



**T.C.  
MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ULTRASONİKASYON DESTEKLİ VAKUM  
İMPREGNASYON TEKNİĞİNİN ELMA KÜPLERİNİN  
KURUMA KİNETİĞİ VE ANTIOKSİDAN AKTİVİTESİ  
ÜZERİNE ETKİSİ**

**Ceren KARACAOĞLU**

**BURDUR, 2017**

**T.C.  
MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ULTRASONİKASYON DESTEKLİ VAKUM İMPREGNASYON  
TEKNIĞİNİN ELMA KÜPLERİNİN KURUMA KİNETİĞİ VE  
ANTIOKSİDAN AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**Ceren KARACAOĞLU**

**Danışman: Prof. Dr. Yusuf YILMAZ**

**BURDUR, 2017**

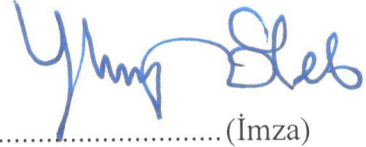
## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Ceren KARACAOĞLU tarafından Prof. Dr. Yusuf YILMAZ yönetiminde hazırlanan “Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon Tekniğinin Elma Küplerinin Kuruma Kinetiği ve Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkisi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 12/09/2017

**Prof. Dr. Yahya TÜLEK**

(Başkan)



Pamukkale Üniversitesi.....

(İmza)

**Prof. Dr. Yusuf YILMAZ**

(Jüri Üyesi)



Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi.....

(İmza)

**Prof. Dr. Oğuz GÜRSOY**

(Jüri Üyesi)



Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi.....

(İmza)

### ONAY

Bu Tez, Enstitü Yönetim Kurulu'nun \_\_\_\_\_ Tarih ve \_\_\_\_\_ Sayılı Kararı ile Kabul Edilmiştir.

(İmza)

.....  
**Prof.Dr. İskender GÜLLE**

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisans Üstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği' nin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon Tekniğinin Elma Küplerinin Kuruma Kinetiği Ve Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkisi”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynakça listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazım sıralamasında patent ve telif haklarını ihmal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

12/09/2017

Ceren KARACAOĞLU



## **TEŞEKKÜR**

Tez konusu seçimi, tezin yönlendirilmesi ve sonuçlandırılması aşamalarında desteğini esirgemeyen Danışmanım Prof. Dr. Yusuf YILMAZ'a teşekkür ederim. Tez çalışmam sırasında vermiş oldukları katkılardan dolayı Prof. Dr. Oğuz GÜRSOY, Gediz Un Fabrikası sahibi Cavit DİNÇ, Pamukkale Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. İlyas ÇELİK ile Dr. Engin DEMİRAY ve Kimya Mühendisi Kamil BİÇER'e şükranlarımı sunarım. Tez çalışmam sırasında desteğini esirgemeyen meslektaşlarım Melih ÇAKICI, Hilal UYAR ile Eda ÖZCAN ve tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili annem Naciye KARACAOĞLU ile babam Halil İbrahim KARACAOĞLU'na teşekkür ederim.

0401-YL-16 No'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

**Burdur, 2017**

**Ceren KARACAOĞLU**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL DİZİNİ .....	v
ÇİZELGE DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	4
2.1. Kurutma .....	4
2.2. Kurutmanın Temelleri.....	4
2.3. Gıdaların Kurutulmasının Önemi .....	5
2.4. Kurutmanın Kinetiği .....	6
2.4.1. Nem Oranı .....	6
2.4.2. Nem İçeriği .....	7
2.5. Kurutma Süresine Ait Kuruma Periyotları .....	7
2.6. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler .....	10
2.6.1. Kurutma Havaının Sıcaklığı.....	11
2.6.2. Kurutma Havaının Bağıl Nemi .....	11
2.6.3. Kurutma Havaının Hızı .....	12
2.6.4. Kurutulacak Gıdanın Özellikleri .....	12
2.6.5. Kurutulacak Ürünün Boyutu .....	13
2.6.6. Kurutulacak Ürünün Miktarı .....	13
2.6.7. Kurutma Sırasında Ürünün Karıştırılması .....	13
2.6.8. Kurutma Ortam Basıncı.....	14
2.7. Başlıca Kurutma Yöntemleri .....	14
2.7.1. Sıcak Hava ile Kurutma.....	16
2.7.2. Vakumla Kurutma .....	17
2.7.3. Mikrodalga ile Kurutma .....	17
2.8. Kurutma Öncesi Ön İşlemler .....	19
2.8.1. Kükürtleme .....	19
2.8.2. Alkali Çözelti Uygulaması .....	21
2.8.3. Haşlama .....	21
2.8.4. Tuzlama .....	23
2.8.5. Değişik Çözeltilerin Uygulanması.....	24
2.8.6. Ultrases Uygulaması.....	24
2.8.7. Ozmotik Dehidrasyon.....	25
2.8.8. Vakum İmpregnasyon Yöntemi.....	26
2.8.8.1. Vakum İmpregnasyon Uygulama Aşamaları.....	27
2.8.8.2. Vakum İmpregnasyon Uygulaması .....	27
2.8.8.3. Vakum İmpregnasyonu Etkileyen Faktörler.....	28
2.8.8.4. Vakum İmpregnasyon Uygulamalarında Oluşan Değişiklikler.....	29
2.8.8.5. Vakum İmpregnasyonun Kurutma Öncesi Ön İşlem olarak Kullanılmasının Amacı .....	30

2.9.Granny Smith Elma .....	31
2.9.1. Granny Smith Özellikleri.....	32
2.10.Kurutmanın Matematiksel Modellemeleri .....	32
2.10.1. Handerson ve Pabis Modeli .....	34
2.10.2. Newton Modeli .....	34
2.10.3. Page Modeli .....	34
2.10.4. Modifiye Page Modeli .....	34
2.10.5. Logaritmik Model.....	35
2.11. Bazı Gıda Ürünleri İçin Kurutma Kinetiği Çalışmaları.....	35
3. MATERYAL VE METOT .....	43
3.1. Materyal .....	43
3.1.1. Denemelerde Kullanılan Sistemler ve Ölçü Aletleri .....	43
3.1.2. Deneylede Kullanılan Cihazlar .....	44
3.2. Kullanılan Kimyasallar .....	45
3.3. Metot.....	45
3.3.1. Örnek Hazırlama.....	46
3.3.2. Vakum İmpregnasyon Çözeltilsinin Hazırlanması.....	46
3.3.3. Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşlemler .....	47
3.3.3.1. Daldırma Yöntemi.....	47
3.3.3.2. Vakum İmpregnasyon Yöntemi .....	47
3.3.3.3. Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon Yöntemi.....	47
3.3.4. Analiz Yöntemleri .....	48
3.3.4.1. Toplam Kuru Madde İçeriklerinin Belirlenmesi.....	48
3.3.4.2. Renk Değişiminin Belirlenmesi .....	48
3.3.4.3. Ekstraktlarının Hazırlanması.....	49
3.3.4.4. DPPH Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi .....	49
3.3.4.5. Toplam Fenolik Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi .....	49
3.3.4.6. ABTS Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi .....	50
3.3.5. Kurutma Kinetiğinin Belirlenmesi .....	50
3.3.5.1. Nem İçeriğinin Hesaplanması .....	50
3.3.5.2. Kuruma Hızının Hesaplanması .....	51
3.3.5.3. Nem Oranının Hesaplanması .....	51
3.3.6. Elma Küplerinin Renk Degradasyonunun Reaksiyon Derecesinin Belirlenmesi .....	51
3.3.6.1. Sıfıncı Dereceden Kinetik Model .....	51
3.3.6.2. Birinci Dereceden Kinetik Model .....	52
3.3.6.3. İkinci Dereceden Kinetik Model.....	52
3.3.7. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması.....	52
3.3.8. Q <sub>10</sub> Değerinin Hesaplanması .....	53
3.3.9. Tekstür Analizleri .....	53
3.3.10. Su Aktivitesinin Belirlenmesi.....	54
3.3.11. İstatistiksel Analizler .....	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	55
4.1. Nem İçerikleri Değişimi .....	55

4.2. Uygulanan Ön İşlemlerde Gerçekleşen Kütle Geçişleri.....	57
4.3. Kurutma Kinetiğine Ait Matematiksel Modelleme Çalışmaları.....	58
4.4. Renk Degradasyonu ve Reaksiyon Kinetiğinin Belirlenmesi .....	65
4.5. Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi.....	67
4.5.1. DPPH Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi .....	67
4.5.2. Toplam Fenolik Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi .....	69
4.5.3. ABTS Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi .....	72
4.6. Elma Küplerinin Tekstür Analizleri .....	74
4.7. Kurutulmuş Elma Örneklerinin Su Aktivitesi Değerlerinin Belirlenmesi .....	77
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKÇA.....	80
ÖZGEÇMİŞ .....	87





## ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga spektrumu.....	18
Şekil 2.2. Bir mikrodalga devresi .....	18
Şekil 3.1. Konveksiyonel tip kurutucu .....	43
Şekil 3.2. Nicer Dicer Plus doğrayıcı .....	44
Şekil 3.3. Tekstür analiz cihazı.....	45
Şekil 3.4. Kurutma öncesi küp olarak doğranmış Granny Smith elma .....	46
Şekil 4.1. Farklı ön işlemler kullanılarak 40°C sıcaklıkta kurutulan elma örneklerinin nem oranlarının zamana bağlı değişimi .....	55
Şekil 4.2. Farklı ön işlemler kullanılarak 50°C sıcaklıkta kurutulan elma örneklerinin nem oranlarının zamana bağlı değişimi .....	56
Şekil 4.3. Farklı ön işlemler kullanılarak 60°C sıcaklıkta kurutulan elma örneklerinin nem oranlarının zamana bağlı değişimi .....	56
Şekil 4.4. Vakum impregnasyon çözeltisinin üç ön işlem için zamana bağlı Brix değişimi.....	57
Şekil 4.5. Ön işlem olarak daldırma yöntemi kullanılan elma örneklerinin 40°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi .....	60
Şekil 4.6. Ön işlem olarak daldırma yöntemi kullanılan elma örneklerinin 50°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi .....	60
Şekil 4.7. Ön işlem olarak daldırma yöntemi kullanılan elma örneklerinin 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi .....	61
Şekil 4.8. Ön işlem olarak vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 40°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	61
Şekil 4.9. Ön işlem olarak vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 50°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	62
Şekil 4.10. Ön işlem olarak vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	62

**Şekil 4.11.** Ön işlem olarak ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 40°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi ..... 63

**Şekil 4.12.** Ön işlem olarak ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 50°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi ..... 63

**Şekil 4.13.** Ön işlem olarak ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi ..... 64



## ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
<b>Çizelge 2.1.</b> Yaygın olarak kullanılan endüstriyel ölçekli kurutucular .....	15
<b>Çizelge 2.2.</b> Ultrasesin gıda işlemede kullanımı .....	25
<b>Çizelge 2.3.</b> Granny Smith elmanın (100 g) besin değeri .....	31
<b>Çizelge 2.4.</b> Bazı ince tabaka kurutma modelleri .....	33
<b>Çizelge 2.5.</b> 5mm dilim kalınlığında, 0,175m/min bant hızında yapılan kurutulmuş patates dilimine ait modellerin analiz sonuçları .....	36
<b>Çizelge 2.6.</b> Kızılciğa ait kurutma model katsayılarının sıcaklıkla değişimi .....	37
<b>Çizelge 2.7.</b> Balkabağının kurutulmasına ait kurutma modellerinin uygunluğunu gösteren hata değerleri .....	38
<b>Çizelge 2.8.</b> Dağ çileğinin kurutulmasına ait kuruma eğrilerine uygulanan kuruma modellerinin istatistiksel sonuçları .....	39
<b>Çizelge 2.9.</b> Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler .....	40
<b>Çizelge 2.10.</b> Havuç kurutmaya ait kuruma süresi ve nem içeriğine göre incelenen modellerin istatistiksel sonuçları .....	41
<b>Çizelge 2.11.</b> 0.25 W/g başlangıç mikrodalga güç oranı ile 60°C konvektif hava ile kurutulan kontrol ve ön işlenmiş üzümün ince tabaka model eğri uydurma istatistikleri .....	42
<b>Çizelge 3.1.</b> Konveksiyonel etüv tipi kurutucunun genel özellikleri .....	44
<b>Çizelge 4.1.</b> Üç farklı ön işleme ait vakum impregnasyon çözeltisinin briks değerlerinde zamana bağlı değişimler .....	57
<b>Çizelge 4.2.</b> Farklı sıcaklıklarda kurutulan, ön işlem olarak daldırma yöntemi uygulanan elma örneklerinden elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi .....	58
<b>Çizelge 4.3.</b> Farklı sıcaklıklarda kurutulan, ön işlem olarak vakum impregnasyon yöntemi uygulanan elma örneklerinden elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi .....	59
<b>Çizelge 4.4.</b> Farklı sıcaklıklarda kurutulan, ön işlem olarak ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi uygulanan elma örneklerinden elde	

edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi .....	59
<b>Çizelge 4.5.</b> Üç farklı ön işlem uygulanan elma örneklerinin 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarda kurutulmalarına ait renk değişimine ait reaksiyon derecesinin belirlenmesi.....	65
<b>Çizelge 4.6.</b> Üç farklı ön işlem uygulanmış elma küplerinin üç farklı sıcaklıkta kurutulması sırasında DPPH yöntemi ile belirlenen antioksidan aktivite değerlerinde zamana bağlı değişim.....	67
<b>Çizelge 4.7.</b> Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemleri uygulanarak kurutulan elma örneklerinin DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite degradasyonuna ait reaksiyon derecesi, $r^2$ , RMSE ve $\chi^2$ değerlerinin belirlenmesi.....	68
<b>Çizelge 4.8</b> Üç farklı ön işleme tabi tutulan elma küplerinin DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidana aktivite değerlerine ait aktivasyon enerjisi, $Q_{10}$ ve $t_{1/2}$ değerleri.....	69
<b>Çizelge 4.9.</b> Üç farklı ön işlem uygulanmış elma küplerinin üç farklı sıcaklıkta kurutulması sırasında toplam fenolik madde içeriklerinde zamana bağlı değişim.....	70
<b>Çizelge 4.10.</b> Üç farklı ön işleme tabi tutulan elma küplerinin toplam fenolik madde içeriğine ait aktivasyon enerjisi, $Q_{10}$ ve $t_{1/2}$ değerleri .....	71
<b>Çizelge 4.11.</b> Vakum impregnasyon ön işlemi uygulanarak kurutulan elma örneklerinin toplam fenolik yöntemi ile antioksidan aktivitesinin belirlenmesi.....	71
<b>Çizelge 4.12.</b> Üç farklı ön işlem uygulanmış elma küplerinin üç farklı sıcaklıkta kurutulması sırasında ABTS yöntemi ile antioksidan kapasitenin zamana bağlı değişimi .....	72
<b>Çizelge 4.13.</b> Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemleri uygulanarak kurutulan elma örneklerinin ABTS yöntemi ile antioksidan aktivitesinin reaksiyon derecesi, $r^2$ , RMSE ve $\chi^2$ değerlerinin belirlenmesi .....	73
<b>Çizelge 4.14.</b> Üç farklı ön işleme tabi tutulan elma küplerinin ABTS yöntemiyle belirlenen antioksidan aktiviteye ait aktivasyon enerjisi, $Q_{10}$ ve $t_{1/2}$ değerleri.....	74
<b>Çizelge 4.15.</b> Farklı ön işlemlere maruz bırakıldıktan sonra 40°C sıcaklıkta kurutulan elma küplerine ait kurutma öncesi ve sonrası tekstür profil analizi parametre değerleri .....	75

**Çizelge 4.16.** Farklı ön işlemlere maruz bırakıldıktan sonra 50°C sıcaklıkta kurutulan elma küplerine ait kurutma öncesi ve sonrası tekstür profil analizi parametre değerleri .....75

**Çizelge 4.17.** Farklı ön işlemlere maruz bırakıldıktan sonra 60°C sıcaklıkta kurutulan elma küplerine ait kurutma öncesi ve sonrası tekstür profil analizi parametre değerleri .....76



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>A<sub>0</sub></b>	: Başlangıç derişimi
<b>A<sub>t</sub></b>	: Herhangi bir t anındaki derişim
<b>ANO</b>	: Ayrılabilir nem oranı
<b>D</b>	: Daldırma yöntemi
<b>D<sub>eff</sub></b>	: Difüzyon katsayısı
<b>dt</b>	: Kuruma zamanı değişimi
<b>E<sub>a</sub></b>	: Aktivasyon enerjisi
<b>EF</b>	: Modelleme yeterliliği
<b>K</b>	: Kelvin
<b>k</b>	: Reaksiyon hız sabiti
<b>L</b>	: Ürünün kalınlığı
<b>M<sub>0</sub></b>	: Başlangıç nem miktarı
<b>M<sub>e</sub></b>	: Denge anındaki nem miktarı
<b>M<sub>k</sub></b>	: Kuru madde miktarı
<b>M</b>	: Kuru baza göre kuru madde miktarı
<b>MR</b>	: Boyutsuz nem oranı
<b>M<sub>t</sub></b>	: t anındaki nem miktarı
<b>M<sub>s</sub></b>	: Su miktarı
<b>M<sub>yb</sub></b>	: Yaş baza göre kuru madde miktarı
<b>R</b>	: Gaz sabiti
<b>RMSE</b>	: Ortalama hata kareleri toplamının karekökü
<b>US+Vİ</b>	: Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon
<b>Vİ</b>	: Vakum İmpregnasyon

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ULTRASONİKASYON DESTEKLİ VAKUM İMPREGNASYON TEKNİĞİNİN ELMA KÜPLERİNİN KURUMA KİNETİĞİ VE ANTIOKSİDAN AKTİVİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ceren KARACAOĞLU

