015), 65, 70 ve 75ºC'de kuruttukları elmalarda HMF değerlerini 0.39-8.62 mg kg^{-1} aralığında tespit etmiştir.

3.9. Sertlik ve Kırılganlık Tekstür Profili

Tekstür analizinde sertlik, numuneyi kırmak için gereken maksimum kuvveti ifade etmektedir. Numuneye küçük bir kuvvet uyguladıktan sonra numunenin aniden kırılması durumunda kırılganlık belirlenmektedir (Duan vd., 2020). Kurutma süresi ile numunelerin akma kuvveti artmaktadır. Bu durum numunelerin kırılması için gereken kuvvetin kurutma işlemi sırasında kademeli olarak arttığını göstermektedir. Yüksek mikrodalga güç yoğunlukları, daha büyük bir kuvvete yol açabilmektedir. Fakat maksimum değere ulaşıldıktan sonra bu kuvvet biraz azalmaktadır. Bunun nedeni, artan kırılganlığın ürünün kırılmasını kolaylaştırması ve böylece kuvvetin azalması olarak tanımlanmaktadır. Kırılganlık özelliği kuruma süresiyle artmakta ve daha yüksek bir sıcaklık ve mikrodalga seviyesi daha yüksek bir dirence, kırılganlığa ve sertliğe yol açabilmektedir. Ayrıca ortalama sertlik, kuruma süresi ile artmakta ve belli bir seviyeye çıktıktan sonra sabit kalmaktadır (Jangam vd., 2010). Kurutulmuş ürünlerin öğütülmesi ve toz haline getirilmesi işleminde kırılganlık ve sertlik önemli bir rol oynamaktadır (Colombo vd., 2017). Ayrıca kurutulmuş ürünün kırılganlığı ve sertliği tüketici tercihlerinde önemli bir etkiye sahiptir (Ma vd., 2011).

Araştırma sonuçlarına göre çeşitler için sertlik ve kırılganlık değerleri ile istatistiksel grupları Tablo 3.27'de verilmiştir. Golden Delicious ön işlemsiz grupları incelendiğinde en yüksek sertlik değeri serada kurutulan (510.19 gf), en düşük değer ise liyofilizatör ile kurutulan (101.67 gf) ile ürünlerde saptanmıştır. Ultrases grubunda en yüksek değer 438.98 gf ile hibrit kurutma sisteminde bulunurken, güneş, sera, mikrodalga ve liyofilizatör kurutma en düşük değerlerle aynı istatistiki grupta yer almıştır. Oregon Spur çeşidine ilişkin sertlik değerleri için en yüksek ortalama 294.00 gf ile mikrodalga kurutmada, en düşük ortalama ise 98.30 gf ile hibrit kurutmada bulunmuştur. Ultrases grubunda ise 475.71 ve 442.98 gf ile sırasıyla sera ve hibrit kurutma sistemleri en yüksek ortalama sertlik değerlerine sahip olmuştur. Diğer sistemlerin istatistiksel gruplandırmalarında ise fark görülmemiştir. Granny Smith çeşidi ön işlemsiz grubunda tüm sistemlerin ortalaması 390.48 gf olarak elde edilmiş olup bu değer, çeşit ve ön işlemler arasında en yüksek ortalama olmuştur. Uygulamalar arasında en yüksek değere885.38 gf ile serada kurutulan ürünlerde tespit edilmiştir. En düşük değer ise yine liyofilizatör ile kurutulan ürünlerde bulunmuştur. Ultrases grubunda 360.92 ve 360.44 gf ile birbirine çok yakın değerlere sahip olan sırasıyla hibrit ve konvektif kurutma sistemleri

en yüksek ortalamaları elde etmiştir. En düşük ortalama ise güneşte kurutulan ürünlerde belirlenmiştir.

Kırılganlık ortalamaları çeşitlere ve ön işlemlere göre değerlendirildiğinde en yüksek ortalama 1.92 kırılganlık mm^{-1} değeri ile Oregon Spur ultrases uygulamasında, en düşük ortalama ise 1.29 kırılganlık mm^{-1} ile Granny Smith ön işlemsiz uygulamasında elde edilmiştir. En yüksek kırılganlık değerleri Golden Delicious ön işlemsiz grubunda konvektif kurutulan (3.78 kırılganlık mm^{-1}) ultrases grubunda ise serada kurutulan (3.65 kırılganlık mm^{-1}) ürünlerde elde edilmiştir. Granny Smith çeşidinde hem ön işlemsiz hem de ultrases ön işlemli grubunda en yüksek değerler 3.45 ve 2.88 kırılganlık mm^{-1} ile mikrodalga kurutmada tespit edilmiştir. Oregon Spur ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli grubunda istatistiksel gruplandırmalar açısından önemli bir fark bulunamamıştır.

Tablo 3. 27. Çeşitlere göre sertlik ve kırılganlık özelliklerine ait ortalama değerler ve Tukey grupları*

Uygulama	**Ön işlemsiz**					
	Golden Delicious		**Oregon Spur**		**Granny Smith**	
	Sertlik (gf)	**Kırılganlık (mm^{-1})**	**Sertlik (gf)**	**Kırılganlık (mm^{-1})**	**Sertlik (gf)**	**Kırılganlık (mm^{-1})**
Güneş	391.20^{b}	0.85^{b}	144.33^{bc}	0.64^{a}	885.38^{a}	0.86^{b}
Sera	510.19^{a}	2.40^{ab}	226.97^{abc}	1.04^{a}	256.83^{bc}	1.05^{b}
Mikrodalga	168.96^{cd}	1.28^{b}	294.90^{a}	2.65^{a}	294.85^{bc}	3.45^{a}
Hibrit	204.47^{c}	0.82^{b}	98.30^{c}	1.67^{a}	421.91^{b}	0.67^{b}
Konvektif	453.66^{ab}	3.78^{a}	279.59^{ab}	1.84^{a}	285.34^{bc}	1.07^{b}
Liyofilizatör	101.67^{d}	0.46^{b}	142.25^{bc}	0.71^{a}	198.59^{c}	0.63^{b}
Ortalama	305.03	1.60	197.72	1.43	390.48	1.29
Uygulama	**Ultrases ön işlemli**					
	Golden Delicious		**Oregon Spur**		**Granny Smith**	
	Sertlik (gf)	**Kırılganlık (mm^{-1})**	**Sertlik (gf)**	**Kırılganlık (mm^{-1})**	**Sertlik (gf)**	**Kırılganlık (mm^{-1})**
Güneş	241.64^{b}	0.93^{b}	252.15^{b}	2.39^{a}	176.12^{b}	0.58^{b}
Sera	214.94^{b}	3.65^{a}	475.71^{a}	2.54^{a}	248.92^{ab}	1.43^{ab}
Mikrodalga	184.36^{b}	1.02^{b}	228.34^{b}	1.14^{a}	234.06^{ab}	2.88^{a}
Hibrit	438.98^{a}	0.71^{b}	442.98^{a}	2.89^{a}	360.92^{a}	1.55^{ab}
Konvektif	272.85^{ab}	1.71^{b}	275.40^{b}	2.01^{a}	360.44^{a}	1.72^{ab}
Liyofilizatör	111.58^{b}	1.16^{b}	198.66^{b}	0.56^{a}	188.84^{ab}	1.96^{ab}
Ortalama	244.06	1.53	312.21	1.92	261.55	1.69

* Aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P \leq 0.05$ düzeyinde önemlidir.

Çalışmamıza benzer şekilde Mothibe vd. (2014), kurutulmuş elma için sertlik değerlerini farklı kurutma koşulları için değerlendirmiştir. Sertlik değerlerini akışkan yataklı kurutucu (70ºC) kurutulmuş ürünler için 1533.102 gf bulunmuştur. Ayrıca ultrases ön işlem uygulanmış akışkan yataklı kurutucuda kurutulmuş ürünlerde 5 dk ön işlem için 555.485 gf, 10 dk ön işlem için 592.926 gf, 15 dk ön işlem için 508.078 gf olarak belirlenmiştir. Khampakool vd. (2019), çalışmasında kurutlmuş muz için sertlik değerlerini dondurarak kurutma içim 7.9 N, kırılganlık değerlerini ise 1.6 N/mm olarak tespit etmiştir. Duan vd. (2020), kurutulmuş tatlı patateste üç farklı mikrodalga uygulamasında sertlik ve kırılganlık değerlerini 0.125 W g^{-1} uygulaması için sırasıyla yaklaşık 4 N ve 1.7 mm^{-1}, 0.225 W g^{-1} uygulaması için 7.2 N ve 1.5 mm^{-1} ve 0.370 W g^{-1} uygulaması için 8.0 N ve 1.75 mm^{-1} olarak bildirmişlerdir (1 N = 101.97 gf).

3.10. Tek Sıcaklık ve Spektral Yansıma

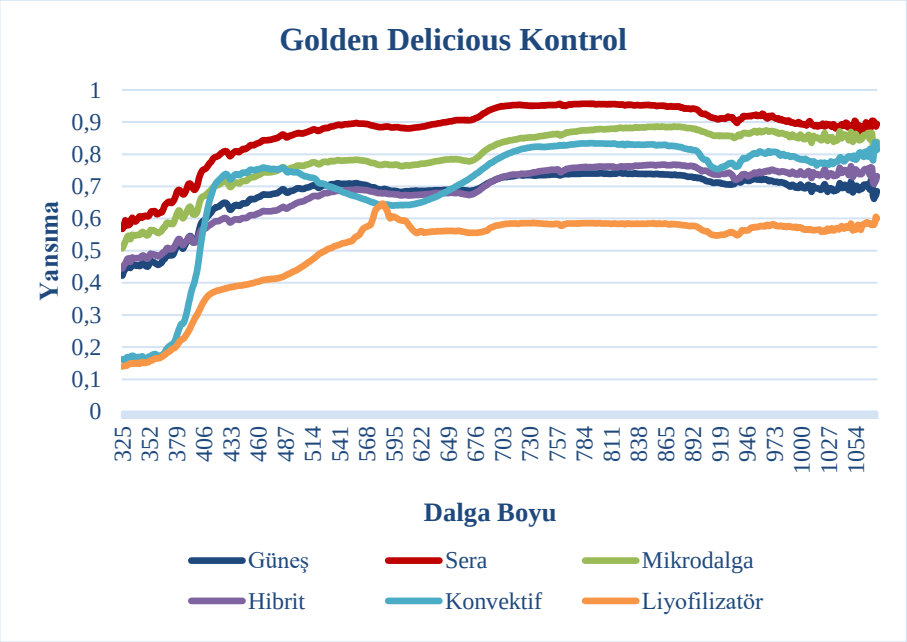
Sıcaklık ürünlerin kurutulmasında en önemli unsurlardan birisidir. Optimum sıcaklık değerlerinin bilinmesi ve doğru bir şekilde uygulanması kurutmanın başarılı olmasına katkı sağlamaktadır. Çalışmada kurutma esnasında ürünlerin sıcaklıkları termal kamera ile ölçülmüştür. Ardından her bir ürünün sıcaklığı görüntü analizi ile tespit edilmiştir.

Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith çeşidine ait elmaların kurutma esnasındaki sıcaklık ortalamaları Şekil 3.46, 3.47 ve 3.48'de verilmiştir. Golden Delicious çeşidi için en yüksek ortalama 64.26°C ile mikrodalga ön işlemsiz uygulamada olurken en düşük ortalama 32.49°C ile güneşte kurutulan ön işlemsiz grubunda elde edilmiştir. Sıcaklık ortalamaları bakımından mikrodalga kurutma sisteminden sonra en yüksek değerler serada kurutmada elde edilmiştir. Oregon Spur çeşidinden en yüksek sıcaklık ortalaması 73.15°C ile mikrodalgada kurutulan ultrases grubunda meydana gelmiştir. Bu değeri sırasıyla 67.15°C ile mikrodalgada kurutulan ön işlemsiz grubu ve 61.59°C ile serada kurutulan ultrases uygulaması izlemiştir. En düşük sıcaklık değerleri ise güneşte ve konvektif kurutucuda tespit edilmiştir. Granny Smith çeşidine ait sıcaklık değerleri dikkate alındığında en yüksek değerler yine mikrodalga kurutucuda elde edilirken bunu serada kurutma izlemiştir. En düşük sıcaklık değerleri ise konvektif kurutucuda ve güneşte kurutulan ürünlerde saptanmıştır. Granny Smith çeşidinde ultrases ön işleme tabi tutulan örneklerin sıcaklıklarının daha fazla olduğu belirlenmiştir.

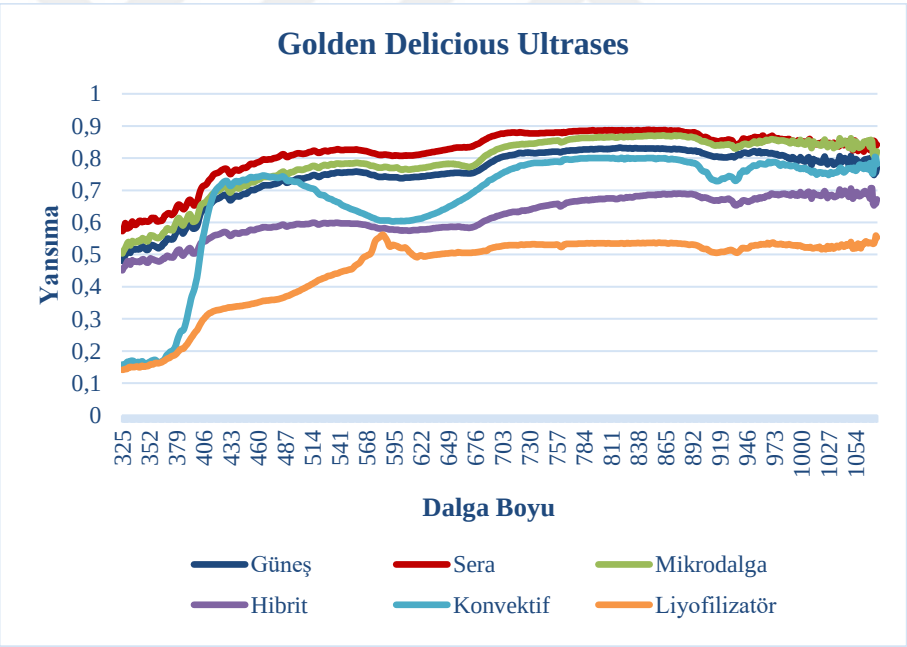
Spektral yansımalar, gıda kalitesindeki farklılıklara göre belirli dalga boylarında farklı formlarda elektromanyetik enerji üretmektedir. Spektral özellikler, çok çeşitli ve bileşenli

olarak nesnelerin yüzeyindeki ve yüzey altındaki özellikler için bilgiler sunmaktadır (Nawrocka ve Lamorska, 2013).

Çalışmada 3 farklı çeşitte, 2 farklı ön işlem uygulaması gerçekleştirilerek 6 farklı kurutma sisteminde kurutulan örneklerin spektral yansıma değerleri incelenmiştir. Golden Delicious ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli grubu için yansıma spektrumlarındaki değişim Şekil 3.34 ve 3.35'te sunulmuştur. Ön işlemsiz grubunda en yüksek yansıma değerleri sera ve mikrodalga ile kurutulan ürünlerde, en düşük ise konvektif ve liyofilizatör ile kurutulan ürünlerde tespit edilmiştir. Bununla birlikte güneş, sera, mikrodalga ve hibrit ile kurutulan ürünler birbirlerine benzer bir spektral yansımaya sahip olmuştur. Bununla birlikte konvektif kurutulan ürünlerde başlangıç yansıma değerleri bu kurutuculara göre daha düşük olmuş fakat görünür dalga boyları (400-700nm) arasında bir pik yaparak diğer kurutulan ürünlere benzer yansımalar göstermiştir. Liyofilizatörde kurutulan ürünlerin ilk yansıma değeri güneşte kurutmaya benzer şekilde düşük seviyelerde elde edilmiştir. Görünür dalga boyunun başlangıcında yansıma değerleri artmış, ~570 nm değerinde pik yapmıştır. Ultrases ön işlem uygulanan ürünlerde en yüksek yansıma değerleri serada ve mikrodalgada kurutulan ürünlerde, en düşük ise liyofilizatörde kurutulan ürünlerde elde edilmiştir. Sera, mikrodalga ve güneşte kurutulan ürünlerin spektral yansımaları birbiriyle yakın şekilde seyretmiştir. Konvektif ve liyofilizatör ile kurutulan ürünler ön işlemsiz grubundakine benzer dalga boylarında pikler göstermiştir. Buna ek olarak ön işlem uygulanan örneklerin spektral yansıma değerleri uygulanmayanlara göre daha az olmuştur. Ön işlem grubunda hibrit ve liyofilizatörde kurutulan ürünlerin ışığı daha fazla absorbe ettiği gözlemlenmiştir. Çeşitli spektrumlarda görülebilen ~670 nm'deki küçük çukur, kurutulmuş elma yapısındaki klorofilin varlığını göstermektedir. Kurutulmuş elmalarda ~970 nm'de uzaklaştırılmış suyun net bir absorpsiyon zirvesi yoktur. Ürünler sabit ağırlığa kadar hava ile kurutulduktan sonra dokuda çok az su kaldığı için burada dalgalanmalar meydana gelmektedir.



