

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN PAMUKOVA
AYVASININ KURUMA DAVRANIŞI ÜZERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fikriye BİLALOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nezaket PARLAK

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN PAMUKOVA
AYVASININ KURUMA DAVRANIŞI ÜZERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fikriye BİLALOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı

ENERJİ

Bu tez 13/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Nezaket Parlak
Jüri Başkanı

Prof.Dr. Nedim Sözbir
Üye

Prof.Dr. Yusuf Çay
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fikriye BİLALOĞLU

13.09.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Nezaket PARLAK'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Yöntem.....	2
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3.	
KURUTMA VE KURUTMA YÖNTEMLERİ.....	12
3.1. Kurutma.....	12
3.2. Kurutma Yöntemleri	12
3.3. Kurutma Yöntemlerinin Sınıflandırılması	13
3.4. Kurutmanın Temelleri	14
3.4.1. Ürün neminin belirlenmesi.....	14
3.4.2. Ürünün nem oranının belirlenmesi.....	15
3.4.3. Kuruma hızının belirlenmesi.....	16
3.4.4. Efektif difüzyon katsayısının belirlenmesi.....	16

BÖLÜM 4.

MATERYAL VE YÖNTEM	17
4.1. Materyal	17
4.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan hammadde	17
4.1.1.1. Ayva.....	17
4.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan ekipmanlar	20
4.1.2.1. Hassas terazi	20
4.1.2.2. Nem tayin cihazı	21
4.1.2.3. Nem tayin cihazı	21
4.1.2.4. Mikrodalga fırın.....	22
4.1.2.5. Dondurarak kurutma cihazı	22
4.2. Yöntem	23
4.2.1. Deneylerin yapılışı	23
4.2.1.1. Mikrodalga fırında kurutma deneylerinin yapılışı.....	23
4.2.1.2. Laboratuvar tipi fırında kurutma deneylerinin yapılışı...	24
4.2.1.3. Dondurarak kurutma cihazında kurutma deneylerinin yapılışı	24
4.3. Matematiksel Modelleme	24
4.4. Belirsizlik Analizi	25
4.5. Enerji Tüketimi	27

BÖLÜM 5.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	28
5.1. Mikrodalga Fırında Yapılan Deneyler	28
5.1.1. Mikrodalga fırında kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin deney sonuçları	29
5.1.2. Mikrodalga fırında farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimlerinin ortalama efektif difüzyon katsayıları	32
5.1.3. Mikrodalga fırında farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin belirsizlik analizleri	33
5.1.4. Mikrodalga fırında farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimleri için matematiksel modelleme sonuçları.....	34

5.1.5. Mikrodalga fırında farklı kalınlıklardaki ayva dilimleri için enerji hesabı	37
5.2. Laboratuvar Tipi Fırında Yapılan Deneyler	39
5.2.1. Laboratuvar tipi fırında kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin deney sonuçları	40
5.2.2. Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimlerinin ortalama efektif difüzyon katsayıları	44
5.2.3. Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin belirsizlik analizleri	44
5.2.4. Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimleri için matematiksel modelleme sonuçları	45
5.2.5. Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıklardaki ayva dilimleri için enerji hesabı	49
5.3. Dondurarak Kurutmaya Yapılan Deneyler	50
5.3.1. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin deney sonuçları	51
5.3.2. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin ortalama efektif difüzyon katsayıları	52
5.3.3. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin belirsizlik analizleri	53
5.3.4. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimleri için matematiksel modelleme sonuçları	53
5.3.5. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıklardaki ayva dilimleri için enerji hesabı	55

BÖLÜM 6.

SONUÇ VE ÖNERİLER	57
-------------------------	----

KAYNAKLAR	60
-----------------	----

ÖZGEÇMİŞ	64
----------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a, b, c, n	: Kurutma sabitleri
D_{eff}	: Etkin difüzyon katsayısı (m^2/s)
DN	: Dondurarak
D_o	: Sonsuz sıcaklıkta difüzyon hızına eşdeğer bir sabit (m^2/s)
DR	: Kuruma hızı
E	: Isı kaynağının ısı kapasitesi (kW)
E_a	: Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
E_s	: Özgül enerji tüketimi (kJ/kg)
E_t	: Toplam enerji tüketimi (kWh)
k	: Kurutma sabiti
k.b.	: Kuru baza göre nem
L	: Dilim yarı kalınlığı (m)
MD	: Mikrodalga
M_e	: Denge nem içeriği (g.su/g.katı madde)
m_k	: Ürünün kuru kütlesi (g)
MR	: Boyutsuz nem oranı
$MR_{deneysel}$: Deneysel verilerle belirlenen nem oranı
$MR_{deneysel,ort}$: Deneysel nem oran değerlerinin ortalaması
$MR_{tahmini}$: Tahmini nem oranı
$MR_{tahmini,ort}$: Tahmini nem oranı değerlerinin ortalaması
M_o	: İlk nem içeriği (g.su/g.katı madde)
m_s	: Ürünün yaş kütlesi (g)
M_t	: Ürünün belli bir zamandaki nem içeriği (g.su/g.katı madde)
m_w	: Toplam kütle (kg)
N	: Deneysel veri sayısı

M_{kb}	: Kuru baza göre nem içeriği
M_t	: t anındaki nem içeriği
$M_{t+\Delta t}$: t+ Δt anındaki kuru baza göre nem içeriği
M_{yb}	: Yaş baza göre nem içeriği
R	: Büyüklüğün toplam belirsizliği
r	: Yarıçap (m)
R	: Üniversal gaz sabiti (8,314 kJ/mol.K)
R ²	: Regresyon katsayısı
RMSE	: Hata kareler ortalamasının karekökü
SSE	: Artıkların karelerinin toplamı
t	: Süre (s)
T	: Kurutma sıcaklığı (°C)
W_R	: Ürünün belirsizliği (%)
W_{DR}	: Kuruma hızının belirsizliği (%)
W_{MR}	: Nem oranının belirsizliği (%)
y.b.	: Yaş baza göre nem
z	: Kullanılan modeldeki katsayı sayısı
Δt	: Kuruma süresi (h)
λ	: Suyun buharlaşması için gizli ısı (kJ/kg)
η	: Kurutma verimliliği (%)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Çalışmalarda kullanılan Ayva örneği.....	19
Şekil 4.2. Hassas terazi.....	21
Şekil 4.3. Nem tayin cihazı	21
Şekil 4.4. Laboratuvar tipi fırın.....	22
Şekil 4.5. Mikrodalga fırın	22
Şekil 4.6. Dondurarak kurutma cihazı.....	23
Şekil 5.1. Mikrodalga fırında a) Kurutma öncesi numune b) Kurutma sonrası numune	28
Şekil 5.2. Mikrodalga fırında 6 mm kalınlığında dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi.....	29
Şekil 5.3. Mikrodalga fırında 15 mm kalınlığında dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi.....	30
Şekil 5.4. Mikrodalga fırında 120 W güçte farklı kalınlıkta dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi	31
Şekil 5.5. Mikrodalga fırında 6 mm kalınlığında farklı güçlerde kurutulan ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi	31
Şekil 5.6. Mikrodalga fırında 15 mm kalınlığında farklı güçlerde kurutulan ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi	32
Şekil 5.7. Midilli modelinin deneysel veriler ile karşılaştırılması	37
Şekil 5.8. Laboratuvar tipi fırında a) Kurutma öncesi numune b) Kurutma sonrası numune	39
Şekil 5.9. Laboratuvar tipi fırında 6 mm kalınlığında dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi.....	40
Şekil 5.10. Laboratuvar tipi fırında 15 mm kalınlığında dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi.....	41

Şekil 5.11. Laboratuvar tipi fırında 110 °C sıcaklıkta farklı kalınlıkta dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi.....	42
Şekil 5.12. Laboratuvar tipi fırında 6 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda kurutulan ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi....	43
Şekil 5.13. Laboratuvar tipi fırında 15 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda kurutulan ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi....	43
Şekil 5.14. Midilli modelinin deneysel veriler ile karşılaştırılması	48
Şekil 5.15. Dondurarak kurutma cihazında a) Kurutma öncesi numune b) Kurutma sonrası numune	51
Şekil 5.16. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi	51
Şekil 5.17. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi	52
Şekil 5.18 Wang ve Singh modelinin deneysel veriler ile karşılaştırılması.....	55

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Özetlenen çalışmalar.....	9
Tablo 3.1. Kurutma yöntemlerinin sınıflandırılması	13
Tablo 4.1. 100 gram bir ayvanın içerdiği besin değerleri (Anonim, 2015).	19
Tablo 4.2. Çalışmada kullanılan matematiksel modeller (Çelen ve ark., 2010).	25
Tablo 4.3. Hataya yol açan parametreler	26
Tablo 5.1. Kullanılan kurutma yöntemleri.....	28
Tablo 5.2. Mikrodalga ile kurutmada ortalama efektif difüzyon katsayıları	33
Tablo 5.3. Mikrodalga fırında yapılan deneyler için belirsizlik analizleri.....	34
Tablo 5.4. Mikrodalga fırında 6 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için modelleme sonuçları.....	35
Tablo 5.5. Mikrodalga fırında 15 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için modelleme sonuçları.....	36
Tablo 5.6. Mikrodalga fırında 6 mm kalınlığında ayva dilimleri için enerji hesabı.....	38
Tablo 5.7. Mikrodalga fırında 15 mm kalınlığında ayva dilimleri için enerji hesabı.....	39
Tablo 5.8. Laboratuvar tipi fırın ile kurutmada ortalama efektif difüzyon katsayıları	44
Tablo 5.9. Laboratuvar tipi fırında yapılan deneyler için belirsizlik analizleri	45
Tablo 5.10. Laboratuvar tipi fırında 6 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için modelleme sonuçları	46
Tablo 5.11. Laboratuvar tipi fırında 15 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için modelleme sonuçları	47
Tablo 5.12. Laboratuvar tipi fırında 6 mm kalınlığında ayva dilimleri için enerji hesabı.....	50

Tablo 5.13. Laboratuvar tipi fırında 15 mm kalınlığında ayva dilimleri için enerji hesabı.....	50
Tablo 5.14. Dondurarak kurutmaya elde edilen ortalama efektif difüzyon katsayıları	52
Tablo 5.15. Dondurarak yapılan deneyler için belirsizlik analizleri.....	53
Tablo 5.16. Dondurularak kurutulan ayva dilimleri için modelleme sonuçları	54
Tablo 5.17. Dondurarak kurutmada farklı kalınlıktaki ayva dilimleri için enerji hesabı.....	56

ÖZET

Anahtar kelimeler: Ayva, kurutma, Laboratuvar tipi ve mikrodalga fırın, dondurarak kurutma

Bu çalışmada, Sakarya ilinin Pamukova ilçesinde doğal şartlarda yetiştirilen “Ayva” meyvesi farklı termal kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Ayva, kenar ölçüleri 6 mm ve 15 mm olmak üzere iki farklı büyüklükte dilimlenmiş, herhangi bir ön işlem yapmaksızın üç farklı kurutma yöntemi ile kuruma davranışı incelenmiştir. Kurutma deneyleri; mikrodalga fırında 120, 350 ve 700 W değerlerinde, laboratuvar tipi fırında 105, 110 ve 120 °C sıcaklıklarında ve dondurarak kurutma cihazında -45 °C de 0,352 torr basınçta yapılmıştır. Kuruma süresince alınan numunelerin, nem oranları, kuruma hızları ve efektif difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Her bir şartta yapılan deneyler en az 3 defa tekrarlanmış, verilerin standart sapmaları alınmış, belirsizlik analizi yapılmıştır. Deneysel veriler literatürde sıkça kullanılan Newton, Page, Wang ve Singh, Logaritmik, Henderson ve Pabis, İki Terimli, Midilli ve Difüzyon Yaklaşımı matematiksel modelleriyle modellenmiştir. Korelasyon katsayısı ve hata karelerinin ortalamasının karekökü değerleri hesaplanarak belirlenmiştir ve en iyi modelin en düşük hatayı veren Midilli modeli olduğu gözlenmiştir.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECT OF DIFFERENT DRYING METHODS ON DRYING BEHAVIOR OF PAMUKOVA QUINCE

SUMMARY

Keywords: Quince, Drying, Freeze, Microwave and Laboratory Oven

In this study, the “quince” grown in natural conditions in Sakarya Pamukova was dried with different drying methods. Quinces were sliced in two different sizes as 6 mm and 15 mm and drying behavior is investigated with three different drying methods without any pretreatment. Drying experiments; in microwave oven at 120, 350 and 700 W, in laboratory type oven at temperatures of 105, 110 and 120 °C and in freeze dryer at -45 °C, 0.352 torr. Moisture rates, drying rates and effective diffusion coefficients of the samples taken during tests were calculated. Experiments performed in each condition were repeated at least three times, standard deviations of the data were taken and uncertainty analysis was performed. Experimental data were modeled by Newton, Page, Wang and Singh, Logarithmic, Henderson and Pabis, Two terms, Midilli and Diffusion Approach drying models used in the literature. The performances of these models were determined by calculating the correlation coefficient (R^2) and square root of the mean error square (RMSE) values between the observed and estimated humidity rates, and it was observed that the best model was the pony model with the lowest error. The best model was determined by calculating the correlation coefficient (R^2) and the square root of the mean square of the error squares (RMSE) between the observed as Midilli model with the lowest error.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Gıda maddeleri insanların beslenmesinde önemli bir role sahiptir ve bu maddelerin besin değerlerini kaybetmeden uzun süre koruyabilmeleri için çeşitli saklama yöntemleri kullanılmıştır. Saklama yöntemlerinden bazılarını dondurmak, pastörize etmek, tuzla salamura yapmak, konserve yapmak gibidir. Bu yöntemlerden biride ilk çağlardan beri kullanılan gıda kurutma yöntemidir. İnsanoğlu gıda kurutmayı tabiatta kendiliğinden gerçekleşirken fark etmiştir ve bu konuda çalışmalar yaparak gıda kurutma yöntemlerini geliştirmişlerdir.

Kurutma işlemi gıda maddesinin içerisindeki su miktarının düşmesine neden olmakta ve böylece mikroorganizmaların çoğalmasını engellemektedir. Ya da kurutma, numunenin bünyesinde bulunan suyun belirli bir seviyeye inmesini sağlayan işlemdir. Kurutma işlemi ile gıdanın dayanıklılığı artmakta ve nemi kaybettiği için ağırlığı azalarak taşıma işlemi kolaylaşmıştır. Kurutulan gıdalar iyi birer karbonhidrat ve vitamin kaynağıdır. Kurutma işlemi gıda sektörü dışında tıp alanlarında, boya sanayide, mobilya sektöründe, kağıt sanayide ve tekstil sanayisi gibi birçok alanda daha uygulanabilmektedir.

Kurutmada en çok bilinen ve çok eski zamanlardan beri kullanılan bir yöntem olan kurutma güneşte kurutma işlemidir. Ancak bu yöntemin çokta sağlıklı olmadığı kanısına varılmıştır. Çünkü gıda maddeleri açık alanda kurutulurken havadan her türlü tozu, kiri almaktadır. Bu nedenle de ihtiyaçlar doğrultusunda farklı kurutma sistemleri geliştirilmiştir. Bu kurutma sistemlerinden bazıları tepsi ve kabin tipi kurutucular, akışkan yataklı kurutucular, vakum kurutucular, mikrodalga kurutucular, dondurmali kurutucular, püskürtmeli kurutuculardır (Güngör, 2013).

Gıda maddeleri hayatımız da büyük önem taşırlar. Her bir gıda ürünün farklı fayda ve zararları vardır. Ayva da bu faydalı meyvelerden biridir. Ayvanın kendisinin, çekirdeğinin, suyunun her birinin farklı farklı faydaları vardır. Ayva da bol miktarda A, B ve C vitamini bulunmaktadır. Ayrıca fosfor, bakır, sodyum, potasyum, çinko, demir, selenyum açısından da oldukça zengin bir meyvedir. Ayva taze olarak tüketildiği gibi gerekli koşullar sağlandığı takdirde 2-3 ay muhafaza edilebilir. Ayva meyvesi kalbi güçlendirir, çarpıntıyı giderir. Ağız kokusunu ortadan kaldırır. Hazımsızlığı giderir, mide ve bağırsağı kuvvetlendirir. Grip ve soğuk algınlığına iyi gelir. Ayrıca ayva stresi azaltır. Stres kaynaklı beyin yorgunluğunu giderir. Ayva göz sağlığına iyi gelir (Maranki, 2017).

1.1. Amaç ve Yöntem

Bu tez çalışmasında amaç, ayva dilimlerinin farklı sıcaklık, farklı yöntem ve farklı boyutlar da numuneler kullanılarak kurutulması işleminin gerçekleştirilmesidir.

Ayva, kenar ölçüleri 6 mm ve 15 mm olmak üzere iki farklı büyüklükte dilimlenmiş, herhangi bir ön işlem yapmaksızın üç farklı kurutma yöntemi ile kuruma davranışı incelenmiştir. Kurutma deneyleri; mikrodalga fırında 120, 350 ve 700 W güçlerinde, laboratuvar tipi fırında 105, 110 ve 120 °C sıcaklıklarında ve dondurarak kurutma cihazında -45 °C'de 0,352 torr basınçta yapılmıştır.

Tüm ayva dilimleri için kuruma sürelerine, efektif difüzyon katsayılarına ve enerji tüketim değerlerine bakılmıştır. Çalışmada en uygun matematiksel modellemenin yapılabilmesi için MATLAB programı kullanılmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde çeşitli kurutma yöntemleri ile yapılan çalışmalar incelenmiş ve özetlenmiştir.

Poyraz (2006) bu çalışmada, Bilecik'in Osmaneli ilçesine bağlı Selçuk köyü'nden toplanılan -20 °C dondurulmuş ayva numunelerinin farklı sıcaklıklarda ve farklı ekstraksiyon sürelerinde maksimum pektin verimini elde etmek için çalışmıştır. Çalışmalar sonucunda maksimum pektin verimine %2,86 değerinde, 90 °C sıcaklığında ve 90 dakika süresinde ulaşılmıştır. Elde edilen pektin örneklerinin kimyasal analizleri yapılmıştır ve analiz sonuçlarına göre pektin numunelerin esterleşme dereceleri %85,27, galaturonik asit miktarı %97,80 olarak bulunmuştur. Ayva pektininin reçel ve jöle üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Kaya A. ve arkadaşları (2007) bu çalışmada, farklı hava sıcaklığı ve farklı hava hızlarının ayvanın kuruma kinetiği üzerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Ayva dilimlerinin 35°C, 45°C ve 55°C'lik hava sıcaklıklarında, 0,2, 0,4 ve 0,6 m/s'lik ortalama hızlarındaki bağıl nem değerlerine bakılmıştır. Ayva dilimleri için efektif difüzyon katsayıları $0,65 \times 10^{-10}$ ile $6,92 \times 10^{-10}$ m²/s arasında değişmiştir. Konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmuşlardır. Sıcaklık ve nem ölçümleri için % 0,2'den düşük belirsizlik değerleri veren bir belirsizlik analizi yapılmıştır. Deney sonuçları literatürde bulunan Lewis, iki-terimli, Henderson ve Pabis modelleriyle karşılaştırılmış ve en iyi uyumu sağladıkları görülmüştür.

Yılmaz (2007) bu çalışmada, Çukurova Bölgesinde Çukurova Üniversitesi Pozantı Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezinde yetiştirilen farklı çeşitlerdeki ayvaların

reçele işlenmesinin uygunluklarını belirlemiştir. Elde edilen bulgular sonucunda reçele işlenmesinin en uygun Yerli ve Çengel Köy çeşitlerinde olduğu belirlenmiştir.

Yalçın (2012) bu çalışmada, 4 mm kalınlığında dilimlenen ayvalar farklı sıcaklıklarda, farklı kurutma hızlarında kurutulmuşlardır. 4 mm dilim kalınlığındaki ayvalar için kurutma işlemi başlangıçtaki nem miktarı 3,89 değerinden 0,16 değerine kadar devam etmiştir. Kurutma sürelerinin kurutma hava hızının artırılmasıyla uzadığı görülmüştür. Ayrıca kurutma sıcaklığı 35 °C iken ortalama kurutma süresi 290 dakika iken kurutma sıcaklığı 40 °C’de iken kurutma süresi ortalama 340 dakika sürmüştür. Sonuç olarak hava sıcaklığının artması da kurutma süresinin uzamasına neden olmuştur.

Aktaş M. ve arkadaşları (2013) bu çalışmada, 4 ve 5 mm kalınlığındaki ayva dilimlerinin kızıl ötesi ışınımlı bir kurutucuda kuruma davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. 4 ve 5 mm kalınlığındaki ayva dilimleri başlangıçta 3,89 değerinden 0,16 değerine kadar kurutulmuşlardır. Farklı kalınlıkta dilimlenmiş ayvalar farklı kurutma sıcaklığı ve farklı kuruma hızlarında kurutulmuşlardır. 4 ve 5 mm kalınlığında dilimlenen ayvalar için yapılan tüm deneylerde en iyi sonuçları 40°C sıcaklığındaki yapılan deney sonuçları vermiştir. Deney sonuçlarına göre kuruma 240 dakika sürmüş ve 2,208 kWh’lık enerji tüketilmiştir.