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

Eylül, 2017

Elma, Türkiye başta olmak üzere birçok ülkede yetişen ve ekonomik değeri yüksek olan bir meyvedir. Kurutma süresini kısaltmak ve kaliteli ürün elde etmek için kurutma öncesi ön işlemlere başvurulmaktadır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında Granny Smith türü elma küplerine atmosferik daldırma (D), vakum impregnasyon (Vİ) ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon (US+Vİ) ön işlemleri 30 dakika boyunca uygulanarak 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta 7 saat kurutulmuş ve kurutmanın matematiksel modellenmesi ile ön işlemlerin elma küplerinin renk değerleri ve antioksidan aktivitesi üzerine etkisi belirlenmiştir. İmpregnasyon çözeltisi olarak dekstroz (%32,5), sakkaroz (%16), askorbik asit (%1) ve kalsiyum klorür (%0,5) kullanılmıştır. Süre sonunda en yüksek kütle geçişinin %18,2 ile US+Vİ yönteminde gerçekleştiği saptanmıştır. Kurutma kinetiğinin matematiksel modellenmesinde  $r^2$ , RMSE ve ki-kare değerleri göz önüne alındığında Newton ve Page modellerin en uygun olduğu belirlenmiştir. Kurutma sırasında elma küplerinin renk analizleri değerlendirildiğinde, ön işlemler ve kurutma sıcaklıklarına ait sabit bir renk degradasyon kinetiğinin olmadığı saptanmıştır. Kurutma sıcaklığı arttıkça elma küplerinin antioksidan aktivite değerlerindeki azalma tüm ön işlemlerde belirlenmiştir. Elma küplerinin başlangıç ve kuruma sonundaki dokusal kayıp US+Vİ uygulanan örneklerde daha düşük bulunmuştur. Ön işlemler sonrasında üç farklı sıcaklıkta kurutulan elma küplerinin son su aktivite değerleri kıyaslandığında US+Vİ uygulanan ve 60°C sıcaklıkta kurutulan elma küplerinin güvenli aralıkta ( $<0,60$ ) olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, antioksidan aktivite ile diğer gıda bileşenlerinin korunması ve renk kalitesinin muhafaza edilebilmesi için elma küplerinin yüksek sıcaklıklarda kurutulmaması gereklidir.

**Anahtar kelimeler:** Granny Smith, Kurutma, Matematiksel Model, Antioksidan Aktivite

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0401-YL-16 proje numarası ile desteklenmiştir.

## **SUMMARY**

**M.Sc. Thesis**

**Effect of Ultrasound Assisted Vacuum Impregnation Technique on Drying Kinetics and Antioxidant Activity of Apple Cubes**

**Ceren KARACAOĞLU**

**Mehmet Akif Ersoy University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Food Engineering**

**Supervisor: Prof.Dr. Yusuf YILMAZ**

**September, 2017**

Apple is a fruit that grows in many countries and has high economic value. Pre-drying processes are applied to shorten the drying period and to obtain a quality product. In this MSc. thesis, pretreatments of Granny Smith apples with atmospheric immersion (D), vacuum impregnation (VI) and ultrasonic assisted vacuum impregnation (US+VI) were applied for 30 minutes and apple cubes were dried at 40, 50 and 60°C for 7 hours, and mathematical modeling and the effect of pre-treatments on the color values and antioxidant activity of apple cubes were determined. Dextrose (32.5%), sucrose (16%), ascorbic acid (1%) and calcium chloride (0.5%) were used as impregnation solutions. At the end of the period, the highest mass transfer was found by the US+VI method with 18.2%. In mathematical modeling of drying kinetics, Newton and Page models were the most appropriate when  $r^2$ , RMSE and chi-square values were taken into consideration. The results of the color analysis of apple cubes during drying indicated that there was no constant color degradation kinetics for pre-treatments and drying temperatures when evaluating. As the drying temperature increased, the reduction in the antioxidant activity values of apple cubes was found in all pre-treatments. Texture analysis of the apple cubes at the beginning and at the end of the drying revealed that the textural loss was lower in the apple cubes pre-treated by the US+VI. When the final water activity values of the apple cubes dried at three different temperatures were compared after three different preliminary treatments, it was seen that the apple cubes pre-treated by the US+VI and dried at 60°C were in the secure range ( $<0.60$ ). As a result, it is necessary that the apple cubes should not be dried at high temperatures so that antioxidant activity and preservation of other food components and color quality can be maintained.

**Keywords:** Granny Smith, drying, mathematical model, antioxidant activity

The present M.Sc. Thesis was supported by the Coordinatorship of Scientific Research Projects Mehmet Akif Ersoy University under the Project number of 0401-YL-16



## 1. GİRİŞ

Elma, *Rosaceae* familyasının, *Pomoideae* alt familyası içerisinde bulunur ve kültür elmalarına *Malus communis*, *Pyrus malus*, *P. malus* var. *Paradisiaca*, *M. sylvestris*, *M. sylvestris* var. *Mitis*, *M. domestica* ve *M. pumila* var. *Miller* gibi isimler verilmektedir. Sibirya ve Çin'in kuzeyi gibi çok soğuk yerlerden, Kolombiya ve Endonezya gibi çok sıcak yerlere kadar adapte olmuş bir meyvedir. Elmada ıslah çalışmaları oldukça zor olup yeni bir çeşidin ortaya çıkması 15-20 yıllık bir süreci kapsamaktadır. Elma ana üreticileri Çin, ABD, İran, Türkiye, Rusya, İtalya, Hindistan, Fransa, Şili, Arjantin, Brezilya ve Polonya'dır. Dünya meyve üretiminde elma (64.256 bin ton), muzdan (81.263 bin ton) sonra ikinci sırada yer almaktadır. Dünyada 6000'den fazla önemli elma çeşidi olduğu bildirilmekte ancak bunların çok azı ticari öneme sahiptir. Ticari olarak üretimi yapılan çeşitlerin başında Red Delicious, Golden Delicious, Fuji, Gala cinsi ve Granny Smith gelmektedir (Atay vd., 2010).

Ülkemizde üretilen elmaların %65'i taze (sofralık) olarak değerlendirilmektedir. Sofralık olarak tüketilmeyen elmalar meyve suyu ve konsantre gibi ürünlere işlenmektedir. Türk Standartları Enstitüsü'ne göre sofralık olarak tüketilecek elmalar ekstra, birinci ve ikinci sınıf olarak sınıflandırılmakta ve soğuk depolarda muhafaza edilmektedir (TS 1221 ISO 1212). Ancak, ülkemizde hasat ve depolama sırasında karşılaşılan bazı sorunlar sebebiyle çok miktarda ürün tüketiciye ulaşmadan bozulmakta ve önemli ekonomik kayıplarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle sofralık kalitede olmayan meyvelerin alternatif ürünlere dönüştürülme imkanları araştırılmaktadır (Budak vd., 2011).

Melez bir elma türü olan Granny Smith köken olarak Avustralya'ya dayanır ve dış kabuk rengi yeşil, et rengi ise yeşilden beyaza değişebileceği gibi yeşilimsi sarı da olabilir. Meyve büyüklüğü elma standartlarında orta büyüklüktedir. Meyve şekli ise kısa-yuvarlak-konik olarak gözlemlenir. Granny Smith türü, lezzet olarak kalitesi yüksek grupta değerlendirilir; duyuusal kriterlerde ise lezzeti keskin/ferahlatıcı olarak nitelenir. Granny Smith, elma çeşitleri arasında yüksek antioksidan seviyesi ve fenol konsantrasyonuna sahiptir. Aynı zamanda düşük kalorili, diyet lifi ve potasyum içeriği

yüksek olduğundan sağlıklı beslenme ve diyet listelerinde önerilen bir meyvedir (Web 1).

Kurutma, fazla miktarda üretilen tarım ürünlerinin saklanmasında kullanılan başlıca muhafaza yöntemlerinden biridir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasındaki amaç, ürünün su aktivite ( $a_w$ ) değerini istenilen seviyeye getirmek suretiyle mikrobiyolojik, kimyasal ve enzimatik bozulmalara karşı dayanıklı hale getirmek ve böylece istenmeyen kalite kayıplarının önüne geçmektir (Geankoplis, 1993; Ünlütürk ve Turantaş, 1999). Kurutma öncesi meyve ve sebzelere uygulanabilecek ön işlemler arasında atmosferik basınç altında daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon işlemleri önemli yer tutmaktadır. Daldırma işlemi, ozmotik dehidrasyon uygulamalarının arasında en bilineni ve uygulaması kolay olanıdır. Ozmotik dehidrasyon bitki dokusunun hipertonic çözeltiliye daldırılarak belli miktar suyunu almak için uygulanan işlemdir. Enerji tasarrufu ve kalitede sağladığı avantajlardan dolayı gıda işleminin tamamlayıcı bir basamağı olarak ozmotik dehidrasyonun popülaritesi günden güne artmaktadır. Genellikle ozmotik dehidrasyon doğal olarak yavaştır, bundan dolayı son ürünün kalitesini etkilemeden kütle geçişini artıracak yöntemler kullanılmalıdır (Eroğlu vd., 2011).