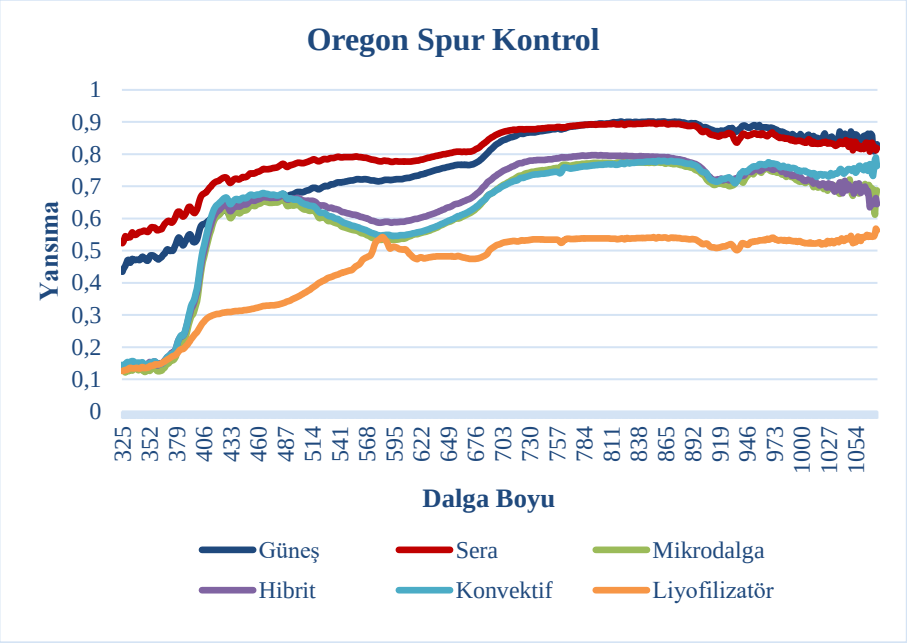
Şekil 3. 34. Golden Delicious çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları



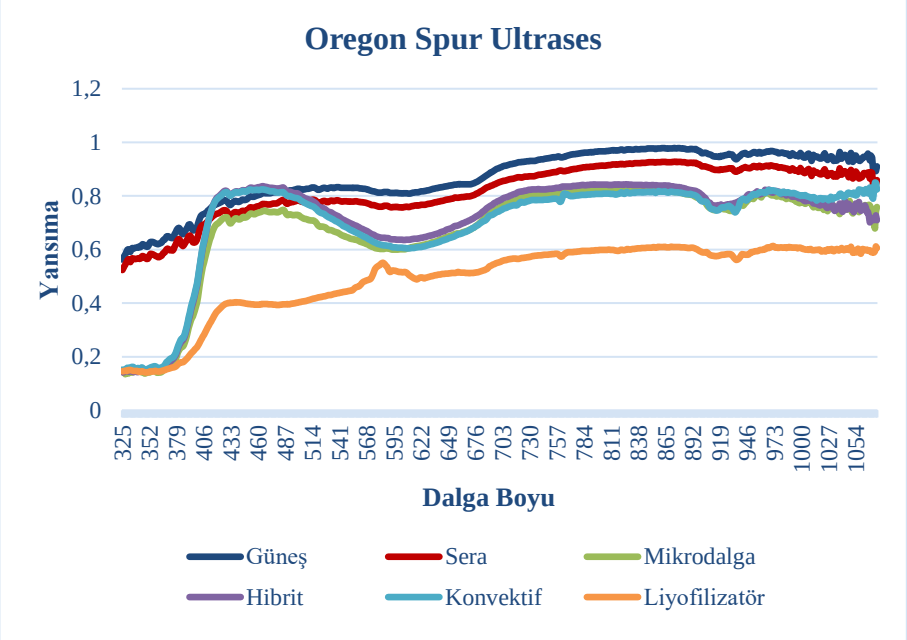
Şekil 3. 35. Golden Delicious çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları

Oregon Spur ön işlemsiz grubunda spektral yansımalar incelendiğinde en yüksek soğrulma sırasıyla sera ve güneşte olurken en düşük değerler liyofilizatörde belirlenmiştir. Mikrodalga, hibrit ve konvektif kurutulan ürünlerin görünür dalga boyunun başlangıcında yansıma değerleri artmıştır. Buna ek olarak bu sistemler birbirine yakın yansıma değerlerine sahip olmuştur. Ultrases ön işlem grubunda en yüksek yansıma değerleri sırasıyla güneş ve serada elde edilmiştir. Işığı en fazla absorbe eden ürünler ise

liyofilizatör ile kurutulanlar olmuştur. Mikrodalga, hibrit ve konvektif kurutma ~400 nm'de pik göstermişler, ön işlemsiz grubundan farklı olarak mikrodalganın pik seviyesi daha az oluşmuştur. Oregon Spur çeşidinde Golden Delicious'un aksine yansıma değerleri ön işlemde daha yüksek olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.36 ve 3.37).



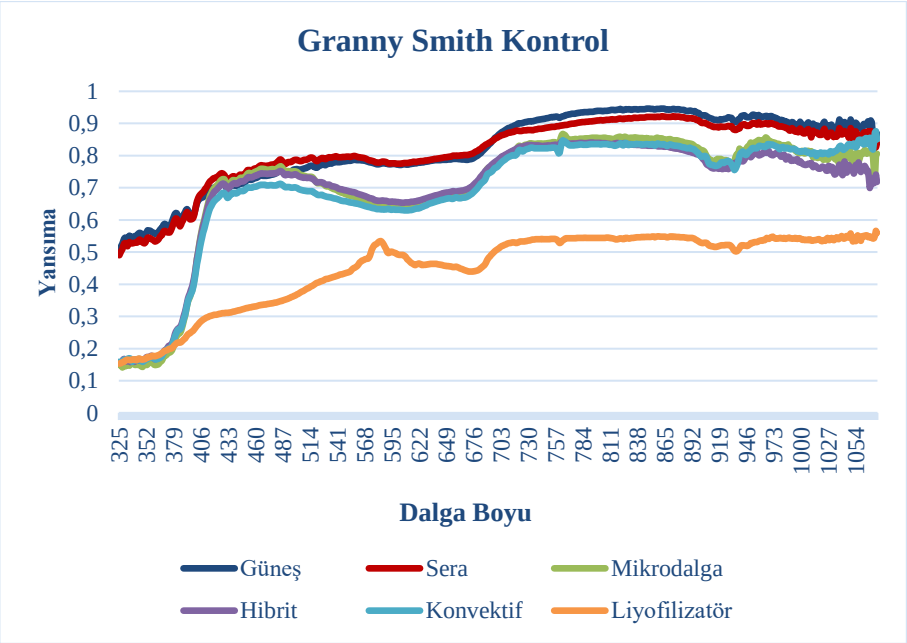
Şekil 3. 36. Oregon Spur çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları



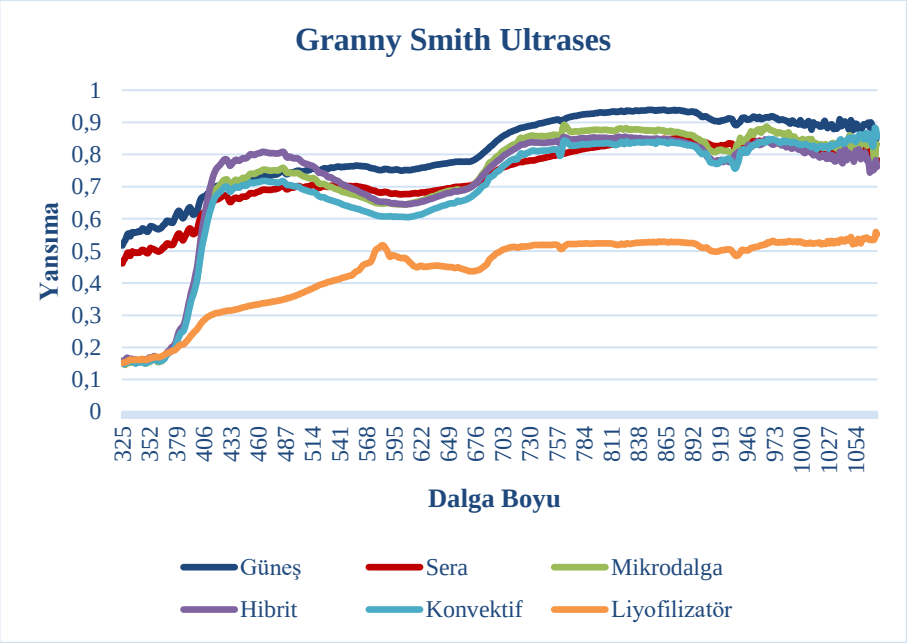
Şekil 3. 37. Oregon Spur çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları

Granny Smith ön işlemsiz grubu için en yüksek soğurma yine güneş ve serada meydana gelmiştir. En yüksek absorbsiyon ise liyofilizatörde tespit edilmiştir. Mikrodalga, hibrit ve konvektif ile kurutulan ürünler diğer çeşit ve uygulamalarda olduğu gibi görünür 375-

400 nm arasında pik yapmışlardır. Ürünlerde denge nemine kadar kurutmadan sonra yapısında çok az nem miktarı olduğu için yine ~970 nm'de dalgalanmalar meydana gelmiştir. Ultrases ön işlem görmüş elmalarda en yüksek yansıma değeri güneşte kurutmada, en düşük ise yine liyofilizatör ile kurutmada saptanmıştır. Bununla birlikte mikrodalgada kurutulan ürünlerin pik değeri ön işlemsiz grubuna göre daha fazla meydana gelmiştir (Şekil 3.38 ve 3.39).



Şekil 3. 38. Granny Smith çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları



Şekil 3. 39. Granny Smith çeşidine ait kurutulmuş elmaların spektral yansımaları

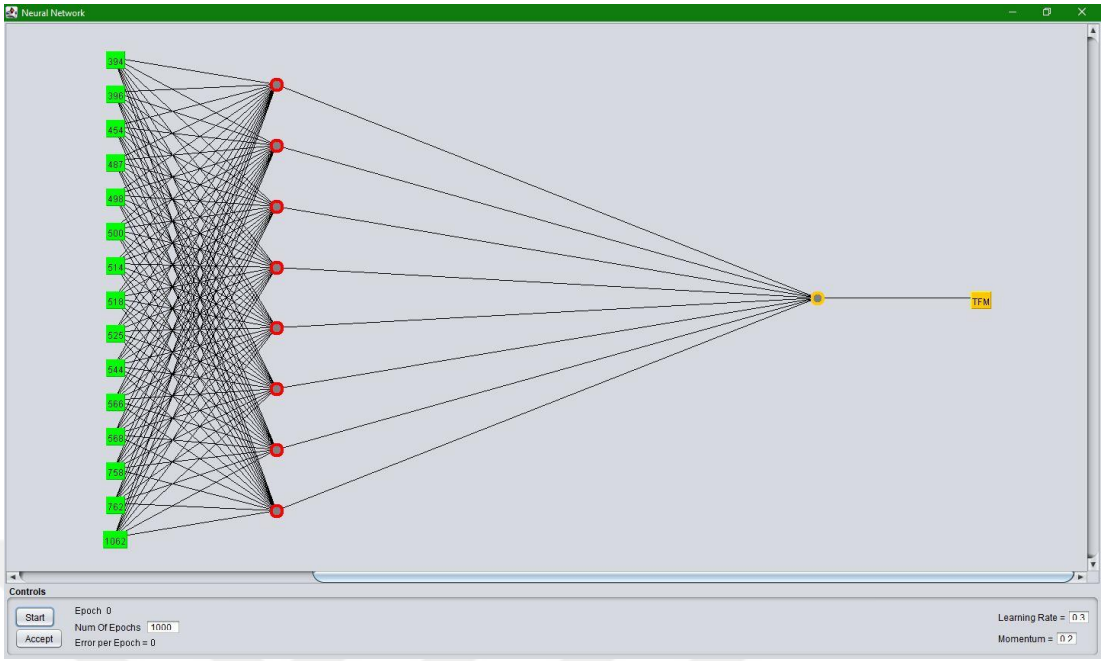
Tüm saçılma profilleri, 590–700 nm aralığında artan dalga boyu ile bir azalma eğilimi sergilemiştir. Çalışmada 400-700 nm aralığındaki saçılma bilgisi 700-1000 nm aralığına göre daha fazla olmuştur. Bu nedenle, saçılma bilgisinin daha fazla yorumlanması bu aralıklarda olmuştur. Ürünlerin yansıma değerleri, 400 nm'den 700 nm'ye kadar monoton bir azalma eğilimi göstermiştir. Tüm numuneler için, 670 nm'de klorofil varlığını gösteren hafif sapmalar gözlemlenmiştir. 670 nm'den önceki bölgede daha yüksek yansıma değerlerinin olması, konvektif kurutma işlemi sırasında kromoforların (Maillard reaksiyonları yoluyla melanoidinler gibi) oluşumu ile ilişkili olabilmektedir (Do Trong vd. 2014). Çalışmada, ultrases ön işleme tabi tutulmuş örneklerin yansıma değerleri daha yüksek olmuştur.

3.11. Yapay Zekâ Algoritmaları ile Tahminleme

3.11.1. Biyokimyasal Özelliklerin Tahminlenmesi

Çalışmada bazı biyokimyasal özelliklerin tahmin edilmesi amacıyla yapay sinir ağları (MLP, Multilayer Perceptron: Çok Katmanlı Algılayıcı), k-en yakın komşu (k-NN, k-Nearest Neighbor), rastgele orman (RF, Random Forest), gauss süreçleri (GP, Gaussian Processes) ve destek vektör regresyonu (SVR, Support Vector Regression) makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Ham veri setleri bu algoritmalarda işleme sokulmadan önce gerekli olan ön işleme adımlarında öznitelik seçimi ve min-maks Normalizasyon işlemleri uygulanmıştır.

Çalışmada dalga boylarındaki spektral yansıma değerleri kullanılarak toplam fenolik madde (TFM) değeri tahmin edilmiştir. Sonuçlar R (korelasyon katsayısı), MAE, RMSE, RAE ve RRSE değerleri üzerinden tartışılmıştır. Daha yüksek R ve daha düşük MAE, RMSE, RAE ve RRSE değerleri sonuçların daha başarılı olduğunu göstermektedir. TFM tahmininde girdi olarak öznitelik seçimi sonucu 394, 396, 454, 487, 498, 500, 514, 518, 525, 544, 558, 566, 568, 758, 762 ve 1062 nm dalga boylarındaki yansıma değerleri kullanılmıştır (Şekil 3.40). MLP tipi yapay sinir ağı yardımıyla tahminleme yapılırken, veri setinin %75'i ağın eğitiminde, kalan %25'i ise test edilmesinde ayrılmıştır. Buna ilaveten k-NN, RF, GP ve SVR algoritmalarında 10-k katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. k-NN algoritmasında komşu arama işleminde öklidyen mesafe kuralı uygulanmış, k en yakın komşu değeri 1, 3 ve 5 olarak seçilmiş ve seçilen k değerleri ile tahminleme gerçekleştirilmiştir. Tahminlemede tüm modellerde gauss süreçleri ve destek vektör regresyonu için Pearson VII (PUK) çekirdek fonksiyonu tercih edilmiştir.



Şekil 3. 40. Spektral yansıma değerlerinden toplam fenolik madde (TFM) değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı

Çalışmada kullanılan MLP tipi yapay sinir ağına ait parametreler ve toplam fenolik madde tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları Tablo 3.28'de sunulmuştur. MLP yapısında, η: öğrenme oranı, α: momentum, NoE: döngü sayısı, n_i: girdi katmanı sayısı, n_h, gizli katman sayısı, n_o: çıktı katmanı sayısı, g (.): aktivasyon fonksiyonu parametreleri dikkate alınmıştır. MLP tipi yapay sinir ağında; girdi sayısı 16, gizli katmandaki nöron sayısı 8 ve çıktı sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak en yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından birisi olan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Öğrenme oranı, momentum katsayısı ve döngü sayısı sırasıyla 0.3, 0.2 ve 1000 olarak seçilmiştir. Tüm algoritmalarda kullanılan veri sayısı ise 1728'dir.

Sonuçlara göre en yüksek R değerleri sırasıyla MLP (0.8772) ve 3-NN (0.8441) uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük R sonucunu veren algoritma 0.7224 ile 1-NN olmuştur. En düşük MAE değerleri SVR (0.0791) ve 3-NN (0.806) algoritmalarında, en düşük RMSE değeri ise 0.1180 ile 3-NN algoritmasında ve 0.1224 ile SVR algoritmasında tespit edilmiştir.

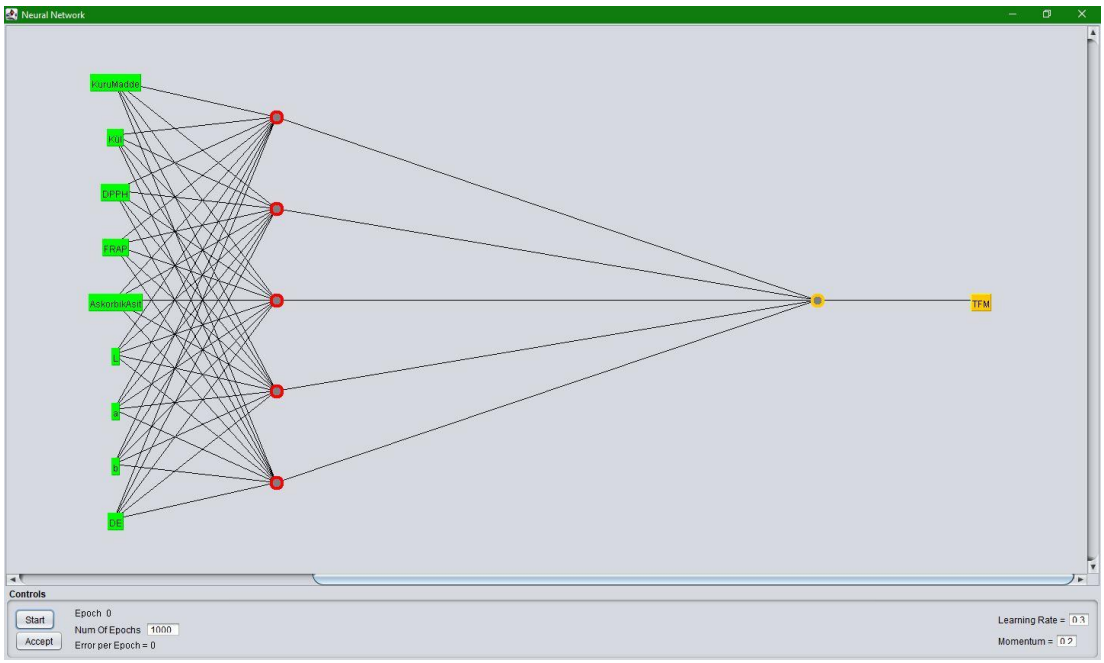
Tablo 3. 28. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve toplam fenolik madde tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları

η	**α**	**NoE**	**n_i**	**n_h**	**n_o**	**g (.)**	**Girdiler**	**Çıktı**	**Toplam veri**
0.3	0.2	1000	16	8	1	sigmoid	394, 396, 454, 487, 498, 500, 514, 518, 525, 544, 558, 566, 568, 758, 762, 1062	TFM	1728

Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.8772	0.1520	0.2282	%107.01	%113.66
1-NN	0.7224	0.0864	0.1545	%53.35	%72.18
3-NN	0.8441	0.0806	0.1180	%49.91	%55.08
5-NN	0.8131	0.0895	0.1289	%55.38	%60.15
RF	0.7517	0.0945	0.1410	%58.50	%65.81
GP	0.7840	0.0978	0.1371	%60.53	%60.98
SVR	0.8181	0.0791	0.1224	%48.96	%57.12

*η: öğrenme oranı; α: momentum katsayısı; NoE: döngü sayısı; n_i: girdi katmanı sayısı; n_h: gizli katman sayısı; n_o: çıktı katmanı sayısı; g (.): aktivasyon fonksiyonu

Çalışmada renk ve biyokimyasal özellikler kullanılarak toplam fenolik madde, antioksidan-DPPH, antioksidan-FRAP ve askorbik asit değerleri tahminlenmiştir. TFM'nin tahminlenmesinde girdi olarak, L*, a*, b*, ΔE (DE), kuru madde, kül, DPPH, FRAP ve askorbik asit kullanılmıştır (Şekil 3.41). Tüm algoritmalarda optimum sonuçları veren %75 eğitim ve %25 test bölmesi yapılmıştır.