İçier F. ve arkadaşları (2013) bu çalışmada, ayva dilimlerinin elektriksel ve ultrasonik ön işlemler sonrası ozmotik kurutulmasını incelemiştir. Ön işlemler ve ön işlemsiz ozmotik kurutmanın etkilerini karşılaştırmışlardır. Ozmotik kurutma süresince toplam kuru madde içeriğini, su kaybını, ağırlık değişimini, boyut değişimini, sıcaklık değişimini incelemiştir. Elektriksel ön işlem uygulanmış ayva dilimlerinin 240 dakikada, ultrasonik ön işlem uygulanmış ayva dilimlerinin ise 300 dakikada %40 toplam kuru madde değerine ulaştığını tespit etmişlerdir. Sertliğin, elastikiyetinin, çiğnenebilirliğinin ve esneklik değerinin ozmotik kurutulmuş ürünlerde hammaddeye göre daha düşük olduğunu belirlemiştir. Ultrasonik ön işlemin elektriksel ön işleme göre daha kaliteli sonuçlara neden olduğunu bulmuşlardır.

Mert T. ve arkadaşları (2013) bu çalışmada, ayva meyvesinin çekirdeklerinden su ve metanol ekstraları hazırlayarak farklı yöntemler ile ekstraların antioksidan özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre ayva çekirdeği ekstresinin tespit edilen değerleri ile yüz kremi olarak kullanılmasının doğru olduğu sonucuna varmışlardır.

Bolat İ. ve arkadaşları (2015) bu çalışmada, “Eşme “ ayva çeşidinin bazı kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Eşme ayva çeşidinde tomurcukların 19-26 Mart tarihleri arasında kabarmaya başladığını, 22-30 Nisan tarihleri arasında çiçeklenmenin meydana geldiğini ve hasada kadar geçen zamanın ortalama 180 gün olduğunu tespit etmişlerdir. Ortalama meyve ağırlığının 349,26 g, meyve eti sertliğinin 7,79 kg/cm², suda çözünürlük kuru madde miktarının %15,60 ve asitlik miktarının %0,63 düzeyinde olduğunu belirlemişlerdir.

Tzempelikos D. ve arkadaşları (2015) bu çalışmada, ayva dilimleri laboratuvar tipi konveksiyon kurutma ünitesinde farklı sıcaklıklarda kurutulmuşlardır. Ayva dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki nem oranları hesaplanmıştır. Yapılan kuruma çalışmaları sonucunda efektif difüzyon katsayıları $2,67 \times 10^{-10}$ ile $8,17 \times 10^{-10}$ arasında değişmiştir. Deney sonuçlarına göre literatürde bulunan 3 matematiksel model birbirleriyle karşılaştırılmıştır. En uygun modelin Page ve Henderson ve Pabis modelinin olduğu görülmüştür. Enerji aktivasyonunun değeri 36,996 kJ/mol ve 42,593 kJ/mol arasında değişmiştir.

Karaaslan S. ve arkadaşları (2016) bu çalışmada, ayva dilimlerinin mikrodalga fırın ile kurutulmuştur. Ayva dilimlerinin kuruma hızına, nem oranlarına ve kuruma karakteristiklerine bakılmıştır. Ayva dilimlerinin farklı mikrodalga güçlerindeki kuruma süreleri ve kuruma hızları karşılaştırılmıştır. 5 mm kalınlığındaki ayva dilimlerinin nem içeriği 3,75 değerinden 0,12 değerine kadar kurutulmuştur. Ayva dilimleri için matematiksel modellemeler yapılmıştır. Literatürde bulunan 10 matematiksel model birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tüm yapılan deney sonuçları neticesinde en uygun modelin Midilli küçük model olduğu görülmüştür.

Kuş (2016) bu çalışmada, mikrodalga enerjisinin ayva dilimlerinin kurutulmasına etkisi incelenmiştir. Laboratuvar tipi bir mikrodalga kurutucuda 4 mm kalınlığındaki ayvalarının kuruma analizleri yapılmıştır. Deney öncesinde ayva dilimleri 105°C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek ön işlem yapılmıştır. Ayva dilimlerinin 2000 W ve 2800 W mikrodalga güçlerinde ve 0,175, 0,210, 0,245 m/dk bant hızlarındaki kuruma sürelerine, renk değişimlerine ve enerji tüketimlerine bakılmıştır. Ayva dilimleri literatürde bulunan 5 matematiksel modelle karşılaştırılmıştır. Yapılan tüm kuruma deneyleri sonucunda en iyi sonucu Page modelinin verdiği görülmüştür. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için yapılan tüm deney sonuçlarında 2800 W güçte yapılan deneyler en iyi sonuçları vermiştir. 2800 W mikrodalga gücü için yapılan deney sonuçları sırasıyla 39, 50, 36 dakika sürmüştür. 4 mm kalınlığında 23,02 g ağırlığında olan ayva dilimleri kuruma sonucu 4,68 g'a düşmüştür. Başlangıçtaki nem oranı % 81,7'den % 10,2'ye düşmüş ve toplam kuruma süresi 36 dakika sürmüştür. Ayrıca yapılan tüm deney sonuçlarında en az enerji tüketimi 1,370 kWh olarak bulunmuştur.

Elmizadeh A. ve arkadaşları (2017) bu çalışmada, düşük enerji tüketimiyle dikkati çeken bir kurutma yöntemi olan elektrohidrodinamik kurutmayı denemişlerdir. Çalışmada ayva dilimleri 5, 7 ve 9 kV'lık güçlerde ve 50, 60, 70 °C'lik kurutma hava sıcaklığında elektrohidrodinamik yöntemiyle kurutulmuşlardır. Ayva dilimlerinin kurutma kinetikleri ve enerji tüketimleri araştırılmıştır.

Kara (2008) bu çalışmada, 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz dilimleri farklı hava sıcaklıklarında kurutulmuşlardır. Deneylerde farklı sıcaklıklar kullanılarak, hızı 2 m/s olarak baz almışlardır. Deneylere başlamadan önce muz dilimleri bazı ön işlemlere tabi tutulmuşlardır. Deneyler sonucunda kurutma hava sıcaklığının arttırılmasının kurutma süresini azalttığı görülmüştür. Örneğin 9 mm kalınlığındaki muz dilimleri için denge nemi değerine 80 °C'de 4 saatte, 70 °C'de 6,5 saatte ve 60 °C'de 7 saatte ulaşılmıştır.

Karaaslan (2008) bu çalışmada, kırmızıbiber, ıspanak ve çay yapraklarını konveksiyonel bir fırında kurutmuştur. Ispanak, kırmızıbiber ve çay yaprakları için

kuruma zamanına, kuruma oranına ve enerji tüketim değerlerine bakılmıştır. Mikrodalga fırınla kurutmada farklı büyüklükler 180 W'tan 900 W'a kadar olan güçler baz alınmıştır. Havayla kurutmada 100, 180 ve 230 °C sıcaklıkları baz alınarak kurutma deneyleri yapılmıştır. Kuruma süreleri için mikrodalga güçlerinin arttırılmasıyla sürenin azaldığını söyleyebiliriz. Ayrıca sıcak havayla kurutmada sıcaklığın arttırılması da kurutma süresinin azaldığını göstermiştir. Tüm deney sonuçlarına göre literatürde bulunan 12 matematiksel modelle karşılaştırma yapılmıştır. En iyi uyumu Midilli ve Küçük model sağlamıştır.

Kırmacı (2008) bu çalışmada, 5 ve 7 mm dilim kalınlığında çilekler dondurularak kurutulmuşlardır. Deneylerde numunelerin nem oranları belirli bir değere inene kadar kurutma işlemi devam etmiştir. 5 mm kalınlığındaki çilek dilimleri için dondurularak kurutma işlemi 9,5 saat sürerken 7 mm kalınlığındaki çilek dilimleri için 13 saat sürmüştür. Deney sonuçları literatürde bulunan 10 matematiksel modelle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre en iyi uyumu Page modeli sağlamaktadır.

Kocayığit (2010) bu çalışmada, sıcak havalı bir kurutucuda kırmızıbiber kurutulmuştur. Kurutulan kırmızıbiberin kuruma hızına, kuruma sürelerine, etkin difüzyon katsayılarına ve aktivasyon enerjisindeki değişimlerine bakılmıştır. Deneylerde kırmızıbiber 2 cm dilim kalınlığında dilimlenmiştir ve 55, 60, 65 ve 70 °C sıcaklığında, 2 m/s hava hızında kurutulmuşlardır. Kuruma sıcaklığının arttırılmasının kuruma süresini düşürdüğü görülmüştür. Yapılan başka bir çalışmada ise kırmızıbiberler 4 cm kalınlığında dilimlenmiş ve 60 °C sıcaklığında 2 m/s hava hızında kurutulmuşlardır. 2 cm dilim kalınlığındaki kırmızıbiberlerin kuruma süreleri 675 dakika iken 4 cm dilim kalınlığındaki kırmızıbiberlerin kuruma süreleri 735 dakika sürmüştür. Deney sonuçlarından yararlanılarak nem içeriği için matematiksel modellemeler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre 5 matematiksel model karşılaştırılmış ve en iyi uyumu Page ve Logaritmik modelleri sağlamıştır. Etkin difüzyon katsayıları değerleri kırmızıbiberlerde $5,72 * 10^{-10}$ ile $1,34 * 10^{-9}$ m²/s arasında değişmiştir.

Özel (2010) bu çalışmada, balkabağının kuruma kinetiği deneysel olarak incelenmiştir. Bu işlem için Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde konveksiyon tipi bir kurutma deney seti tasarlanmış ve imal edilmiştir. Balkabağı farklı sıcaklıklarda, farklı hızlarda ve farklı bağıl nemler kullanılarak kurutulmuşlardır. Ön işlem olarak balkabağının kabukları soyularak 4 mm kalınlığında parçalara ayrılarak kurutulmuşlardır. Tüm deney sonuçlarına göre balkabağının kuruma davranışı literatürde mevcut olan on farklı matematiksel model ile karşılaştırılmış ve balkabağının kuruma davranışını en iyi ifade etmekteki uygunluğu Midilli modelinin verdiği görülmüştür. Ortalama kuruma süresi 225 dakika sürmüştür.

Şen (2010) bu çalışmada, 4 mm ve 6 mm kalınlığındaki kivi dilimleri için kuruma deneyleri yapılmıştır. Deneylerde farklı kurutma sıcaklığı, farklı kurutma hızları ve farklı bağıl nem değerleri baz alınmıştır. Yapılan deneylerden hava sıcaklığının arttırılmasıyla kuruma süresinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Örneğin 4 mm kalınlığındaki kivi dilimleri için kuruma süresi 50 °C sıcaklıkta 360 dakika iken 80 °C sıcaklıkta 75 dakika sürmüştür. Aynı şekilde 6 mm kalınlığındaki kivi dilimleri için kuruma süreleri 50 °C sıcaklıkta 440 dakika iken 80 °C sıcaklıkta 140 dakika sürmüştür. Ayrıca kivi dilim kalınlığının artması da kuruma süresini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Kivi dilimlerinin deney sonuçlarına göre Midilli, Page, Logaritmik ve Newton matematiksel modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çıkan model sonuçlara göre en iyi uyumu Midilli modeli sağlamaktadır.

Parlak (2013) bu çalışmada, 2 mm kalınlığındaki zencefil dilimleri akışkan yataklı bir kurutucuda başlangıç nemi % 89'dan %4'e düşene kadar kurutulmuşlardır. Deneyler 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarında ayrıca 3 ve 4 m/s hava hızlarında gerçekleştirilmişlerdir. Yapılan deneylerde difüzyon katsayıları $1,346 * 10^{-7}$ ile $2,174 * 10^{-7}$ m²/s değerleri arasında değişmiştir ve literatürde mevcut olan değerler ile karşılaştırıldığında çıkan sonuçların daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca hava sıcaklığının arttırılmasının da kuruma süresinin azalmasına sebep olduğu görülmüştür. Zencefil dilimlerinin deney sonuçlarına göre Page, Henderson

ve Pabis, Newton gibi matematiksel modelleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır ve çıkan sonuçlara göre en iyi uyumu Page modeli vermiştir.

Özsoy (2015) bu çalışmada, 2 mm, 4 mm ve 6 mm kalınlığındaki elma dilimlerinin mikrodalga fırında kurutma davranışları incelenmiştir. Elma dilimlerinin 1400, 2000 ve 2800 W mikrodalga güçlerinde ve farklı hızlarda kurutma deneyleri yapılmıştır. Elma dilimlerinin nem değerleri % 86,7 iken % 11,7 olana dek kurutma işlemi devam etmiştir. Kuruma işlemi yaklaşık olarak ortalama 48 dakika sürmüştür. Tüm deney sonuçları incelendiğinde mikrodalga gücünün artırılması kuruma süresini ve enerji tüketimini azalttığı görülmüştür. Çıkan deney sonuçları literatürde bulunan 5 matematiksel modelle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak en iyi uyumu Page modeli sağlamıştır.

Kuş (2016) bu çalışmada, 5 mm kalınlığında armut dilimleri ve 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri laboratuvar tipi bir mikrodalga kurutucuda kurutulmuşlardır. Ayva ve armut dilimlerinin 2000 ve 2800 W mikrodalga güçlerinde, farklı kurutma hızlarındaki deney sonuçlarına bakılmıştır. 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ortalama 72 dakikada kurutulmuşlardır. 4 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için ortalama kuruma süresi ise 52 dakikadır. Yapılan çalışmalar sonucunda literatürde bulunan 5 matematiksel modelle karşılaştırmalar yapılmıştır. Tüm sonuçlara göre kuruma şartlarını en iyi Page modeli sağlamaktadır.

Literatürde bulunan çalışmalar aşağıdaki tabloda kısaca özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Özetlenen çalışmalar

ÜRÜN	YÖNTEM /YIL	DİLİM KALINLIĞI	Deff SAYISI	KURUMA ZAMANI	KULLANILAN MODEL	EN UYGUN MODEL
ayva	Konvektif kurutma /2007		0,65*10 ⁻¹⁰ 6,92*10 ⁻¹⁰		Henderson ve Pabis, Lewis, İki Terimli	Henderson ve Pabis, Lewis, İki Terimli
ayva	farklı sıcaklık /2012	4 mm		290 dakika 340 dakika		
ayva	kızıl ötesi ışınımlı kurutucu/2013	4mm 5mm		240 dakika		

Tablo 2.1. (Devamı)

ayva	Laboratuvar Tipi Konveksiyon Kurutma/2015			2,67*10 ⁻¹⁰ 8,17*10 ⁻¹⁰		Newton, Page, Henderson ve Pabis	Page, Henderson ve Pabis
Ürün	Yöntem /Yıl	Dilim Kalınlığı	Deff Sayısı	Kuruma Zamanı	Kullanılan Model	En Uygun Model	
ayva	Mikrodalga fırın /2016	5 mm			Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Midilli Küçük, Wang ve Singh, İki Terimli, Verma, İki Terimli Üssel, Difüzyon Yaklaşımı	Midilli Küçük	
ayva	Laboratuvar tipi mikrodalga /2016	4 mm		36 dakika	Newton, Page, Henderson ve Pabis, Geometrik, Wang ve Singh	Page, Henderson ve Pabis	
ıspanak yaprakları , kırmızı- biber, çay yaprakları	Mikrodalga fan destekli konveksiyonel fırın/2008				Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Wang ve Singh, Difüzyon Yaklaşımı, Verma, İki Terimli Ekspansiyel, Geliştirilmiş Page, Basitleştirilmiş Fick Difüzyon, Midilli ve Küçük	Midilli ve Küçük	
çilek	dondurarak kurutma /2008	5 mm 7 mm		9,5 saat 13 saat	Newton, Page, Geliştirilmiş Page1, Geliştirilmiş Page2,Henderson ve Pabis, Logaritmik, İki Terimli, İki Terimli Ekspansiyel, Wang ve Singh, Difüzyon Yaklaşımı	Page	
kırmızıbib er	sıcak havalı bir kurutucu /2010	2 cm 4 cm		675 dakika 735 dakika	Lewis, Henseson ve Pabis, Logaritmik, Page, Wang ve Singh	Page, Logaritm ik	
balkabağı	konveksiyon tipi bir kurutma /2010	4 mm		225 dakika	Newton, Page, Geliştirilmiş Page 1, Geliştirilmiş Page 2, Henderson ve Pabis, Logaritmik, İki Terimli Ekspansiyel, Difüzyon Yaklaşımı, Verma, Midilli	Midilli	
kivi	farklı sıcaklıkta kurutma /2010	4 mm 6 mm		440 dakika 140 dakika	Newton, Page, Logaritmik, Midilli	Midilli	
zencefil	akışkan yataklı bir kurutucu /2013	2 mm		1,346*10 ⁻⁷ 2,174*10 ⁻⁷	Newton, Page, Henderson ve Pabis	Page	
elma	mikrodalga fırın /2015	2 mm 4 mm 6 mm		48 dakika	Newton, Page, Henderson ve Pabis, Geometrik, Wang ve Singh	Page	
armut ayva	laboratuvar tipi bir mikrodalga /2016	5 mm 4 mm		72 dakika 52 dakika	Newton, Page, Henderson ve Pabis, Geometrik, Wang ve Singh	Page	

İncelenen araştırmaların sonucunda amacın ürünlerin besin ve aroma değerlerinin korunması olduğu görülmüştür. Literatürde dondurarak ayva kurutma yoktur.

Mikrodalga fırında farklı güç ve farklı hızlarda ayva kurutma deneyleri yapılmış fakat farklı kalınlıklardaki ayva dilimleri için deney sonuçları karşılaştırılmamıştır.

Bu çalışmada ayva meyvesi farklı termal kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Ayva kenar ölçüleri 6 mm ve 15 mm olmak üzere farklı büyüklükte dilimlenmiş, herhangi bir ön işlem yapmaksızın üç farklı kurutma yöntemi ile kuruma davranışı incelenmiştir. Kurutma deneyleri; mikrodalga fırında 120, 350 ve 700 W değerlerinde, laboratuvar tipi fırında 105, 110 ve 120 °C sıcaklıklarında ve dondurarak kurutma cihazında -45 °C'de 0,352 torr basınçta yapılmıştır. Hem kurutucu tipinin hem de ayva numunelerinin büyüklüklerinin kuruma davranışı üzerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

BÖLÜM 3. KURUTMA VE KURUTMA YÖNTEMLERİ

Bu bölümde kurutma, kurutma yöntemleri, kurutma yöntemlerinin nasıl sınıflandırıldığı ve kurutmanın temelleri hakkında bilgi verilmiştir.

3.1. Kurutma

Tarım ürünleri hasat edildikten sonra depolanarak korunmaktadır. Hasat dönemi dışında da tarım ürünlerinin tüketilebilmesi için çeşitli muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de kurutma yöntemidir. Kurutma yöntemi ile ürün içerisindeki mikroorganizmalar çoğalamaz ve ürünün bozulması gecikir. (Karaaslan, 2008).

Kurutma işlemi sırasında gıdanın içindeki su miktarı azalır ve buna bağlı olarak mikroorganizmaların üremesi engellenir. Ayrıca kurutulmuş gıdaların hacimlerinde ve ağırlıklarında büyük oranda bir küçülme söz konusu olacağından taşıma ve depolama maliyetleri azalır (Kuş, 2016).

3.2. Kurutma Yöntemleri

Kurutma yöntemleri güneşte kurutma ve yapay kurutma olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Cemeroğlu, 1986).

Yapay kurutma yöntemi ile kurutulacak ürünün suyunun uzaklaştırılması için ısı transferi yapılmıştır. Yapay kurutma yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Özel, 2010):

- Taşınım ile ısı transferi
- İletimle ısı transferi
- Işınım ile ısı transferi

Güneş enerjisinin kullanım şekline göre güneşte kurutma yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Özel, 2010):

- Doğal sistemler; gıda maddelerinin güneşte kurutulmasıdır.
- Pasif sistemler; gıda maddelerinin kendiliğinden kurutulmasıdır.
- Aktif sistemler; gıda maddelerinin çeşitli yöntemler kullanılarak kurutulmasıdır.

Gıdalarda bulunan suyun miktarı, havanın bağıl nemi ile ilişkilidir. Ayrıca gıdalarda bulunan su değişik fiziksel özelliklerdedir. Gıdalardaki su miktarı suyun özelliğine etki etmektedir. Her gıdanın denge nemi kendine özgü ve farklı olmaktadır (Cemeroğlu, 1986).