Vakum impregnasyon işlemi, ozmotik dehidrasyon işlemi hızlandıran bir teknolojidir. Ozmotik dehidrasyon, ozmotik çözeltili içerisinde bitki dokusundan suyun belli oranlarda uzaklaştırılması için kullanılan yaygın bir yöntem olup, dondurma, dondurarak kurutma, mikrodalga kurutma, havalı kurutma, vakumlu kurutma gibi muhafaza yöntemlerine tabi tutulan meyve ve sebzelere besinsel, duyuşal ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmek ve bütünlüklerini korumak için uygulanan ön işlemdir (Us, 2006). Vakum impregnasyon, kalite geliştirme sırasında gıdaların gözenekli dokularının hasarını en aza indirmek, rengini, doğal lezzetini ve aromasını korumak gibi avantajlarının yanı sıra ısıya duyarlı gıda bileşenlerini koruması açısından da önemli bir yöntemdir. Gıdaların normal havayla veya vakum altında kurutulması sırasında taze meyve dokusunun ve uçucu lezzet bileşenlerinin korunması açısından vakum impregnasyon önemli bir yöntemdir. Yeni ürün geliştirmede ürünün gözenekli yapısından yararlanarak katkı maddelerinin nüfuz (penetre) edilmesiyle ürün kalitesini artırma ve raf ömrünü uzatma sağlanabilir. Vakum impregnasyonda uygulanan vakum sayesinde gözeneklerdeki gazın dışarı atılmasıyla oksidatif esmerleşme ve meyve

parçalarının rengindeki solmanın önlendiği gözlenmiştir. İşlemin etkinliğini çeşitli faktörler etkiler ve bu faktörler; hammadde dokusu, şekli ve büyüklüğü, vakum impregnasyon çözeltilisinin türü, çözeltilinin sıcaklığı, konsantrasyonu ve bileşimi, vakum süresi ve zamanı, atmosferik basıncın süresi ve çözelti/örnek oranıdır (Us, 2006).

Ultrasonikasyon, saniyede 20.000 veya daha fazla titreşim gerçekleştiren ses dalgaları ile enerji meydana getirilmesi olarak tanımlanabilir. Ses enerjisi bir ortama sürekli dalga-tipi bir hareket oluşturarak girdiğinde, ortamda boylamsal dalgalar oluşmakta ve ortamda bulunan partiküller üzerinde bir tür sıkışma ve gevşeme hareketi yaratmaktadır. Uygulanan ses dalgasının büyüklüğü ve kullanılan frekansa bağlı olarak bir seri fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etkiler gerçekleşebilir. Yüksek şiddetli ultrasonikasyon uygulanan sıvıda yüksek basınç ve düşük basınçlı dalgalar oluşur. Düşük basınçlı dalga oluşumu sırasında, ultrasonik dalgalar kavitasyon meydana getirirler ve bu baloncuklar daha fazla enerji absorbe edemeyecek hacme ulaştıklarında, yüksek basınçlı dalga oluşumu ortaya çıkar ve bu sırada içe doğru patlarlar. Bu olaya “kavitasyon” adı verilir. Kaviteasyon sırasında lokal sıcaklık 4000K ve basınç 1000 atmosferin üzerine çıkabilir (Sayın vd., 2014).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Granny Smith türü elma küpler (12x12x12mm) halinde doğranmış; daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon olmak üzere 30’ar dakika süresince impregnasyon çözeltilisiyle muamele edilmiş ve elma küplerine geçen çözünmüş madde miktarı hesaplanmıştır. Üç farklı ön işleme muamele edilen elma küpleri konveksiyonel tipi bir kurutucuda (etüv) üç farklı sıcaklıkta (40, 50 ve 60°C) kurutulmuştur. Çalışma kapsamında uygulanan ön işlemlerin elma küplerinin kurutma kinetiği ve antioksidan aktivitesi üzerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Kurutma

Kurutma meyve ve sebzelerin %80-95 oranlarındaki su içeriğinin %10-20'ye düşürülerek uzun süre dayanmasını sağlama işlemidir. Tarımsal ürünlerin kurutulması sırasında yaş ürünlerdeki serbest su uzaklaştırılmakta, ürünlerdeki biyokimyasal reaksiyonlar ve mikroorganizma gelişimi yavaşlatılmakta veya durdurulmaktadır. (Aktaş vd., 2013). Kurutma sırasında tat, görünüş, renk ve besin değeri gibi kalite özellikleri mümkün olduğunca az değişmeli, ayrıca pişirilmek üzere su ilave edildiğinde taze iken içerdikleri miktara yakın su alabilmelidir. Kurutmanın amacı depolama sırasında gıdanın bozulmasını önlemek, kalite özelliklerini korumak, ürün hacmini azaltarak taşıma ve depolama sıralamasında kolaylık sağlamaktır (Çınar, 2009).

### 2.2. Kurutmanın Temelleri

Kurutma işlemi, ürün içerisindeki su ile kurutulacak madde arasındaki bağlantının koparılmasıyla başlar ki, bunun için belirli bir enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Isı enerjisi olarak verilen bu enerji, kurutulacak maddeye sürekli olarak verilmelidir. Bu ısı kurutulacak materyalin yüzeyinde ve gözeneklerinde bulunan nemin havaya buharlaştırılmasını sağlamalıdır. Kurutma işlemi bu anlamda bir ısı ve kütle aktarım işlemidir (Aktaş vd., 2013).

Kurutma yöntemleri genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Birinci grup kurutmada yöntemlerin esasını "ısı transfer şekli" oluşturmaktadır. Isı transfer şekline göre kurutma üçe ayrılmaktadır: konveksiyonlu, kondüksiyonlu ve ışıma yoluyla. Konveksiyonlu kurutmada ısı, taşınım yolu ile kurutulacak maddeye iletilirken, kondüksiyonlu kurutmada ise kurutulacak maddeye ısı iletim yolu ile iletilir. Üçüncü sınıf olan radyasyon kurutmada ısı ışıınımı yolu ile maddeye iletilir (İsaeva, 2007).

İkinci grup kurutmada ise güneş enerjisinin kullanım şekline göre ısıtma işlemi üç alt kategoriye ayrılmıştır (İsaeva, 2007):

1. Doğal sistemler: Meyve, sebze ve tahıl ürünlerinin doğrudan güneş ışığı altına serilerek kurutulmasıdır.
2. Pasif sistemler: Sistemde ek enerji olmadan kurutmadır.

### 3. Aktif sistemler: Kurulan sisteme ek enerji verilerek kurutmadır.

Kuru havanın sıcaklığı, basıncı ve bağıl nemi gibi kurutma havasının özellikleri, kurutmanın etkinliği açısından önemli rol oynamaktadır (İsaeva, 2007). Uygun bir kurutma açısından, kurutmaya etkili faktörlerin ürünün özelliğine bağlı olarak kontrol altına alınabilmesi önemlidir. Bu faktörler arasında gıdanın şekli ve boyutu, kurutulacak gıdanın kurutma ortamındaki konumu ile fiziksel ve kimyasal yapısı gibi faktörlerin yanında, kurutma yöntemi ve uygulanacak ön işlemler de kuruma üzerine etkili olmaktadır (Evranoz, 1988).

### 2.3. Gıdaların Kurutulmasının Önemi

Tarım ürünlerinin hasat şekilleri ürünün çeşidine göre değişmektedir. Bazı ürünler olgun bazıları olgunlaşmadan bazıları ise diğer ürünlere göre daha kuru olarak toplanmaktadır. Mevsim dışında bu ürünlerin tüketilebilmeleri için uygun koşullarda muhafaza edilmesi ve bazı işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemlerinde başında ise kurutma gelmektedir. Ürünlerin kurutulması ya güneş ışığı altında ya da endüstriyel sistemler ile yapılmaktadır. Güneş ışığı altında kurutma, ekstra enerji gerekmediği için küçük ölçekli çiftçi ve köylüler tarafından sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Fakat ürünlerin yağmurdan, rüzgârdan, toz ve topraktan, böceklerden, kemirgenlerden ve diğer hayvanlardan korunamaması, kalitelerini ciddi ölçülerde azaltmakta ve ürünleri tüketilemez hale getirebilmektedir. Kurutulmuş ürünlerde meydana gelen kalite kayıpları da uluslar arası pazarda önemli ekonomik kayıplar yaratmaktadır (Yaldız vd., 2001; Lahsani vd., 2004; Sacilik ve Elicin, 2006). Meyve ve sebze gibi ürünlerin içerdikleri nemin uzaklaştırılması, yapılarından dolayı, ürün kalitesine en az zarar gelecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklıklar ve doğru olarak seçilmeyen diğer koşullar ürünün hem görünüşünde hem de besin değerinde olumsuz sonuçlar meydana getirebilmektedir (Aktaş vd., 2013).

Kurutma işleminin avantaj ve dezavantajları aşağıda özetlenmiştir (Anonim, 2014):

Kurutmanın avantajları:

- Ürünün taşıma maliyeti azalır, çünkü kurutulmuş ürünlerin taze ürünlere göre taşıma maliyetleri %70-80 daha azdır. Ayrıca kurutulmuş ürünleri taşımak daha kolaydır.