Şekil 3. 41. Biyokimyasal ve renk özelliklerine ait değerlerden toplam fenolik madde (TFM) değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı

MLP yapısının sinir ağları parametreleri ve algoritmaların TFM için değerlendirme sonuçları Tablo 3.29'da verilmiştir. MLP için girdi sayısı 9, gizli katmandaki nöron sayısı 5 ve çıktı sayısı 1'dir. Buna ilaveten döngü sayısı 1000 olarak ele alınmış ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Tüm algoritmalarda kullanılan toplam veri sayısı ise 972'dir. Performans sonuçlarına göre en yüksek R değerleri 0.9527, 0.9513 ve 0.9407 ile sırasıyla SVR, 1-NN ve MLP algoritmalarında elde edilmiştir. En düşük R değeri ise 0.8227 ile 5-NN algoritmasında bulunmuştur. En düşük RMSE değerleri 0.606 ve 0.608 ile 1-NN ve SVR algoritmalarında belirlenmiştir. Buna ek olarak en düşük RAE ve RRSE oranları da sırasıyla 1-NN ve SVR algoritmalarında elde edilmiştir.

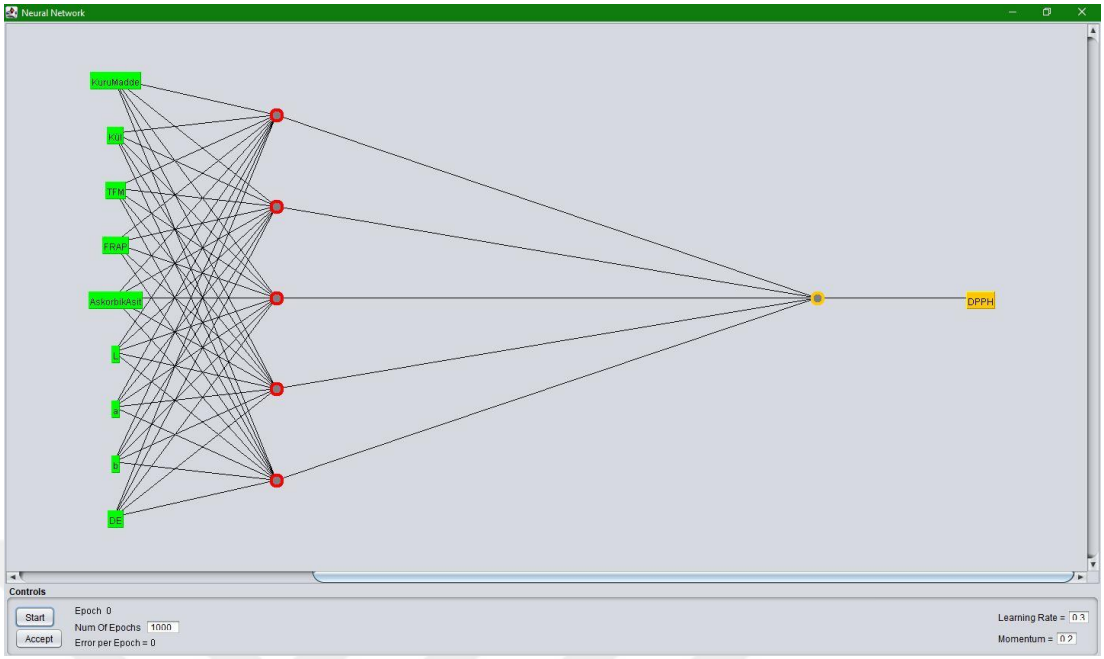
Tablo 3. 29. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve toplam fenolik madde tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları

η	**α**	**NoE**	**n_i**	**n_h**	**n_o**	**g (.)**	**Girdiler**	**Çıktı**	**Toplam veri**
0.3	0.2	1000	9	5	1	sigmoid	L*, a*, b*, ΔE, kuru madde, kül, DPPH, FRAP, askorbik asit	TFM	972

Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.9407	0.0708	0.0829	%47.49	%41.27
1-NN	0.9513	0.0202	0.0606	%13.56	%30.17
3-NN	0.8678	0.0614	0.0953	%41.16	%47.48
5-NN	0.8227	0.0734	0.1092	%49.21	%54.37
RF	0.9196	0.0676	0.0872	%45.35	%43.42
GP	0.8998	0.0734	0.0989	%49.25	%49.28
SVR	0.9527	0.0444	0.0608	%29.74	%30.30

*η: öğrenme oranı; α: momentum katsayısı; NoE: döngü sayısı; n_i: girdi katmanı sayısı; n_h: gizli katman sayısı; n_o: çıktı katmanı sayısı; g (.): aktivasyon fonksiyonu

Antioksidan-DPPH tahmini için MLP modelinin yapısı Şekil 3.58'de verilmiştir. DPPH tahmininde girdi olarak L*, a*, b*, ΔE, kuru madde, kül, TFM, FRAP ve askorbik asit özellikleri kullanılmıştır. Bununla birlikte tüm algoritmalarda optimum sonuçları veren 10-k katlamalı çapraz doğrulama yöntemi seçilmiştir (Şekil 3.42).



Şekil 3.42. Biyokimyasal ve renk özelliklerine ait değerlerden toplam antioksidan (DPPH) değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı

Antioksidan-DPPH tahmini için MLP yapısının sinir ağları parametreleri ve model değerlendirme sonuçları Tablo 3.30'da verilmiştir. DPPH tahmininde elde edilen en yüksek R değerleri SVR, 1-NN ve RF algoritmalarında sırasıyla 0.9307, 0.9284 ve 0.9269 olarak saptanmıştır. En düşük R değerleri sırasıyla 5-NN ve 3-NN algoritmalarında tespit edilmiştir. En düşük RMSE (0.0629) değeri SVR algoritmasında bulunmuştur.

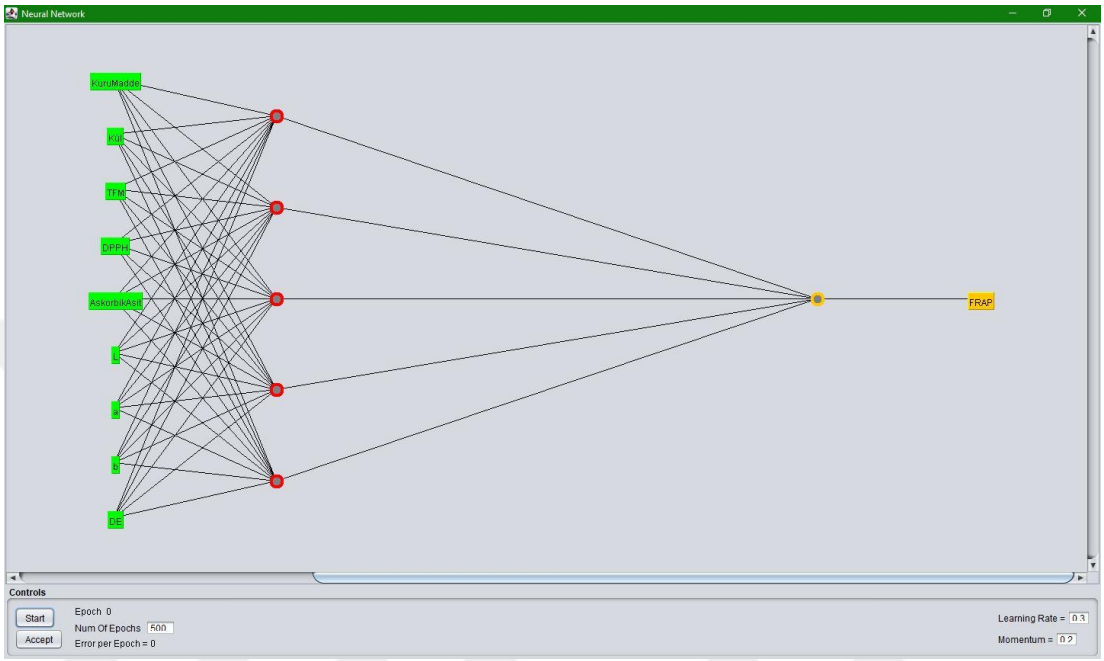
Tablo 3. 30. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve DPPH tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları

η	**α**	**NoE**	**n_i**	**n_h**	**n_o**	**g (.)**	**Girdiler**	**Çıktı**	**Toplam veri**
0.3	0.2	1000	9	5	1	sigmoid	L*, a*, b*, ΔE, kuru madde, kül, TFM, FRAP, askorbik asit	DPPH	972

Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.8987	0.0850	0.1125	%44.65	%47.79
1-NN	0.9284	0.0504	0.0885	%26.49	%37.59
3-NN	0.8842	0.0861	0.1090	%45.22	%46.30
5-NN	0.8664	0.0964	0.1195	%50.48	%50.74
RF	0.9269	0.0658	0.0898	%34.54	%38.12
GP	0.9029	0.0929	0.1210	%48.78	%54.39
SVR	0.9307	0.0629	0.0874	%33.04	%37.12

*η: öğrenme oranı; α: momentum katsayısı; NoE: döngü sayısı; n_i: girdi katmanı sayısı; n_h: gizli katman sayısı; n_o: çıktı katmanı sayısı; g (.): aktivasyon fonksiyonu

Antioksidan-FRAP tahmini için MLP modelinin yapısı Şekil 3.59'da gösterilmiştir. FRAP tahmini için girdi özellikleri L*, a*, b*, ΔE, kuru madde, kül, TFM, DPPH ve askorbik asit olarak seçilmiştir. MLP, GP ve SVR için %75 eğitim ve %25 test bölme, k-NN ve RF için ise 10-k katlamalı çapraz doğrulama metodu kullanılmıştır (Şekil 3.43).



Şekil 3. 43. Biyokimyasal ve renk özelliklerine ait değerlerden andtioksidan (FRAP) değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı

FRAP tahmini için girdi sayısı 9, gizli katmandaki nöron sayısı 6 ve çıktı sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Döngü sayısı değeri 500 olarak seçilmiştir. Tüm algoritmalar için kullanılan veri sayısı 972'dir. Performans sonuçlarına göre en yüksek korelasyon değeri 0.8858 ile 1-NN, 0.7913 ile 3-NN ve 0.7855 ile RF algoritmasında belirlenmiştir. En düşük korelasyon değerleri ise 0.6646 ve 0.6869 ile sırasıyla 5-NN ve MLP algoritmalarında bulunmuştur. En düşük MAE (0.0556) ve RMSE (0.1090) ile 1-NN algoritmasında saptanmıştır. En yüksek MAE ve RMSE değerleri sırasıyla 0.1519 ve 0.2054 ile MLP algoritmasında elde edilmiştir (Tablo 3.31).

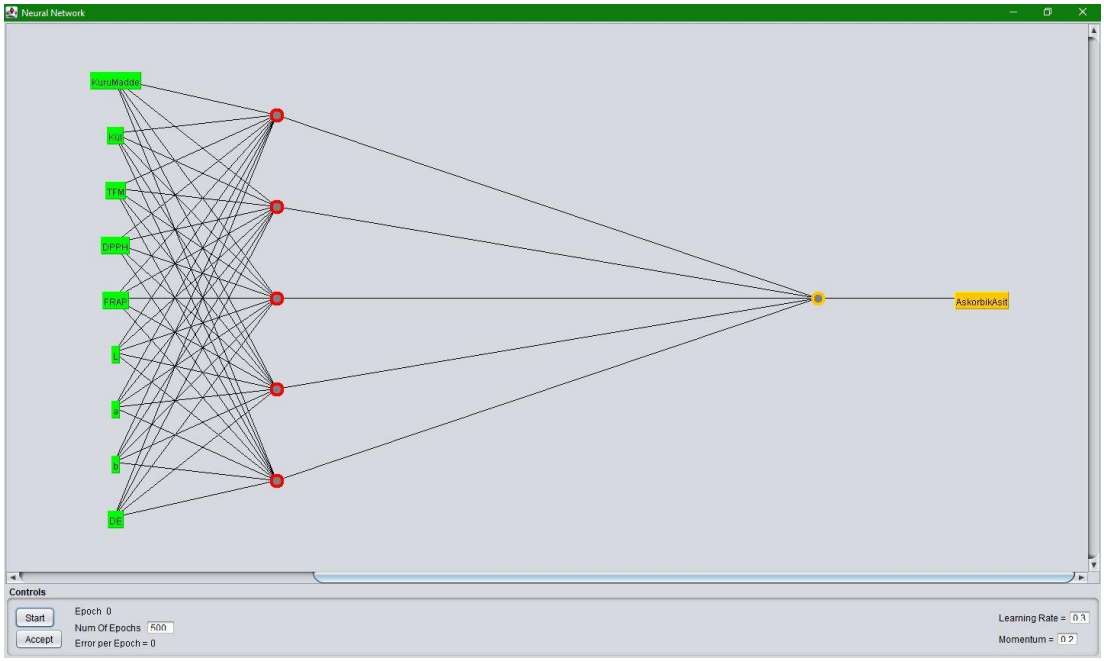
Tablo 3. 31. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve FRAP tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları

η	**α**	**NoE**	**n_i**	**n_h**	**n_o**	**g (.)**	**Girdiler**	**Çıktı**	**Toplam veri**
0.3	0.2	500	9	5	1	sigmoid	L*, a*, b*, ΔE, kuru madde, kül, TFM, DPPH, askorbik asit	FRAP	972

Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.6869	0.1519	0.2054	%76.58	%.85.08
1-NN	0.8858	0.0556	0.1090	%29.75	%47.49
3-NN	0.7913	0.1086	0.1420	%58.12	%61.88
5-NN	0.6646	0.1406	0.1725	%75.26	%75.18
RF	0.7855	0.1043	0.1442	%55.82	%62.84
GP	0.7361	0.1368	0.1710	%68.95	%70.85
SVR	0.7414	0.1087	0.1557	%54.78	%64.51

*η: öğrenme oranı; α: momentum katsayısı; NoE: döngü sayısı; n_i: girdi katmanı sayısı; n_h: gizli katman sayısı; n_o: çıktı katmanı sayısı; g (.): aktivasyon fonksiyonu

Askorbik asit tahmininde oluşturulan MLP modelinin yapısı Şekil 3.60'da verilmiştir. Askrobik asit tahmininde L*, a*, b*, ΔE, kuru madde, kül, TFM, DPPH ve FRAP girdi olarak kullanılmıştır. Tüm algoritmalar için %75 eğitim ve %25 test bölme metodu kullanılmıştır (Şekil 3.44).



Şekil 3. 44. Biyokimyasal ve renk özelliklerine ait değerlerden askorbik asit değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı

Tablo 3.32'de askorbik asit tahmini için kullanılan parametreler ve performans sonuçları verilmiştir. Askorbik asit tahmininde döngü sayısı 500 olarak seçilmiştir. Tüm algoritmalar için kullanılan veri sayısı 972'dir. Bulgulara göre en yüksek R değeri RF (0.9713), 1-NN (0.9665) ve SVR (0.9660) algoritmalarında, en düşük R değeri ise 0.8971 ile 5-NN algoritmasında bulunmuştur. En düşük MAE değeri 1-NN algoritmasında, en düşük RMSE değeri ise 1-NN ve RF algoritmalarında tespit edilmiştir. En yüksek MAE (0.0925) ve RMSE (0.1120) değeri ise MLP algoritmasında belirlenmiştir.