3.3. Kurutma Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Kurutma yöntemleri, bu yöntemlerin kullanıldıkları alanlar ve tercih sebepleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 3.1. Kurutma yöntemlerinin sınıflandırılması

YÖNTEM	KULLANILAN ALAN	TERCİH SEBEBİ	KAYNAK
Akışkan yataklı kurutma	Kömür, kireçtaşı, fosfat, plastik ilaç tabletleri, patates, et, havuç, tuz, tahıllar, bezelye ve diğer parça halinde sebzelerin kurutulması	kurutma işleminin kısa sürede tamamlanması	Cemeroğlu (1986)
Flaş kurutma	sentetik reçine, gıda ürünleri üretiminde alçılar kil ve tahta kurutulmasında	pürüzsüz bir şekilde kurutma yapılması nedeniyle	Günerhan (2005)
Tünel kurutma	tuğla, kiremit, seramik malzemeler, kereste	tünel kurutucularda değişik hava hız ve yönü, sıcaklık, nem uygulamaları mümkündür	Şen (2010)
Püskürtmeli kurutma	süt tozu, peynir altı suyu tozu, süt, tereyağı ve peynirle yapılan bazı kuru çocuk mamalarının yapımında, öz çayı, öz kahve, meyve ve sebze suları tozları	sıcaklığa duyarlı ürünler bile düşük kurutma zamanı sayesinde kurutulabilir	Aktaş (2015)

Tablo 3.1. (Devamı)

Dielektrik kurutma	tekstil, plastik, seramik, kauçuk, ağaç, yiyecek ve iletken olmayan maddeler	iç ısınmayla ısı meteryalin içinde oluşup ,buharlaşan nem dışarı çıkar materyalin yüzey rengi solmaz, değişmez	Tunçer (2006)
Mikrodalga kurutma	yumurta, soğan, patates ,çeşitli sebzeler, pirinç, hayvan yemleri, kahvaltılık tahıl ürünleri ve bisküvileri kurutulmasında	ürünlerin rehidrasyon özelliklerinin ve aromaların daha iyi olması nedeniyle tercih edilmektedir	Erdem (2007)
Morötesi radyasyon kurutma	monomer yapılı kaplamalar ve boyer maddelerin kurutulmasında etkin şekilde kullanılır	yüksek yatırım maliyeti nedeniyle tercih edilmemektedir	Özel (2010)
İletimle kurutma	kağıt ürünlerinin kurutulması ve üretiminde kullanılır	iletimle kurutma diğer kurutma sistemlerine dönüştürülebilmektedir	Güngör ve ark. (1997)
İnfrared (kızılötesi) radyant kurutma	tip, plastik ve kağıt endüstrisi	çevreye zarar vermeyişi ve kullanımında mevsim değişikliğinden etkilenmemesi özelliği sayesinde kurutma alanında tercih edilebilir	Aktaş ve ark. (2012)
Dondurarak kurutma	serumlar bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde	üründe daha az tat ve aroma kaybına neden olması nedeniyle tercih edilebilir	Kayhan (2008)
Vakumda kurutma	kağıt sanayide	kurutma sıcaklığının düşük olması ve oksijenin olmadığı ortamlarda kurutulabilmesi nedeniyle	Aktaş (2015)
Karıştırmalı yatakta kurutma	tahıl kurutulmasında	üniform bir kurumanın olması nedeniyle	Özel (2010)

3.4. Kurutmanın Temelleri

3.4.1. Ürün neminin belirlenmesi

Gıda maddelerinde bulunan nem miktarı bünyede tutulan su miktarının % olarak ifade edilmesidir. Bu ifadede yaş baza göre nem (y.b.) ve kuru baza (k.b.) göre nem ifadesi kullanılmaktadır. Yaş baza göre nem M_{yb} , numunede bulunan su kütlelerinin numunenin tüm kütlelerine oranı, kuru baza göre nem ise M_{kb} , numunedeki su kütlelerinin, kuru kütlelerine oranı olarak ifade edilmektedir ve aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır (Şen, 2010).

$$\% \text{ yaş baza göre nem içeriği: } \% Myb = \frac{m_s}{m_s+m_k} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\% \text{ kuru baza göre nem içeriği: } \% Mkb = \frac{m_s}{m_k} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada M_{yb} , ürünün yaş baza göre nem içeriğini, M_{kb} , ürünün kuru baza göre nem içeriğini, m_s , ürünün yaş kütleini (g), m_k , ürünün kuru kütleini (g) ifade etmektedir (Özgen, 2013).

3.4.2. Ürünün nem oranının belirlenmesi

Ürünün belirli bir zamandaki nem içeriğinin başlangıç zamanındaki nem içeriğine oranına, ürünün nem oranı (MR) denilmektedir ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilmektedir (Özen, 2018).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (3.3)$$

Burada MR, ürünün nem oranını, M_t , ürünün belirli bir zamandaki nem içeriğini (g.su/ g.kuru madde), M_e , denge anındaki nem içeriğini, M_o , başlangıç anındaki nem içeriğini ifade etmektedir (Özen, 2018).

Gıdaların kurutulması işleminde; M_e , değeri M_t ve M_o değerleri ile kıyaslandığında çok küçük olduğu görülmüştür. Ürünün nem oranı hesaplanırken M_e değeri sıfır kabul edilebilir. Böylece ürünün nem oranı (MR) hesaplanırken, M_e , denge nem içeriği değeri sıfır alınarak aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır (Özen, 2018).

$$MR = \frac{M_t}{M_o} \quad (3.4)$$

3.4.3. Kurutma hızının belirlenmesi

Ürünün nem içeriğinin birim zamandaki değişimine kuruma hızı (DR) denilmektedir. Kuruma hızı (DR) aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilmektedir (Özgen, 2013).

$$DR = \frac{M_t - M_{(t+\Delta t)}}{\Delta t} \quad (3.5)$$

Burada DR, kuruma hızını, M_t , t anındaki nem içeriğini, $M_{(t+\Delta t)}$, herhangi bir andaki nem içeriğini belirtmektedir (Özgen, 2013).

3.4.4. Efektif difüzyon katsayısının belirlenmesi

Gıdaların ince tabaka kurutma işleminde Fick'in ikinci yasasının çözümü olan teorik model aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Doymaz ve Aktaş, 2018).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (3.6)$$

Burada M, nem içeriğini (k.b), t, süre (s), D_{eff} , efektif difüzyon katsayısını (m^2/s) ifade etmektedir.

Uygun sınır koşulları ile basitleştirme yapılırsa;

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3.7)$$

Burada D_{eff} , Etkin difüzyon katsayısını (m^2/s), L, Dilim yarı kalınlığını (m), t, süre (s) olarak ifade edilmektedir. Efektif difüzyon katsayısı için denklem (3.7) düzenlenerek;

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (3.8)$$

İfadesi elde edilir (Maskan, 2000).

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde deneysel çalışmada kullandığım materyaller olan ayva, hassas terazi, laboratuvar tipi fırın, mikrodalga fırın ve dondurarak kurutma cihazı hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca deneylerin nasıl yapıldığı ve hangi yöntemlerin kullanıldığı özetlenmiştir.

4.1. Materyal

4.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan hammadde

4.1.1.1. Ayva

Ayva (*Cydonia vulgaris*), Rosales takımının, Rosaceae familyasının, *Cydonia* cinsine girmektedir. Ayvanın kültür tarihi baya eskilere dayanmaktadır. MÖ 650 yıllarında yetiştirildiği bilinmektedir. Anavatanı Kuzey-Batı İran, Türkistan ve Anadolu'dur. Ayva, Avustralya hariç, dünyanın hemen her ülkesinde yetiştirilmektedir. Buna rağmen ayva kültürü diğer meyveler kadar gelişmemiştir. Dünyadaki ayva üretiminden bahsedecek olursak Akdeniz ülkeleriyle Kuzey Afrika ülkeleri ön sıralarda yer almaktadır. Türkiye de ise ayva, Ege, Marmara ve Orta kuzey bölgelerimizde yoğun olmak üzere Türkiye'nin hemen hemen tüm bölgelerinde yetiştirilmektedir (Pakkaner, 2006).

2017 istatistiklerine göre ülkemizde 3,384 milyon ayva ağacı vardır. Ayva üretim miktarı ise 174,038 ton olarak açıklanmıştır. Dünya ayva üretiminde ülkemiz birinci sıradadır (Anonim, 2017).

Ayva ılıman iklimin denize yakın bölgelerinde yetiştirilmelidir. Çünkü ayva aşırı kış soğuklarını ve karasal iklimi sevmez. Ayva kış soğuklarına elma ve armut gibi meyvelerden daha az dayanıklıdır. Buna karşılık soğuk yerlerde ayva yetiştiriciliği yapılan bölgelerde bulunmaktadır. Ancak yeteri kadar verim alınamamaktadır (Pakkaner, 2006).

Çalışmamızda Marmara bölgesinin Sakarya ilinde yer alan Pamukova ilçesi ve bu ilçede yetiştirilen ayvalar göz önünde tutulmaktadır. Yazın sıcak kışın ılık iklime sahip olan Pamukova, doğal yeşilliği, verimli toprakları, ulaşım koşullarındaki kolaylık ve tarıma dayalı gelişmiş ekonomisi ile ayva yetiştirmek için mükemmel bir ilçedir (Arıcı, 2018).

Ülkemizde ayva üretiminin %53.5'i, Doğu Marmara'nın %75.08'i, Sakarya'nın ise %93,9'u bu ilçeden karşılanmaktadır. Bu oranlardan da görüldüğü üzere bu şirin ilçe ayva üretiminde önemli bir yere sahiptir (Arıcı, 2018).

Pamukova yapmış olduğu ayva festivalleri ile de kendinden söz ettiren bir ilçedir. Bu festivaller de yetiştirilen ayvalar ve daha bir sürü doğal lezzet sergilenmektedir. Görsel şölenin yanında halka doğal alışveriş imkanı da sunan ayva festivalleri yerli halk ve dışarıdan gelenler tarafından oldukça ilgi görmektedir.

Ülkemizde denizden uzak olan iç kısımlarda da ayva yetiştirilebilmektedir. Çünkü Türkiye şartlarında kış soğuğuna armut kadar dayanıklı ayva ağaçları da bulunmaktadır (Pakkaner, 2006).

Ayva armut ve elmadan daha sonra çiçek açmaktadır. Ayva meyvesi kış soğuklarına oldukça dayanıklıdır (Özbek, 1979).

Ayva aşırı yağışlı ve çok rüzgarlı yerlerde iyi yetiştirilemez. Bu gibi yerlerde ayva yetiştiriciliğinin yapılması uygun değildir (Pakkaner, 2006).



Şekil 4.1. Çalışmalarda kullanılan Ayva örneği

Ayva, kumlu killi ve geçirgen sıcak topraklarda yetiştirilir. Çok ağır, aşırı kireçli ve fazla geçirgen olan topraklarda yetiştirilemez. Düzenli sulama yapıldığı takdirde birçok toprak tipinde rahatlıkla ayva yetiştiriciliği yapılabilir (Pakkaner, 2006).

Besin değeri oldukça yüksek olan ayva meyvesi, yüksek oranda C vitamini ve besin lifi içermektedir. Ayrıca demir, kalsiyum, A vitamini, B6 vitamini, potasyum ve fosfor açısından da zengindir. 100 gram bir ayvanın içerdiği besin değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Anonim, 2015).

Tablo 4.1. 100 gram bir ayvanın içerdiği besin değerleri (Anonim, 2015).

100 gramda	Besin değerleri
57	kalori
13,81 gram	karbonhidrat
0,40 gram	protein
1,9 gram	lif
11 mg	fosfor
11 mg	kalsiyum
8 mg	manganez
1,70 mg	demir

Ayrıca 100 gram ayva günlük C vitamini ihtiyacımızın %4'ünü, A vitamini ihtiyacımızın %1'ini, E vitamini ihtiyacımızın %1'ini karşılamaktadır (Anonim, 2015).

Ayva meyvesinin faydalarını şu şekilde sıralayabiliriz (Anonim, 2015):

- Ayva meyvesi sindirim ve boşaltım sistemine iyi gelmekte ve kabızlık problemini ortadan kaldırmaktadır.
- Ayva meyvesinin hücreleri onarma gibi etkisi bulunmaktadır.
- Ayva mide bulantısını gidermektedir.
- Ayva idrar yolu enfeksiyonlarına iyi gelmektedir.
- Ayva doğal bir antibiyotiktir, kalp ve damar sağlığına da iyi gelmektedir.
- Ayva bağışıklık sistemini güçlendirmekte ve hastalıklara karşı direnci arttırmaktadır.
- Ayva bağırsak rahatsızlıklarına iyi gelmektedir.
- Kalorisi düşük olan ayva meyvesi kilo vermede yardımcı bir meyvedir.
- Mideyi kuvvetlendirip güçlenmesini sağlamaktadır.
- Ayva meyvesi kolon kanseri başta olmak üzere kansere yakalanma riskini azaltır.
- Ayva karaciğeri temizlemekte ve güçlendirmektedir.
- Ayva öksürük problemini azaltmakta ve iltihabı gidermektedir.
- Ayva baş ağrılarına ve beyin yorgunluğuna iyi gelmektedir.

4.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan ekipmanlar

4.1.2.1. Hassas terazi

Meyvelerin ağırlıklarının ölçülmesi için deneyler süresince 0,001 g hassasiyetinde AND marka GX-600 model bir hassas terazi kullanılmıştır. Tam otomatik dahili kalibrasyonu ve sıcaklık değişimine duyarlı dahili kalibrasyonu mevcuttur. Yoğunluk hesabı, parça sayımı, % tartımı, otomatik kapanması ve anti-manyetik alaşım kasası bulunmaktadır. 13 farklı tartım biçiminde ölçüm yapabilme özelliği ve 3 kademeli ortam filtresi bulunmaktadır. Mikrodalga fırın kapasitesi 610 gramdır.



Şekil 4.2. Hassas terazi

4.1.2.2. Nem tayin cihazı

Ürünün başlangıç neminin belirlenmesinde Sartorius marka MA37 model bir nem tayin cihazı kullanılmıştır. Cihazın kapasitesi 70 gramdır. Sıcaklık aralığı 40 °C ile 200 °C arasındadır. 50 adet programı hafızasında saklayabilme özelliği mevcuttur.



Şekil 4.3. Nem tayin cihazı

4.1.2.3. Nem tayin cihazı

Çalışmamızda Nüve marka FN 055 model bir laboratuvar tipi fırın kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı 5 °C ile 250 °C aralığında değişmektedir. Kuru havalı sterilizasyonu, kurutma ve ısıtma işlemleri için ideal dizaynı, programlanabilir PID mikroişlemcili control sistemi, sıcaklık ve zaman için dijital göstergeleri bulunmaktadır. Kullanımı kolay control paneli mevcuttur. Kurulu gücü 1400 watt'tır. İç yüzey yapısı paslanmaz çeliktir. Sıcaklık değişimi ± 2 °C'dır. Kullanılabilir hacmi 55 litredir.



Şekil 4.4. Laboratuvar tipi fırın

4.1.2.4. Mikrodalga fırın

Çalışmamızda Fakir marka MW70170 Powe model bir mikrodalga fırın kullanılmıştır. Fırının kapasitesi 17 litredir. Mekanik kontrol paleni bulunmaktadır. Mikrodalga giriş gücü 1200 watt, mikrodalga çıkış gücü 700 watt'tır. 24,5 cm çapında döner tepsi bulunmaktadır.



Şekil 4.5. Mikrodalga fırın

4.1.2.5. Dondurarak kurutma cihazı

Çalışmamızda Labconco Freezone 6 model dondurularak kurutma cihazı kullanılmıştır. Toplayıcı sıcaklığı $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. 24 saat içinde 4 litre sudan ve buz çözülmeden önce 6 litre buz tutmaya dayanabilen dik paslanmaz çelik toplayıcı

kabini mevcuttur. Tezgah üstü olarak tasarlanmıştır. Korozyona dayanıklı buzul beyaz epoksi kapalı çelik ve mavi desenli fırçalanmış paslanmaz çelik dış yüzeyi bulunmaktadır. Sistem çalışma parametrelerini görüntüleyen LCD ve alarmı mevcuttur. Cihazın gücü 500 watt'tır.



Şekil 4.6. Dondurarak kurutma cihazı

4.2. Yöntem

4.2.1. Deneylerin yapılışı

Bu çalışmada, Sakarya ilinin Pamukova ilçesinde doğal şartlarda yetiştirilen “Ayva” meyvesi farklı termal kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Ayva, kenar ölçüleri 6 mm ve 15 mm olmak üzere iki farklı büyüklükte dilimlenmiş, herhangi bir ön işlem yapmaksızın üç farklı kurutma yöntemi ile kuruma davranışı incelenmiştir.

4.2.1.1. Mikrodalga fırında kurutma deneylerinin yapılışı

Kurutma işlemine başlamadan önce ayvalar yıkanıp 4 °C'ye ayarlı buzdolabı içerisinde saklanmıştır. Ayvalar 6 mm ve 15 mm dilim kalınlığında dilimlenmişlerdir. Numunelerin kütlelerine AND marka bir hassas terazi ile bakılıp, ilk nem ölçümleri Sartorius marka nem tayin cihazı ile belirlenmiştir. Fakir marka mikrodalga fırında 120 W, 350 W ve 700 W güçlerinde kurutma deneyleri yapılmıştır. Numunelerin kütlelerine her 2 dakikada bir bakılıp not alınmıştır. Ayva dilimlerinin nem oranları bulunduktan sonra kuruma hızları, difüzyon katsayıları ve ortalama difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Deneylerdeki belirsizlikler hesaplanmış

ve deneysel veriler kullanılarak matlab eğri uydurma aracı ile matematiksel modelleme işlemleri yapılmıştır.

4.2.1.2. Laboratuvar tipi fırında kurutma deneylerinin yapılışı

Daha önceden yıkanıp 4 °C ayarlı buzdolabına koyulan ayvaları 6 mm ve 15 mm kalınlığında dilimlenmişlerdir. Dilimlenen numunelerin kütlelerine AND marka hassas terazi ile bakılıp, ilk nem ölçümleri Sartorius marka nem tayin cihazı ile belirlenmiştir. Nüve marka laboratuvar tipi bir fırında 105 °C, 110 °C ve 120 °C sıcaklıklarında kurutma deneyleri yapılmıştır. Numunelerin kütle değişimlerine 10 dakika aralıklarla bakılmıştır. Ayva dilimlerinin nem oranları bulunduktan sonra kuruma hızları, difüzyon katsayıları ve ortalama difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Deneylerdeki belirsizlikler hesaplanmış ve deneysel veriler kullanılarak matlab eğri uydurma aracı ile matematiksel modelleme işlemleri yapılmıştır.

4.2.1.3. Dondurarak kurutma cihazında kurutma deneylerinin yapılışı

6 mm ve 15 mm kalınlığında dilimlenen ayva numuneleri önceden yarım saat çalıştırılan Labconco freezone 6 model dondurularak kurutma cihazında kurutulmuşlardır. Dilimlenen ayvalar -45 °C'de 0,352 torr basınçta ve 500 W gücünde kurutulmuş, her bir saatte alınan numunelerin kütle değişimlerine AND marka hassas terazi ile bakılmıştır. Nem oranları bulunduktan sonra kuruma hızları, difüzyon katsayıları ve ortalama difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Deneylerdeki belirsizlikler hesaplanmış ve deneysel veriler kullanılarak matlab eğri uydurma aracı ile matematiksel modelleme işlemleri yapılmıştır.

4.3. Matematiksel Modelleme

Bu çalışmada literatürde kullanılan ince tabaka modelleri araştırılmış, modelleme için Tablo 4.2.'de denklemleriyle beraber verilen sekiz farklı kurutma modeli belirlenmiştir. Denklemlerde bulunan k, a, b, c, n model katsayılarını, t ise kurutma süresini ifade etmektedir. Modelleme için MATLAB programının eğri uydurma aracı kullanılmış, denklemlerdeki sabitler deneysel olarak elde edilmiştir. Kurutma

yöntemlerine modellerden en uygun olanı seçebilmek için bazı kriterlerin hesaplanması gerekmektedir. Bunlar regresyon (R^2) katsayısı, artıkların karelerinin toplamı ve hata kareler ortalamasının karekökü değerleridir (Kutlu ve ark., 2015).

Tablo 4.2. Çalışmada kullanılan matematiksel modeller (Çelen ve ark., 2010).

MODELLER	DENKLEMLER	KAYNAKLAR
Newton	$MR=\exp(-kt)$	Roberts vd.(2008)
Page	$MR=\exp(-kt^n)$	Hassan-Beygi vd.(2009)
Henderson ve Pabis	$MR=a \exp(-kt)$	Ghodake vd.(2006)
Wang ve Singh	$MR=1+bt+ct^2$	Wang ve Singh (1978)
Logaritmik	$MR=a \exp(-kt)+b$	Wang vd. (2007)
İki terimli	$MR=a \exp(-k_1t)+b \exp(-k_2t)$	Doymaz (2004)
Midilli	$MR=a \exp(-kt)+bt$	Midilli et al. (2002)
Difüzyon yaklaşımı	$MR=a \exp(-kt)+(1-a) \exp(-kbt)$	Yaldız ve Ertekin (2001)

Deneysel verileri açıklayan modelin, korelasyon katsayısının 1'e yakın olması modelin kullanılabilirliği anlamına gelmektedir (Kuş, 2016).