- Paketlemede üstünlük sağlar, aynı hacimdeki pakette daha fazla kurutulmuş ürün yerleştirilebilir.
- Gıdaların muhafazasında yaş ürüne göre daha uzun muhafaza süresi sağlar.
- Ambalaj hatalarından dolayı gıdanın bozulma riski daha azdır.

Kurutmanın dezavantajı:

- Kurutulmuş gıdalarda C vitamini ve karotenoidler gibi sağlık açısından önemli gıda bileşenlerinde değişimler/bozulmalar meydana gelebilmektedir.
- Yüksek sıcaklık uygulanarak yapılan kurutmada proteinler denatüre olabilir.
- Kurutma sırasında ya da kurutulmuş ürünün muhafazası sırasında enzimatik ve/veya enzimatik olmayan reaksiyonlar oluşabilir.

## 2.4. Kurutmanın Kinetiği

Tarım ürünlerinin kurutulmasında kinetik açıdan bakıldığında ürün ile olduğu ortamdaki hava arasındaki nem alışverişi ve kuruma sırasında geçen süre de dikkate alınarak araştırılır. Herhangi bir gıdanın kuruması kinetik açıdan incelenirken, gıdanın nemi ile kuruma süresi, kuruma hızı ile gıdanın nemi, kuruma hızı ile kuruma süresi gıdanın sıcaklığı ile nemi arasındaki ilişkiler dikkate alınır. Kuruma süresi içinde üç karakteristik periyotla karşılaşılmaktadır. Bu periyotlar, gıdanın ısınma periyodu, sabit hızla kuruma periyodu ve azalan hızla kuruma periyodu şeklinde isimlendirilir (Yağcıoğlu, 1999).

### 2.4.1. Nem Oranı

Ürünün herhangi bir t anında sahip olduğu nem içeriğinden ( $M_t$ ), denge anındaki nem içeriği ( $M_e$ ) çıkarılıp, başlangıç anındaki nem içeriğinden ( $M_0$ ) yine denge anındaki nem içeriği farkı oranına “nem oranı (MR) veya ayarlanabilir nem oranı (ANO)” da (Eşitlik 2.1) denilmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2.1)$$

## 2.4.2. Nem İçeriği

Ürünün içerisinde bulunan bağlı nemin bir ölçüsüdür. Nem içeriği %yaş baz (Eşitlik 2.2) ve %kuru baz (Eşitlik 2.3) olmaz üzere iki şekilde ifade edilmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

$$\% \text{ Yaş baza göre nem içeriği: } \% M_{yb} = \frac{M_s}{M_s + M_k} \cdot 100 \quad (2.2)$$

$$\% \text{ Kuru baza göre nem içeriği: } \% M_{kb} = \frac{M_s}{M_k} \cdot 100 \quad (2.3)$$

## 2.5. Kurutma Süresine Ait Kuruma Periyotları

Tarımsal ürünlerin kurutulması işlemlerinde kuruma olayının başlangıcında meydana gelen ilk periyot ürünün “ısınma evresi” dir ve bu evrede ürünün yüzey sıcaklığı hızla yükselir. Kuruma hızı giderek artar ve periyot sonunda en yüksek değerine ulaşır. Ürünün ortam havası tarafından bir denge sıcaklığı oluşana kadar ısıtılması nedeniyle ortaya çıkan ısınma periyodu süresinin, tüm kuruma süresiyle kıyaslanınca, çok kısa olduğu görülür. Bu nedenle genellikle dikkate alınmaz ve kuruma eğrilerinde gösterilmez. Kuruma sırasında ısınma evresinin sona erdiği andan itibaren “sabit hızla kuruma periyodu” başlar (Yağcıoğlu, 1999).

Herhangi bir ürün kuruma kinetiği açısından incelendiğinde aşağıdaki ilişkiler dikkate alınır (Yağcıoğlu, 1999):

- Materyalin nemi ile kuruma süresi:  $N=f(t)$
- Kuruma hızı ile materyal nemi:  $d_N/d_t=f(N)$
- Kuruma hızı ile kuruma süresi:  $d_N/d_t=f(t)$
- Materyal sıcaklığı ile nem:  $T=f(N)$

Sabit hızla kuruma periyodunda nem, ürünün yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakasının yüzeyinden buharlaşan suyla aynı davranışı göstererek buharlaşır (Yağcıoğlu, 1999). Bir diğer ifadeyle, bu evrede kütle transferi, gıdanın yüzeyindeki sıvı filmden buharlaşma yolu ile olur. Nemli ve ıslak ürünlerin dış yüzeylerinde, tüm sıvı yüzeylerinde olduğu gibi, bir doymuş hava filmi oluşur, ürünün içinden yüzeye transfer edilen suyun miktarının yüzeyde buharlaşan su miktarına eşit olduğu sürece yüzey ıslak kalır. Ürünün yüzeyi ıslak kaldığı sürece, yüzey sıcaklığı sabit kalır ve bu sıcaklık yaş termometre sıcaklığına eşit olur (Güracar, 1995). Üründe bulunan suyun buharlaşması için kullanılan ısının tümü, suyun buharlaşma gizli ısısı olarak kullanılır

ve ürünü ısıtmaz. Bu sebeple, üründeki suyun buharlaşma süresince ürünün yüzey sıcaklığı sabit kalır (Yağcıoğlu, 1999). Tarım ürünlerinin bünyesinde bulunan suyun, materyal tarafından gevşek olarak tutulan kısmı kapiler su, kurutma sürecinde daha kolay uzaklaştırılmaktadır. Bu sebeple, tarım ürünlerindeki suyun büyük kısmını oluşturan bu suya kuruma esnasında materyalin yüzeyindeki serbest su olarak bakılabilmektedir. Tarım ürünlerindeki serbest suyun ürünün bünyesinden uzaklaştığı dönem, sabit hızda kuruma periyodudur. Sabit hızla kuruma periyodunca birim zamanda uzaklaşan su miktarı sabit kalmaktadır (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Sabit hızla kuruma periyodunda, üründe bulunan suyun ürünün yüzeyine, kılcal borucuklar, ozmotik basınç, büzülme nedeniyle oluşan sıkıştırma basıncı gibi etkilere bağlı olarak taşındığı kabul edilir. Kuruyan ürünün iç kısımlarından yüzeye doğru süren suyun taşınması sebebiyle, ürünün iç katmanlardaki su miktarı giderek azalır ve bu duruma bağlı olarak tabakalar arasındaki suyun yoğunluk farkı küçülür. Tabakalar arasındaki suyun yoğunluğunun azalması bu etkene bağlı olarak hareket eden su miktarının azalmasına neden olur. Gerçekleşen bu yeni durum nedeniyle, kurumakta olan ürünün yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak uzaklaşan suya eşit miktarda su, iç kısımlarından yüzeye ulaşamaz (Yağcıoğlu, 1999). Ürünlerdeki su miktarı azaldıkça geride kalan suyun ürüne bağlayan kuvvet artmakta bu sebeple üründeki su oranı belirli seviyeye ulaşıncaya sabit hızla kuruma periyodu sona erer; kurumadaki hızın, değişimin meydana geldiği üründeki nem düzeyine “birinci kritik nem” denir ve kuruma hızının değiştiği bu noktaya da “birinci kritik noktası” denir. Özellikle meyve ve sebzelerin kurutulması sırasında iki hatta üç dönme noktası belirlenebilmektedir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Kuruma olayının son periyodu “azalan hızda kuruma periyodu” dur. Azalan hızda kuruma periyodu ile sabit hızla kuruma periyodu arasında birincil kritik nem noktasından itibaren hava ile ürün arasındaki transfer edilen nem miktarındaki denge bozulur, ürünün yüzeyini tamamen kaplayan ince su tabakası ortadan kalkar ve ürünün belirli bölgesinde kuru alanlar oluşmaya başlar. Ürünün yüzeyinde oluşan su buhar basıncı, sabit hızla kuruma periyodu esnasında meydana gelen doymuş buhar basıncı değerinden daha küçük değerlere iner, ürünün yüzeyinde kuru alanların artmasıyla ürün ısınmaya ve yüzey sıcaklığı kurutma havasının yaş termometre sıcaklığının üzerine çıkmaya başlar. Ürünün yüzeyinden ürünün iç katmanlara doğru ilerleyen sıcaklık



artışının etkisiyle nem, ürünün içinde buharlaşmaya ve yüzeye difüzyon yoluyla ulaşmaya başlar. Kurumanın ilerleyen aşamalarında, gıdanın nem içeriği azaldıkça, suyun yüzeye ulaşmasında içsel buhar difüzyonunun önemi artar (Yağcıoğlu, 1999).