Tablo 3. 32. MLP tipi yapay sinir ağı parametreleri ve askorbik asit için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları

η	**α**	**NoE**	**n_i**	**n_h**	**n_o**	**g (.)**	**Girdiler**	**Çıktı**	**Toplam veri**
0.3	0.2	500	9	5	1	sigmoid	L*, a*, b*, ΔE, kuru madde, kül, TFM, DPPH, FRAP	Askorbik Asit	972

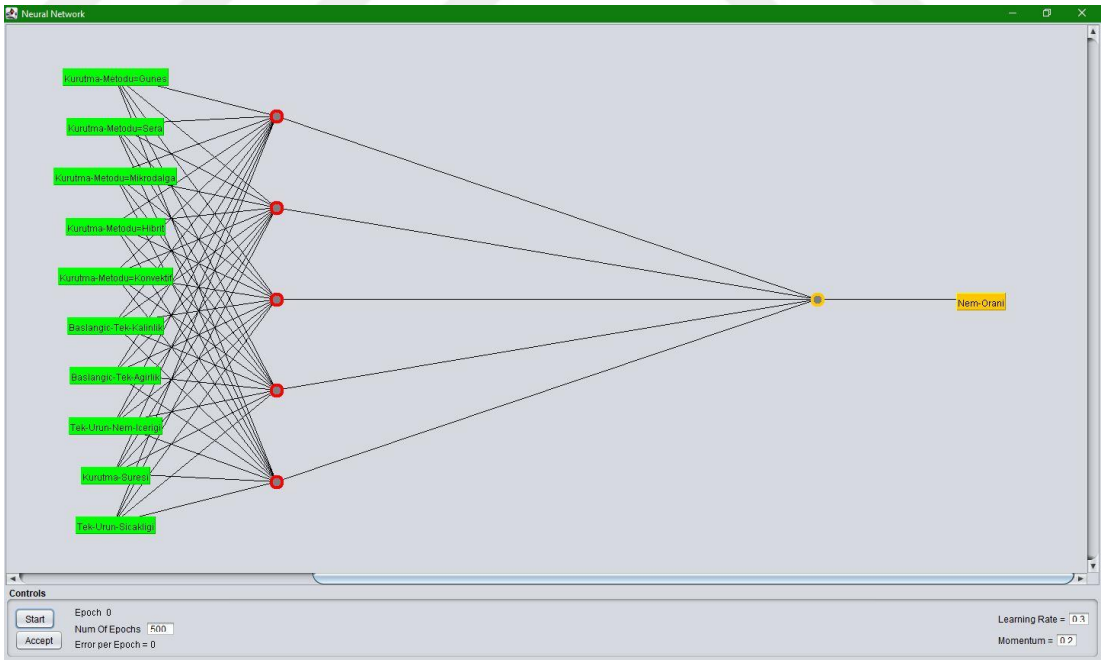
Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.9007	0.0925	0.1120	%69.71	%.61.45
1-NN	0.9665	0.0300	0.0474	%22.63	%25.98
3-NN	0.9206	0.0614	0.0793	%46.29	%43.49
5-NN	0.8971	0.0710	0.0887	%53.53	%48.67
RF	0.9713	0.0402	0.0476	%30.28	%26.12
GP	0.9471	0.0625	0.0805	%47.08	%44.16
SVR	0.9660	0.0418	0.0488	%31.51	%26.75

*η: öğrenme oranı; α: momentum katsayısı; NoE: döngü sayısı; n_i: girdi katmanı sayısı; n_h: gizli katman sayısı; n_o: çıktı katmanı sayısı; g (.): aktivasyon fonksiyonu

Schmutzler vd. (2016), çalışmasında Golden Delicious çeşidi kurutulmuş elmalarda NIR kullanarak kısmi en küçük kareler (PLS) algoritması ile belirli alan, nokta ve yüzey bazlı polifenol tahmini yapmıştır. Tahminleme işleminde önce normalizasyon işlemi gerçekleştirmiş ve R^2 değerlerini belirli alan için 0.85, nokta için 0.86 ve yüzey için 0.85 olarak elde etmiştir. Guine vd. (2015), çalışmasında yapay sinir ağları algoritması kullanarak kurutulmuş muzun fenolik içeriğini ve antioksidan kapasitesini tahminlemiştir. Çalışmada R değerlerini fenolik içerik için 0.99 ve antioksidan aktivite için ise 0.98 olarak elde etmiştir. Ayrıca, benzer sonuçlar toplam fenolik madde tahmini için kurutulmuş elmada Di Scala vd. (2013) ve Henriquez vd. (2014), kurutulmuş ahudududa Yousefi vd. (2014), askorbik asit için ise kurutulmuş havuçta Maric (2020) tarafından bildirilmiştir.

3.11.2. Kurutma karakteristiklerinin Tahminlenmesi

Çalışmada kurutma metodu, başlangıç tek ürün kalınlığı, başlangıç tek ürün ağırlığı, tek ürün nem içeriği, kurutma süresi, tek ürün sıcaklığı gibi kurutma karakteristiklerinden nem oranı, nem içeriği ve kurutma hızı özellikleri tahmin edilmiştir. Tahminlemelerde MLP, k-NN, RF, GP ve SVR algoritmaları kullanılmış ve istatistiksel parametrelerle (R, MAE, RMSE, RAE, RRSE) tartışılmıştır. Daha yüksek R ve daha düşük MAE, RMSE, RAE ve RRSE sonuçları daha başarılı olduğu anlamına gelmektedir. Tahminlemeler yapılırken çeşitler ayrı ayrı olarak ele alınmıştır. Tahminlemeler sırasında veriler ham olarak kullanılmış ve herhangi bir veri ön işleme uygulanmamıştır. Bununla birlikte 10-k katlamalı çapraz doğrulama ve eğitim-test bölme yöntemleri, tahminlenen özelliklere göre seçilmiştir. k-NN algoritması için k değerleri sırasıyla 1, 3 ve 5 olarak ele alınmıştır. GP ve SVR algoritmalarında Pearson VII (PUK) çekirdek fonksiyonu seçilmiştir. Tüm MLP tahminlemelerinde döngü sayısı 500, momentum katsayısı 0.2 ve öğrenme oranı değerleri 0.3 olarak seçilmiştir. Ayrıca aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir modelde tahminleme için 600 girdi verisi kullanılmıştır. Nem oranı tahmininde kullanılan MLP modelinin yapısı Şekil 3.45'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 45. Nem oranı değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı

Golden Delicious elma çeşidinde GP ve SVR algoritmaları için %66 eğitim ve %34 test bölme kullanılmıştır. Diğer algoritmalar için ise 10-k katlamalı çapraz doğrulama seçilmiştir. Tablo 3.33'te nem oranı tahmini için değerlendirme sonuçları verilmiştir.

Golden Delicious elma çeşidi için nem oranı tahmininde en yüksek korelasyon katsayısı 0.9800 ile Rastegele Orman algoritmasında elde edilirken, en düşük sonuç 0.8496 ile 1-NN algoritmasında elde edilmiştir. En düşük MAE, RMSE, RAE ve RRSE değerleri RF algoritmasında belirlemiştir. Çalışmada en yüksek MAE değeri GP ve en yüksek RMSE değeri 1-NN algoritmasında bulunmuştur.

Oregon Spur çeşidi için nem oranı tahmininde tüm algoritmalar için 10-k katlamalı çapraz doğrulama uygulanmıştır. Girdi sayısı 10, gizli katmandaki nöron sayısı 5 ve çıktı ise 1 (nem oranı) olarak ele alınmıştır. Sonuçlara göre en yüksek R değerleri sırasıyla RF (0.9873) ve MLP (0.9766) algoritmalarında, en düşük değer ise 1-NN (0.9564) algoritmasında belirlenmiştir. En düşük MAE ve RMSE değerleri ise RF algoritmasında tespit edilmiştir.

Granny Smith çeşidi için nem oranı tahmin sonuçları incelendiğinde en yüksek R değerleri RF ve GP algoritmalarında en düşük ise 1-NN ve SVR algoritmalarında saptanmıştır. En düşük MAE ve RAE değerleri 3-NN ve RF algoritmalarında belirlenmiştir. Granny Smith için tüm algoritmaların nem oranı tahmininde 10-k katlamalı çapraz doğrulama uygulanmıştır. Tüm çeşitlerde k-NN algoritmasında en düşük R değerleri k değerinin 1 olarak alındığı durumda ortaya çıkmıştır. Tüm çeşitlerde nem oranı tahmini için en başarılı algoritma Rastgele Orman olmuştur.

Tablo 3. 33. Çeşitlerin nem oranı tahmininde uygulanan makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları

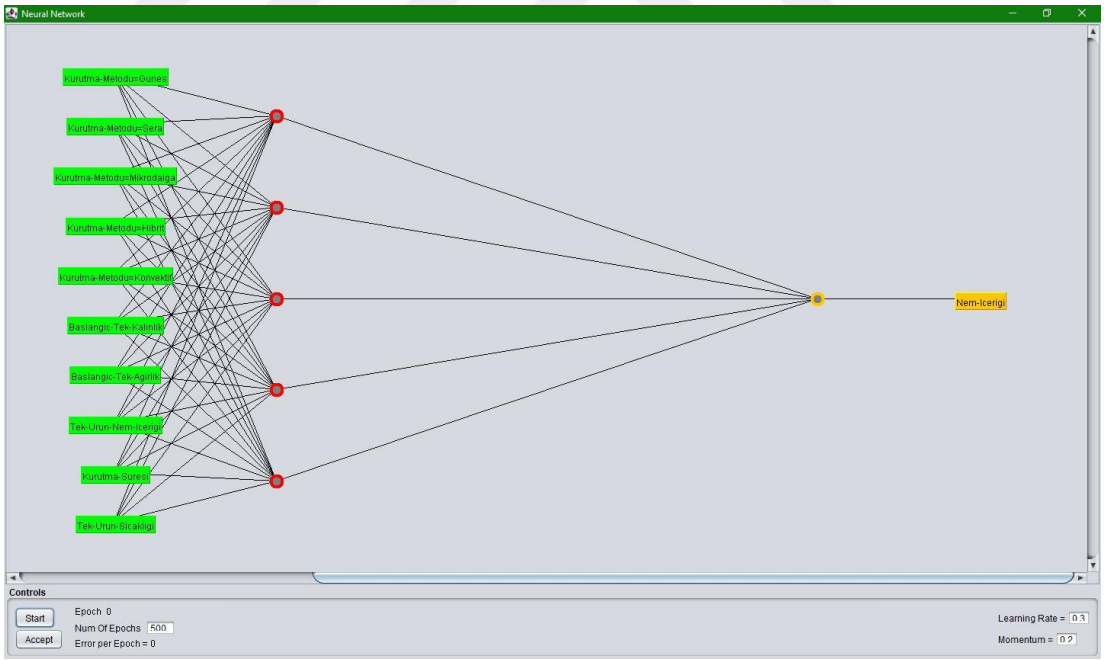
Golden Delicious					
Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.8826	0.0097	0.0175	%29.66	%47.83
1-NN	0.8496	0.0053	0.0199	%16.21	%54.53
3-NN	0.8816	0.0068	0.0173	%20.75	%47.23
5-NN	0.8728	0.0081	0.0178	%24.79	%48.81
RF	0.9800	0.0022	0.0073	%6.80	%19.97
GP	0.9129	0.0101	0.0163	%29.98	%43.30
SVR	0.9323	0.0069	0.0138	%20.56	%36.75
Oregon Spur					
Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.9766	0.0045	0.0074	%14.67	%21.61
1-NN	0.9564	0.0025	0.0101	%8.22	%29.53
3-NN	0.9667	0.0033	0.0088	%10.86	%25.62
5-NN	0.9645	0.0040	0.0091	%13.18	%26.44

RF	0.9873	0.0019	0.0054	%6.08	%15.89
GP	0.9694	0.0057	0.0085	%18.58	%24.87
SVR	0.9762	0.0037	0.0074	%12.08	%21.73

Granny Smith

Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.9796	0.0039	0.0062	%14.36	%21.31
1-NN	0.9703	0.0020	0.0071	%7.32	%23.34
3-NN	0.9815	0.0019	0.0056	%7.13	%19.08
5-NN	0.9827	0.0021	0.0054	%7.90	%18.49
RF	0.9841	0.0019	0.0052	%7.13	%17.72
GP	0.9817	0.0031	0.0056	%11.40	%19.15
SVR	0.9786	0.0023	0.0060	%8.47	%20.55

Çalışmada nem içeriğinin tahmin edilmesinde kurutma metodu, başlangıç tek ürün kalınlığı, başlangıç tek ürün ağırlığı, tek ürün nem içeriği, kurutma süresi, tek ürün sıcaklığı özellikleri girdi olarak kullanılmıştır. Nem içeriği tahmini için oluşturulan MLP tipi yapay sinir ağının yapısı Şekil 3.46'da verilmiştir.



Şekil 3. 46. Nem içeriği değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı

Tablo 3.34'te çeşitlerin nem içeriği tahmini performans sonuçları verilmiştir. Tahminlemelerde GP ve SVR için %66'sı ağın eğitiminde kalan %34'ü ise test edilmesi için ayrılmış, diğer algoritmalar için ise 10-k katlamalı çapraz doğrulama kullanılmıştır. Araştırma bulgularına göre en yüksek korelasyon katsayısı değeri 0.9598 ile RF

algoritmasında, en düşük ise 0.8101 ile 1-NN algoritmasında belirlenmiştir. Çalışmada en düşük MAE değeri RF (0.262) algoritmasında, en yüksek ise MLP (0.1115) algoritmasında elde edilmiştir.

Oregon Spur çeşidi için nem oranı tahmininde tüm algoritmaların çapraz doğrulaması 10-k-katlamalı çapraz doğrulama seçilmiştir. Performans sonuçları incelendiğinde tüm R değerleri 0.9900'dan büyük olarak elde edilmiştir. Algoritmalar arasında en iyi istatistiksel sonuçlar RF algoritmasında elde edilmiştir.

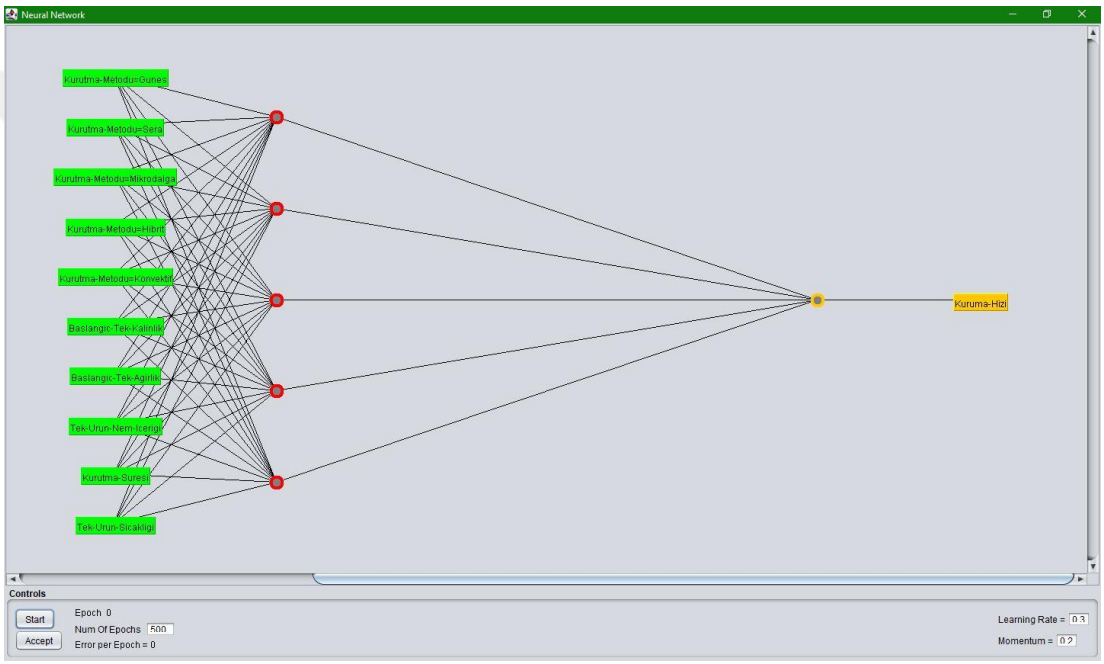
Granny Smith için algoritmaların değerlendirme sonuçları dikkate alındığında en yüksek R değerleri 0.9465 ve 0.9396 ile sırasıyla RF ve GP algoritmalarında bulunmuştur. En düşük RAE ve RRSE değerleri ise %14.28 ve 32.23 ile RF algoritmasında elde edilmiştir. Tüm algoritmaların 10 k katlamalı çapraz doğrulaması kullanılmıştır. Tüm çeşitler için nem içeriği tahmini için en başarılı algoritma Rastgele Orman olmuştur. En az başarılı olan algoritma ise k-NN olmuştur.

Tablo 3.34. Çeşitlerin nem içeriği tahmininde uygulanan makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları

Golden Delicious					
Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.8697	0.1115	0.1749	%39.27	%49.79
1-NN	0.8101	0.0556	0.2148	%19.57	%61.15
3-NN	0.8415	0.0734	0.1900	%25.85	%54.08
5-NN	0.8207	0.0885	0.2007	%31.15	%57.15
RF	0.9598	0.0262	0.0989	%9.23	%28.15
GP	0.8853	0.1064	0.1799	%35.93	%49.06
SVR	0.9072	0.0756	0.1559	%25.54	%42.53
Oregon Spur					
Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.9962	0.0098	0.0148	%6.21	%8.67
1-NN	0.9951	0.0044	0.0169	%2.75	%9.90
3-NN	0.9947	0.0066	0.0175	%4.16	%10.26
5-NN	0.9943	0.0081	0.0182	%5.13	%10.64
RF	0.9989	0.0032	0.0080	%2.04	%4.68
GP	0.9918	0.0156	0.0224	%9.89	%13.11
SVR	0.9964	0.0085	0.0146	%5.39	%8.53
Granny Smith					
Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.9248	0.0484	0.0765	%28.21	%40.35

1-NN	0.8975	0.0267	0.0858	%15.55	%45.23
3-NN	0.9347	0.0269	0.0675	%15.69	%35.57
5-NN	0.9373	0.0305	0.0660	%17.78	%34.79
RF	0.9465	0.0245	0.0611	%14.28	%32.23
GP	0.9396	0.0383	0.0650	%22.31	%34.28
SVR	0.9315	0.0303	0.0691	%17.67	%36.42

Kuruma hızı tahmini için çok katmanlı yapay sinir ağları modelinin yapısı ve tahminleme parametreleri Şekil 3.47'de gösterilmiştir. Kuruma hızı tahmininde her bir model için 600 girdi verisi kullanılmıştır.



Şekil 3. 47. Kuruma hızı değeri tahmini için MLP tipi yapay sinir ağının yapısı

Çeşitlerin kuruma hızı tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları Tablo 3.35'te sunulmuştur. Tüm algoritmalar için kurutma hızının tahmin edilmesinde %66 eğitim ve %34 test bölme uygulanmıştır. Sonuçlara göre en yüksek korelasyon katsayısı 0.9995 ile RF algoritmasında, en düşük ise 0.9515 ile 1-NN algoritmasında belirlenmiştir. En düşük MAE, RMSE, RAE ve RRSE değerleri sırasıyla 0.0020, 0.0042, %2.41 ve %3.76 ile RF algoritmasında bulunmuştur. En yüksek MAE ve RMSE değeri ise MLP algoritmasında elde edilmiştir.

Oregon Spur çeşidi için kuruma hızının tahminlenmesinde tüm algoritmalar için 10-k katlamalı çapraz doğrulama kullanılmıştır. Araştırma bulgularına göre en başarılı korelasyon katsayıları RF (0.9337) ve SVR (0.9240) algoritmalarında tespit edilmiştir.