Uygun modelin bulunmasında kullanılan eşitlikler aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanabilir (Kırmacı, 2008).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini} - MR_{deneysel})^2 \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum (MR_{deneysel,ort} - MR_{tahmini,ort})^2}{\sum (MR_{tahmini,ort})^2} \right] \quad (4.2)$$

Burada $MR_{deneysel}$, Deneysel verilerle belirlenen nem oranını, $MR_{tahmini}$, Tahmini nem oranını, $MR_{deneysel,ort}$, Deneysel nem oranı değerlerinin ortalamasını, $MR_{tahmini,ort}$, Tahmini nem oranının değerlerinin ortalamasını, N, Deneysel veri sayısını ifade etmektedir.

4.4. Belirsizlik Analizi

Ölçüm hatası, ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki farkı ifade etmektedir. Belirsizlik ise ölçümlerdeki hataların tam olarak bilinmemesinden

kaynaklanmaktadır. Deney düzeneğinden elde edilen verilerde farklı şekillerde hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatalar deney düzeneğinden, ölçüm cihazlarından ve deneyi yapan kişinin yaptığı hatalardan kaynaklanabilir (Darıcı, 1998).

Birçok deney yapıldıktan sonra deneylere ait hataları belirlemek için yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri akılcı yaklaşım yöntemi, diğeri de belirsizlik analizi yöntemidir. Araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen yöntem belirsizlik analizi yöntemidir (Genceli, 2000).

Çalışmamızda hata oranlarını tespit edebilmek için Kline ve McClintock belirsizlik analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada tespit edilmesi gereken büyüklük R, bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişken $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olmak üzere, fonksiyon $R=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ şeklinde ifade edilebilmektedir. Deneylerde etkili olan her bir bağımsız değişkene ait hataları; $\pm Wx_1, \pm Wx_2, \pm Wx_3, \dots, \pm Wx_n$ şeklinde R büyüklüğünün ise toplam belirsizliğini $\pm W_R$ şeklinde aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplayabiliriz (Parlak, 2013).

$$W_R = \pm \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} Wx_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} Wx_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} Wx_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.3)$$

Çalışmalarda deney süresince sıcaklık, bağıl nem, ayva kütlesi ve zaman ölçümleri yapılmıştır. Hataya yol açan büyüklükler ve parametreler Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Hataya yol açan parametreler

Hata oluşturan parametreler	Birim	Hata
Sıcaklık	°C	$\pm 0,1$
Bağıl nem	% RH	$\pm 0,1$
Hassas terazi	g	$\pm 0,001$
Nem tayin cihazı	g	$\pm 0,001$
Zaman	dakika	$\pm 0,0003$
Okuma hatası	%	$\pm 0,01$
Ayva dilim kalınlığı	%	± 1

Denklem 4.3 kullanılarak her bir deney sonucunda elde edilen, nem oranı, kuruma hızı, nem içeriği değerlerindeki belirsizlik hesapları yapılmış, Bölüm 5'te deney sonuçları kısmında verilmiştir.

4.5. Enerji Tüketimi

Toplam enerji tüketimi, özgül enerji tüketimi ve kurutma verimliliği hesabı aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanabilmektedir (Pehlivan ve ark., 2014).

Toplam enerji tüketimi:

$$E_t = E \Delta t \quad (4.4)$$

Burada E, ısı kaynağının ısı kapasitesini (kW), E_t , toplam enerji tüketimini (kWh), Δt , kuruma süresini (saat) ifade etmektedir.

Özgül enerji tüketimi:

$$E_s = \frac{E_t}{m_w} \quad (4.5)$$

Burada E_s , özgül enerji tüketimini (kJ/kg), m_w , toplam su kütlesini (kg) ifade etmektedir.

Kurutma verimliliği:

$$\eta = \frac{m_w \lambda}{60 E \Delta t} \times 100 \quad (4.6)$$

Burada λ , suyun buharlaşması için gizli ısıyı (kJ/kg), η , kurutma verimliliğini (%) ifade etmektedir.

Yapılan kurutma deneylerinde toplam enerji tüketimi ve kurutma verimliliği hesaplanmış, deney sonuçları Bölüm 5 kısmında tablolar halinde verilmiştir.

BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan kurutma deneylerinin sonuçları tablo ve grafikler yardımıyla gösterilmiştir. Ayrıca belirsizlik analizleri, enerji tüketimleri ve matematiksel modellemeleri yapılmıştır. Numuneleri kurutmak için üç farklı yöntem kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler ve özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.1. Kullanılan kurutma yöntemleri

Kullanılan Yöntemler	Açıklama	Numune Kalınlıkları
Mikrodalga Fırın	120 W, 350 W, 700 W	6 ve 15 mm
Laboratuvar Tipi Fırın	105 °C, 110 °C, 120 °C	6 ve 15 mm
Dondurarak	500 W-0,352 torr	6 ve 15 mm

5.1. Mikrodalga Fırında Yapılan Deneyler

Ayva dış kabuğu soyularak 6 mm ve 15 mm kalınlığında dilimlenip, su içerisine daldırılmıştır. Herhangi bir solüsyon kullanılmamıştır. Ev tipi mikrodalga fırın içerisinde 120 W, 350 W, 700 W güçlerinde kurutulmuştur. Mikrodalga fırında farklı kalınlıkta ve farklı güçlerde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma öncesi ve kurutma sonrasındaki görünüşleri Şekil 5.1.'de verilmiştir.



a)

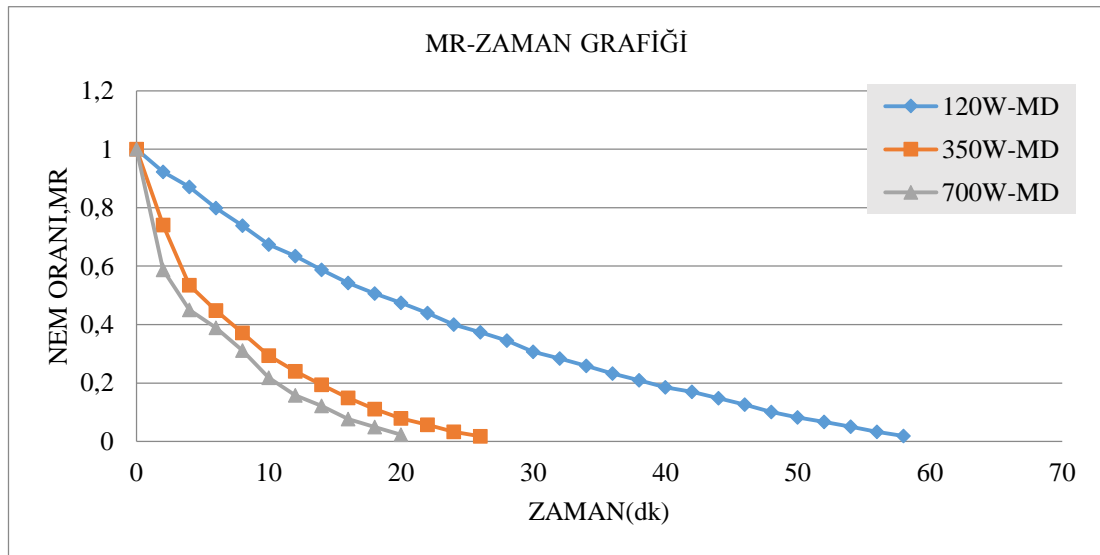


b)

Şekil 5.1. Mikrodalga fırında a) Kurutma öncesi numune b) Kurutma sonrası numune

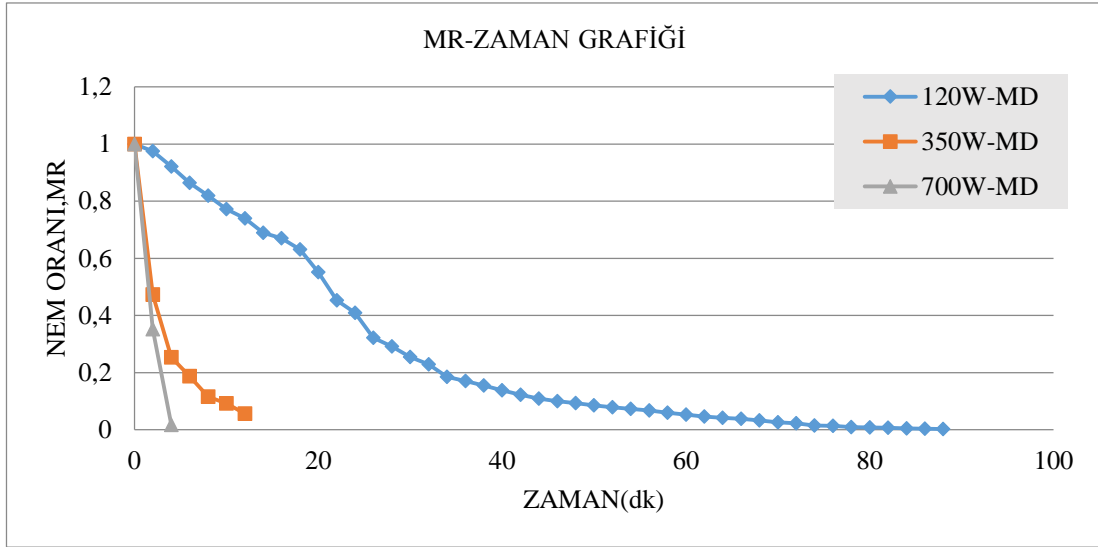
5.1.1. Mikrodalga fırında kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin deney sonuçları

Mikrodalga fırında 6 mm dilim kalınlığında yapılan ayva kurutma deneylerinde elde edilen nem oranının zamanla değişimi Şekil 5.2.'de görülmektedir. 700 W mikrodalga gücü ile yapılan deneylerde 20 dakika sonunda nem oranı yaklaşık %2,2 değerine gelirken, 350 W güçte yapılan deneylerde 26 dakika sonunda nem oranı %1,7 değerine gelmiştir. 120 W güçte yapılan deneylerde ise %1,9 değerine ancak 58 dakikada ulaşabildiği görülmüştür. Kuruma süresi, mikrodalga gücünden etkilenmektedir. Mikrodalga gücünün yükselmesine bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır.



Şekil 5.2. Mikrodalga fırında 6 mm kalınlığında dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi

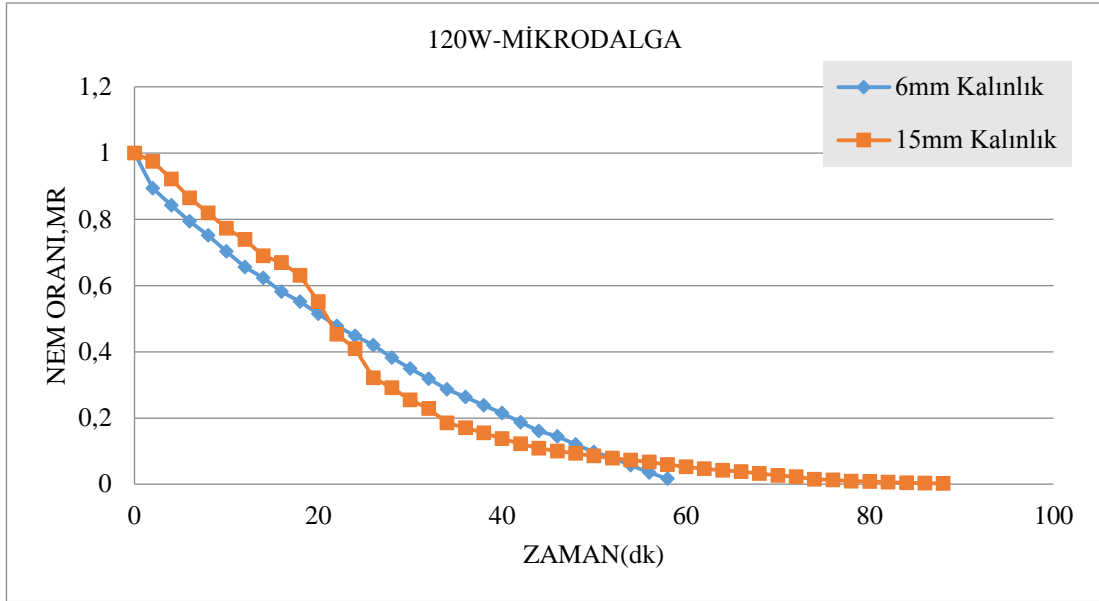
Mikrodalga fırında 15 mm dilim kalınlığında yapılan ayva kurutma deneylerinde elde edilen nem oranının zamanla değişimi Şekil 5.3.'de görülmektedir. 700 W mikrodalga gücü ile yapılan deneylerde 4 dakika sonunda nem oranı yaklaşık %1,6 değerine gelirken, 350 W güçte yapılan deneylerde 12 dakika sonunda nem oranı %5,5 değerine gelmiş, 120 W güçte yapılan deneylerde ise %5,2 değerine ancak 60 dakikada ulaşabildiği görülmüştür. Benzer şekilde, kuruma süresinin mikrodalga gücünden etkilendiği tespit edilmiştir. Ayrıca, mikrodalga gücünün yükselmesine bağlı olarak nem kaybının hızlandığı ve kuruma süresinin kısaldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.3. Mikrodalga fırında 15 mm kalınlığında dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi

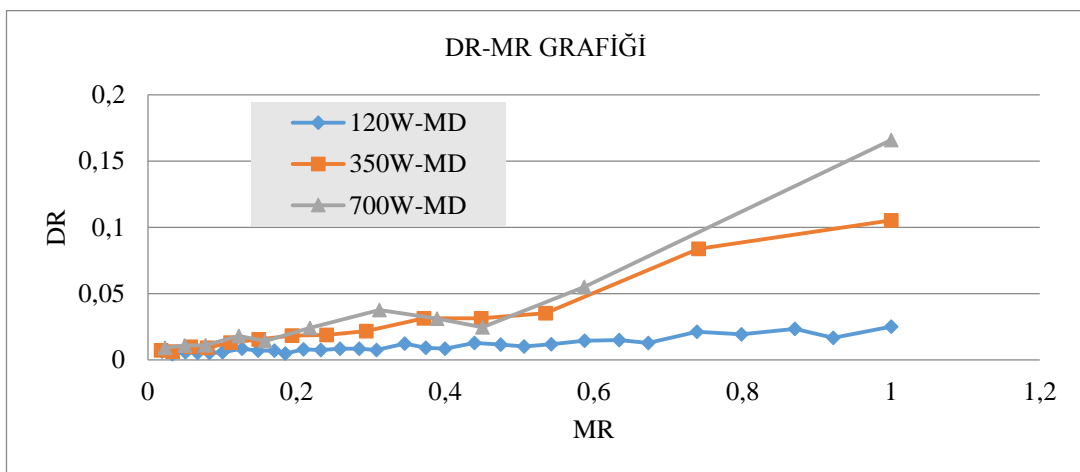
Kuş (2016) bir çalışmada, mikrodalga enerjisinin ayva dilimlerinin kurutulmasına etkisini incelemiştir. Deneysel sonuçları neticesinde mikrodalga fırın gücünün artmasıyla kurutma süresinin kısaldığını ve kurutma hızının arttığı gözlemlenmiştir. Karaaslan S. ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan bir çalışmada ayva dilimlerinin mikrodalga fırın ile kurutulması incelenmiş ve çıkan sonuçlar mikrodalga fırın gücünün artmasının kurutma süresini kısalttığını göstermiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar bu çalışmalara uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı kalınlıklarda yapılmış deney sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5.4.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 6 mm dilim kalınlığında yapılan deneylerde 58 dakika sonunda nem oranı yaklaşık %1,9 değerine gelirken, 15 mm dilim kalınlığında yapılan deneylerde ise yaklaşık %1,5 değerine ancak 74 dakikada ulaşılabilmiştir. Kuruma süresi kalınlık farkından etkilenmektedir. Kalınlığın azalmasına bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresinin kısaldığı görülmektedir. Bunun sebebi ürün içindeki nemin homojen olmamasıdır ve ısı enerjisinin iç kısımlarda daha çok oluşmasıyla mikrodalga enerjisinin ürün ile etkileşiminin değişken olması nedeniyle kuruma sürelerinde farklılık göstermesidir.



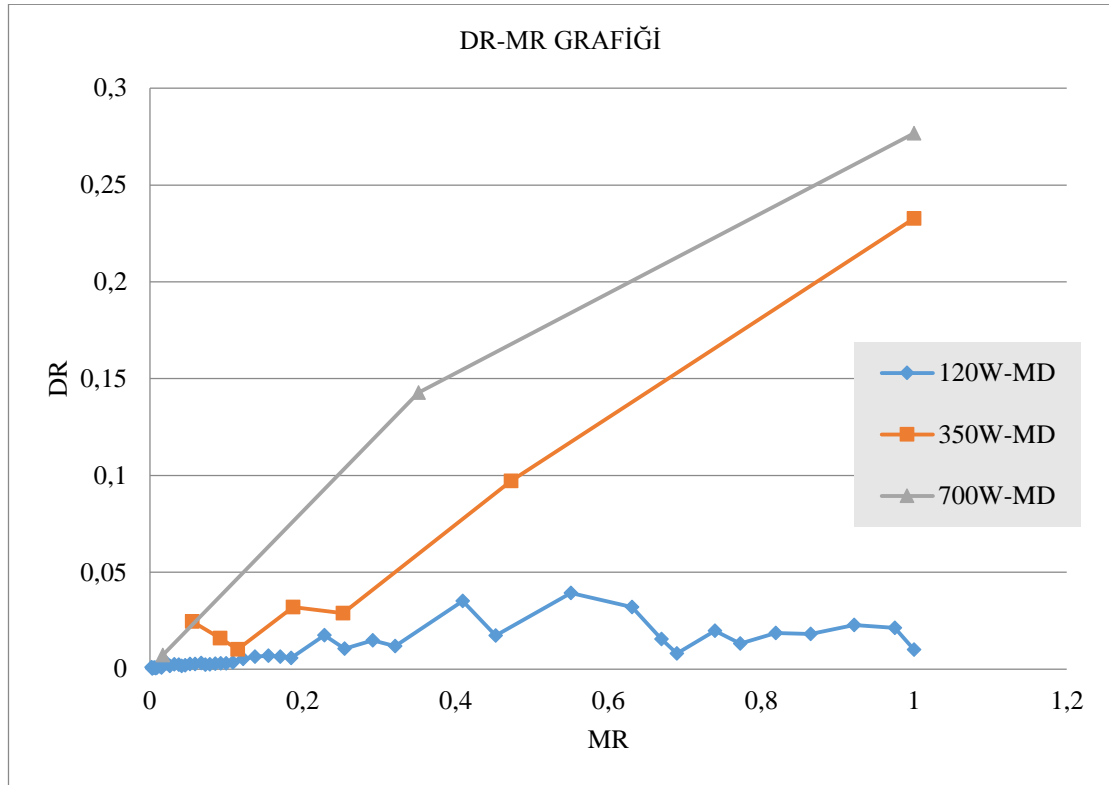
Şekil 5.4. Mikrodalga fırında 120 W güçte farklı kalınlıkta dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi

Aşağıdaki Şekil 5.5.'de mikrodalga fırında 6 mm kalınlığında farklı güçlerde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızlarının nem içeriğine göre değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sabit bir kurutma periyodu gözlenmemiştir. Beklendiği üzere 700 W güçte yapılan deneylerde en yüksek kurutma hızına ulaşıldığı ve düşük güçlerde yapılan deneylerde kurutma hızının düştüğü tespit edilmiştir. Mikrodalga gücünün artmasıyla kurutulan ayva dilimi içerisinde bulunan suyun azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.5. Mikrodalga fırında 6 mm kalınlığında farklı güçlerde kurutulan ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi

Aşağıdaki Şekil 5.6.'da mikrodalga fırında 15 mm kalınlığında farklı güçlerde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızlarının nem içeriğine göre değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi azalan kurutma periyodu gözlenmiştir. 700 W güçte yapılan deneylerde en yüksek kurutma hızına ulaşıldığı ve düşük güçlerde yapılan deneylerde kurutma hızının düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 5.6. Mikrodalga fırında 15 mm kalınlığında farklı güçlerde kurutulan ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi

5.1.2. Mikrodalga fırında farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimlerinin ortalama efektif difüzyon katsayıları

Difüzyon katsayısı ürünün nemine, ürünün karakteristik uzunluğuna ve kuruma süresine bağlı olarak değişmektedir (denklem 3.8). Tablo 5.2.'de farklı kalınlıkta ve farklı mikrodalga güçlerinde yapılan deneyler için ortalama efektif difüzyon katsayıları verilmiştir. Burada deneysel veriler incelendiğinde ortalama difüzyon katsayılarının aynı numune kalınlığında mikrodalga fırın gücünün artırılmasıyla arttığı gözlenmiştir. Farklı kalınlıklarda ise numunenin kalınlığının artması ortalama difüzyon katsayısını arttırmıştır.