Azalan hızda kuruma periyodunun başlarında nemin yüzeye transfer edilmesinde, sabit hızda kuruma periyodundaki faktörler etkilidir. Bu sebeple azalan hızda kuruma periyodunun başlarında buharlaşma hızının değişimi doğrusaldır (Yağcıoğlu, 1999). Ancak ürünlerdeki nem belli bir seviyeye ulaştıkça kuruma hızı sıfıra iner ve kuruma durur. Kurutmanın gerçekleştiği ortamda egemen olan koşullarda, ürün ile hava arasındaki nem açısından bir denge oluşur. Bu şartlarda ürünün kurutmanın gerçekleştiği kurutucuda ne kadar kalırsa kalsın bünyesindeki nem değişmeden kalır. Bu durumda ürünün içeriği su oranına, o şartlardaki “denge bağıl nemi” denir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Kurutma süresine, ürünün türü ve şeklinden daha çok kurutma ortamının koşulları daha fazla etki eder. Azalan hızda kuruma periyodunda kurutulan ürünlerin belirli bir nem seviyesine ulaştığında kurutma olayı giderek zorlaşmakta ve kuruma süresi uzamaktadır. Bu durum göz önüne alındığında kurutma işleminin başladığı kurutucuda uzun süre devam ettirilmesinin pek de sağlıklı olmadığı ve kurutma işleminin ya kurutucu değiştirmenin ya da kurutma koşullarının değiştirilmesi gerektiğini göstermektedir (Cemeroğlu ve Acar, 1986; Yağcıoğlu, 1999). Azalan hızda kuruma periyodu sırasında, kuruma hızının ve süresinin belirlenmesi, sabit hızda kuruma evresine göre daha zordur. Bu evrede, ürün içindeki ısı ve kütle difüzyonunun da birlikte ele alınması gerekmektedir (Yağcıoğlu, 1999). Kuruma olayını incelemek amacıyla teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen çeşitli matematiksel modellerden yararlanmak mümkündür (Donald vd., 1973). Azalan hızda kurutma periyoduyla ilgili teorik ve yarı teorik kuruma modellerinin geliştirilmesi sırasında, işlemleri biraz daha kolaylaştırmak amacıyla, aşağıdaki bazı ön kabuller yapılmıştır (Yağcıoğlu, 1999):

- Materyalin bünyesindeki nem dağılımı tek düzedir.
- Kuruma, madde içindeki nemin, su ve buhar fazında difüzyonu sonucu oluşur.
- Difüzyon, nem farkı, sıcaklık farkı, buhar basınçları farkı ve yoğunluk farkı gibi etkenlere bağlıdır.
- Kurutma havasının özellikleri (sıcaklık, hız, bağıl nem) kuruma süresince değişmez.
- Ürün ince bir tabaka şeklinde serilir.

Azalan hızda kuruma periyodu sırasında ürünün içinde oluşan nem iletimi, Newton'un Soğuma Yasası'na benzetilerek açıklamaya çalışılır. Söz konusu yasa, cisim ile çevre arasındaki sıcaklık farkının çok büyük olmaması şartıyla, sıcaklığı değişmez kabul edilen bir ortam içine konulan bir cismin sıcaklığındaki değişim miktarının, cisim ve çevre sıcaklıkları arasındaki farkla orantılı olduğunu belirtmektedir. Nem içeriği değişmez kabul edilen bir ortam içinde bulunan herhangi bir ürünün neminde meydana gelen değişim Eşitlik 2.4 ve 2.5'te gösterildiği gibi elde edilebilir (Donalds vd., 1973; Bayhan, 2011).

$$\frac{dM}{dt} = k(M - M_e) \quad (2.4)$$

$$\frac{dM}{M - M_e} = h \cdot dt \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5'teki diferansiyel eşitliğin çözümü Eşitlik 2.6'daki gibidir.

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = a \exp(-kt) \quad (2.6)$$

Eşitliklerde yer alan “k” kuruma hızı sabitini, “MR” nem oranını, “M<sub>e</sub>” denge anındaki nem içeriğini, “M<sub>i</sub>” başlangıçtaki nem içeriğini ve “t” kuruma zamanını ifade etmektedir.

## 2.6. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler

Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kuruma hızı, ısı ve kütle transferine doğrudan etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Bunun nedeni, kuruma olayının aynı zamanda bir kütle ve ısı transferi olayı olmasıdır. Kuruma hızına etki eden faktörlerden en önemlileri arasında kurutma havasının sıcaklığı, nemi ve hızı ile kurutulacak olan materyalin şekli, cinsi kalınlığı ve bünyesindeki nem miktarları gibi faktörler sayılabilir (Ayan, 2010). Kurutma ortamındaki hava ile ilgili olarak, havanın sıcaklığı, bağıl nemi, havanın hareket hızı ve yönü dikkate alınmalıdır. Kurutulacak gıda ile ilgili olarak ise, gıdanın (başlangıç ve son) nem içeriği, gıdanın boyutları, buharlaşma yüzeyi genişliği, kurutma ekipmanı ile ilgili olarak yapı malzemesinin türü ve özgül ısısı, kurutma cihazının ısı yalıtım durumu, kapasitesi ve boyutları, kurutma yöntemi, çevre iklimi şeklinde belirtmek mümkündür (Evranoz, 1998; Cemeroğlu vd., 1986).

### **2.6.1. Kurutma Havaının Sıcaklığı**

Kurutma havasının sıcaklığı, kullanılan havanın yaş ve kuru termometre sıcaklık değerleri arasındaki farka karşılık gelir. Bu fark arttıkça kuruma hızı da artar. Kuruma başlangıcında bu doğrusal etki çok belirginse de, kuruma ilerledikçe iki sıcaklık arasındaki fark arttıkça kuruma hızının aynı oranda artmadığı görülür (Güner, 1991). Kurutmada kullanılan hava sıcaklığının artırılmasıyla havanın su buharı tutma kapasitesi yükselmekte ve kurutulacak ürünün yüzeyinden iç kısımlara doğru ısı transfer hızı artmaktadır. Böylece buharlaşma hızı artmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır (Bayhan, 2011). Yüksek hava sıcaklığının, kurutma hızına olumlu etkisinin yanı sıra bazı olumsuz etkileri de vardır. Yüksek sıcaklıkta yanma, renk değişimi, gıda bileşenleri kaybında artış ve yüksek enerji maliyetleri gibi dezavantajlar sıralanabilir. Düşük sıcaklıklarında ürün kurutulduğunda ise, ürün kalitesi yükselmekte, fakat kuruma süresi gerekenden fazla uzamaktadır. Bu nedenle yapılan kurutma işlemlerinde, kuruma süresi ve kuruma kalitesi dikkate alınarak en uygun sıcaklıkta kurutma yapılması gerekir ki, her ürünün belirli bir kuruma sıcaklık derecesi bulunmaktadır (Bayhan, 2011).

### **2.6.2. Kurutma Havaının Bağlı Nemi**

Tarımsal ürünler genellikle ya ortam havasıyla ya da ortam havasının ısıtılmasıyla elde edilen sıcak hava yardımıyla kurutulur. Kullanılan bu hava kuru hava ve su buharı karışımı olarak ele alınır. Kuru hava bir takım gazların karışımından meydana gelir ve moleküler ağırlığı 28,97 g/mol' dür. Bu kuru havada, belirli oranlarda azot, oksijen, argon ve karbondioksit gibi gazlar bulunur. Genellikle, kurutma işleminde kullanılan havanın içinde ağırlık olarak 1/10 oranında su buharı mevcut olup su buharının oranındaki değişim kurutmada kullanılan havanın bazı özelliklerinin değişimine neden olur (Yağcıoğlu, 1999). Kurutmanın sağlıklı şekilde yapılabilmesi için kurutma havasının hızı çok önemlidir. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kurutma sırasında, ürün yüzeyinde daima durgun bir buhar filmi oluşur. Bu filmin oluşması önlenir ve sürekli olarak uzaklaştırılırsa, suyun buharlaştırılmasında artış görülür. Hava hızı, bu buhar filmini devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunur. Ancak bu etki belli bir hava hızına ulaşıncaya kadar görülür ve genellikle 5 m/s' den fazla bir hava hızının kuruma hızı üzerine etki etmediği saptanmıştır (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Kurutma sırasında kullanılan hava hızının aşırı yüksek olması durumunda ürünün iç kısımlarında kuruma meydana gelir ki, bundan dolayı ürünün yüzeyine doğru gerçekleşen su transferinde yer yer bozulmalar gerçekleşir. Kurutma havası hızının istenilen seviyede olmaması durumunda ise gıda yüzeyindeki nemin uzaklaştırılmasında sorunlar yaşanacak ve kurutma sağlıklı bir şekilde gerçekleşmeyecektir. Bu nedenlerden dolayı, kullanılan havanın hızının istenilen seviyede olması çok önemlidir ve deneysel olarak araştırılmasında büyük yarar vardır (Yağcıoğlu, 1999).