En düşük korelasyon katsayısı 0.8374 ile 1-NN algoritmasında elde edilmiştir. En düşük RAE ve RRSE değerleri ise %16.58 ve %35.78 ile RF algoritmasında elde edilmiştir. Granny Smith çeşidi için kuruma hızı tahmininde en yüksek R değeri 0.9668 ile RF'de elde edilirken bunu 0.9656 değerlerle GP ve 5-NN izlemiştir. En düşük R değeri ise 0.9409 ile 1-NN'de bulunmuştur. En düşük MAE değeri 0.0074 ile 5-NN'de, en düşük RMSE değeri ise 0.0213 ile RF algoritmasında bulunmuştur. Kuruma hızı tahmininde en başarılı algoritma RF olurken, en az başarılı algoritma ise 1-NN olmuştur.

Tablo 3. 35. Çeşitlerin kuruma hızı tahmininde uygulanan makine öğrenmesi algoritmalarının performans sonuçları

Golden Delicious					
Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.9528	0.0160	0.0364	%19.40	%32.24
1-NN	0.9515	0.0077	0.0349	%9.38	%30.89
3-NN	0.9784	0.0067	0.0024	%8.11	%21.28
5-NN	0.9743	0.0093	0.0266	%11.28	%23.53
RF	0.9995	0.0020	0.0042	%2.41	%3.76
GP	0.9721	0.0145	0.0307	%17.56	%27.14
SVR	0.9801	0.0087	0.0234	%10.55	%20.71
Oregon Spur					
Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.9154	0.0020	0.0040	%28.10	%40.35
1-NN	0.8374	0.0010	0.0060	%22.21	%56.57
3-NN	0.8686	0.0020	0.0050	%25.89	%50.08
5-NN	0.8751	0.0020	0.0050	%30.20	%48.51
RF	0.9337	0.0010	0.0040	%16.58	%35.78
GP	0.9027	0.0020	0.0050	%36.67	%43.61
SVR	0.9240	0.0010	0.0240	%20.68	%38.18
Granny Smith					
Algoritmalar	**R**	**MAE**	**RMSE**	**RAE**	**RRSE**
MLP	0.9612	0.0128	0.0231	%20.41	%27.66
1-NN	0.9409	0.0078	0.0289	%12.48	%34.60
3-NN	0.9630	0.0074	0.0225	%11.86	%26.97
5-NN	0.9656	0.0082	0.0217	%13.04	%25.98
RF	0.9668	0.0078	0.0213	%12.52	%25.53
GP	0.9656	0.0099	0.0218	%15.86	%26.08
SVR	0.9574	0.0083	0.0241	%13.25	%28.88

Bu çalışmada farklı elma çeşitleri, kurutma sistemleri ve ön işlemler ele alınmış, deneysel ölçümlerde nem oranı, nem içeriği ve kuruma hızı parametreleri hesaplanmıştır. Daha sonra, bu parametreleri tahmin eden yüksek performanslı makine öğrenme algoritmaları uygulanmıştır. Farklı ürünlerde çeşitli kurutma uygulamaları için modelleme ve makine öğrenimi yaklaşımları gerçekleştirilmiştir. Kırbaş vd. (2019) çalışmasında şadok meyvesi için bazı kurutma karakteristiklerini makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak tahmin etmiştir. Girdi olarak kurutma yöntemi, kalınlık ve kurutma süresini dikkate alarak ürün ağırlığını, nem içeriğini ve nem oranını tahminlemişlerdir. Farklı kurutma sistemleri ve kalınlıkları için tüm korelasyon katsayısı sonuçlarını (R) 0.9900'dan büyük olarak elde etmişlerdir. Ayrıca kurutma yöntemi, kalınlık ve nem oranı parametrelerini girdi olarak kullanarak kurutma süresini tahminlemişler ve R değerini 0.9996 olarak bildirmişlerdir. Rad vd. (2018), kurutulmuş beyaz dut meyvesinde MLP kullanarak (min.-maks. normalizasyon veri ön işleme ile) nem oranını tahminlemişlerdir. Girdi olarak hava sıcaklığı, hava hızı, kızılötesi gücü ve kurutma süresini dikkate almışlar ve R^2 değerini 0.9990 olarak belirlemişlerdir. Onwude vd. (2016), kurutulmuş kabakta yapay sinir ağları kullanarak kurutma sıcaklığı, ürün kalınlığı ve kurutma süresinden, nem oranını tahminlemiştir. Farklı gizli katman ve nöron sayısı için R^2 değerlerini 0.959 ile 0.992 arasında bulmuştur. Tarafdar vd. (2019), kurutulmuş mantar için yapay sinir ağları kullanarak nem oranı, nem içeriği ve kurutma hızını tahminlemişlerdir. Girdi olarak, başlangıç kurutma içeriği, birincil kurutma sıcaklığı, ikincil kurutma sıcaklığı, basınç, kurutma süresi ve ürün kalınlığı değerlerini ele almış ve R değerlerini 0.9900'dan yüksek olarak elde etmişlerdir. Radosław Winiczenko vd. (2018), elmada kurutma sıcaklığının ve hava hızının, konvektif kurutma uygulamasının su emme kapasitesi, hacim oranı ve renk farkı gibi farklı parametreler üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. Beigi vd. (2017), pirincin kurutma kinetiğini özgül enerji tüketimi, kurutma ve ısıl verimlilik değerleri açısından yapay sinir ağları kullanarak incelemiştir. Kaveh vd. (2018), uyarlamalı ağ tabanlı-bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS: Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems) ve yapay sinir ağı yöntemleri ile çeşitli tarım ürünlerinin konvektif kurutma parametrelerini tahmin etmiştir.

4. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith çeşidi dip (döküntü) elmaları, ön işlemsiz ve 20 dakika ultrases ön işlemli olarak 0.5 m s^{-1} hava hızında güneş, kontrollü sera, mikrodalga (200W), hibrit (100W+60°C), konvektif (70°C) ve liyofilizatör ile kurutulmuştur. Farklı koşullar için ürünlere ait nem içeriği, kuruma hızı, kurutma kinetiği, matematiksel modeller, kurutma öncesi ve sonrası fiziksel ve renk özellikleri, rehidrasyon kapasitesi ve büzülme, enerji tüketimi, özgül enerji gereksinimi, enerji etkinliği, efektif nem difüzyonu, termal etkinlik, kurutma öncesi ve sonrası pH, sçkm özellikleri, sertlik ve kırılganlık tekstür analizi, kül, kuru madde, toplam fenolik madde içeriği, antioksidan aktivitesi (DPPH ve FRAP), askorbik asit, tek ürün sıcaklığı ve termal yansıma değerleri belirlenmiştir.

Çalışmada ürünlerin başlangıç nem içerikler Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith için sırasıyla %85.22, %83.45 ve %80.02'dir. Ürünler son nem değerleri yaklaşık olarak %5 ile 10 arasında olacak şekilde kurutulmuştur. Kurutma öncesi pH ve sçkm değerleri Golden Delicious için sırasıyla 3.70 ve 12.17, Oregon Spur için 4.03 ve 15.97 ve Granny Smith için 3.10 ve 13.02 olarak belirlenmiştir.

Güneşte kurutma için;

Kurutma işlemi nem değerleri sabitleninceye Golden Delicious çeşidi için ön işlemsiz ve ön işlemli 1200 dk, Oregon Spur için ön işlemsiz 1200 dk ve ön işlemli 1080 dk, Granny Smith için ön işlemli ve ön işlemsiz 960 dk olarak sürdürülmüştür. Kurutma işlemleri sırasında başlangıç nem içeriği ultrases uygulama sebebiyle artış gösteren ultrases ön işlemli ürünler Golden Delicious için 480. dk sonunda, Oregon Spur için 360. dk sonunda ve Granny Smith için 720. dk sonunda ön işlemsiz örneklerin nem içeriği değerlerine yaklaşmıştır. Bu da ön işlem görmüş örneklerin kurutma hızını artırdığını göstermiştir. Buna ilaveten ön işlem uygulanmayan Golden Delicious ve Granny Smith çeşitleri kuruma hızı bakımından birbirine yakın değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Güneşte

kurutmada tüm çeşitler için 12 matematiksel model kullanılmıştır. Golden Delicious çeşidi için kurutma kinetiğini istatistiksel olarak en yüksek değerlere sahip modeller ön işlem için Henderson & Pabis modeli (R^2: 0.9917), ultrases ön işlem için Weibull Dağılımı modeli (R^2: 0.9942) olmuştur. Oregon Spur çeşidi ise en yüksek R^2 değerleri ön işlemsiz örneklerde Henderson Pabis ve Jena Das modellerinde 0,9994 olarak elde edilmiştir. Ultrases ön işlemli örneklerde ise Weibull Dağılımı modelinde tespit edilmiştir. Granny Smith çeşidinde ön işlemsiz elma örneklerinde Wang & Sing modeli hariç tüm modellerin 0.9998 ve üzeri olduğu saptanmıştır. Ultrases uygulanan örneklerde ise en yüksek R^2 değeri 0.9978 ile Logistic modelde elde edilmiştir. Güneşte kurutulan örnekler arasında en fazla ΔE renk değişimi değeri 24.93 ile Granny Smith ultrases ön işlem görmüş ürünlerde belirlenmiştir. En fazla kalınlık değişimi 8.90 mm Oregon Spur ultrases grubunda, en fazla geometrik ortalama çap ve yüzey alanı değişimi sırasıyla 18.73 mm ve 3614.14 mm^2 ile Golden Delicious ultrases uygulamasında tespit edilmiştir. En fazla rehidrasyon ve büzülme sırasıyla Oregon Spur ultrases ve Golden Delicious ultrases grubunda meydana gelmiştir. Kurutma sonrası en fazla pH ve sçkm 3.15 ile Golden Delicious ön işlemsiz ve 8.8 ile Granny Smith ön işlemsiz grubunda elde edilmiştir. En yüksek toplam fenolik madde, DPPH, FRAP ve askorbik asit değerleri ise Granny Smith ön işlemsiz grubunda elde edilmiştir. Buna ek olarak en fazla sertlik Granny Smith ön işlemsiz, en fazla kırılganlık ise Oregon Spur ön işlemsiz grubunda belirlenmiştir. Kurutma sırasında tek sıcaklık değeri en fazla 44.65ºC ile Granny Smith ultrases grubunda, kurutma sonrası spektral yansıma değerleri ise en fazla Oregon Spur ultrases uygulamasında bulunmuştur.

Kontrollü serada kurutma için;
Kurutma süresi tüm çeşitler için 720 dk olarak belirlenmiştir. Ön işlem uygulanmış Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith çeşitleri sırasıyla 360, 360 ve 270 dk sonunda ön işlem görmemiş örnekleri nem içeriği bakımından yakalamıştır. Bu durum kontrollü serada da ultrases uygulamasının kurutma hızını artırdığını işaret etmiştir. Çeşitler arasında en düşük kuruma hızı değerleri Oregon Spur çeşidinde elde edilmiştir. Kurutma kinetiği için tüm çeşitlerde 12 matematiksel model kullanılmıştır. Model sonuçlarına göre Golden Delicious çeşidi için ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli ürünlerin en yüksek R^2 değerleri Logistic ve Weibull dağılım modelinde saptanmıştır. Oregon Spur çeşidinde ön işlemsiz numunelerde Page Modeli (0.9999), ön işlemli numunelerde yine

Logistic ve Weibull dağılım modeli ön plana çıkmıştır. Granny Smith çeşidine ait örneklerde ise hem ön işlemsiz hem de ön işlemli örnekler için Logistic ve Weibull dağılım modeli en yüksek R^2 değerine sahip olmuştur. En fazla renk değişimi 42.55 ile Oregon Spur ultrases uygulamasında tespit edilmiştir. Bununla birlikte en yüksek kalınlık, geometrik ortalama çap ve yüzey alanı değişimi değerleri sırasıyla Oregon Spur ultrases (8.82 mm), Golden Delicious ultrases (18.35 mm) ve Golden Delicious ultrases (3751.91 mm^2) uygulamalarında belirlenmiştir. En fazla rehidrasyon kapasitesi değeri 3.85 ile Granny Smith ön işlemsiz grubunda, en fazla büzülme ise 0.83 ile Golden Delicious ultrases uygulamasında ortaya konmuştur. Kurutma sonrası en fazla pH ve sçkm değerleri sırasıyla 3.24 ve 9.7 ile Granny Smith ön işlemsiz ve Oregon Spur ön işlemsiz grubunda bulunmuştur. Toplam fenolik madde, FRAP ve askorbik asit değerleri sırasıyla Granny Smith ön işlemsiz ve %inhibisyon değeri ise Oregon Spur ön işlemsiz grubunda belirlenmiştir. Buna ilaveten en yüksek sertlik ve kırılganlık sırasıyla Golden Delicious ön işlemsiz ve Golden Delicious ultrases uygulamasında tespit edilmiştir. Kurutma esnasında tek sıcaklık değeri en fazla 61.59ºC Oregon Spur ultrases uygulamasında, kurutulan ürünlerde en yüksek spektral yansıma değerleri ise Golden Delicious ön işlemsiz grubunda elde edilmiştir.

Mikrodalga kurutma için;

Ürünlerin dengeye ulaşma süreleri, Golden Delicious çeşidinde ön işlemsiz 27 dk ve ön işlemli 21 dk, diğer tüm gruplar için ise 24 dk olmuştur. Golden Delicious ultrases 18. dk, Oregon Spur ultrases 24. dk ve Granny Smith ultrases 24 dk sonunda ultrases görmemiş örnekleri nem içeriği bakımından yakalamıştır. Kuruma hızı en yüksek değerlere sahip olan uygulamalar yine ultrases ön işleme tabi tutulmuş Golden Delicious ve Oregon Spur çeşitleri olmuştur. Kurutma kinetiği için tüm çeşitlerde 10 matematiksel model ele alınmıştır. Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith için hem ön işlemsiz hem de ön işlemli uygulamalarda en yüksek istatistiksel sonuçlar Jena Das modelinde elde edilmiştir. En yüksek ΔE değeri 24.97 ile Granny Smith ultrases uygulamasında bulunmuştur. En yüksek kalınlık değişimi değeri 10.37 mm ile Granny Smith ultrases, en fazla geometrik ortalama çap ve yüzey alanı değerleri 18.95 mm ve 3446.22 mm^2 ile Golden Delicious ultrases grubunda belirlenmiştir. Rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranı incelendiğinde en yüksek değerler Oregon Spur ultrases ve Golden Delicious ultrases uygulamasında bulunmuştur. Çeşitler arasında en fazla toplam

fenolik madde, FRAP ve askorbik asit değerleri Oregon Spur ön işlemsiz, en yüksek %inhibisyon değeri ise Oregon Spur ultrases uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek sertlik Oregon Spur ön işlemsiz ve büzülme Granny Smith ön işlemsiz grubunda tespit edilmiştir. Buna ek olarak kurutma anında en yüksek tek sıcaklık değerleri 73.15ºC ile Oregon Spur ultrases, en yüksek spektral yansıma ise Granny Smith ultrases grubunda ortaya konmuştur.

Hibrit kurutma için;
Kurutma süreleri, Golden Delicious çeşidinde ön işlemsiz 120 dk ve ön işlemli 110 dk, Oregon Spur için ön işlemsiz 130 dk ve ön işlemli 90 dk, Granny Smith için ön işlemli 120 dk ve ön işlemsiz 110 dk olarak ortaya konmuştur. Ultrases ön işlem görmüş Golden Delicious için 90. dk sonunda, Oregon Spur 10. dk sonunda ve Granny Smith 60. dk sonunda ön işlem görmemiş numuneleri nem içeriği bakımından geçmiştir. Ultrases uygulanan tüm çeşitler en fazla kuruma hızına sahip olmuş ve bu çeşitlerde birbirine çok yakın değerler belirlenmiştir. En yüksek ΔE değeri 35.05 ile Oregon Spur ön işlemsiz grubunda saptanmıştır. Fiziksel değişim değerleri dikkate alındığında en çok kalınlık, geometrik ortalama çap ve yüzey alanı değişimi sırasıyla 11.34 mm, 23.87 mm ve 4187.61 mm^2 ile Golden Delicious ultrases grubunda meydana gelmiştir. En yüksek rehidrasyon ve büzülme değerleri sırasıyla 13.90 ile Granny Smith ultrases ve 0.84 ile Oregon Spur ultrases uygulamalarında ortaya konmuştur. Kurutma sonunda en yüksek pH ve sçkm 4.74 ve 11.6 ile Oregon Spur ön işlemsiz grubunda bulunmuştur. Biyokimyasal özelliklerde en yüksek toplam fenolik madde ve askorbik asit içeriği Oregon Spur ön işlemsiz, en yüksek DPPH ve FRAP aktivite değerleri Granny Smith ultrases grubunda belirlenmiştir. Sertlik ve kırılganlık ise en yüksek sırasıyla 438.98 gf ile Golden Delicious ultrases ve 2.89 kırılganlık m^{-1} ile Oregon Spur ultrases grubunda elde edilmiştir. Bunun yanı sıra en yüksek tek sıcaklık değeri 51.17ºC ile Granny Smith ultrases ve spektral yansıma değerleri ise Granny Smith ultrases grubunda tespit edilmiştir.

Konvektif kurutma için;
Tüm çeşitlerde ve ön işlem uygulamalarında kurutma süresi 480 dk olmuştur. Golden Delicious, Oregon Spur ve Granny Smith çeşitleri için ultrases uygulamasında kurutma süresi artışına bağlı nem içeriği değerleri daha fazla azalmıştır. Bu kurutma yönteminde kuruma hızı en fazla olan çeşit ve uygulama Golden Delicious ultrases ön işlemli olurken

en yavaş olan ise ön işlem olmayan Oregon Spur çeşidi olmuştur. Denemelerde konvektif kurutma için en fazla renk değişimi 27.47 ile Granny Smith ön işlemsiz grubunda olmuştur. En yüksek kalınlık ve geometrik ortalama çap değişimi 11.48 mm, 23.21 mm 4160.01 mm^2 ile Golden Delicious ön işlemsiz grubunda meydana gelmiştir. Rehidrasyon kapasitesi ve büzülme oranları sırasıyla Granny Smith ultrases (10.96) ve Oregon Spur ultrases (0.79) uygulamalarında bulunmuştur. Kurutulmuş örneklerde en yüksek pH ve sçkm 4.63 ve 12.8 ile Granny Smith ön işlemsiz grubunda belirlenmiştir. Bununla birlikte en yüksek toplam fenolik madde ve %inhibisyon Oregon Spur ön işlemsiz, en yüksek FRAP Golden Delicious ön işlemsiz ve en yüksek askorbik asit Granny Smith ön işlemsiz grubunda belirlenmiştir. Bunun yanı sıra en yüksek sertlik ve kırılganlık değeri 453.66 gf ve 3.78 kırılganlık mm^{-1} ile Golden Delicious ön işlemsiz grubunda tespit edilmiştir. En yüksek tek sıcaklık değeri 42.90ºC Granny Smith ultrases, en yüksek spektral yansıma ise Granny Smith ultrases uygulamasında saptanmıştır.