Tablo 5.2. Mikrodalga ile kurutmada ortalama efektif difüzyon katsayıları

	KALINLIK 6 mm		KALINLIK 15 mm	
	GÜÇ	Ortalama D_{eff} m ² /s	Ortalama D_{eff} m ² /s	
MİKRODALGA FIRIN	120 W	$1,241 * 10^{-9}$	$5,304 * 10^{-9}$	
	350 W	$2,747 * 10^{-9}$	$1,025 * 10^{-7}$	
	700 W	$9,839 * 10^{-9}$	$1,588 * 10^{-7}$	

Mikrodalga kullanılarak yapılan çalışmalara bakıldığında (Kuş (2016), Karaslan vd. (2016)) yapılan çalışmalarda efektif difüzyon katsayıları rapor edilmemiştir. Tzempelikos D. Ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, ayva dilimleri laboratuvar tipi konveksiyon kurutma ünitesinde farklı sıcaklıklarda kurutulmuşlardır. Yapılan kuruma çalışmaları sonucunda efektif difüzyon katsayılarının $2,67 * 10^{-10}$ ile $8,17 * 10^{-10}$ arasında değiştiği ve sıcaklık artışı ile arttığı gözlenmiştir. kurutma Elde edilen difüzyon katsayıları literatürdeki mevcut veriler ile karşılaştırıldığında, mikrodalga fırın ile kurutulan ayva dilimlerine ait difüzyon katsayılarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Difüzyon katsayısının yüksek olması kütle transferinin yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca difüzyon katsayısı mikrodalga fırın gücünün artmasından ve numunenin yüzey alanının artmasından etkilenmiştir.

5.1.3. Mikrodalga fırında farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin belirsizlik analizleri

Mikrodalga fırında farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimlerinin belirsizlik analizlerini yapabilmek için deney süresince ayvanın kütlesi, nem içerikleri, zaman, sıcaklık ölçümleri yapılmıştır ve toplam hata belirlenmiştir. Yapılan belirsizlik analiz sonuçları Tablo 5.3.'de verilmiştir. Deneylerde nem oranı, MR değerlerindeki belirsizliklerin mikrodalga fırın gücünün artmasıyla artış gösterdiği gözlenmiştir. En yüksek belirsizliğin 6 mm dilim kalınlığında, 700 W mikrodalga fırın gücünde yapılan deneylerde olduğu gözlenmiş ve bu deneyler için belirsizlik % 10,857 olarak bulunmuştur. Yapılan diğer değerlerdeki belirsizliklerin deney şartlarına göre değiştiği tespit edilmiştir.

Tablo 5.3. Mikrodalga fırında yapılan deneyler için belirsizlik analizleri

6 mm dilim kalınlığı			
MİKRODALGA GÜCÜ	W _{MR}	W _{DR}	W _N
120W	%± 6,379	%± 21,55	%± 4,94
350W	%± 7,697	%± 10,238	%± 6,558
700W	%± 10,857	%± 14,146	%± 4,653
15 mm dilim kalınlığı			
MİKRODALGA GÜCÜ	W _{MR}	W _{DR}	W _N
120W	%± 1,879	%± 6,105	%± 1,284
350W	%± 2,946	%± 4,737	%± 2,696
700W	%± 3,924	%± 3,626	%± 3,133

5.1.4. Mikrodalga fırında farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimleri için matematiksel modelleme sonuçları

Ayva dilimleri mikrodalga fırında farklı kalınlıkta ve farklı güçlerde kurutulmuş nem içeriğinin zamanla değişimi için deneysel veriler elde edilmiştir. Bu veriler literatürde mevcut olarak bulunan 8 matematiksel model kullanılarak modellenmişlerdir. 6 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için model sonuçları Tablo 5.4.'de, 15 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için model sonuçları ise Tablo 5.5.'de verilmiştir. Tablolarda görüldüğü gibi 6 ve 15 mm'lik numunelerin kurutulmasında yapılan modelin regresyon katsayısı (R^2) 0,9911 ile 0,9999 arasında değişmiştir. Bununla birlikte tabloların incelenmesinden artıkların karelerinin toplamı (SSE) değerleri $7,163 * 10^{-5}$ ile 0,01866 arasında sifira oldukça yakın çıkmış, hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) 0,005212 ile 0,03133 arasında değişmiştir. Midilli modelinin 6 ve 15 mm'lik numuneler için en iyi kuruma olayını açıkladığı gözlenmiştir. Regresyon katsayısının 1'e yakın olması modelin kullanılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca artıkların karelerinin toplamı (SSE) ve hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) değerlerinin sifira yakın olması modelin daha etkin olduğunu belirtmektedir.

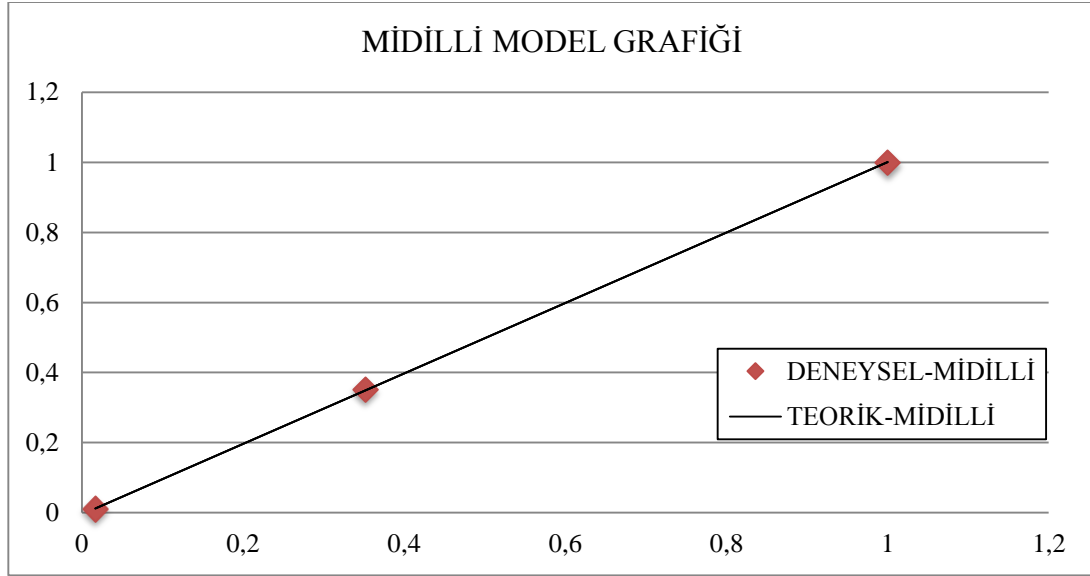
Tablo 5.4. Mikrodalga fırında 6 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için modelleme sonuçları

MODEL	DENEYLER	R ²	RMSE	SSE	MODEL SABİTLERİ
NEWTON	120W	0,9875	0,03202	0,02973	k = 0,04074
	350W	0,9924	0,02526	0,008295	k = 0,1281
	700W	0,9698	0,05067	0,02567	k = 0,1684
HENDERSON VE PABİS	120W	0,9889	0,03063	0,02627	a= 1,032 k= 0,0421
	350W	0,9939	0,02368	0,00673	a= 0,9681 k= 0,1239
	700W	0,9765	0,0471	0,01996	a= 0,9343 k= 0,1567
PAGE	120W	0,9936	0,02334	0,01526	k= 0,02545 n= 1,142
	350W	0,9957	0,01988	0,004741	k= 0,1599 n= 0,9028
	700W	0,9878	0,03398	0,01039	k= 0,2658 n= 0,7765
LOGARİTMİK	120W	0,9992	0,008319	0,001869	a= 1,189 b= -0,2027 k=0,02825
	350W	0,9939	0,02473	0,00673	a= 0,9678 b= -0,0005297 k= 0,1241
	700W	0,9773	0,04915	0,01933	a= 0,9193 b= 0,02451 k=0,1698
WANG VE SİNGH	120W	0,9949	0,02083	0,01214	b=-0,0308 c= 0,0002491
	350W	0,9546	0,06442	0,0498	b=-0,09097 c= 0,002149
	700W	0,9169	0,0886	0,07064	b=-0,1183 c=0,00365
DİFÜZYON YAKLAŞIMI	120W	0,9944	0,02228	0,0134	a=-7,128 b= 0,9879 k=0,06423
	350W	0,9967	0,0182	0,003642	a= 0,1105 b= 0,1426 k=0,8172
	700W	0,9941	0,02506	0,005024	a=0,783 b= 82,92 k=0,1308
MİDİLLİ	120W	0,9997	0,005212	0,0007064	a=1,005 b= -0,002858 k=0,04198 n= 0,9107
	350W	0,9987	0,01199	0,001437	a= 1,003 b= -0,002942 k=0,188 n= 0,7805
	700W	0,9977	0,01662	0,001933	a= 0,9993 b= -0,009591 k=0,3416 n=0,5158
İKİ KADEMELİ	120W	0,9943	0,0228	0,01352	a= -8,916 b= 9,917 k1=0,06581 k2= 0,06232
	350W	0,9967	0,01908	0,003641	a= 0,8896 b= 0,1114 k1=0,1144 k2= 0,8183
	700W	0,9941	0,02681	0,005032	a= 0,78 b= 0,2217 k1=0,1303 k2= 9,806

Tablo 5.5. Mikrodalga fırında 15 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için modelleme sonuçları

MODEL	DENEYLER	R ²	RMSE	SSE	MODEL SABİTLERİ
NEWTON	120W	0,9315	0,08054	0,1427	k=0,03806
	350W	0,9844	0,04175	0,01046	k=0,319
	700W	0,9872	0,05258	0,008293	k=0,5988
HENDERSON VE PABİS	120W	0,9529	0,06836	0,09813	a=1,115 k=0,04316
	350W	0,9853	0,04439	0,009852	a=0,9759 k=0,3112
	700W	0,9873	0,06416	0,008234	a=1,008 k=0,6018
PAGE	120W	0,9922	0,02777	0,01619	k=0,005514 n=1,604
	350W	0,9986	0,01363	0,0009294	k=0,4645 n=0,734
	700W	0,9998	0,006987	9,764*10 ⁻⁵	k=0,2686 n=1,961
LOGARİTMİK	120W	0,9853	0,03915	0,03065	a=2,151 b=-1,107 k=0,01408
	350W	0,9972	0,02156	0,001859	a=0,9232 b=0,07244 k=0,4007
	700W	0,9926	0,0693	0,004803	a=1,081 b=-0,07647 k=0,4966
WANG VE SİNGH	120W	0,9831	0,04097	0,03525	b=-0,02612 c=0,0001011
	350W	0,9352	0,09326	0,04348	b=-0,215 c=0,01186
	700W	1	0,002291	1,05*10 ⁻⁵	b=-0,4055 c=0,04005
DİFÜZYON YAKLAŞIMI	120W	0,9887	0,03426	0,02348	a=-14,64 b=0,9355 k=0,08785
	350W	0,9992	0,01143	0,0005221	a=0,4053 b=3,967 k=0,1565
	700W	0,9938	0,06345	0,004026	a=18,09 b=0,967 k=0,3275
MİDİLLİ	120W	0,9911	0,03133	0,01866	a=0,984 b=-0,07661 k=-0,09288 n=0,6882
	350W	0,9988	0,01643	0,0008095	a=1 b=-0,001633 k=0,4496 n=0,7792
	700W	0,9999		7,163*10 ⁻⁵	a=1 b=0,002449 k=0,04409 n=4,587
İKİ KADEMELİ	120W	0,9883	0,03589	0,02447	a=-59,78 b=60,79 k1=0,08538 k2=0,08398
	350W	0,9992	0,01319	0,0005219	a=0,4051 b=0,5954 k1=0,1564 k2=0,621
	700W	0,9938		0,004013	a=-16,82 b=17,83 k1=0,3219 k2=0,3329

Modelin sonuçları kullanılarak teorik nem içerikleri hesaplanmış ve deneysel veriler ile Şekil 5.7.'de karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi deneysel verileri gösteren noktaların eğri üzerinde veya eğriye çok yakın olduğu görülmektedir. Bu da kullanılan modelin, ayvaların kuruma olayındaki nem oranının değişimini açıklamada kullanılabileceğini göstermiştir. Deneysel verilerin teorik veriler ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.7. Midilli modelinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

Karaaslan S. ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, 5 mm kalınlığında ayva dilimleri mikrodalga fırın ile kurutulmuştur. Deneysel veriler literatürde mevcut olarak bulunan 9 matematiksel model kullanılarak modellenmiştir. 5 mm kalınlığındaki numunelerin kurutulmasında yapılan modelin regresyon katsayısı (R^2) 0,9993 ile 1 arasında değişmiştir. Artıkların karelerinin toplamı (SSE) değerleri $3,16 * 10^{-6}$ ile 0,0012 arasında, hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ise 0,0018 ile 0,0340 arasında değişmiştir. Midilli modelinin 5 mm'lik numuneler için en iyi kuruma olayını açıkladığı sonucuna varılmıştır. Literatürdeki çalışmaya yakın değerler bulunmuştur ve aynı modelin uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

5.1.5. Mikrodalga fırında farklı kalınlıklardaki ayva dilimleri için enerji hesabı

Mikrodalga fırında farklı kalınlıklarda ve farklı güçlerde yapılan ayva kurutma deneylerinin enerji hesapları Tablo 5.6. ve Tablo 5.7.'de verilmiştir. Tablolarda görüldüğü gibi tüketilen en yüksek enerji miktarı 120 W güçte ve 88 dk sürede kurutulan ayva dilimi için 633,6 kj değerindedir. Tüketilen en düşük enerji miktarı ise 700 W güçte ve 4 dk sürede kurutulan ayva dilimi için 168 kj değerindedir. Mikrodalga gücü azaldıkça tüketilen enerjide bir artış söz konusu olmaktadır. Aynı

şekilde, kuruma süreleri dikkate alındığında yüksek mikrodalga güçlerinde sürelerin kısaldığı, düşük güçlerde ise arttığı görülmektedir. Bunun sebebi şu şekilde açıklanabilir; düşük mikrodalga güçlerinde üretilen ısı az olduğundan, üretilen ısının ürün içerisinde transferi ve üründen çevreye olan ısı transferi için daha fazla zaman söz konusudur. Böylece ürün içerisindeki suyun buharlaşma sıcaklığına ulaşması için gereken süre uzamakta ve buharlaşma için harcanan enerji artmaktadır. Mikrodalga fırın gücünün artırılmasıyla daha verimli kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Kuş (2016) tarafından yapılan çalışmada, 4 mm kalınlığındaki ayva dilimlerini kurutmuştur. Tüketilen en yüksek enerji miktarı 2000 W güçte ve 95 dk sürede kurutulan ayva dilimi için 2,600 kWh değerindedir. Tüketilen en düşük enerji miktarı ise 2800 W güçte ve 36 dk sürede kurutulan ayva dilimi için 1,370 kWh değerindedir. Tüketilen enerji miktarı artıkça kütle transferinin azaldığı görülmüştür.

Literatürdeki çalışmalarda da olduğu gibi mikrodalga gücü azaldıkça tüketilen enerjide bir artış söz konusu olmuştur. Literatürdeki mikrodalga güçleri daha fazla olması nedeniyle tüketilen enerji daha fazla çıkmıştır.

Tablo 5.6. Mikrodalga fırında 6 mm kalınlığında ayva dilimleri için enerji hesabı

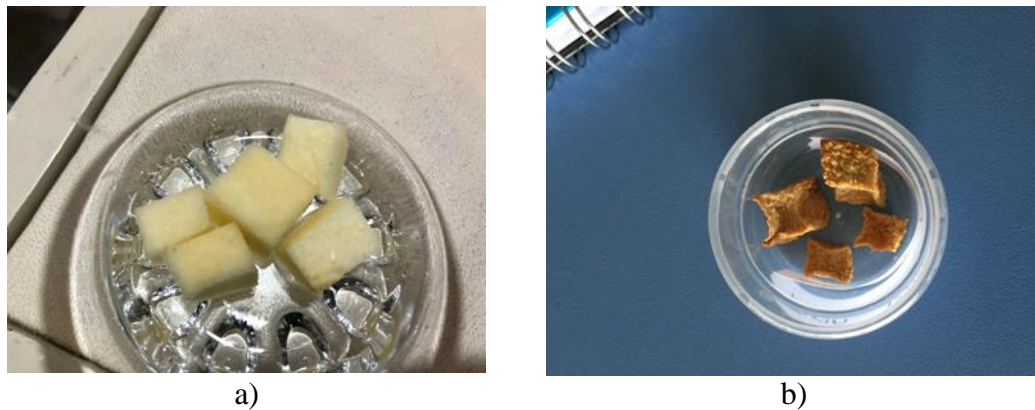
6mm Kalınlık			
GÜÇ	120W	350W	700W
TOPLAM SÜRE(dk)	58	18	8
BAŞLANGIÇ NEM İÇERİĞİ (%)	64,6	81,3	80,3
SON NEM İÇERİĞİ (%)	1,2	1,4	1,8
BAŞLANGIÇ NEM İÇERİĞİ-KB (%)	1,82	4,35	4,08
SON NEM İÇERİĞİ (%)	0,01	0,01	0,02
BUHARLAŞAN KÜTLE g	1,81	4,33	4,06
GİZLİ ISI kJ/kg	2257,00	2257,00	2257,00
FIRIN GÜCÜ -W	120,00	350,00	700,00
TÜKETİLEN TOPLAM ENERJİ Kj	417,60	378	336
ÖZGÜL ENERJİ TÜKETİMİ (Mj/kg)	0,23	0,13	0,21
KURUTMA ENERJİ VERİMİ	0,98	2,59	6,72

Tablo 5.7. Mikrodalga fırında 15 mm kalınlığında ayva dilimleri için enerji hesabı

15mm Kalınlık			
GÜÇ	120W	350W	700W
TOPLAM SÜRE(dk)	88	12	4
BAŞLANGIÇ NEM İÇERİĞİ (%)	79,9	88,3	85,3
SON NEM İÇERİĞİ (%)	0,18	4,9	1,4
BAŞLANGIÇ NEM İÇERİĞİ-KB (%)	3,98	7,55	5,80
SON NEM İÇERİĞİ (%)	0,00	0,05	0,01
kg CİNSİNDEN BUHARLAŞAN KÜTLE-kg	3,97	7,50	5,79
1 kg İÇİN GEREKLİ ENERJİ -kj/kg	2257,00	2257,00	2257,00
FIRIN GÜCÜ -W	120,00	350,00	700,00
FIRINDAN ÇEKİLEN TOPLAM ENERJİ -Kj	633,60	252,00	168,00
ÖZGÜL ENERJİ TÜKETİMİ (Mj/kg)	0,16	0,034	0,029
KURUTMA ENERJİ VERİMİ	1,42	6,71	7,78

5.2. Laboratuvar Tipi Fırında Yapılan Deneyler

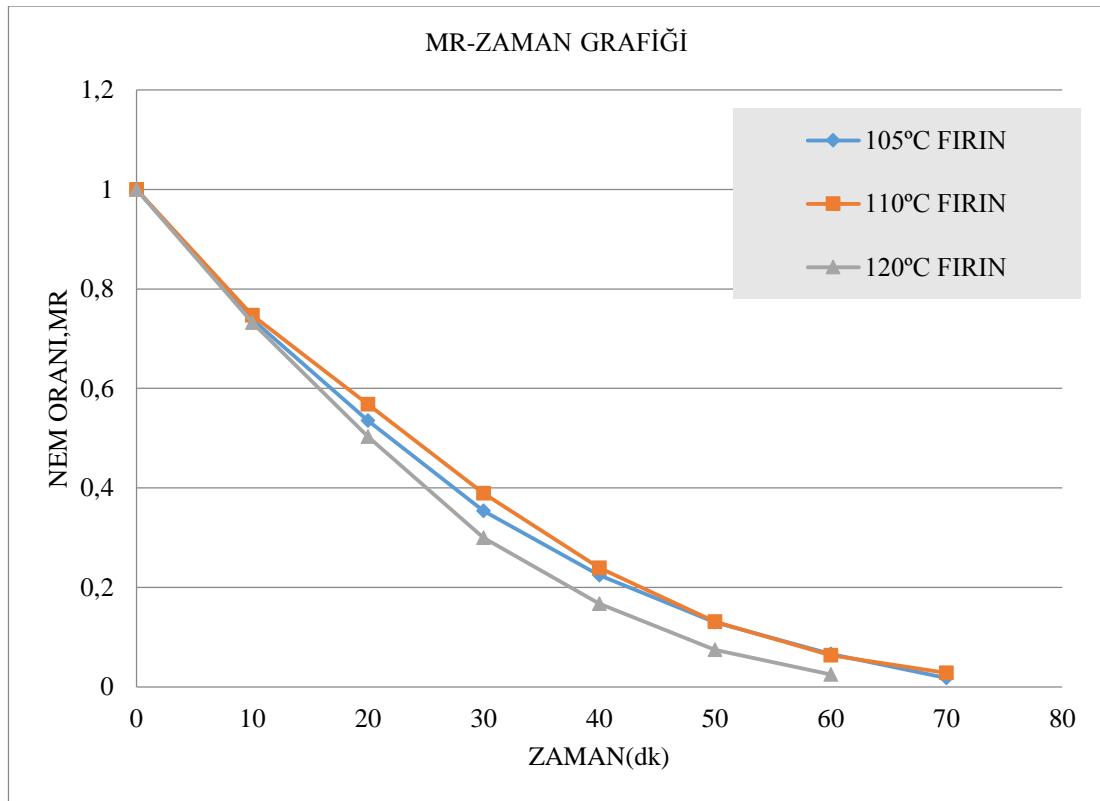
Ayva dış kabuğu soyularak 6 mm ve 15 mm kalınlığında dilimlenip, su içerisine daldırılmıştır. Laboratuvar tipi fırın içerisinde 105 °C, 110 °C ve 120 °C sıcaklıklarında kurutulmuştur. Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıkta ve farklı sıcaklıklarda kurutulan ayva dilimlerinin kurutma öncesi ve kurutma sonrasındaki görünüşleri Şekil 5.8.'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Laboratuvar tipi fırında a) Kurutma öncesi numune b) Kurutma sonrası numune