### **2.6.3. Kurutma Havasının Hızı**

Hava, kurutmada kullanılan çok önemli bir akışkandır. Kurutma esnasında kurutmanın gerçekleştiği ortama konveksiyon yoluyla ısı aktarılırken, buharlaşan nemi ise kurutulan sistemden dışarı taşınır. Ancak havanın kurutma ortamından geçirilmesi sırasında sistem tarafından havaya karşı bir direnç gösterilir. Hava akımının herhangi bir kurutma ortamından geçmesi sırasında sistemin havaya karşı göstereceği direncin şekli ve ölçüsünü, havanın akış hızı, viskozitesi ve yoğunluğu, ürünün yığın kalınlığı, nem oranı gibi faktörler belirler (Yağcıoğlu, 1999). Kurutmanın sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için kurutma havasının hızı çok önemlidir. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artar. Kurutma sırasında, ürün yüzeyinde daima durgun bir buhar filmi oluşur. Bu filmin oluşması önlenir ve sürekli olarak uzaklaştırılırsa, suyun buharlaşmasında artış görülür. Hava hızı, bu buhar filmini devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunur. Ancak 5 m/s' den daha hızlı bir hava hızının kuruma hızı üzerine etki etmediği saptanmıştır (Cemeroğlu ve Acar, 1986). Kurutma havasının hızı aşırı yüksek olursa ürünün iç kısımlarında hızlı kuruma meydana gelir ki bundan dolayı ürünün yüzeyine doğru gerçekleşen su transferinde yer yer bozulmalar gerçekleşir. Kuruma havası hızının istenilen seviyede olmaması durumunda ise kurutma sağlıklı bir şekilde gerçekleşmeyecektir. Bu nedenlerden dolayı hava hızının istenilen seviyede olması çok önemlidir ve deneysel olarak araştırılması gereklidir (Yağcıoğlu, 1999).

### **2.6.4. Kurutulacak Gıdanın Özellikleri**

Kurutulacak ürünün kurutma hızına etkisi ürünün fiziksel ve kimyasal yapısı ile ilgilidir. Ürünün kimyasal yapısı yani üründe bulunan kimyasal bileşenler olan, tuz, şeker gibi küçük moleküllü ve üründe çözünmüş halde bulunan bileşikler ürünün su buhar basıncını etkileyeceğinden kurutma hızını önemli ölçüde değiştirir. Ayrıca ürünün

yağlı olup olmaması, nişasta ve glikoz oranlarınca zengin olması ve pektince fazla olması ürünün kuruma hızını negatif yönde etkiler (Anonim, 2008). Kurutulacak olan ürünün fiziksel yapısı da kurutma hızına etki eden önemli bir faktördür. Ayrıca kurutma yapılacak ürünün kurutma sırasında bütün veya dilimlenmiş oluşu gibi fiziksel özellikleri kurutma hızına etki eden diğer fiziksel faktörlerdir (Cemeroğlu vd., 2003). Kurutma yapılacak meyve ve sebzelerde řu özellikler aranmaktadır; olgun, sağlam, yarasız ve beresiz olmalı, çürük olmamalı ve böcek yeniği bulunmamalı, rengi ve tadı tam olgunlaşmış olmalıdır (Anonim, 2008).

#### **2.6.5. Kurutulacak Ürünün Boyutu**

Isı iletim hızı iletken yüzeyinin büyüklüğüne bağlı olup, yüzey alanı ne kadar büyük ise ısı iletimi o kadar hızlı olur ve dolayısıyla kuruma hızı da o kadar artar. Kuruma hızı ürünün yüzey alanı ile doğru, ürünün kalınlığı ile ters orantılı olduğundan kurutulmak istenen ürünün kurutucu ortama yerleştirilme şekli de çok önemlidir. Kurutma hızını arttırmak ve kurutmayı sağlıklı bir şekilde gerçekleştirmek için kurutulacak ürünün dilimlenmesi, parçalara ayrılması veya rendelenmesi gibi bir takım ön işlemlerden geçirilir. Kurutma işleminde kullanılacak ön işlemlerin türü, tamamen ürünün cinsine ve tüketicinin tercihinine göre değişmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

#### **2.6.6. Kurutulacak Ürünün Miktarı**

Sağlıklı ve düzgün bir kurutma işleminin yapılabilmesi için kurutucuya konulan ürünün miktarı, ısı transferi, havanın kurutma ortamından geçişi ve oluşan nemin sistemden rahat bir şekilde atılması gibi faktörleri etkiler. Fazla miktarda konulan ürün, altta kalan ürünlerin tam olarak kurumaması sorununu ortaya çıkarır. Kurutucuya yeterli miktarda ürün konulmadığı durumlarda ise sisteme verilen enerji fazla olacağından hem gereksiz enerji sarfiyatı olur hem de fazla miktarda verilen enerjiden dolayı üründe renk değişimi ya da yanmalar meydana gelebilir. Kurutmanın tam anlamı ile gerçekleşebilmesi için kurutucu ortamına ne kadar ürün konulması gerektiğinin doğru hesap edilmesi çok önemlidir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

#### **2.6.7. Kurutma Sırasında Ürünün Karıştırılması**

Kurutulacak ürünün kurutma ortamında manuel olarak ya da ortama verilen titreşim hareketi ile kurutulacak ürünün durumunun sürekli olarak değiştirilmesi ürün

ile hava arasındaki ısı transfer hızını artırır. Benzer bir uygulama kurutma havasının hızı, ürünün kritik asılma hızı değerine kadar yükseltilerek, kurutulan ürünün hava içinde adeta yüzdüğü akışkan yatak uygulaması şeklinde de yapılabilir. Bu şekilde kuruma işlemi önemli oranda hızlandırılır (Yağcıoğlu, 1999).

#### **2.6.8. Kurutma Ortam Basıncı**

Kurutma işleminin gerçekleştiği ortamın hava basıncı düştükçe kuruma işlemi hızlanır, yani üründen ortama nem geçişi yükselir. Kurutmanın gerçekleştiği ortamın basıncı, suyun buharlaşma sıcaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Basınç azaldıkça suyun buharlaşma sıcaklığı da azalmaktadır. Bu durumda belli sıcaklık koşullarında, ortamın basıncı azaltıldıkça birim zamanda buharlaşan su miktarı da artar (Yağcıoğlu, 1999).

#### **2.7. Başlıca Kurutma Yöntemleri**

Türkiye’de tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılan yöntemler insanların gelir düzeyleri ve kültürel etkileri göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Küçük ölçekli üreticiler daha çok geleneksel yöntemin vermiş olduğu ucuz kurutma yöntemi olan tarlada güneş altında kurutma yöntemini seçerken, büyük ölçekli ve ekonomik düzeyi yüksek olan üreticiler daha endüstriyel kurutma yöntemlerini seçmektedir. Genel olarak doğal kurutma ve endüstriyel kurutma yöntemleri tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır. Tarım ürünlerinden meyve ve sebzelerin kurutulmasında ise doğal kurutma ve endüstriyel kurutmanın enerji kullanım yöntemlerindeki farklılıktan kaynaklı olmak üzere üç kurutma yöntemi uygulanmaktadır (Tripathy ve Kumar, 2009):

1. Geleneksel yani güneş altında kurutma,
2. Suni (endüstriyel) kurutma (tünel tipi, akışkan yataklı, püskürtmeli, döner tamburlu ve mikrodalga kurutucular),
3. Vakum altında kurutma (vakum kurutucu, raflı/döner tamburlu kurutucu ve dondurarak kurutma).

Doğal ve sıcak havalı kurutucular ile kurutma düşük işletme giderleri nedeniyle günümüzde yaygın olarak uygulanan yöntemdir. Doğal koşullarda gölgede veya güneş altına sererek yapılan doğal kurutma ile pazarın talep ettiği yüksek kalite ve standartlara

ulaşmak ve büyük miktarlardaki ürünü işlemek mümkün değildir (Soysal ve Öztekin, 2001). Düşük basınç altında kurutma ve mikrodalga kurutma teknikleri ise son yıllarda en çok üzerinde durulan tekniklerdir. Yaygın olarak kullanılan kurutucu tipleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Yaygın olarak kullanılan endüstriyel ölçekli kurutucular (Mujumdar, 2007)

<b>Çalışma kriterleri</b>	<b>Kurutucu tipi</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurutucunun çalışma şekli</li> <li>• Kurutma ortamının ısı transfer şekli</li> </ul>	Kesikli, sürekli* Taşınım*, İletim, Radyasyon, Elektromanyetik Alan
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurutulacak ürünün konumu</li> <li>• Kurutulacak materyalin fiziksel özellikleri</li> </ul>	Hareketsiz, Hareketli, Titreşimli, Sıvı, Katı, Öğütülmüş, Dilimlenmiş, Sürekli Tabaka
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurutucunun basıncı</li> <li>• Kurutucunun akışkan</li> </ul>	Atmosfer basıncı veya Vakum ortamı Hava*, Uçucu Gazlar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurutma ortam sıcaklığı</li> </ul>	Kaynama Noktasının Üzerinde, Kaynama Noktasında, Kaynama Noktasının Altında*, Donma Noktasının Altında
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurutulacak ürün ve kurutucu akışkanın birbirine göre hareketi ve konumu</li> <li>• Kurutma süresi</li> </ul>	Paralel, Karşı, Karışık, Çapraz Akışlı Kısa (<1 dakika), Orta (1-30 dakika), Uzun (>30 dakika)

\*En yaygın kullanılan kurutucu tipleri

Tarım ürünlerinin sağlıklı ve hızlı kurutulması için ürünler kurumaya maruz bırakılmadan önce bazı ön işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu ön işlemler ürünün nemini hızlı kaybetmesini, üründeki renk değişimlerinin en aza indirilmesini, ürün tat ve dokusunun korunmasını ve üründe bulunan bazı etken maddelerin korunmasını sağlayan işlemlerdir. Ön işlemlerden biri ürünün yıkanması olup, üründe bulunan toz, toprak, çamur ve bakteri gibi ürünün kalitesini olumsuz etkileyen faktörlerden ürünü korumak amacıyla yapılır. Diğer bir işlem olan durulama, yıkamadan sonra ürünün temiz bir suyla durulanması yoluyla hijyenik kalitesini arttırmak amacıyla yapılır. Ayıklama işleminde ise, ürünün içindeki yabancı maddeler uzaklaştırılır. Bazı ürünlerin kabuklarının temizlenerek kurutulması gerektiği için kabuk soyma basamağı önemlidir. Doğrama ya da dilimleme yüzey alanının artırılması için gereklidir. Bu tür işlemler kurutmanın doğru yapılması için ürüne uygulanan ön işlemlerdir (Anonim, 2008).