Dondurarak kurutma için;
Tüm çeşitler ve uygulamalar için kurutma süresi 4320 dk sürmüştür. Toplam renk değişiminin en fazla olduğu grup 23.76 ile Oregon Spur ultrases olmuştur. En yüksek rehidrasyon kapasitesi 6.50 ile Golden Delicious ultrases grubunda, en yüksek büzülme ise 0.92 ile Oregon Spur ultrases grubunda elde edilmiştir. Kurutulmuş ürünlerin en yüksek pH değeri 4.28 ile Oregon Spur ön işlemsiz ve sçkm değerleri ise 12.1 ile Oregon Spur ultrases grubunda belirlenmiştir. Bununla birlikte biyokimyasal özellikler arasında en yüksek toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve askorbik asit Oregon Spur ön işlemsiz grubunda tespit edilmiştir. Ayrıca en yüksek sertlik değeri 198.66 gf Oregon Spur ultrases, kırılganlık değeri ise 1.96 kırılganlık mm^{-1} ile Granny Smith ultrases uygulamasında meydana gelmiştir. En yüksek spektral yansıma değerleri Golden Delicious ön işlemsiz uygulamasında belirlenmiştir.

Genel olarak;

- Tez çalışmasında, kuruma hızının ultrases ön işlem görmüş örneklerde daha yüksek olduğu,
- Kullanılan tüm matematiksel modellerin farklı uygulamalarda başarılı sonuçlar verdiği,
- En yüksek enerji tüketiminin konvektif kurutmada, en az ise hibrit sistemde olduğu, enerji etkinliği en yüksek kurutucunun hibrit sistem olduğu,

- Efektif nem difüzyonunun en yüksek mikrodalgada, en düşük ise güneşte elde edildiği,
- En yüksek termal etkinliğin mikrodalgada, en düşük ise kontrollü serada meydana geldiği,
- Kurutma sırasında tek sıcaklık değerlerinin ultrases ön işlem görmüş ürünlerde daha fazla olduğu,
- En yüksek spektral yansımaların güneş ve serada, en düşük ise liyofilizatörde elde edildiği,
- Fiziksel özelliklerin ultrases ön işlem görmüş ürünlerde daha fazla değişim gösterdiği,
- Rehidrasyon kapasitesi ve büzülmenin ultrases ön işlem uygulanmış numunelerde daha yüksek olduğu,
- Biyokimyasal özelliklerin ve kurutma karakteristiklerinin tahminlenmesinde en başarılı yapay zekâ algoritmasının Rastgele Orman olduğu,

Bunlara ek olarak öneriler,

- Farklı dip ürünlerinin farklı kurutma koşullarındaki özelliklerinin belirlenmesi,
- Hibrit kurutma sistemlerinde farklı kombinasyonların uygulanması ve farklı ürünler için optimum değerlerin ortaya konması,
- Biyokimyasal özelliklere etkisini incelemek için ultrases ön işlem süresinin düşürülmesi,
- Hasarlı ya da zarar görmüş ürünlerin görünümü etkileyen durumlarda farklı şekillerde doğranarak kurutulması,
- Ürünlerin yansıma değerlerinin daha detaylı analizi için hiperspektral görüntüleme kullanılması,
- Elde edilen özelliklerin derin öğrenme algoritmalarıyla modellenmesi ve tahminlenmesi,
- Kurutma öncesi, hasarlı ürünlerde sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesini ve kurutmaya uygun olmayan ürünlerin ayrılmasını sağlayacak bir sistemin tasarlanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Aghilinategh, N., Rafiee, S., Hosseinpour, S., Omid, M., Mohtasebi, S. S., 2016. Real-time color change monitoring of apple slices using image processing during intermittent microwave convective drying. **Food Science and Technology International, 22** (7), 634-646.

Agrawal, Y. C., Singh, R. P., 1977. Thin-layer drying studies on short-grain rice. **ASAE paper No. 77-3531**, St. Joseph, MI, USA.

Ağın, O., 2014. Buğday Üretiminde Yabancı Ot Yoğunluğunun Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 77s.

Aktaş, M., İlbaş, M., Yalçın, A., Şahin, M., 2013. Kızılötesi ışınımlı bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 28** (4): 767-775.

Al Juhaimi, F., Uslu, N., Bozkurt, D., Ghafoor, K., Babiker, E. E., Özcan, M. M. 2016. Effects of oven and microwave drying on phenolic contents and antioxidant activities in four apple cultivars. **Quality Assurance and Safety of Crops Foods, 8** (1), 51-55.

Ali, J., Khan, R., Ahmad, N., Maqsood, I. 2012. Random forests and decision trees. Int. J. Comput. Sci. 9, 272–278.

Anonim, 2017. Ege İhracatçı Birlikleri. Yıllar İtibariyle Mal Grupları Bazında Türkiye Geneli Kuru Meyve Raporu. http://www.eib.org.tr/bilgi-merkezi-raporlar-kuru-meyve.asp (Erişim Tarihi: Ocak 2021).

Anonim, 2020. Gıda Teknolojisi, Sebzeleri Kurutma, MEGEP, Ankara (Erişim Tarihi: Ağustos 2020).

AOAC, 1990. Official Method of Analysis. 15th ed., pp.66-88. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.

Ataş, M., Yardimci, Y., Temizel, A., 2012. A new approach to aflatoxin detection in chili pepper by machine vision. **Computers and Electronics in Agriculture, 87**, 129-141.

Ayan, H., 2010. Güneşte ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş Domates (Lycopersitcum esculentum) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 119s.

Aydin, C., 2003. Physical properties of almond nut and kernel**. Journal of Food Engineering, 60**, 315-320.

Ayensu, A., 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. **Solar Energy, 59 pp**. 121-126.

Ayık, M., 1985. Ürün İşleme Tekniği ve Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 957, Ders Kitabı:277, Ankara.

Babalis, S. J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N., Belessiotis, V. G., 2006. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (Ficus carica). **Journal of Food Engineering**, 75(2), 205-214.

Bayhan, H. A., 2011. Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 116s.

Behtari, B., De Luis, M., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., 2014. Predicting germination of Medicago sativa and Onobrychis viciifolia seeds by using image analysis. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry 38**, 615–623.

Beigi, M. 2016. Energy efficiency and moisture diffusivity of apple slices during convective drying. **Food Science and Technology**, **36**(1), 145-150.

Beigi, M., Torki-Harchegani, M., Tohidi, M. 2017. Experimental and ANN modeling investigations of energy traits for rough rice drying. **Energy, 141**, 2196-2205.

Berhane, T., Lane, C., Wu, Q., Autrey, B., Anenkhonov, O., Chepinoga, V., Liu, H. 2018. Decision-tree, rule-based, and random forest classification of high-resolution multispectral imagery for wetland mapping and inventory. **Remote Sensing 10**, 580.

Beyaz, A., Ozturk, R., Turker, U. 2010. Assessment of mechanical damage on apples with image analysis. **Journal of Food, Agriculture Environment, 8** (34), 476-480.

Beyaz, A., Ozturk, R. 2016. Identification of olive cultivars using image processing techniques. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 40** (5), 671-683.

Bora, G. C., Pathak, R., Ahmadi, M., Mistry, P., 2018. Image processing analysis to track colour changes on apple and correlate to moisture content in drying stages. **Food Quality and Safety, 2** (2), 105-110.

Breiman, L. 2001. Random forests. Machine Learning, 45 (1), 5-32.

Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., 2003. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No:28, Ankara.

Cemeroğlu B., 2004. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. 2. Cilt, 2. Baskı, Başkent Klişe Matbaacılık, Ankara.

Cemeroğlu B., 2007. Gıda Analizleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No. 34, Ankara.

Cemeroğlu B., 2011. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 2.Cilt, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Lmt. Şti. Yayın No: 191.

Chen, Z., Bertin, R., Froldi, G. 2013. EC50 estimation of antioxidant activity in DPPH assay using several statistical programs. **Food Chemistry, 138** (1), 414-420.

Colombo, M., Orthmann, S., Bellini, M., Staufenbiel, S., Bodmeier, R. 2017. Influence of drug brittleness, nanomilling time, and freeze-drying on the crystallinity of poorly water-soluble drugs and its implications for solubility enhancement. **AAPS PharmSciTech, 18**(7), 2437-2445,

Contreras, C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N. 2008. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. **Journal of Food Engineering, 88**(1), 55-64.

Crank, J. 1975. Mathematics of Diffusion, 2nd ed.; Oxford University Press: London, UK,; p. 414.

Crapiste, G. H. 2000. Simulation of drying rates and quality changes during dehydration of foodstuffs. In Trends in food engineering Switzerland: **Technomic Publishing Co.** 135-138.

Cruz, A. C., Guiné, R. P., Gonçalves, J. C. 2015. Drying kinetics and product quality for convective drying of apples (cvs. Golden Delicious and Granny Smith). **International Journal of Fruit Science 15** (1), 54-78.

Cui, Z. W., Li, C. Y., Song, C. F., Song, Y. 2008. Combined microwave vacuum and freeze drying of carrot and apple chips. **Drying Technology 26**: 1517–1523,

Çalışkan, G., Dirim, S. N. 2017. Drying characteristics of pumpkin (Cucurbita moschata) slices in convective and freeze dryer. **Heat and Mass Transfer, 53**(6), 2129-2141.

Çelen, S., 2019. Effect of microwave drying on the drying characteristics, color, microstructure, and thermal properties of trabzon persimmon. **Foods, 8** (2), 84.

Çetin, N., Yaman, M., Karaman, K., Demir, B. 2020. Determination of some physicomechanical and biochemical parameters of hazelnut (Corylus avellana L.) cultivars. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 44** (5), 439-450.

Çiçekdağı, F., (2011). Ultrasonik ses dalgalarının oluşturduğu akustik kavitasyonu etkileyen değişkenler ve kavitasyon enerjisi ölçümü. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 101s.

Dadalı, G. 2007. Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, FBE Kimya Mühendisligi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 215s.

Das, I., Arora, A. 2018. Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. **Journal of Food Engineering, 223**, 208-219.

Dehghannya, J., Gorbani, R., Ghanbarzadeh, B. 2015. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on drying kinetics and effective moisture diffusivity of mirabelle plum. **Journal of Food Processing and Preservation, 39** (6), 2710-2717.

Demir, B., Çetin, N., Kuş, Z. A., 2016. Görüntü İşleme Tekniği ile Yabancı Ot Renk Özelliklerinin Belirlenmesi. **Alinteri Journal of Agriculture Sciences, 31** (2).

Deng, Y., Zhao, Y. 2008. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). **LWT-Food Science and Technology, 41** (9), 1575-1585.

Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., Gao, Z.J., Xiao, H. W. 2019. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes–a comprehensive review. **Critical reviews in Food Science and Nutrition, 59** (9), 1408-1432.

Demiray E., 2015. Havuç ve kırmızıbiberin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulması, kuruma karakteristiklerinin ve bazı kalite özelliklerindeki değişimin modellenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Denizli, 263 s.

Devos, O., Ruckebusch, C., Durand, A., Duponchel, L., Huvenne, J.P., 2009. Support vector machines (SVM) in near infrared (NIR) spectroscopy: focus on parameters optimization and model interpretation. **Chemometr. Intell. Lab. Syst. 96**, 27–33.

Dincer I. 1999. Environmental impacts of energy. **Energy Policy;27** (14):845e54.

Dinçer, İ., Şahin A., 2004. A New Model for Thermodinamic Analysis of a Drying Process, **International Journal of Heat and Mass Transfer, v.47**, pp.645-652.

Di Scala, K., Meschino, G., Vega-Galvez, A., Lemus-Mondaca, R., Roura, S., Mascheroni, R. 2013. An artificial neural network model for prediction of quality characteristics of apples during convective dehydration. **Food Science and Technology, 33** (3), 411-416,

Doerflinger, F. C., Pagay, V., 2018. Objective assessment of dried sultana grape quality using digital image analysis. **Australian Journal of Grape and Wine Research, 24** (2), 234-240.

Do Trong, N. N., Rizzolo, A., Herremans, E., Vanoli, M., Cortellino, G., Erkinbaev, C., Saeys, W. 2014. Reprint of" Optical properties–microstructure–texture relationships of dried apple slices: Spatially resolved diffuse reflectance spectroscopy as a novel technique for analysis and process control". **Innovative Food Science Emerging Technologies, 24**, 145-153.

Doymaz, I., 2011. Drying of pomegranate arils and selection of a suitable drying model**.** **Food Biophysics, 6** (4), 461–467.

Duan, L., Duan, X., Ren, G. 2020. Structural characteristics and texture during the microwave freeze drying process of Chinese yam chips. **Drying Technology, 38** (7), 928-939.

Erbay Z, Icier F. 2010. The importance and potential uses of olive leaves. **Food Reviews International, 26** (4): 319-334.

Erdoğan D., 1984. Doğal Akışlı Kurutucular. 2.Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Sempozyumu, 2224-231, Ankara.

Ergüneş, G., Tarhan, S., 2006. Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. **Journal of Food Engineering, 76**(3), 446-452.

Ertekin Filiz, B. 2015. Elma Cipsinin Bazi Kalite ve Antioksidan Özelliklerine Kurutma, Ambalajlama ve Depolamanin Etkisi., Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 175s.

Esteve Agelet, L., Ellis, D. D., Duvick, S., Goggi, A. S., Hurburgh, C. R., Gardner, C.A., 2012. Feasibility of near infrared spectroscopy for analyzing corn kernel damage and viability of soybean and corn kernels. **Journal of Cereal Science 55**, 160–165.

Evin, D., 2012. Thin layer drying kinetics of Gundelia tournefortii L. **Food and Bioproducts Processing, 90** (2), 323-332.

Fernández, L., Castillero, C., Aguilera, J.M. 2005. An application of image analysis to dehydration of apple discs. **Journal of Food Engineering 67**, 185–193.

Ferreira, D. S., Galão, O. F., Pallone, J. A. L., Poppi, R. J., 2014. Comparison and application of near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy for determination of quality parameters in soybean samples. **Food Control 35**, 227–232.

Fijałkowska, A., Nowacka, M., Witrowa-Rajchert, D. 2015. Effect of ultrasound waves on drying process and selected properties of beetroot tissue. **Food Science Technology Quality, 2** (99), 138-149.

Fıratlıgil-Durmuş, E., Šárka, E., Bubník, Z., 2008. Image vision technology for the characterisation of shape and geometrical properties of two varieties of lentil grown in Turkey. **Czech Journal of Food Science Vol, 26** (2), 109-116.

Food and Agriculture Organization (FAO) 2021. FAOSTAT Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) İstatistik Veritabanı. http://www.fao.org/faostat/en/#data Erişim tarihi: Mart 2021).

Fratianni, A., Niro, S., Messia, M. C., Cinquanta, L., Panfili, G., Albanese, D., Di Matteo, M. 2017. Kinetics of carotenoids degradation and furosine formation in dried apricots (Prunus armeniaca L.). **Food Research International, 99**, 862-867.

Fudholi, A., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., Sopian, K. 2013. Drying of Malaysian Capsicum annuum L. (red chili) dried by open and solar drying. **International Journal of Photoenergy**. ID 167895, 1-19.

Gao, K., Zhou, L., Bi, J., Yi, J., Wu, X., Zhou, M., Liu, X., 2017. Evaluation of browning ratio in an image analysis of apple slices at different stages of instant controlled pressure drop-assisted hot-air drying (AD-DIC). **Journal of the Science of Food and Agriculture, 97** (8), 2533-2540.

Gao, F., Dong, Y., Xiao, W., Yin, B., Yan, C., He, S., 2016. LED-induced fluorescence spectroscopy technique for apple freshness and quality detection. **Postharvest Biololgy Technology 119,** 27–32.

Garcia-Perez, J. V., Carcel, J. A., Riera, E., Rosselló, C., Mulet, A. 2012. Intensification of low-temperature drying by using ultrasound. **Drying Technology, 30** (11-12), 1199-1208.

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

Garrido-Novell, C., Pérez-Marin, D., Amigo, J. M., Fernández-Novales, J., Guerrero, J. E. and Garrido-Varo, A. 2012. Grading and color evolution of apples using RGB and hyperspectral imaging vision cameras. **Journal of Food Engineering, 1132**, 281-288.

Ghaitaranpour, A., Rastegar, A., Tabatabaei Yazdi, F., Mohebbi, M., Alizadeh Behbahani, B., 2017. Application of digital image processing in monitoring some physical properties of tarkhineh during drying. **Journal of Food Processing and Preservation, 41** (2), e12861.

Golpour, I., Chayjan, R. A., Parian, J. A., Khazaei, J., 2015. Prediction of paddy moisture content during thin layer drying using machine vision and artificial neural networks. **Journal of Agricultural Science and Technology, 17** (2), 287-298.

Guiné, R. P., Barroca, M. J., Gonçalves, F. J., Alves, M., Oliveira, S., Mendes, M. 2015. Artificial neural network modelling of the antioxidant activity and phenolic compounds of bananas submitted to different drying treatments. **Food Chemistry, 168**, 454-459.

Güler Yaranlı, F. 2020. Elmaların ultrases destekli ozmotik dehidrasyonu: Kuruma karakteristikleri ve fiziksel özelliklerine etkileri. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 97s.

Güngör, A., Özbalta, N., 1997. Endüstriyel kurutma sistemleri. III.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, II.Cild, pp. 737-747, İzmir,

Güzel E. Ülger P. Kayışoğlu B., 1996. Ürün İşleme ve Değerlendirme Tekniği. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Genel Yayın no:145, Ders Kitapları, Yayın No:47, Adana.

Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., Witten, I. H., 2009. The WEKA data mining Software: An update. SIGKDD Explorations. Available online: http://www.cs.waikato.ac.nz. (Accessed 12 April 2019).