5.2.1. Laboratuvar tipi fırında kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin deney sonuçları

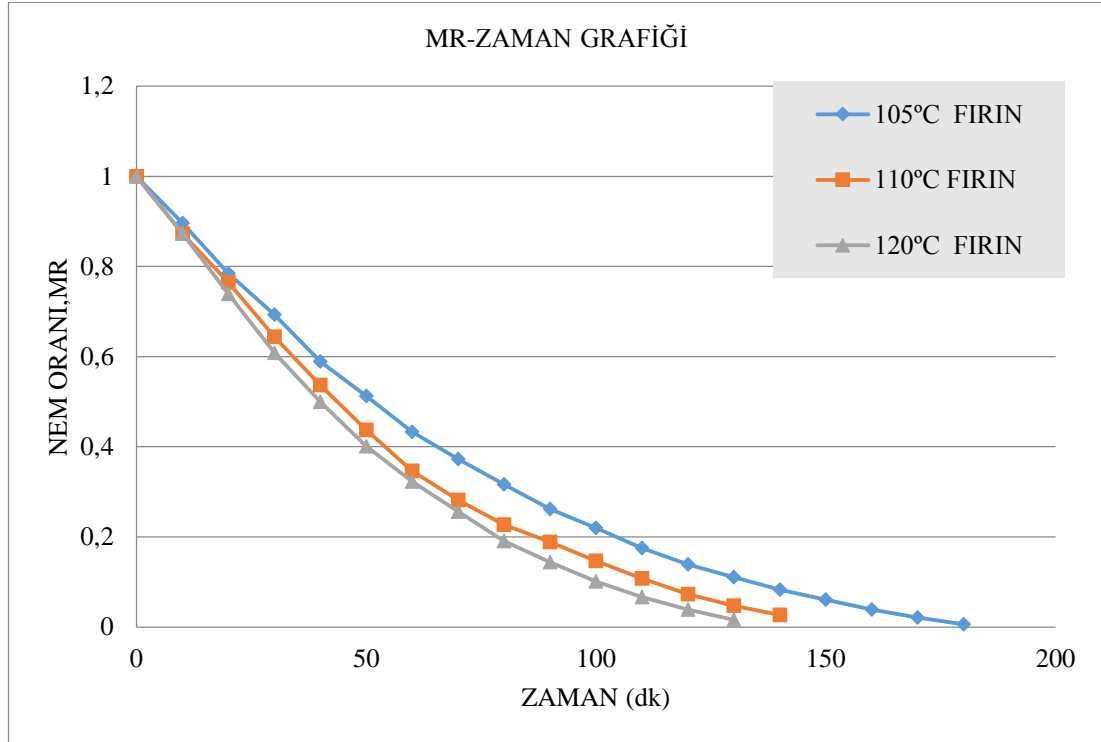
Laboratuvar tipi fırında 6 mm dilim kalınlığında yapılan ayva kurutma deneylerinde elde edilen nem oranının zamanla değişimi Şekil 5.9.'da görülmektedir. 120 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde 60 dakika sonunda nem oranı yaklaşık %2,5 değerine gelirken, 110 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde 70 dakika sonunda nem oranı %2,7 değerine gelir, 105 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde ise %1,7 değerine ancak 70 dakikada ulaşabildiği görülmüştür. Kuruma süresi, laboratuvar tipi fırın sıcaklığından etkilenmektedir. Laboratuvar tipi fırın sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır. Bunun sebebi hava içerisindeki bağıl nemin sıcaklıkla azalması ve nem difüzyonunun hızlanmasıdır.



Şekil 5.9. Laboratuvar tipi fırında 6 mm kalınlığında dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi

Laboratuvar tipi fırında 15 mm dilim kalınlığında yapılan ayva kurutma deneylerinde elde edilen nem oranının zamanla değişimi Şekil 5.10.'da görülmektedir. 120 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde 100 dakika sonunda nem oranı yaklaşık %10,1

değerine gelirken, 110 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde 110 dakika sonunda nem oranı %10,7 değerine gelir, 105 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde ise %10,1 değerine ancak 130 dakikada ulaşılabilirdiği görülmüştür. Laboratuvar tipi fırın sıcaklığının artmasına bağlı olarak nem kaybının hızlandığı ve kuruma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir.

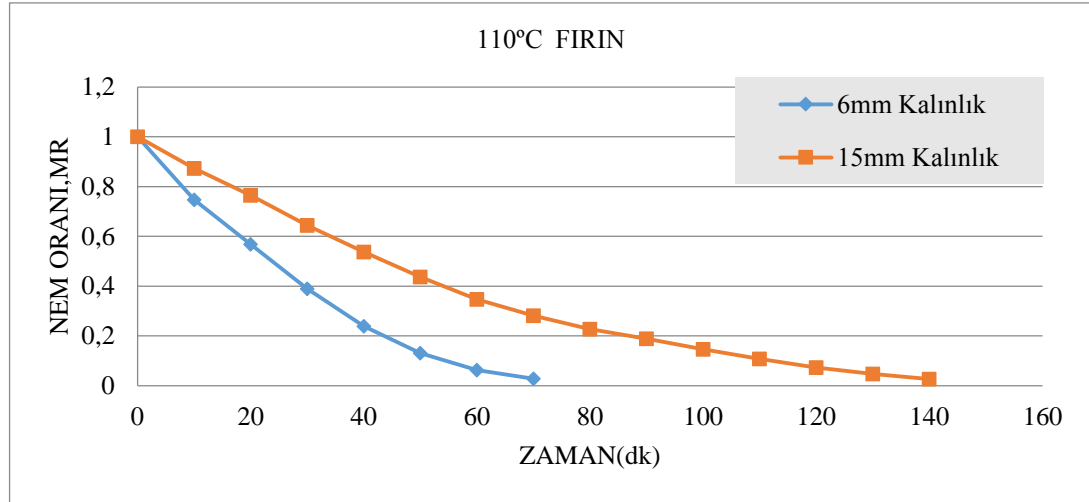


Şekil 5.10. Laboratuvar tipi fırında 15 mm kalınlığında dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi

Yalçın (2012) bir çalışmada, 4 mm kalınlığında dilimlenen ayvaları 35 °C ve 40 °C sıcaklıklarında kurutmuştur. Sonuç olarak sıcaklığın artmasının kurutma süresinin kısalmasına neden olduğu tespit etmiştir. Tzempelikos D. ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan bir çalışmada ayva dilimleri laboratuvar tipi konveksiyon kurutma ünitesinde farklı sıcaklıklarda kurutulmuşlardır ve çıkan sonuçlara göre sıcaklığın artırılmasıyla kuruma sürelerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda sıcaklık artışının kuruma süresini azalttığı ortaya çıkarmıştır. Şekil 5.9 ve 10 'da da görüldüğü gibi sonuçlar literatürle uyumludur.

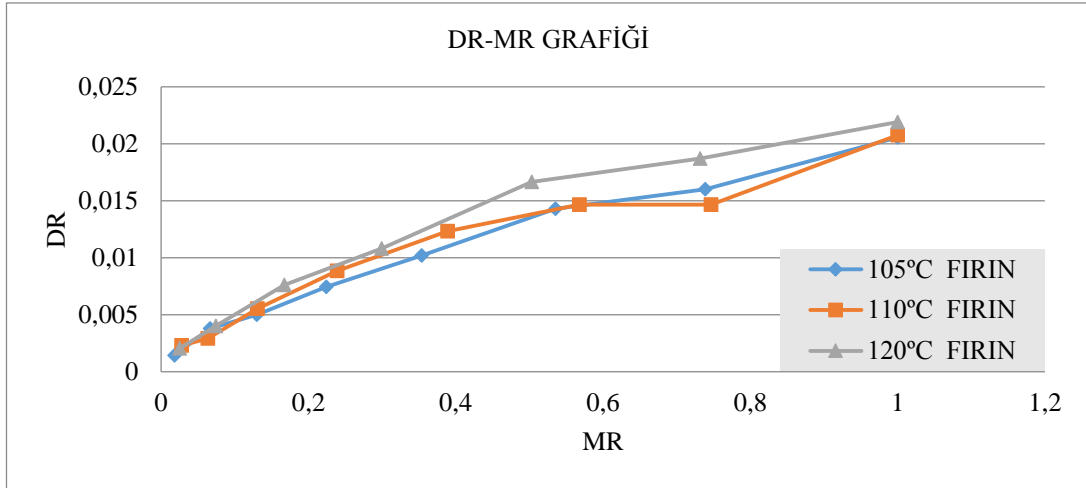
Farklı kalınlıklarda yapılmış deney sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5.11.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 6 mm dilim kalınlığında yapılan deneylerde 70 dakika sonunda nem oranı yaklaşık %2,7 değerine gelirken, 15 mm dilim

kalınlığında yapılan deneylerde ise yaklaşık %2,6 değerine ancak 140 dakikada ulaşılabilmiştir. Kuruma süresi kalınlık farkından etkilenmektedir. Kalınlığın azalmasına bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresinin kısaldığı görülmektedir.



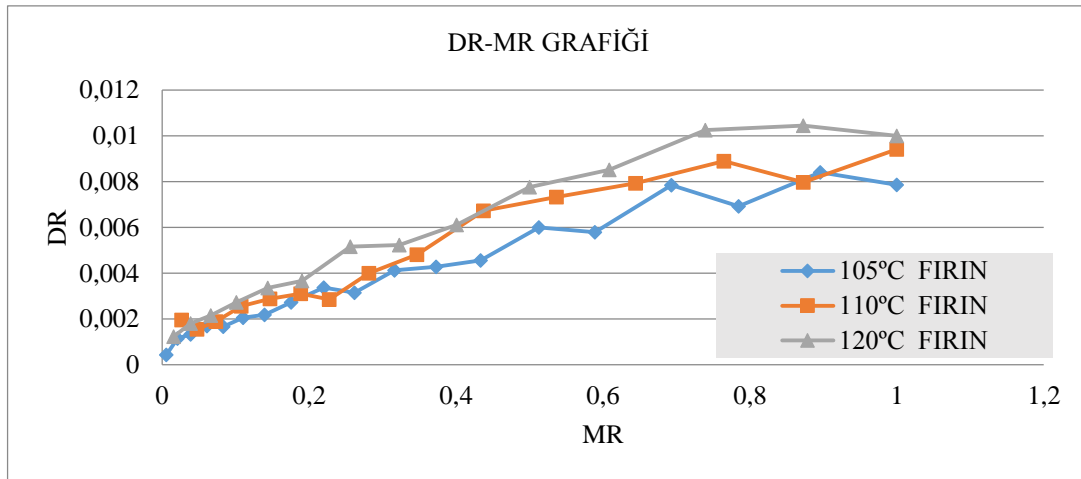
Şekil 5.11. Laboratuvar tipi fırında 110 °C sıcaklıkta farklı kalınlıkta dilimlenmiş ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi

Aşağıdaki Şekil 5.12.'de laboratuvar tipi fırında 6 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızlarının nem içeriğine göre değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sabit bir kurutma periyodu gözlenmiştir. 120 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde en yüksek kurutma hızına ulaşıldığı ve düşük sıcaklıklarda yapılan deneylerde kurutma hızının düştüğü tespit edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla kurutulan ayva dilimi içerisinde bulunan suyun azaldığı gözlenmiştir. Sıcaklığın azalmasıyla ayva diliminin yüzeyine olan nem transferinin daha yavaş olması nedeniyle kuruma hızının da daha yavaş olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.12. Laboratuvar tipi fırında 6 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda kurutulan ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi

Aşağıdaki Şekil 5.13.'de laboratuvar tipi fırında 15 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızlarının nem içeriğine göre değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sabit bir kurutma periyodu gözlenmemiştir. İki farklı azalan hız periyodunda kurumamanın gerçekleştiği görülmüştür. 120 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde en yüksek kurutma hızına ulaşıldığı ve düşük sıcaklıklarda yapılan deneylerde kurutma hızının düştüğü tespit edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla kurutulan ayva dilimi içerisinde bulunan suyun azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.13. Laboratuvar tipi fırında 15 mm kalınlığında farklı sıcaklıklarda kurutulan ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi

5.2.2. Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimlerinin ortalama efektif difüzyon katsayıları

Difüzyon katsayısı ürünün nemine ve ürünün karakteristik uzunluğuna bağlıdır. Tablo 5.8.'de farklı kalınlıkta ve farklı sıcaklıklarda yapılan deneyler için ortalama efektif difüzyon katsayıları verilmiştir. Burada deneysel veriler incelendiğinde ortalama difüzyon katsayılarının aynı numune kalınlığında laboratuvar tipi fırının sıcaklığının arttırılmasıyla arttığı gözlenmiştir. Farklı kalınlıklarda ise numunenin kalınlığının artması ortalama difüzyon katsayısını arttırmıştır.

Tablo 5.8. Laboratuvar tipi fırın ile kurutmada ortalama efektif difüzyon katsayıları

LABORATUVAR TİPİ FIRIN	Kalınlık 6 mm		Kalınlık 15 mm
	SICAKLIK	Ortalama D_{eff} m ² /s	Ortalama D_{eff} m ² /s
	105°C	$5,003 * 10^{-10}$	$1,975 * 10^{-9}$
	110°C	$5,659 * 10^{-10}$	$2,904 * 10^{-9}$
	120°C	$6,238 * 10^{-10}$	$3,633 * 10^{-9}$

Tzempelikos D. ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, ayva dilimleri laboratuvar tipi konveksiyon kurutma ünitesinde farklı sıcaklıklarda kurutulmuşlardır. Yapılan kuruma çalışmaları sonucunda efektif difüzyon katsayılarının $2,67 * 10^{-10}$ ile $8,17 * 10^{-10}$ arasında değiştiği ve sıcaklık artışı ile arttığı gözlenmiştir. Elde edilen difüzyon katsayıları literatürdeki mevcut veriler ile karşılaştırıldığında, laboratuvar tipi fırın ile kurutulan ayva dilimlerine ait difüzyon katsayılarının 6 mm kalınlığındaki numunelerde elde edilen verilerle uyumlu olduğu, 15 mm için elde edilen verilerin mevcut verilerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Difüzyon katsayısının yüksek olması kütle transferinin yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca difüzyon katsayısı laboratuvar tipi fırın sıcaklığının artmasından ve numunenin yüzey alanının artmasından etkilenmiştir.

5.2.3. Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin belirsizlik analizleri

Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıkta ve farklı sıcaklıklarda kurutulan ayva dilimlerinin belirsizlik analizlerini yapabilmek için deney süresince ayvanın kütlesi, nem içerikleri, zaman, sıcaklık ölçümleri yapılmıştır ve toplam hata belirlenmiştir. Yapılan belirsizlik analiz sonuçları Tablo 5.9.'da verilmiştir. Deneylerde nem oranı,

kuruma hızı ve nem içeriğini değerlerindeki belirsizliklerin deney şartlarına göre değiştiği tespit edilmiştir. Nem oranı, MR değerindeki en yüksek belirsizliğin 6 mm dilim kalınlığında ve 120 °C sıcaklığında yapılan deneylerde olduğu gözlenmiş ve bu deneyler için belirsizlik % 7,375 olarak bulunmuştur.

Tablo 5.9. Laboratuvar tipi fırında yapılan deneyler için belirsizlik analizleri

6 mm dilim kalınlığı			
FIRIN SICAKLIĞI	W _{MR}	W _{DR}	W _N
105°C	%± 6,961	%± 10,860	%± 5,435
110°C	%± 6,766	%± 8,976	%± 5,215
120°C	%± 7,375	%± 9,582	%± 5,778
15 mm dilim kalınlığı			
FIRIN SICAKLIĞI	W _{MR}	W _{DR}	W _N
105°C	%± 1,417	%± 2,832	%± 1,042
110°C	%± 1,542	%± 4,792	%± 1,146
120°C	%± 1,694	%± 2,573	%± 1,254

5.2.4. Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimleri için matematiksel modelleme sonuçları

Ayva dilimleri laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıkta ve farklı sıcaklıklarda kurularak nem içeriğinin zamanla değişimi için deneysel veriler elde edilmiştir. Bu veriler literatürde mevcut olarak bulunan 8 matematiksel model kullanılarak modellenmişlerdir. 6 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için model sonuçları Tablo 5.10.'da, 15 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için model sonuçları ise Tablo 5.11.'de verilmiştir. Tablolarda görüldüğü gibi 6 ve 15 mm'lik numunelerin kurutulmasında yapılan modelin regresyon katsayısı (R^2) 0,9985 ile 0,9999 arasında değişmiştir. Bununla birlikte tabloların incelenmesinden artıkların karelerinin toplamı (SSE) değerleri $5,649 * 10^{-5}$ ile 0,001285 arasında sifıra oldukça yakın çıkmış, hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE) 0,002377 ile 0,01793 arasında değişmiştir. Midilli modelinin 6 ve 15 mm'lik numuneler için en iyi kuruma olayını açıkladığı gözlenmiştir. Regresyon katsayısının 1'e yakın olması modelin kullanılabilceğini göstermektedir. Ayrıca artıkların karelerinin toplamı (SSE) ve hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) değerlerinin sifıra yakın olması modelin daha etkin olduğunu belirtmektedir.

Tablo 5.10. Laboratuvar tipi fırında 6 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için modelleme sonuçları

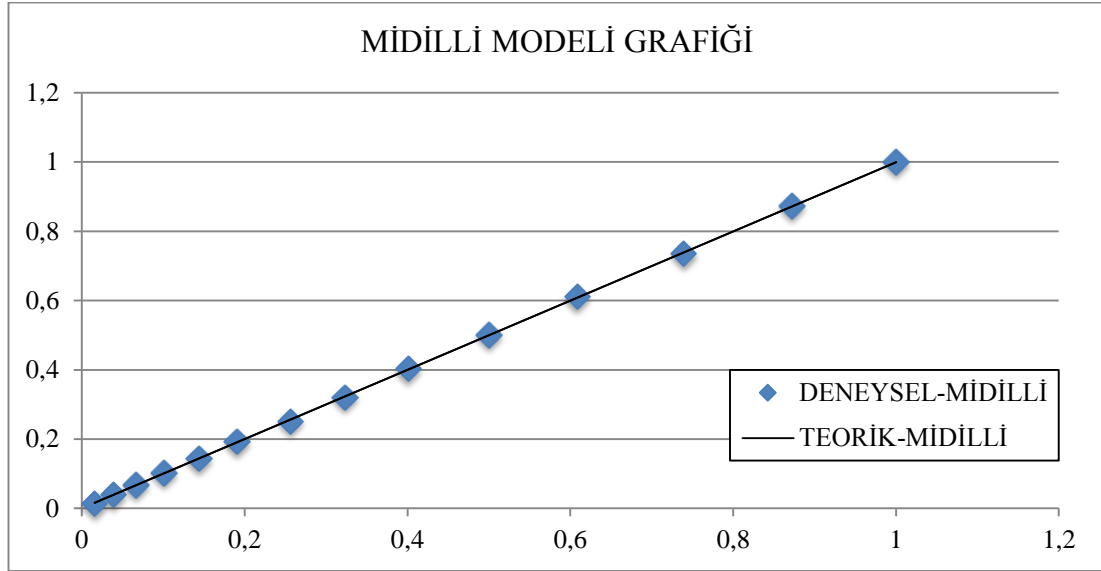
MODEL	DENEYLER	R ²	RMSE	SSE	MODEL SABİTLERİ
6 mm-kalınlık					
NEWTON	105°C	0,986	0,04132	0,01195	k=0,03638
	110°C	0,98	0,04952	0,01716	k=0,03469
	120°C	0,9799	0,05144	0,01588	k=0,04045
HENDERSON VE PABİS	105°C	0,9878	0,04172	0,01044	a=1,034 k=0,03755
	110°C	0,9823	0,05036	0,01521	a=1,038 k=0,03595
	120°C	0,9825	0,05271	0,01389	a=1,04 k=0,04195
PAGE	105°C	0,9979	0,01722	0,001779	k=0,01509 n=1,254
	110°C	0,9961	0,02353	0,003321	k=0,01204 n=1,302
	120°C	0,9984	0,016	0,00128	k=0,01301 n=1,339
LOGARİTMİK	105°C	0,9993	0,01094	0,0005986	a=1,186 b=-0,1796 k=0,02631
	110°C	0,9979	0,01902	0,001809	a=1,248 b=-0,2414 k=0,0231
	120°C	0,998	0,02006	0,001609	a=1,251 b=-0,239 k=0,02715
WANG VE SİNGH	105°C	0,9994	0,008914	0,0004768	b=-0,02686 c=0,0001855
	110°C	0,9994	0,008901	0,0004754	b=-0,02557 c=0,0001661
	120°C	0,9997	0,006768	0,000229	b=-0,02976 c=0,0002247
DİFÜZYON YAKLAŞIMI	105°C	0,9864	0,04821	0,01162	a=-0,6729 b=0,928 k=0,04117
	110°C	0,9958	0,02678	0,003585	a=-58,91 b=0,9879 k=0,06266
	120°C	0,9979	0,02047	0,001677	a=-23,72 b=0,9679 k=0,07681
MİDİLLİ	105°C	0,9998	0,007093	0,0002012	a=0,9983 b=-0,0009609 k=0,02073 n=1,127
	110°C	0,9985	0,01793	0,001285	a=0,9949 b=-0,001117 k=0,01695 n=1,163
	120°C	0,9996	0,009814	0,0002889	a=0,9981 b=-0,0009029 k=0,01687 n=1,23
İKİ KADEMELİ	105°C	0,9994	0,01115	0,0004973	a=-3,673 b=4,688 k1=0,01538 k2=0,01872
	110°C	0,9958	0,02993	0,003583	a=-7,544 b=8,543 k1=0,06529 k2=0,05964
	120°C	0,9815	0,06988	0,01465	a=-10,38 b=11,45 k1=0,039 k2=0,03938