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. 2001.PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica 4** (1): 9pp.

Henríquez, C., Córdova, A., 2014. Almonacid, S., Saavedra, J. Kinetic modeling of phenolic compound degradation during drum-drying of apple peel by-products. **Journal of Food Engineering, 143**, 146-153.

Heybeli, N., 2006. Sanayi tipi prototip raflı kurutucuda elma kurutulması. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antalya, 225 s.

Heybeli, N. Ve Ertekin, C. 2007. Elma dilimlerinin ince tabaka halinde kuruma karakteristiği, **Tarım Bilimleri Dergisi, 3**(3): 179-187.

Heybeli N., 2017. Farklı Kurutma Sistemlerinin Birlikte Kullanımı ile Stanley Erik Çeşidinin Kurutulması Üzerine Bir Araştırma. Akdeniz Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 131s.

Hornberg, A. (Ed.)., 2007. Handbook of machine vision. John Wiley Sons.

Horuz E. 2017. Investigation of Drying and Quality Parameters of Some Fruits and Vegetables in Home Type Hybrid (Convectional-Microwave) Oven. Gaziantep University Ph.D. Thesis in Food Engineering, Gaziantep, pp 289.

Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., Maskan, M. 2017. Effects of hybrid (microwave-convectional) and convectional drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. **Food Chemistry, 230**, 295-305.

Hsu, C. L., Chen, W., Weng, Y. M., Tseng, C. Y. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. **Food Chemistry, 83**(1), 85-92.

Huang, M., Wang, Q. G., Zhu, Q. B., Qin, J. W., Huang, G., 2015. Review of seed quality and safety tests using optical sensing technologies. **Seed Science & Technology 43**, 337–366.

Huang, M., Tang, J., Yang, B., Zhu, Q., 2016. Classification of maize seeds of different years based on hyperspectral imaging and model updating. **Computers and Electronics in Agriculture 122**, 139–145.

IBM SPSS® 2010. Statistical software. SSS Inc., IBM Company©, Version 20.0.

Igual, M., García-Martínez, E., Martín-Esparza, M. E., Martínez-Navarrete, N. 2012. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. **Food Research International, 47** (2), 284-290.

Işık, E., Alibaş, İ., 2000. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan yöntemler ve kurutma sistemleri. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yardımcı ders notu No:3, Bursa, s. 2-25.

İrik H. A., 2018. Çerezlik Kabakta Tarla Düzeyli Uzaktan Algılama Tekniklerinin Verim, Kalite Tahmini ve Sulama Suyu Yönetiminde Kullanılması. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 110 s.

İzgi, C., 2012. Farklı Kurutma Metotlarının Domatesteki Likopen Miktarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 59s.

İzli N., 2012. Bazı tarımsal ürünlerin mikrodalga konvektif kurutma yöntemiyle ince tabaka kurutma kuramına göre kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 160 s.

Jafari, H., Kalantari, D., Azadbakht, M. 2018. Energy consumption and qualitative evaluation of a continuous band microwave dryer for rice paddy drying. **Energy, 142**, 647-654.

Jangam, S. V., Law, C. L., Mujumdar, A. S. 2010. Drying of Foods, Vegetables and Fruits, Vol. 1. Singapur: Universidad Nacional de Singapur.

Jena, S., Das, H. 2007. Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. **Journal of Food Engineering, 79** (1), 92-99.

Kabaş, Ö., Özmerzi, A., 2010. Balo Tipi Dolmalık Biberin Bazı Fiziksel Özelliklerinin Görüntü İşleme Yöntemiyle Belirlenmesi, 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 22-23.

Kabaş, Ö., ve Öten M., 2015. Farklı lokasyonlarda yetişen yoncanın bazı fenotip özelliklerinin görüntü işleme yöntemi ile belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 28 (2).

Kaleta, A., Górnicki, K. 2010. Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. **International Journal of Food Science Technology, 45** (5), 891-898.

Kamiloglu, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Beekwilder, J., Hall, R. D., Capanoglu, E. 2016. A Review on the Effect of Drying on Antioxidant Potential of Fruits and Vegetables. **Critical Reviews Food Science Nutrition 56** (Suppl. 1), S110–S129.

Kamiloglu, S. Capanoglu, E. 2015. Polyphenol Content in figs (Ficus carica, L.): Effect of Sun-Drying. **International Journal of Food Properties 18** (3), 521–535.

Kandpal, L. M., Lee, S., Kim, M. S., Bae, H., Cho, B. K., 2015. Short wave infrared (SWIR) hyperspectral imaging technique for examination of aflatoxin B1 (AFB1) on corn kernels. **Food Control 51**, 171–176.

Kandpal, L. M., Lohumi, S., Kim, M.S., Kang, J.-S. and Cho, B.-K. 2016. Near-Infrared hyperspectral imaging system coupled with multivariate methods to predict viability and vigor in muskmelon seeds. **Sensors and Actuators B: Chemical 229**, 534–544.

Kantaş, Y. 2007. Effect of ultrasound on drying rate of selected produce. The Graduate School of Natural and Applied Sciences Of Middle East Technıcal University, The Degree of Doctor of Philosophy in Food Engineering, 209 pp, Ankara.

Karaaslan S., 2008. Sebze ve endüstri bitkilerinin mikrodalgayla kurutulması üzerine çalışmalar. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 195 s.

Karabacak, H., 2007. Bitki Yüzey Artığı Kaplama Oranının Görüntü İşleme Tekniğiyle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,

Karataş N., 2014. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Bazı Kayısı Çeşitlerinin Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 169 s.

Kartal Kangaloğlu, A.S., 2011. Mikrodalga ve Kuru Hava Yardımıyla Kurutma Yöntemlerinin Meyve Pestillerinin Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 72 s.

Kasem, A.S. 1998. Comparative studies on thin layer drying models for wheat. 13th International Congress on Agricultural Engineering, 2-6 February, 1998, Morocco.

Kaveh, M., Sharabiani, V. R., Chayjan, R. A., Taghinezhad, E., Abbaspour-Gilandeh, Y., Golpour, I. 2018. ANFIS and ANNs model for prediction of moisture diffusivity

and specific energy consumption potato, garlic and cantaloupe drying under convective hot air dryer. **Information Processing in Agriculture, 5**(3), 372-387.

Kaya, Z. G. 2019. Ultrases Ön İşlemiyle Sıcak Hava ve Mikrodalga Sistemlerinde Kurutulan Elma Dilimlerinin Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, Isparta, 138s.

Kayisoglu, S., Ertekin, C. 2011. Vacuum drying kinetics of barbunya bean (Phaseolus vulgaris L. elipticus Mart.). **The Philippine Agricultural Scientist, 94** (3).

Kaymak-Ertekin, F. 2002.Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. **Journal of Food Science, 67**(1), 168-175.

Khampakool, A., Soisungwan, S., Park, S. H. 2019. Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: Drying kinetics, energy consumption, and texture. **LWT: Food Science and Technology 99**, 355-363.

Kırbaş, İ., Tuncer, A. D., Şirin, C., Usta, H. 2019. Modeling and developing a smart interface for various drying methods of pomelo fruit (Citrus maxima) peel using machine learning approaches. **Computers and Electronics in Agriculture, 165**, 104928.

Korobeinikov, Y.G. Nazarov, A.A. Fedorov, A.V. 2006. Energy Consumption in Timber Drying Using the Acoustic Method; Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences: Novosibirsk, Russia.

Koç, B. Eren, I and Ertekin, F.K. 2008. Modelling bulk density, porosityand shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. **Journal of Food Engineering, 85**: 340–349.

Koç, B., Kaymak-Ertekin, F. 2009. Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. Gıda, 35 (1).

Köksal, E. S., Yıldırım, Y. E. 2011. Using crop water stress index for determination of sugar beet irrigation time. **Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 26** (1), 57-62.

Kumar, M., Bora, G., Lin, D. 2013. Image processing technique to estimate geometric parameters and volume of selected dry beans. **Journal of Food Measurement and Characterization, 7** (2), 81-89.

Kuncan, M., Ertunç, H. M., Küçükyıldız, G., Hızarcı, B., Ocak, H., Öztürk, S. 2013. Görüntü işleme tabanlı zeytin ayıklama makinesi. In Auto Control National Meeting, Malatya (pp. 459-464).

Leighton, T. G., 1998. The principles of cavitation. Ultrasound in food processing, 12. Published by Blackie Academic & Professional, an imprint of Thomson Science.

Leon, M. A., Kumar, L. S., Bhattacharya, S.C., 2002. A Procedure for Performance Evaluation of Solar Food Dryers, **Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6**: 367-393.

Lewicki, P. P. 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. **Journal of Food Engineering, 36,** 81-87.

Li, L., Peng, Y., Yang, C., Li, Y. 2020. Optical sensing system for detection of the internal and external quality attributes of apples. **Postharvest Biology and Technology, 162,** 111101.

Lu, R., 2004. Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit. **Postharvest Biology and Technology, 31**, 147–157.

Lu, R., Chen, Y.R. 1998. Hyperspectral imaging for safety inspection of foods and agricultural products. In: Pathogen Detection and Remediation for safe eating – Proceedings in: **International Society for Optical Engineering, 3544,** 121– 133.

Lüle, F., 2014. Malatya-Arguvan Yöresinde Toplanan Çaşır Mantarında (Pleurotus Eryngii) Farklı Kurutma Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 117s.

Lv, W., Lv, H., Jin, X., Cui, Z., Su, D., 2020. Effects of ultrasound-assisted methods on the drying processes and quality of apple slices in microwave drying. **Drying Technology, 38**(13), 1806-1816.

Ma, Q.-H.; Wang, G.-X.; Liang, L.-S. 2011.Establishment of the Detecting Method on the Fruit Texture of Dongzao by Puncture Test. **Scientia Agricultura Sinica, 44,** 1210–1217,

MacKay, D. J. C. 1998. Introduction to Gaussian processes. NATO ASI Series F **Computer and Systems Sciences, 168**, 133-166.

Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A. 1996. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering, 29**: 75-97.

Mahawar, M. K., Jalgaonkar, K., Kumar, M., Meena, V.S., Bhushan, B. 2017. Determination of some physical properties of date palm fruits (cv. Khadrawy and medjool). **Acta Agroph 24**, 217-223.

Marić, L., Malešić, E., Tušek, A. J., Benković, M., Valinger, D., Jurina, T., Kljusurić, J. G. 2020. Effects of drying on physical and chemical properties of root vegetables: Artificial neural network modelling. **Food and Bioproducts Processing, 119,** 148-160.

Marini, F., Magri, A. L., Balestrieri, F., Fabretti, F., Marini, D. 2004. Supervised pattern recognition applied to the discrimination of the floral origin of six types of Italian honey samples. **Analytica Chimica Acta, 515** (1), 117-125.

Marques, L., Prado, M., Freire, J. 2009. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. **LWT: Food Science and Technology, 42** (7), 1232–1237.

Martínez, S. S., Gila, D. M., Beyaz, A., Ortega, J. G., García, J. G. 2018. A computer vision approach based on endocarp features for the identification of olive cultivars. **Computers and Electronics in Agriculture, 154,** 341-346.

Martins, M. P., Cortés, E. J., Eim, V., Mulet, A., Cárcel, J. A. 2019. Stabilization of apple peel by drying. Influence of temperature and ultrasound application on drying kinetics and product quality. **Drying Technology, 37** (5), 559-568.

Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. **Journal of Food Engineering, 44:** 71-78.

Maskan, M. 2001a. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of food engineering, 48** (2), 177-182.

Maskan, M., 2001b. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering, 48**, 169-175.

Masztalerz, K., Lech, K., Wojdyło, A., Nowicka, P., Michalska-Ciechanowska, A., Figiel, A. 2020. The impact of the osmotic dehydration process and its parameters on the mass transfer and quality of dried apples. **Drying Technology,** 1-13.

Maxwell, A. E., Warner, T. A. Fang. F. 2018. Implementation of Machine-learning Classification in Remote Sensing: An Applied Review. **International Journal of Remote Sensing 39**, 2784-2817.

Maynard, J. D., 2000. Innovative Acoustic Techniques for Studying New Materials and New Developments in Condensed Matter Physics. Pennsylvanıa State University Park Deparment of Physics.

Mayor L., Silva M. A. Sereno A. M. 2005. Microstructural Changes during Drying of Apple Slices. **Drying Technology, 23:** 2261–2276.

McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, P., 1986. Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill Book Company, New York.

McGuire, R. G., 1992. Reporting of objective colour measurements. **HortScience, 27** (12), 1254–1255.

Mendoza, F., Lu, R., Ariana, D., Cen, H., Bailey, B. 2011. Integrated spectral and image analysis of hyperspectral scattering data for prediction of apple fruit firmness and soluble solids content. **Postharvest Biology and Technology, 62** (2), 149-160.

Menon, A. S., Mujumdar, A. S., 1987. Drying of solids: principles, classification and selection of dryers, A Handbook of Industrial Drying, A.S. Mujumdar (Ed.), Marcel Dekker Inc., pp. 3-46, New York.

Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z., 2002. A new model for single-layer drying. **Drying Technology, 20** (7), 1503−1513.

Miranda, M., Maureira, H., Rodriguez, K., Vega-Galvez, A. 2009. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) gel. **Journal of Food Engineering 91**:297–304.

Mistry, V. V., Pulgar J. B. 1996. Physical and Storage Properties of High Milk Protein Powder. **International Dairy Journal, 6**, 195-203.

Mohsenin, N. N. 1980. Physical properties of plants and animal materials. New York: Gordon and Breach Science Publishers, NW.

Mohsenin, N. N., 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. Gordon and Breach Science Publishers, New York.

Mollazade, K., Omid, M., Arefi, A. 2012. Comparing Data Mining Classifiers for Grading Raisins based on Visual Features. **Computers and Electronics in Agriculture, 84,** 124-131.

Molnar, K., 1995. Experimental Techniques in Drying, A Handbook of Industrial Drying, A.S. Mujumdar (Ed.), Marcel Dekker Inc., pp. 41-70, New York.

Moncayo, S., Manzoor, S., Navarro-Villoslada, F., Caceres, J.O., 2015. Evaluation of supervised chemometric methods for sample classification by Laser induced Breakdown Spectroscopy. **Chemometr. Intell. Lab. Syst. 146**, 354364.

Motavali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M.H., Amirnejat, H. 2011. Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. **Energy. 36**, 6433–6441.

Motavali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., Darvishi, H. 2016. Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in microwave-convective dryer. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 15** (2), 179–187.

Mothibe, K. J., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Wang, Y. C., Cheng, X. 2014. Effects of ultrasound and microwave pretreatments of apple before spouted bed drying on rate of dehydration and physical properties. **Drying Technology, 32** (15), 1848-1856.

Muliterno, M. M., Rodrigues, D., de Lima, F. S., Ida, E. I., Kurozawa, L. E. 2017. Conversion/degradation of isoflavones and color alterations during the drying of okara. **LWT: Food Science and Technology 75**, 512-519.

Mustafa, N. B. A., Fuad, N. A., Ahmed, S. K., Abidin, A. A. Z., Ali, Z., Yit, W. B., Sharrif, Z. A. M., 2008. Image processing of an agriculture produce: Determination of size and ripeness of a banana. In 2008 International Symposium on Information Technology (Vol. 1, pp. 1-7), IEEE.

Mutlu, A., Ergüneş G., 2008. Tokat'ta Güneş Enerjili Raflı Kurutucu ile Domatesin Kurutma Koşullarının Belirlenmesi, **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 1** (1): 61-68.

Naderinezhad, S., Etesami, N., Poormalek Najafabady, A., Ghasemi Falavarjani, M. 2016. Mathematical modelling of drying of potato slices in a forced convective dryer based on important parameters. **Food Science and Nutrition 4** (1): 110-118.

Nadi, F., Tzempelikos, D. 2018. Vacuum drying of apples (cv. Golden Delicious): drying characteristics, thermodynamic properties, and mass transfer parameters. **Heat and Mass Transfer 54:** 1853- 1866.

Nawrocka, A., Lamorska, J., 2013. Determination of Food Quality by Using Spectroscopic Methods, INTECH Open Science Open Minds. 347–368.

Nettleton, D. F., Orriols-Puig, A., Fornells, A. 2010. A study of the effect of different types of noise on the precision of supervised learning techniques. Artif Intell Rev 33, 275–306.

Niamnuy, C. Nachaisin, M. Laohavanich, J. Devahastin, S. 2011. Evaluation of Bioactive Compounds and Bioactivities of Soybean Dried by Different Methods and Conditions. **Food Chemistry 129** (3), 899–906.

Niamnuy, C., Devahastin, S., Soponronnarit, S., 2014. Some recent advances in microstructural modification and monitoring of foods during drying: a review. **Journal of Food Engineering, 123**, 148-156.

Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N., Witrowa-Rajchert, D. 2012. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. **Journal of Food Engineering, 113**(3), 427-433.

Omid, M., Khojastehnazhand, M., Tabatabaeefar, A. 2010. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. **Journal of Food Engineering 100** (2), 315-321.

Omobuwajo T. O., Akande A. E., Sanni L. A., 1999. Selected physical, mechanical and aerodynamic properties African Breadfruit (Treculia africana) seeds. **Journal of Food Engineering 40:** 241-244.

Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N., Abdan, K. 2016. Modelling the convective drying process of pumpkin (Cucurbita moschata) using an artificial neural network. **International Food Research Journal, 23**, S237.

Örge, G., 2012. Farklı Kültür Bitkileri ve Yabancı Otların Renk Özelliklerinin Görüntü İşleme Tekniği ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Özbalta, N., Güngör, A., Gürlek, G., 2003. Güneş Enerjili Hava Toplayıcılarındaki Gelişmeler ve Tasarım Parametrelerinin Araştırılması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, V.76, 26 s.

Özenir, N., 2009. Meyvelerin Dondurarak Kurutulması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 88s.

Özgüven, F., Vursavuş, K., 2005. Some Physical, Mechanical and aerodynamic properties of pine (Pinus pinea) nuts. **Journal of Food Engineering, 68**:191-196.

Özkan, G., Koyuncu M. A., 2005. Physical and Chemical Comparision of Some Walnut (Juglans regia L.) Genotypes Grown in Turkey. **Grasas y Aceites. 56** (2): 142.

Pazoki, A., Farokhi, F., Pazoki, Z., 2013. Corn seed varieties classification based on mixed morphological and color features using artificial neural networks. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 6**, 3506–3513.

Peirs, A., Scheerlinck, N., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B.M. 2003. Starch index determination of apple fruit by means of a hyperspectral near infrared reflectance imaging system. **Journal of Near Infrared Spectroscopy, 11**, 379–389.

Pétrier, C., Suslick, K., 2000. Ultrasound-enhanced reactivity of calcium in the reduction of aromatic hydrocarbons. **Ultrasonics Sonochemistry, 7**(2), 53-61.

Pieniazek, F., Messina, V., 2017. Texture and color analysis of freeze-dried potato (cv. Spunta) using instrumental and image analysis techniques. **International Journal of Food Properties, 20** (6), 1422-1431.

Plans, M., Simó, J., Casañas, F., Sabaté, J., Rodriguez-Saona, L. 2013. Characterization of common beans (Phaseolus vulgaris L.) by infrared spectroscopy: Comparison

of MIR, FT-NIR and dispersive NIR using portable and benchtop instruments. **Food Research International 54,** 1643–1651.

Podsedek, A. 2007. Natural antioxidant and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. **LWT: Food Science and Technology, 40** (1), 1–11.

Polatçı, H., 2013. Tokat ilinde güneş enerji destekli ısı pompalı bir kurutucu sistem geliştirilmesi ve domates kurutma performansının farklı kurutma sistemleri ile karşılaştırılması. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum, 125 s.

Polat, A., Taşkın, O., Izli, N., Aşık, B. B., 2019. Continuous and intermittent microwave-vacuum drying of apple: Drying kinetics, protein, mineral content, and color. **Journal of Food Process Engineering, 42**(3), e13012.

Polat Ş., 2018. Serada kullanılan cihazların enerji ihtiyaçlarının güneş enerjisi yardımı ile karşılanması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 110 s.

Qin, J., Lu, R. 2007. Measurement of the absorption and scattering properties of turbid liquid foods using hyperspectral imaging. **Applied Spectroscopy, 61**, 388–396.

Rad, S. J., Kaveh, M., Sharabiani, V. R., Taghinezhad, E. 2018. Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. **Heat and Mass Transfer, 54** (11), 3361-3374.

Radosław Winiczenko, J. M. 2018. Multi-objective optimization of the apple drying and rehydration processes parameters. **Emirates Journal of Food and Agriculture,** 1-9.

Rahman, A., Cho, B. K., 2016. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. **Seed Science Research, 26** (4), 285-305.

Ramesh, M. N. Wolf, W. Tevini, D. Jung, G. 2001.Influence of Processing Parameters on the Drying of Spice Paprika. **Journal of Food Engineering 49,** 63–72.

Ramos, I. N., Silva, C. L., Sereno, A. M., Aguilera, J. M. 2004. Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. **Journal of Food Engineering, 62** (2), 159-164.

Rasmussen, C. E., Williams, C. K. 2006. Gaussian process for machine learning. MIT press.

Rhim, J. W., Hong, S. I. 2011. Effect of water activity and temperature on the color change of red pepper (Capsicum annuum L.) powder. **Food Science and Biotechnology, 20** (1), 215–222.

Rodriguez-Galiano, V.F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., Rigol-Sanchez, J.P. 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. **ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 67**, 93-104.

Rodríguez, Ó., Santacatalina, J. V., Simal, S., Garcia-Perez, J. V., Femenia, A., Rosselló, C. 2014. Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. **Journal of Food Engineering, 129**, 21-29,

Rojas, M. L., Augusto, P. E. D., Cárcel, J. A., 2020. Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. **Innovative Food Science & Emerging Technologies, 61**, 102328.

Romano, G., Nagle, M., Argyropoulos, D., Müller, J., 2011. Laser light backscattering to monitor moisture content, soluble solid content and hardness of apple tissue during drying. **Journal of Food Engineering, 104** (4), 657-662.

Romero, J. R., Roncallo, P. F., Akkiraju, P. C., Ponzoni, I., Echenique, V. C., Carballido, J. A., 2013. Using classification algorithms for predicting durum wheat yield in the province of Buenos Aires. **Computer and Electronics in Agriculture 96,** 173–179.

Sabancı, K., Aydın, C., 2014. Görüntü İşleme Tabanlı Hassas İlaçlama Robotu. **Tarım Bilimleri Dergisi, 20** (4), 406-414.

Sabarez, H. T., Gallego-Juarez, J. A., Riera, E. 2012. Ultrasonic-assisted convective drying of apple slices. **Drying Technology, 30**(9), 989-997.

Saengrayap, R., Tansakul, A., Mittal, G. S. 2015. Effect of far-infrared radiation assisted microwave-vacuum drying on drying characteristics and quality of red chilli. **Journal of Food Science and Technology, 52** (5), 2610-2621.

Sharma, G. P., Verma, R. C., & Pathare, P. (2005). Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices**. Journal of Food Engineering, 71**(3), 282-286.

Saldamlı İ., Saldamlı E., Gıda Endüstrisi Makineleri. Savaş Yayınları, 547 s. Ankara, 2004.

Samoticha, J., Wojdyło, A., Lech, K. 2016.The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. **LWT-Food Science and Technology, 66**, 484-489.

Sampson, D. J., Chang, Y. K., Rupasinghe, H. V., Zaman, Q. U., 2014. A dual-view computer-vision system for volume and image texture analysis in multiple apple slices drying. **Journal of Food Engineering, 127,** 49-57.

Santos, P.H.S., Silva, M.A., 2008. Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables—A review. **Drying Technology, 26** (12), 1421-1437.

Sarafi, E., Siomos, A., Tsouvaltzis, P., Chatzissavvidis, C., Therios, I. 2018. Boron and maturity effects on biochemical parameters and antioxidant activity of pepper (Capsicum annuum L.) cultivars. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 42** (4), 237-247,

Sarimeseli, A. (2011). Microwave drying characteristics of coriander (Coriandrum sativum L.) leaves. **Energy Conversion and Management, 52** (2), 1449-1453.

Sayıncı, B., Ercisli, S., Ozturk, I., Eryilmaz, Z., Demir, B. 2012. Determination of size and shape in the'Moro'blood orange and'Valencia'sweet orange cultivar and its mutants using image processing. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 40** (1), 234-242.

Sayinci, B., Ercisli, S., Akbulut, M., Savsatli, Y., Baykal, H. 2015. Determination of shape in fruits of cherry laurel (Prunus laurocerasus) accessions by using elliptic Fourier analysis. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 14**, 63-82.

Schmutzler, M., Huck, C. W. 2016. Simultaneous detection of total antioxidant capacity and total soluble solids content by Fourier transform near-infrared (FT-NIR) spectroscopy: a quick and sensitive method for on-site analyses of apples. **Food Control, 66**, 27-37,

Schössler, K., Jäger, H., Knorr, D. 2012. Effect of continuous and intermittent ultrasound on drying time and effective diffusivity during convective drying of apple and red bell pepper. **Journal of Food Engineering, 108** (1), 103-110.

Seiiedlou, S. Ghasemzadeh, H.R. Hamdamı, N. Talati, Fand Moghaddam, M. 2010. Convective drying of apple: mathematical modeling anddetermination of some quality parameters. **International Journal of Agriculture Biology. 12** (2): 171-178.

Sharifian, F., Modarres-Motlagh, A., Komarizade, M. H., Nikbakht, A. M., 2013. Colour change analysis of fig fruit during microwave drying. **International Journal of Food Engineering, 9** (1), 107-114.

Soares, J. D. R., Pasqual, M., Lacerda, W. S., Silva, S. O., Donato, S. L. R. 2013. Utilization of artificial neural networks in the prediction of the bunches' weight in banana plants. **Scientia Horticulturae, 155**, 24-29.

Song, W., Wang, H., Maguire, P., Nibouche, O., 2016. Differentiation of organic and nonorganic apples using near infrared reflectance spectroscopy –A pattern recognition approach. 2016 IEEE Sensors 1–3.

Song, W., Wang, H., Maguire, P., Nibouche, O., 2018. Collaborative representation based classifier with partial least squares regression for the classification of spectral data. **Chemometr. Intell. Lab. Syst. 182,** 79–86. https://doi.org/10.1016/j.chemolab. 2018.08.011.

Song, W., Jiang, N., Wang, H., Guo, G. 2020. Evaluation of machine learning methods for organic apple authentication based on diffraction grating and image processing. **Journal of Food Composition and Analysis, 88,** 103437.

Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R., 2007. Image processing. Analysis, and Machine Vision, Thomson-Engineering, 3.

Soysal, Y. 2004. Microwave drying characteristics of parsley. **Biosystems Engineering, 89** (2), 167-173.

Soysal, Y., Öztekin, S., Eren, Ö. 2006. Microwave drying of Parsley: Modelling, kinetics, and energy aspects. **Biosystems Engineering 93** (4): 403-413.

Stegmayer, G., Milone, D. H., Garran, S., Burdyn, L., 2013. Automatic recognition of quarantine citrus diseases. **Expert Systems with Applications, 40** (9), 3512-3517.

Sumnu, G., Turabi, E., Oztop, M. 2005.Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens. **LWT-Food Science and Technology, 38** (5), 549-553.

Sun, Y., Liu, Y., Yu, H., Xie, A., Li, X., Yin, Y., Duan, X., 2017. Non-destructive prediction of moisture content and freezable water content of purple-fleshed sweet potato slices during drying process using hyperspectral imaging technique. **Food Analytical Methods, 10** (5), 1535-1546.

Suthar, S. H., Das, S. K., 1996. Some Physical Properties of Karingda [Citrus lanatus (thumb) mansf] Grains. **Journal of Agricultural Engineering Research, 65:** 15-22.

Süfer Ö., 2018. Nar tanelerinin mikrodalga-vakum kurutma tekniği kullanılarak kurutulması işleminin incelenmesi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Mersin, 180.

Tarafdar, A., Shahi, N. C., Singh, A. 2019. Freeze-drying behaviour prediction of button mushrooms using artificial neural network and comparison with semi-empirical models. **Neural Computing and Applications, 31**(11), 7257-7268.

Therdthai, N., Zhou, W. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (Mentha cordifolia Opiz ex Fresen). **Journal of Food Engineering, 91:** 482-489.

Topuz, A., Dincer, C., Özdemir, K. S., Feng, H., Kushad, M. 2011. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno). **Food Chemistry, 129**(3), 860-865.

Torki-Herchagani, M., Ghasemi-Varnamkhasni, M., Ghanbarian, D., Sadeghi, M., Tohidi, M. 2016. Dehydration characteristics and mathematical modelling lemon slices drying undergoing oven treatment. **Heat Mass Transf. 52:**281–289.

Tunahan, E., 2012. Defne (Laurus Nobilis l.) Meyvesinden yağ elde etmek amacıyla uygulanan farklı kurutma yöntemlerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 129 s.

Vapnik, V. N. 2000. Methods of pattern recognition. In The nature of statistical learning theory (pp. 123-180). Springer, New York, NY.

Vashisth, T., Singh, R. K., Pegg, R. B. 2011. Effects of drying on the phenolics content and antioxidant activity of muscadine pomace. **LWT-Food Science and Technology, 44** (7), 1649-1657.

Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sáinz, C., Fito, P., Andrés, A. 2008. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). **Journal of Food Engineering. 85:** 42-50.

Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B., Wratten, F. T. 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. **Transactions of the ASAE, 28** (1), 296-0301.

Walas, S. W., 1990.Chemical Process Equipment Selection and Design, Butterworth-Heinemann Inc., ISBN 0-7506-9385-1, pp 747, United States of America.

Wang, C. Y., Singh, R. P., 1978. A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI.

Wang, Z.; Sun, J.; Chen, F.; Liao, X.; Hu, X. 2007. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. **Journal of Food Engineering 80,** 536–544.

Wang, D., Martynenko, A., Corscadden, K., He, Q. 2017. Computer vision for bulk volume estimation of apple slices during drying. **Drying Technology, 35** (5), 616-624.

Wang, Y., Li, X., Chen, X., Li, B. O., Mao, X., Miao, J., ... Gao, W. 2018. Effects of hot air and microwave-assisted drying on drying kinetics, physicochemical properties, and energy consumption of chrysanthemum. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 129,** 84-94.

Warmund, M. R. 2008. Kernel color of three black walnut cultivars after delayed hulling at five successive harvest dates. **HortScience 43:** 2256-2258.

Westerman, P.W., White, G.M. Ross I.J. 1973. Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn **Transactions of the ASAE, 16** pp. 1136-1139.

White, G.M., Bridges, T.C., Loewer, O.J., Ross, I.J. 1981. Thin layer drying model for soybeans. **Transactions of the ASAE, 24:** 1643.

Witten, I.H., Frank, E., 2005. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Morgan Kaufmann Press, San Francisco, USA.

Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., Oszmiański, J. 2014. Effect of convective and vacuum–microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. **Food and Bioprocess Technology, 7** (3), 829-841.

Wu, T. Y., Guo, N., Teh, C. Y., Hay, J. X. W., 2013. Theory and fundamentals of ultrasound. In Advances in ultrasound technology for environmental remediation (pp. 5-12). Springer, Dordrecht.

Xiao, H. W., Pan, Z., Deng, L. Z., El-Mashad, H. M., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Gao J.Z., Zhang, Q. 2017. Recent developments and trends in thermal blanching–A comprehensive review. **Information Processing in Agriculture, 4** (2), 101-127.

Yağcıoğlu, A. 1996. Ürün İşleme Tekniği. EÜ. Ziraat Fakültesi Yayınlar, No: 517, Bornova, İzmir.

Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. EÜZF Yayınlar, No: 536.

Yang, L., Gao, H., Meng, L., Fu, X., Du, X., Wu, D., Huang, L. 2020. Nondestructive measurement of pectin polysaccharides using hyperspectral imaging in mulberry fruit. **Food Chemistry, 334,** 127614.

Yousefi, G., Emam-Djomeh, Z., Omid, M., Askari, G. R. 2014. Prediction of physicochemical properties of raspberry dried by microwave-assisted fluidized bed dryer using artificial neural network. **Drying Technology, 32** (1), 4-12.

Yuan, L., ming Cai, J., rong Sun, L., Han, E., Ernest, T., 2016. Nondestructive measurement of soluble solids content in apples by a portable fruit analyzer. **Food Anal. Methods 9,** 785–794.

Zapotoczny, P., 2011a. Discrimination of wheat grain varieties using image analysis and neural networks. Single kernel texture. **Journal of Cereal Science 54,** 60–68.

Zapotoczny, P., 2011b. Discrimination of wheat grain varieties using image analysis: morphological features. **European Food Research and Technology 233,** 769–779.

Zhang, H., Song, T., Wang, K., Wang, G., Hu, H., Zeng, F., 2012. Prediction of crudeprotein content in rice grain with canopy spectral reflectance. **Plant Soil Environ. 58,** 514–520.

Zhang, T., Xia, D., Tang, H., Yang, X., Li, H., 2016. Classification of steel samples by laserinduced breakdown spectroscopy and random forest. **Chemometr. Intell. Lab. Syst. 157,** 196–201.

Zhao, Y., Wang, D., Qian, D., 2009. Machine vision based image analysis for the estimation of pear external quality. In Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA'09. Second International Conference on (Vol. 1, pp. 629-632). IEEE.

Zhao, J., Lin, H., Chen, Q., Huang, X., Sun, Z., Zhou, F. 2010. Identification of egg's freshness using NIR and support vector data description. **Journal of Food Engineering, 98,** 408-414.

Zheng, W., Fu, X., Ying, Y., 2014. Spectroscopy-based food classification with extreme learning machine. **Chemometr. Intell. Lab. Syst. 139,** 42–47.

Zielinska, M., Markowski, M. (2016). The influence of microwave-assisted drying techniques on the rehydration behavior of blueberries (Vaccinium corymbosum L.). **Food Chemistry, 196,** 1188-1196.

Zou, H.Y., Wu, H.L., Fu, H.Y., Tang, L.J., Xu, L., Nie, J.F., Yu, R.Q., 2010. Variableweighted least-squares support vector machine for multivariate spectral analysis. **Talanta 80,** 1698–1701.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Necati ÇETİN
Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Erciyes Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği	2021
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Biyosistem Mühendisliği	2017
Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tarım Makineleri	2012

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015-Halen	Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Pinar, H., **Çetin, N.,** Ciftci, B., Karaman, K., & Kaplan, M. (2021). Biochemical composition, drying kinetics and chromatic parameters of red pepper as affected by cultivars and drying methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103976.

2. **Çetin, N.,** Karaman, K., Beyzi, E., Sağlam, C., & Demirel, B. (2021). Comparative Evaluation of Some Quality Characteristics of Sunflower Oilseeds (*Helianthus annuus* L.) Through Machine Learning Classifiers. *Food Analytical Methods*, 1-16.

3. Demir, B., Sayinci, B., Sümbül, A., Yaman, M., Yildiz, E., **Çetin, N.,** Karakaya, O., & Ercişli, S. (2020). Bioactive compounds and physical attributes of Cornus mas genotypes through multivariate approaches. *Folia Horticulturae*, *32*(2), 189-202.

4. **Çetin, N.,** Yaman, M., Karaman, K., & Demir, B. (2020). Determination of some physicomechanical and biochemical parameters of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *44*(5), 439-450.

5. **Çetin, N.,** Sağlam, C., & Demir, B. (2019). Determination of spray angle and flow uniformity of spray nozzles with image processing operations. *Journal of Animal and Plant Sciences*, *29*(6), 1603-1615.

6. Demir, B., Sayinci, B., **Çetin, N.,** Yaman, M., & Çömlek, R. (2019). Shape discrimination of almond cultivars by Elliptic Fourier Descriptors. *Erwerbs-Obstbau*, *61*(3), 245-256.

7. Saglam, C., Guzel, M., & **Çetin, N.** (2018). A Greenhouse Construction with Fiber-Reinforced Plastic Chords and Triangular Pyramid Models. *Fresenius Environmental Bulletin*, *27*(12 B), 9447-9452.

8. Demir, B., Sayıncı, B., **Çetin, N.,** Yaman, M., Çömlek, R., Aydın, Y., & Sütyemez, M. (2018). Elliptic Fourier based analysis and multivariate approaches for size and shape distinctions of walnut (Juglans regia L.) cultivars. *Grasas y Aceites*, *69*(4), 271.