Tablo 5.11. Laboratuvar tipi fırında 15 mm kalınlığındaki ayva dilimleri için modelleme sonuçları

MODEL	DENEYLER	R ²	RMSE	SSE	MODEL SABİTLERİ
	15 mm- kalınlık				
NEWTON	105°C	0,9851	0,03814	0,02618	k=0,01496
	110°C	0,9847	0,03911	0,02142	k=0,01774
	120°C	0,9821	0,04322	0,02429	k=0,01943
HENDERSON VE PABİS	105°C	0,9889	0,03379	0,01941	a=1,055 k=0,01577
	110°C	0,9889	0,03457	0,01554	a=1,055 k=0,01872
	120°C	0,9867	0,03876	0,01803	a=1,058 k=0,02055
PAGE	105°C	0,9977	0,01534	0,004001	k=0,005481 n=1,23
	110°C	0,9988	0,01131	0,001662	k=0,006338 n=1,248
	120°C	0,9983	0,01369	0,002248	k=0,006391 n=1,273
LOGARİTMİK	105°C	0,9995	0,007114	0,0008097	a=1,168 b=-0,1519 k=0,01139
	110°C	0,9984	0,01366	0,00224	a=1,181 b=-0,1608 k=0,01351
	120°C	0,999	0,01095	0,001318	a=1,206 b=-0,1866 k=0,01419
WANG VE SİNGH	105°C	0,9985	0,01225	0,002549	b=-0,01103 c=3,128*10 ⁻⁵
	110°C	0,9987	0,01171	0,001784	b=-0,01335 c=4,652*10 ⁻⁵
	120°C	0,9994	0,008211	0,0008091	b=-0,01441 c=5,328*10 ⁻⁵
DİFÜZYON YAKLAŞIMI	105°C	0,9896	0,03369	0,01816	a=14,71 b=0,9807 k=0,01134
	110°C	0,9863	0,03994	0,01914	a=2,15 b=0,9019 k=0,01573
	120°C	0,9821	0,04696	0,02426	a=1,342 b=0,9759 k=0,01927
MİDİLLİ	105°C	0,9999	0,002963	0,0001317	a=1 b=-0,0003738 k=0,00823 n=1,111
	110°C	0,9996	0,007268	0,0005811	a=0,9974 b=-0,0002921 k=0,007867 n=1,178
	120°C	0,9999	0,002377	5,649*10 ⁻⁵	a=1 b=-0,0004692 k=0,009026 n=1,162
İKİ KADEMELİ	105°C	0,9977	0,01635	0,00401	a=9,034 b=-8,03 k1=0,02444 k2=0,02632
	110°C	0,9988	0,01222	0,001642	a=-9,973 b=10,98 k1=0,03217 k2=0,03016
	120°C	0,9981	0,0161	0,002592	a=6,756 b=-5,75 k1=0,03263 k2=0,03648

Modelin sonuçları kullanılarak teorik nem içerikleri hesaplanmış ve deneysel veriler ile Şekil 5.14.'de karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi deneysel verileri gösteren noktaların eğri üzerinde veya eğriye çok yakın olduğu görülmektedir. Bu da kullanılan modelin, ayvaların kuruma olayındaki nem oranının değişimini

açıklamada kullanılabileceğini göstermiştir. Deneysel verilerin teorik veriler ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.14. Midilli modelinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

Tzempelikos D. ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, ayva dilimleri laboratuvar tipi konveksiyon kurutma ünitesinde farklı sıcaklıklarda kurutulmuş ve deneysel veriler literatürde mevcut olarak bulunan 3 matematiksel model kullanılarak modellenmiştir. Numunelerin kurutulmasında yapılan modelin regresyon katsayısı (R^2) 0,9954 ile 0,9981 arasında değişmiştir. Artıkların karelerinin toplamı (SSE) değerleri $1,37 * 10^{-4}$ ile $3,45 * 10^{-4}$ arasında, hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ise 0,0110 ile 0,0183 arasında değişmiştir. Tüm yapılan deney sonuçları neticesinde en uygun modelin Page ve Henderson ve Pabis modelleri olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmamızda laboratuvar tipi fırında kurutulan ayva dilimleri için çıkan deney sonuçlarına göre en uygun modelin regresyon katsayısı 0,9985 ile 0,9999 arasında değişmektedir ve literatürdeki diğer çalışmalara göre oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

5.2.5. Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıklardaki ayva dilimleri için enerji hesabı

Laboratuvar tipi fırında farklı kalınlıklarda ve farklı sıcaklıklarda yapılan ayva kurutma deneylerinin enerji hesapları Tablo 5.12. ve Tablo 5.13.'de verilmiştir. Tablolarda görüldüğü gibi tüketilen en yüksek enerji miktarı 105 °C sıcaklıkta ve 180 dk sürede kurutulan ayva dilimi için 6350,4 kj değerindedir. Tüketilen en düşük enerji miktarı ise 120 °C sıcaklıkta ve 60 dk sürede kurutulan ayva dilimi için 2419,2 kj değerindedir. Fırın sıcaklığı azaldıkça tüketilen toplam enerjide bir artış söz konusu olmuştur. Fırın sıcaklığının artırılmasıyla birlikte daha verimli kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde farklı kalınlıklarda ve aynı sıcaklıklarda yapılan enerji tüketimi hesabı sürenin azalması ile azalış göstermiştir. Bunun sebebi şu şekilde açıklanabilir; düşük fırın sıcaklıklarında üretilen ısı az olduğundan, üretilen ısının malzeme içerisinde transferi ve üründen çevreye olan ısı transferi için daha fazla zaman gereklidir. Böylece ürünün içerisindeki suyun buharlaşma sıcaklığına ulaşması için gereken süre uzamakta ve buharlaşma için harcanan enerji artmaktadır.

Aktaş M. ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışmada 4 ve 5 mm kalınlığındaki ayva dilimlerini kurutmuşlardır. Tüketilen en yüksek enerji miktarı 40 °C sıcaklıkta ve 360 dk sürede kurutulan ayva dilimleri için 8,901 kWh değerindedir. Tüketilen en düşük enerji miktarı ise 40 °C sıcaklıkta ve 240 dk sürede kurutulan ayva dilimleri için 2,208 kWh değerindedir. Tüketilen enerji miktarı artıkça kütle transferinin azaldığı görülmüştür.

Çalışmamızda ayva kurutma için tüketilen en yüksek enerji miktarı 180 dk'da 105 °C sıcaklıkta kurutulan ayva dilimi için 1,764 kWh'di, Aktaş M. ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışmada ise tüketilen en yüksek enerji miktarı 360 dk'da ve 40 °C sıcaklıkta kurutulan ayva dilimi için 8,901 kWh'di.

Tablo 5.12. Laboratuvar tipi fırında 6 mm kalınlığında ayva dilimleri için enerji hesabı

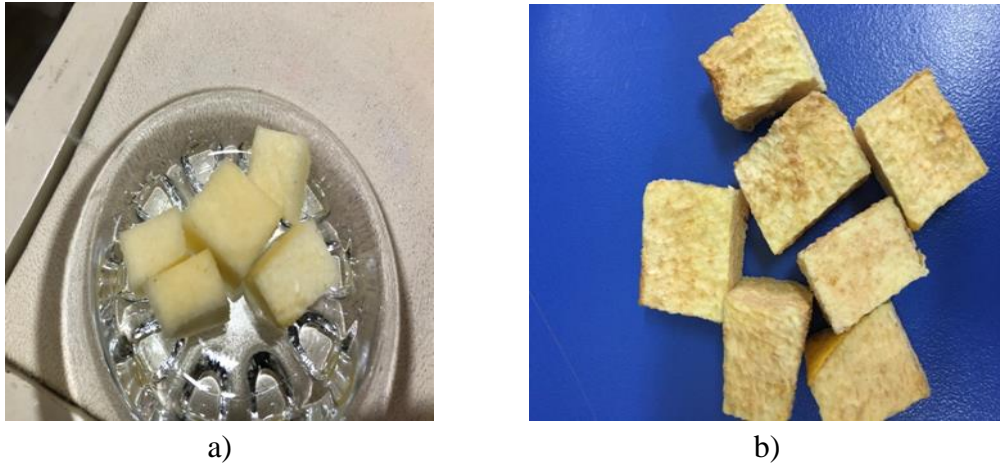
6mm kalınlık			
Sıcaklık	105°C	110°C	120°C
Toplam süre (dk)	70	70	60
Başlangıç nem içeriği (%)	78,7	82	81,7
Son nem içeriği (%)	1,4	2,2	2
Başlangıç nem içeriği-kb (%)	3,69	4,56	4,46
Son nem içeriği kb (%)	0,01	0,02	0,02
Kg cinsinden buharlaşan kütle-kg	3,68	4,53	4,44
1 kg için gerekli enerji -kj/kg	2257,00	2257,00	2257,00
Fırın gücü -w	588,00	616,00	672,00
Fırından çekilen toplam enerji -kj	2469,60	2587,20	2419,20
Özgül enerji tüketimi (mj/kg)	0,67	0,57	0,54
Kurutma enerji verimi	0,34	0,40	0,41

Tablo 5.13. Laboratuvar tipi fırında 15 mm kalınlığında ayva dilimleri için enerji hesabı

15mm Kalınlık			
SICAKLIK	105°C	110°C	120°C
TOPLAM SÜRE(dk)	180	140	130
BAŞLANGIÇ NEM İÇERİĞİ-KB	3,0816	2,8168	3,6296
SON NEM İÇERİĞİ (%)	0,0040	0,0194	0,0121
kg CİNSİNDEN BUHARLAŞAN KÜTLE-kg	3,0776	2,7974	3,6175
1 kg İÇİN GEREKLİ ENERJİ -kj/kg	2257,0	2257,0	2257,0
FIRIN GÜCÜ -W	588,0	616,0	672,0
FIRINDAN ÇEKİLEN TOPLAM ENERJİ -Kj	6350,4	5174,4	5241,6
ÖZGÜL ENERJİ TÜKETİMİ (Mj/kg)	2,0634	1,8497	1,4490
KURUTMA ENERJİ VERİMİ	0,11	0,12	0,16

5.3. Dondurarak Kurutmaya Yapılan Deneyler

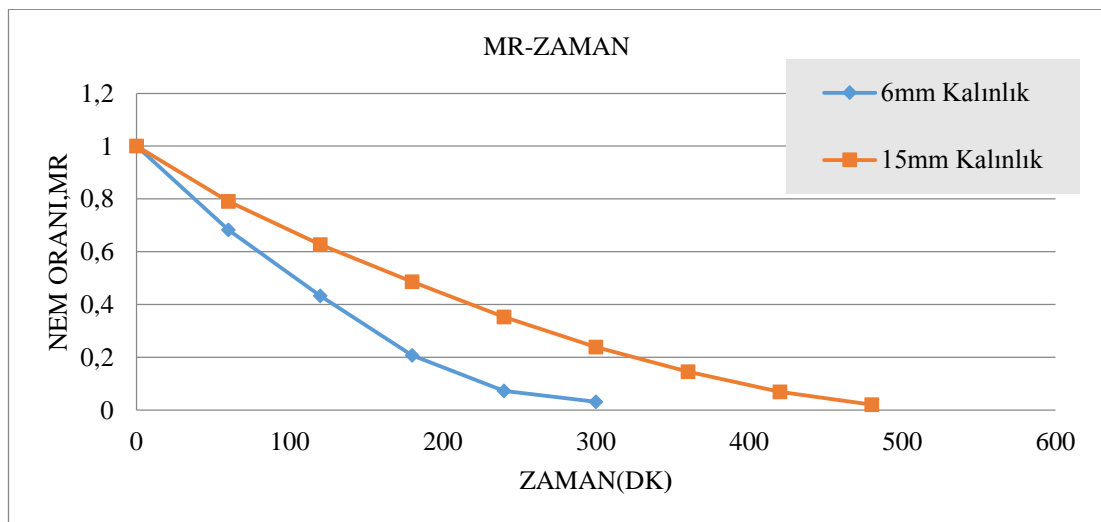
Ayva dış kabuğu soyularak 6 mm ve 15 mm kalınlığında dilimlenip, su içerisine daldırılmıştır. Herhangi bir solüsyon kullanılmamıştır. Dondurarak kurutma cihazında -45 °C ve 0,352 torr basınçta kurutma deneyleri yapılmıştır. Cihazın gücü 500 W'tır. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin kurutma öncesi ve kurutma sonrasındaki görünüşleri Şekil 5.15.'de verilmiştir.



Şekil 5.15. Dondurarak kurutma cihazında a) Kurutma öncesi numune b) Kurutma sonrası numune

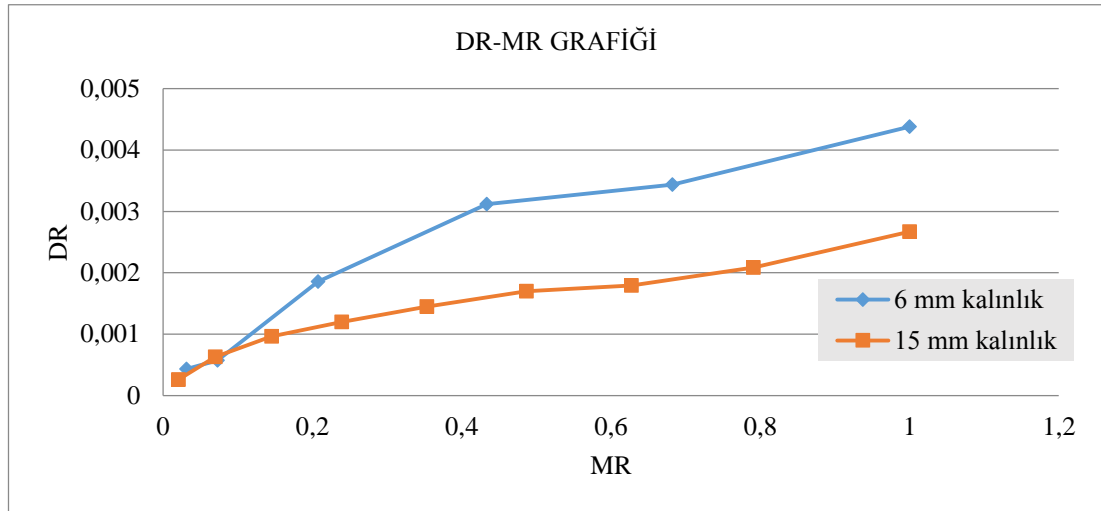
5.3.1. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin deney sonuçları

Dondurarak kurutma cihazında 6 mm ve 15 mm dilim kalınlığında yapılan ayva kurutma deneylerinde elde edilen nem oranının zamanla değişimi Şekil 5.16.'da görülmektedir. 6 mm dilim kalınlığında yapılan deneylerde 240 dakika sonunda nem oranı yaklaşık %7,2 değerine gelirken, 15 mm dilim kalınlığında yapılan deneylerde ise %7 değerine ancak 420 dakikada ulaşılabildiği görülmüştür. Böylece dondurarak yapılan kurutma deneylerinde dilim kalınlığının artırılmasının kuruma süresinin uzamasına neden olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda da gözlemlendiği gibi kalınlığın artırılması kuruma süresinin uzamasına neden olmuştur.



Şekil 5.16. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayvalara ait nem oranının zamanla değişimi

Aşağıdaki Şekil 5.17.'de dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin kurutma hızlarının nem içeriğine göre değişimi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 6 mm dilim kalınlığında yapılan deneylerde, 15 mm dilim kalınlığında yapılan deneylerden daha yüksek kurutma hızına ulaşılmıştır. Kurutulan ayva dilimi içerisinde bulunan suyun azalması ile difüzyonunda azaldığı gözlenmiştir. 15 mm kalınlığındaki ayva diliminin yüzeyine olan nem transferinin daha yavaş olması nedeniyle kuruma hızının da daha yavaş olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.17. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayvalara ait kurutma hızının nem içeriğine göre değişimi

5.3.2. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin ortalama efektif difüzyon katsayıları

Difüzyon katsayısı ürünün nemine ve ürünün karakteristik uzunluğuna bağlıdır. Tablo 5.14.'de farklı kalınlıkta kurutulan ayva dilimleri için ortalama efektif difüzyon katsayıları verilmiştir. Burada deneysel veriler incelendiğinde ortalama difüzyon katsayılarının numunenin kalınlığının artmasıyla arttığı gözlenmiştir.

Tablo 5.14. Dondurarak kurutmaya elde edilen ortalama efektif difüzyon katsayıları

DONDURARAK KURUTMA CİHAZI	GÜÇ 500W	KALINLIK 6 mm	KALINLIK 15 mm
		Ortalama D_{eff} m ² /s	Ortalama D_{eff} m ² /s
		$1,742 * 10^{-10}$	$8,108 * 10^{-10}$

Tzempelikos D. ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, ayva dilimleri laboratuvar tipi konveksiyon kurutma ünitesinde farklı sıcaklıklarda kurutulmuşlardır. Yapılan kuruma çalışmaları sonucunda efektif difüzyon katsayılarının $2,67 * 10^{-10}$ ile $8,17 * 10^{-10}$ arasında değiştiği ve sıcaklık artışı ile arttığı gözlenmiştir. Çalışmamızda literatürde bulunan değerlere yakın değerler bulunmuştur.

5.3.3. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimlerinin belirsizlik analizleri

Dondurularak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimleri için yapılan belirsizlik analiz sonuçları Tablo 5.15.'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi deneylerde nem oranı, kuruma hızı ve nem içeriğini değerlerindeki belirsizliklerin deneyde kullanılan ayvanın dilim kalınlığına göre değiştiği tespit edilmiştir.

Tablo 5.15. Dondurarak yapılan deneyler için belirsizlik analizleri

DİLİM KALINLIĞI	W _{MR}	W _{DR}	W _N
6 mm	%± 0,825	%± 0,951	%± 0,616
15 mm	%± 0,250	%± 0,528	%± 0,191

5.3.4. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıktaki ayva dilimleri için matematiksel modelleme sonuçları

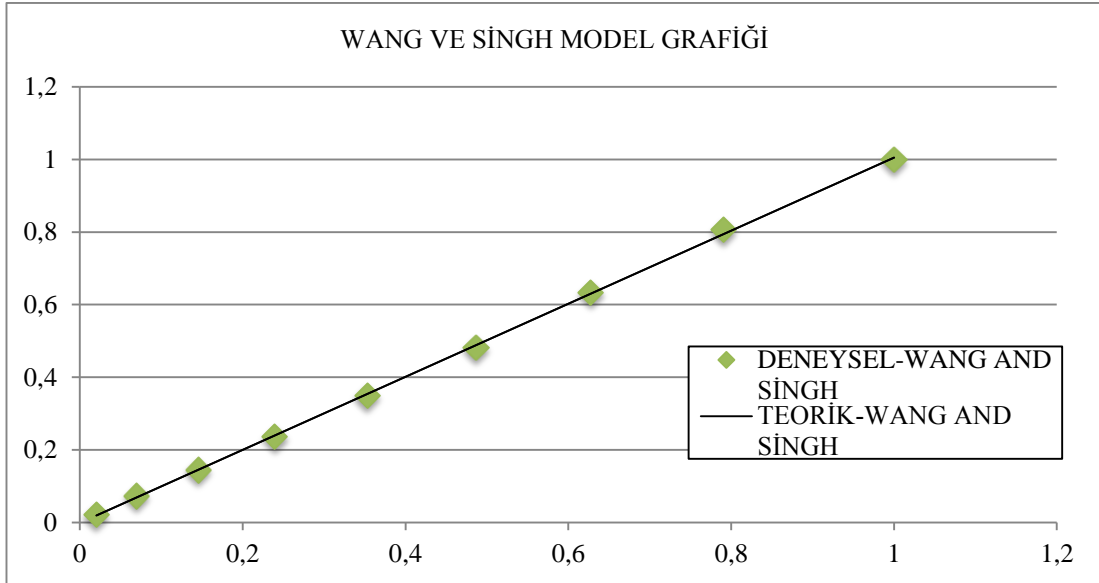
Ayva dilimleri dondurarak kurutma cihazında farklı kalınlıklarda kurutularak nem içeriğinin zamanla değişimi için deneysel veriler elde edilmiştir. Bu veriler literatürde mevcut olarak bulunan 8 matematiksel model kullanılarak modellenmişlerdir. Model sonuçları Tablo 5.16.'da verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi 6 ve 15 mm'lik numunelerin kurutulmasında yapılan modelin regresyon katsayısı (R^2) 0,9988 ile 0,9996 arasında değişmiştir. Bununla birlikte tablonun incelenmesinden artıkların karelerinin toplamı (SSE) değerleri 0,007244 ile 0,01467 arasında sifira oldukça yakın çıkmış, hata karele ortalamasının karakökü (RMSE) 0,0003673 ile 0,0008603 arasında değişmiştir. Wang ve Singh modelinin 6 ve 15 mm numuneler için en iyi kuruma olayını açıkladığı bulunmuştur. Regresyon katsayısının

1'e yakın olması modelin kullanılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca artıkların karelerinin toplamı (SSE) ve hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) değerlerinin sıfıra yakın olması modelin daha etkin olduğunu belirtmektedir.

Tablo 5.16. Dondurularak kurutulmuş ayva dilimleri için modelleme sonuçları

MODEL	DENEYLER	R ²	RMSE	SSE	MODEL SABİTLERİ
500W					
NEWTON	6mm	0,9774	0,05712	0,01632	k=0,008099
	15mm	0,9756	0,05281	0,02231	k=0,00467
500W					
HENDERSON VE PABİS	6mm	0,9763	0,06101	0,01489	a=1,035 k=0,00835
	15mm	0,9776	0,05418	0,02055	a=1,053 k=0,004779
500W					
PAGE	6mm	0,9973	0,0222	0,001971	k=0,001226 n=1,38
	15mm	0,9935	0,02908	0,005921	k=0,0008803 n=1,304
500W					
LOGARİTMİK	6mm	0,996	0,03097	0,002878	a=1,263 b=-0,2528 k=0,005311
	15mm	0,9996	0,008059	0,0003897	a=1,37 b=-0,3702 k=0,002671
500W					
WANG VE SINGH	6mm	0,9988	0,01467	0,0008603	b=-0,005942 c=8,924*10 ⁻⁶
	15mm	0,9996	0,007244	0,0003673	b=-0,003389 c=2,812*10 ⁻⁶
500W					
DİFÜZYON YAKLAŞIMI	6mm	0,9667	0,08943	0,02399	a=0,07824 b=0,004849 k=1,553
	15mm	0,9839	0,04963	0,01478	a=-3,357 b=0,8429 k=0,008651
500W					
MİDİLLİ	6mm	0,9983	0,02496	0,001246	a=-0,9971 b=-0,0001528 k=0,001819 n=1,282
	15mm	0,9995	0,00944	0,0004456	a=-0,9972 b=-0,0003477 k=0,002633 n=1,05
500W					
İKİ KADEMELİ	6mm	0,9594	0,1209	0,02922	a=9,538 b=-8,68 k2=0,001328 k2=0,001648
	15mm	0,9778	0,06383	0,02037	a=0,3902 b=0,6745 k1=0,00496 k2=0,004967

Modelin sonuçları kullanılarak teorik nem içerikleri hesaplanmış, deneysel veriler ile Şekil 5.18.'de karşılaştırılmıştır. Deneysel verileri gösteren noktaların eğri üzerinde veya eğriye çok yakın olduğu görülmektedir. Bu da kullanılan modelin, ayvaların kuruma olayındaki nem oranının değişimini açıklamada kullanılabilirliğini göstermiştir. Deneysel verilerin teorik veriler ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.18 Wang ve Singh modelinin deneysel veriler ile karşılaştırılması

Kırmacı (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, 5 ve 7 mm kalınlığında çilek dilimleri dondurularak kurutulmuştur. 5 ve 7 mm'lik numunelerin kurutulmasında yapılan modelin regresyon katsayısı (R^2) 0,9788 ile 0,9984 arasında değişmiştir. Artıkların karelerinin toplamı (SSE) değerleri $4,6690 * 10^{-6}$ ile $3,750879 * 10^{-3}$ arasında, hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) ise 0,002076 ile 0,058142 arasında değişmiştir. Page modelinin 5 ve 7 mm'lik numuneler için en iyi kuruma olayının açıkladığı sonucuna varılmıştır. Yapmış olduğumuz ayva kurutma çalışmamızda regresyon katsayısı (R^2) değerinin Kırmacı (2008) tarafından yapılan çalışmaya oranla daha iyi sonuçlar verdiği R^2 değerinin 1'e daha yakın olduğu görülmüştür.

5.3.5. Dondurarak kurutulan farklı kalınlıklardaki ayva dilimleri için enerji hesabı

Dondurarak kurutma cihazında farklı kalınlıklarda yapılan ayva kurutma deneylerinin enerji hesapları Tablo 5.17.'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi 6 mm dilim kalınlığında 300 dk'da kurutulan ayva dilimleri için toplam tüketilen enerji 2,5 kWh/kg, 15 mm kalınlığında 480 dk'da kurutulan ayva dilimleri için gerekli tüketilen toplam enerji ise 4 kWh/kg'tir. Farklı kalınlıktaki ayva dilimleri için

kuruma sürelerinin azalması tüketilen toplam enerji miktarında azalmasına ve kurutma veriminin artmasına neden olduğu gözlenmiştir.

Aktaş M. ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan bir çalışmada 4 ve 5 mm kalınlığındaki ayva dilimlerini kurutmuşlardır. Çalışmada tüketilen en yüksek enerji miktarı 40 °C sıcaklıkta ve 360 dk sürede kurutulan ayva dilimi için 8,901 kWh değerindedir. Tüketilen en düşük enerji miktarı ise 40 °C sıcaklıkta ve 240 dk sürede kurutulan ayva dilimi için 2,208 kWh değerindedir. Tüketilen enerji miktarı artıka kütle transferinin azaldığı görülmüştür.

Çalışmamızda ayva kurutma için tüketilen en yüksek enerji miktarı 480 dk'da 4 kWh/kg'tir. Aktaş M. ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışmada ise tüketilen en yüksek enerji miktarı 360 dk'da 8,901 kWh değerindedir.

Tablo 5.17. Dondurarak kurutmada farklı kalınlıktaki ayva dilimleri için enerji hesabı

Dondurarak Kurutma		
Kalınlık	6 Mm	15 Mm
Toplam Süre(Dk)	300	480
Başlangıç Nem İçeriği (%)	0,827	0,764
Son Nem İçeriği (%)	0,0258	0,0155
Başlangıç Nem İçeriği-Kb	4,7803	3,2373
Son Nem İçeriği (%)	0,0265	0,0157
Kg Cinsinden Buharlaşan Kütle-Kg	4,7539	3,2215
1 Kg İçin Gerekli Enerji -Kj/Kg	2257,0	2257,0
Kurutucu Gücü W	500,0	500,0
Kurutucudan Çekilen Toplam Enerji -Kj /Kg	9000,0	14400,0
Özgül Enerji Tüketimi (Mj/Kg)	1,8932	4,4699
Kurutma Enerji Verimi	0,12	0,05

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 6 mm ve 15 mm kalınlığındaki ayva numuneleri üç farklı tip kurutucuda test edilmiştir. Kurutma öncesinde numunelere herhangi bir ön işlem yapılmamıştır. Mikrodalga gücünün artmasıyla kurutma süresinin kısaldığı gözlenmiş, kalınlığın azalmasına bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresi azalmaktadır. Mikrodalga fırın için efektif difüzyon katsayısı $1,241 * 10^{-9}$ ile $1,588 * 10^{-7}$ arasında değişmiştir ve mikrodalga gücünün artmasıyla arttığı gözlenmiştir. Literatürde Tzempelikos D. ve arkadaşları (2015) efektif difüzyon katsayılarını $2,67 * 10^{-10}$ ile $8,17 * 10^{-10}$ arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Literatürdeki mevcut veriler ile karşılaştırıldığında daha yüksek değerlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Mikrodalga fırında nem oranındaki en yüksek belirsizlik 700 W güçte yapılan deneylerde % 10,897 olarak gözlenmiştir. Ayva dilimleri için yapılan modelleme de regresyon katsayısı (R^2) 0,9911 ile 0,9999 arasında değişen Midilli modeli olarak bulunmuştur. SSE ve RMSE değerlerindeki sıfıra oldukça yakın çıktığı görülmüştür. Karaaslan S. ve arkadaşları (2016) regresyon katsayısı (R^2) 0,9993 ile 1 arasında Midilli modeli olarak bulmuşlardır. Literatürdeki çalışmaya çok yakın değerler bulunmuştur. Ayva kurutma için tüketilen en yüksek enerji miktarı 120 W güçte ve 88 dk sürede 0,176 kWh olarak bulunmuştur. Kuş (2016) ise çalışmasında ayva için en yüksek enerji miktarını 2000 W güçte ve 95 dk sürede 2,600 kWh olarak bulmuştur. Oranlama yapacak olursak birbirine yakın değerler bulabiliriz.

Laboratuvar tipi fırında sıcaklığın artırılmasına bağlı olarak nem kaybı hızlanmakta ve kuruma süresinin azaldığı görülmüştür. Kurutma süresi 50 ile 130 dk arasında değişmiştir. Nem oranı ise % 1,7 ile % 10,7 arasında değişmiştir. Literatürdeki çalışmalarda da sıcaklığın artırılmasıyla kurutma süresinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Laboratuvar tipi için efektif difüzyon katsayısı $5,003 * 10^{-10}$ ile $3,633 * 10^{-9}$ arasında değişmiştir ve sıcaklığın artmasıyla arttığı gözlenmiştir. Literatürde

Tzempelikos D. ve arkadaşları (2015) efektif difüzyon katsayılarını $2,67 * 10^{-10}$ ile $8,17 * 10^{-10}$ arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Literatürdeki mevcut veriler ile karşılaştırıldığında daha yüksek değerlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Yüksek olması kütle transferinin daha yüksek olduğunu da göstermektedir. Laboratuvar tipi fırında nem oranındaki en yüksek belirsizlik $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yapılan deneylerde % 7,375 olarak gözlenmiştir. Ayva dilimleri için yapılan modelleme de regresyon katsayısı (R^2) 0,9985 ile 0,9999 arasında değişen Midilli modeli olarak bulunmuştur. SSE ve RMSE değerlerindeki sıfıra oldukça yakın çıktığı görülmüştür. Tzempelikos D. ve arkadaşları (2015) regresyon katsayısı (R^2) 0,9954 ile 0,9981 arasında Page ve Henderson ve Pabis modelleri olarak bulmuşlardır. Literatürdeki çalışmalara göre oldukça iyi sonuçlar bulunmuştur. Ayva kurutma için tüketilen en yüksek enerji miktarı $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve 180 dk sürede 1,764 kWh olarak bulunmuştur. Aktaş M. ve arkadaşları (2012) ise çalışmasında ayva için en yüksek enerji miktarını $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve 360 dk sürede 8,901 kWh olarak bulmuştur.

Dondurarak kurutmada kalınlığın artmasıyla kuruma süresinin uzadığı görülmüştür. En yüksek kurutma süresi 420 dakika sürmüştür ve nem oranı % 7 değerine ulaşmıştır. Kalınlığın artmasıyla ayva diliminin yüzeyine olan nem transferi daha yavaş oluşmakta ve bu nedenle kuruma hızı daha yavaş ilerlemekte olduğu gözlenmiştir. Efektif difüzyon katsayısı $1,742 * 10^{-10}$ ile $8,108 * 10^{-10}$ arasında değişmiştir ve kalınlığın artmasıyla arttığı gözlenmiştir. Literatürde Tzempelikos D. ve arkadaşları (2015) efektif difüzyon katsayılarını $2,67 * 10^{-10}$ ile $8,17 * 10^{-10}$ arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Literatürdeki mevcut veriler ile karşılaştırıldığında daha yüksek değerlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Dondurarak kurutmada nem oranındaki en yüksek belirsizlik 6 mm dilim kalınlığında yapılan deneylerde % 0,825 olarak gözlenmiştir. Ayva dilimleri için yapılan modelleme de regresyon katsayısı (R^2) 0,9988 ile 0,9996 arasında değişen Wang ve Singh modeli olarak bulunmuştur. SSE ve RMSE değerlerindeki sıfıra oldukça yakın çıktığı görülmüştür. Kırmacı (2008) regresyon katsayısı (R^2) 0,9788 ile 0,9984 arasında Page modeli olarak bulmuştur. Literatürdeki çalışmaya oranla daha iyi sonuçlar verdiği R^2 değerinin 1'e daha yakın olduğu görülmüştür. Ayva kurutma için tüketilen en yüksek enerji miktarı 15 mm kalınlığında ve 480 dk sürede 4 kWh/kg

olarak bulunmuştur. Aktaş M. ve arkadaşları (2012) ise çalışmasında ayva için en yüksek enerji miktarını 40 °C sıcaklıkta ve 360 dk sürede 8,901 kWh olarak bulmuştur.

Çalışmamızda kullandığımız mikrodalga fırın, laboratuvar tipi fırın ve dondurarak kurutma cihazında yapılan ayva kurutma deney sonuçlarına göre en kısa sürede ve en az enerji tüketimi ile kurutma işlemini gerçekleştiren yöntemin mikrodalga fırın ile kurutma olduğunu gözlenmiştir.

Sonuç olarak çalışmamızdan elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Mikrodalga gücün artmasıyla kuruma süresi azalmaktadır.
- Kalınlığın artmasıyla birlikte kuruma süresinde ve efektif difüzyon katsayılarında artış gözlenmektedir.
- Mikrodalga gücün artırılması ortalama efektif difüzyon katsayısını artırır.
- Mikrodalga gücü azaldıkça tüketilen toplam enerji artmaktadır.
- Laboratuvar tipi fırın sıcaklığının artması ve numunelerin kalınlığının azalması, kuruma süresini azaltmaktadır.
- Laboratuvar tipi fırın sıcaklığının ve kalınlığının artması efektif difüzyon katsayısının arttırmaktadır.
- Laboratuvar tipi fırın sıcaklığının azalması tüketilen enerjide artışa sebep olmaktadır.
- Dondurarak kurutulan numunelerde kalınlığın artması kuruma süresini artırır.

KAYNAKLAR

- Aktaş, C. 2015. Patlıcanın kurutma ve rehidrasyon karakteristiklerinin belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Aktaş, M. İlbaş, M., Yalçın, A. ve Şahin, M. 2013. Kızıl ötesi ışınımlı bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(4): 767-775.
- Baş, B. 2010. Mısırın çeşitli kurutma yöntemleriyle kurutulması üzerine bir araştırma. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Bolat, İ. ve İkinci, A. 2015. Eşme ayva çeşidinin GAP bölgesindeki performansı. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 19(1): 16-23.
- Çakmak, G. 2007. Çekirdekli üzüm kurutmada güneş enerjisi destekli dönel akışlı kurutucu tasarımı. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Çalışkan, K. 2002. Mikrodalga enerjisi ile kurutma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çelen, İ. H., Çelen, S., Moralar, A., Buluş, H. N. ve Önler, E. 2015. Mikrodalga bantlı kurutucuda patatesin kurutulabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. Electronic Journal of Vocational Colleges-Special Issue, The Latest Trends in Engineering, 5(4): 57-69.
- Çelen, S. 2010. Mikrodalga ve vakum kurutucuda bazı gıda ürünlerinin kurutulması ve modellenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Cemeroğlu, B. 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği.
- Cemeroğlu, B. 2013a. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 1. Cilt. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, 1-236.

- Cemeroğlu, B. 2013b. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. Cilt. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, 479-626.
- Darıcı, S. 1998. Borularda akış tıkanmasının türbülanslı ısı transferine etkileri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Darıcı, S. ve Şen, S. 2011. Kivi Meyvesinin Kurutulmasında Kurutma Havası Hızının Kurumaya Etkisinin İncelenmesi. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Demiray, E. 2015. Havuç ve kırmızıbiberin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulması, kuruma karakteristiklerinin ve bazı kalite özelliklerindeki değişimin modellenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Doymaz, İ. 2005. Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering*, 61(3): 341-346.
- Doymaz, İ. 2009. An experimental study on drying of green apples. *Drying Technology, An International Journal*, 27(3): 478-485.
- Eren, Ö., Soysal, Y., Öztekin, S. ve Doğan, Z. S. 2005. Mikrodalga Sistemi ile Donatılmış bir Bantlı Kurutucuda Maydanoz Kurutulması. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, Antalya.
- Genceli, Ö. F. 2000. Ölçme Tekniği. Birsen Yayınevi.
- Gülen, H. Krebs, S.L., Küden, A. ve Arora, R. 2002. Armut ve ayvada nişasta jel elektroforez tekniğine göre peroksidaz izoenzim analizleri için en uygun yöntemin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16: 191-200.
- Güngör, A. 2013. Sebze ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular ve Kurutma Teknolojileri. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 43-63, İzmir.
- Güngör, A. ve Özbalt, N. 1998. Endüstriyel Kurutma Sistemleri 3. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiri Kitabı, 2. Cilt. MMO Yayın, 203-737.
- Gürlek, G., Akdemir, Ö. ve Güngör, A. 2015. Gıda kurutulmasında ısı pompalı kurutucuların kullanımı ve elma kurutmada uygulanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 21(9): 398-403.

- Heybeli, N., Ertekin, C. ve Dikici, G. 2013. Isıtılmış Hava Destekli Bir Mikrodalga Kurutucu ile Bezelye Kurutulması. 28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, Antalya.
- İsaeva, J. 2007. Kayısı kurutmasının deneysel ve teorik olarak araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- İzgi, C. 2012. Farklı kurutma metotlarının domatesteki likopen miktarına etkisi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- İzli, N. 2016. Kayısının konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif yöntemleriyle kurutulması ve matematiksel modellenmesi. Anadolu Tarım Bilim Dergisi, 31: 375-384.
- Karaaslan, S. 2008. Sebze ve endüstri bitkilerinin mikrodalgayla kurutulması üzerine çalışmalar. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Kara, T. 2008. Muzun farklı kurutma şartlarındaki kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Kırmacı, V. 2008. Dondurarak kurutma sisteminin tasarımı, imalatı ve performans deneylerinin yapılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Doktora Tezi.
- Kocayığit, F. 2010. Bazı sebzelerin kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Kuş, S. 2016. Mikrodalga enerjisiyle ayva ve armut meyvesinin kuruma davranışı ve modellenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering, 44(2): 71-78.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwi fruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering, 48(2): 177-182.
- Mengeş, H. O. ve Ertekin, C. 2006. Havucun ince tabaka kuruma karakteristiklerinin incelenmesi. Tarım Makineleri Bilim Dergisi, 2(4): 353-362.

- Nasıroğlu, Ő. 2007. Kırmızı biber, elma ve pırasanın kurutulmasında infrared kurutma tekniğinin kullanılması. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Özel, Ö.F. 2010. Balkabağının farklı kurutma şartlarındaki kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Özsoy, E. 2015. Mikrodalga bantlı kurutucuda elma (Gala) dilimlerinin kuruma davranışı. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Parlak, N. 2014. Akışkan yataklı kurutucuda zencefilin kuruma kinetiğinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(2): 261-269.
- Polat, T. 2012. Çam fıstığı kozalağı kurutma sistemi tasarımı ve imalatı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Doktora Tezi.
- Saraçoğlu, T., Üçer, N. ve Özarslan, C. 2010. Yabani ve Limon Çeşidi Ayva Meyvelerinin Bazı Fiziksel ve Hidrodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Hatay.
- Şahin, F. 2010. Domates kurutmada farklı yöntemlerin karşılaştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Şen, S. 2010. Tarım ürünlerinin kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M. ve Mutlu, A. 2009. Farklı kurutma koşullarının Amasya elmasının kuruma süresi ve kalitesi üzerine etkisi. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 2(2): 1-6.
- Tzempelikos, D., Bardakas, A., Vouros, A., Tsepenekas, D., Filios, A. ve Margarıs, D. 2015. Numerical modeling of heat and mass transfer during convective drying of cylindrical quince slices. Journal of Food Engineering, 156: 10-21.
- Yılmaz, M. 2007. Pozantı tarımsal araştırma ve uygulama merkezinde yetiştirilen ayvaların reçele işlenmeye uygunlukları üzerine bir araştırma. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

Fikriye Bilaloğlu, 09.09.1986'da Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2004 yılında Ali Dilmen Lisesi'nden mezun oldu. 2007 yılında başladığı Hitit Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaptı. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi'nde yüksek lisansa başladı.