### 2.7.1. Sıcak Hava ile Kurutma

Tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılan kurutucular ürünün özelliklerine uygun olmalıdır. Farklı ürünlere yönelik uygun kurutma işlemi için çok değişik tipte kurutucu geliştirilmiştir. Bu kurutucular kurutma ortamına verdikleri ısı enerjisini taşıma tiplerine göre sınıflara ayrılmaktadır. Kullanılan ısı transfer yöntemlerine göre kurutucu tiplerinden bazıları şöyledir (Yağcıoğlu, 1999):

**Konveksiyonlu Kurutma:** Kurutma işleminde kurutulması istenilen ürüne ısı enerjisi hava ile verilir. Hava, kurutma ortamına verilmeden önce istenilen sıcaklığa kadar ısıtılıp ortama fanlar yardımıyla verilir ve ortamda ürün ile hava arasında ısı transferi gerçekleşir. Isı, kurutucu ortamdaki ürüne taşınım (konveksiyon) yoluyla aktarılır. Ortama verilen sıcak hava, kurutulan ürünün ya doğrudan üzerinden ya da içinden geçirilir.

**Kondüksiyonlu Kurutma:** Kondüksiyon yoluyla kurutmada, kurutma için verilmesi gereken ısı enerjisi kurutulacak ürüne, ısıtılmış yüzeyden iletim yoluyla verilir. Kurutulan ürüne iletilen ısı, sıcak yüzeye değen yağ materyalin ısı iletim özelliklerine (kondüktivitesine) ve sıcak yüzeyin ısı iletim katsayısına bağlıdır.

**Işınım ile Kurutma:** Bu yöntemde kurutma için gerekli ısı enerjisi, yağ materyale, elektromanyetik ışınım yöntemi ile verilir. Bu ışınlar içinden geçtikleri ortamı ısıtmaz; kendilerini absorbe eden (soğuran) cisimleri ısıtırlar.

Sıcak havalı kurutucular, havanın gıdadan geçirilmesi tipine göre paralel, ters, doğru ve çapraz akışlı olmak üzere kendi aralarında gruplandırılabilir. Havanın elektriksel yöntemle ısıtıldığı kurutucular düşük sıcaklık derecesine gereksinim duyulan gıdaların kurutulmasında ya da araştırma amacına dönük tesislerde tercih edilirler (Saldamlı ve Saldamlı, 2004).

Kurutucular kabin tipi, tünel tipi, akışkan yataklı, döner tipli kurutucular olarak da gruplara ayrılabilir. Kurutucu tipinin seçimi sırasında kurutulacak ürünün özellikleri kurutmanın yapılacağı mevsim, kurutma süresi, iş gücü ve enerji gereksinimi ile işletmede kurutucu için ayrılacak yer dikkate alınarak seçilmelidir (Yağcıoğlu, 1999).



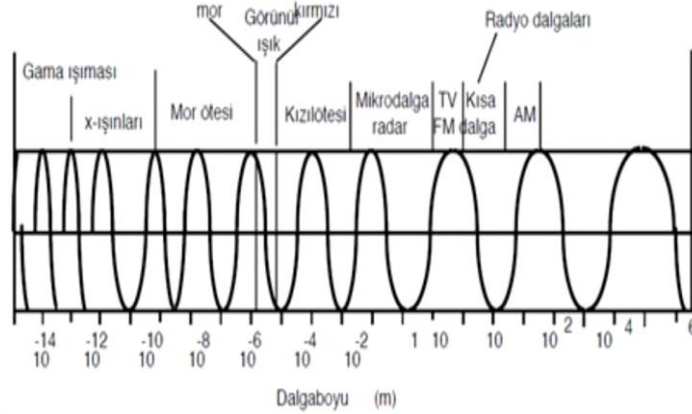
### 2.7.2. Vakumla Kurutma

Gıdaların vakum altında kurutulması diğer kurutma yöntemleri ile kurutulduğunda istenilen verimin alınmaması durumlarında geliştirilmiş bir kurutma yöntemidir. Vakum kurutmada diğer kurutucular ile yapılan kurutmaya göre kuruma daha kısa sürede gerçekleşmektedir (Erbay ve Küçüköner, 2008). Vakumla kurutma, hem kısa sürede gerçekleşir hem de yüksek sıcaklık şartlarında yapısı bozulan ürünlerin daha düşük sıcaklıklarda hızla kurutulmasını sağlar. Vakum kurutmada buharlaşan su, vakum pompalı tiplerde bir yoğuşturucu yardımıyla sıvı hale dönüştürüldükten sonra vakum hücresi dışına çıkarılır. Vakum hücresinin içinde çok az miktarda hava bulunması, kolayca okside olabilen ürünlerin kurutulmaları sırasında ortaya çıkan oksidasyon riskini de en az düzeye indirmektedir. Bu tip kurutucular, yüksek sıcaklıkta hızla kuruma nedeniyle yüzeyi çabuk kuruyarak sertleşen ve bu nedenle iç katmanlardan yüzeye nem difüzyonu engellendiği için ortası nemli kalan ürünlerin kurutulmasına da uygundur (Yağcıoğlu, 1999). Gıdaların sıcak havayla kurutulmasında oluşan istenmeyen bazı durumlar vakum kurutma yönteminde önlenmektedir. Vakum sisteminde hava olmadığı için renk ve kolaylıkla okside olabilen bileşiklerin kayıpları daha az meydana gelmektedir (Saldamlı ve Saldamlı, 2004). Vakumlu kurutucularda kurutulan ürünler genellikle içi gözenekli, süngerimsi bir yapı kazanır. Vakumlu kurutucular dış basıncı dayanıklı sağlam ve sızdırmaz bir vakum hücresi ile vakum sağlayacak düzeneklere gereksinim gösterildiğinden pahalı bir sistemdir (Yağcıoğlu, 1999).

### 2.7.3. Mikrodalgayla Kurutma

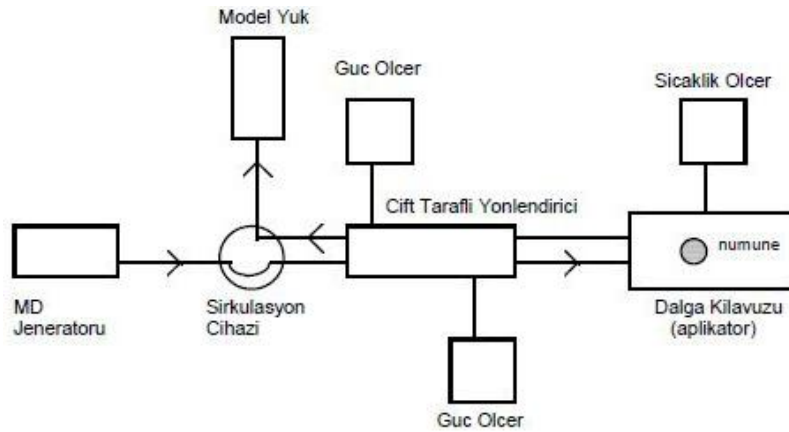
Mikrodalgalar, sürekli ya da kesikli dalga salınımları yapan, magnetron ve klistron olarak bilinen cihazlar kullanılarak üretilmektedir. Mikrodalgalar kızıl ötesi ile radyo frekansları arasındaki bölgede 1 mm'den 1 m'ye kadar değişen dalga boyu ve 300 MHz-300 GHz frekans aralığında bulunmaktadır. **Şekil 2.1**'de bu dalga boylarını gösteren elektromanyetik dalga spektrumu gösterilmiştir. Genel olarak ev tipi mikrodalga (MD) fırınlarda 2,45 GHz frekans, endüstriyel proseslerde, laboratuvar ve araştırma projelerinde ise 2,45 GHz ya da 915 MHz frekansları kullanılmaktadır. MD kurutma sisteminde kurutma verimliliği, elektromanyetik dalgaların etkisindeki bir malzemenin bazı fiziksel ve termal özelliklerinin yanı sıra, temel olarak malzemenin

dielektrik özelliklerine, kullanılan magnetron gücü ve frekansına, aplikatör boyutları ile ilgili büyüklüklere bağlı olarak değişmektedir (Gölcü ve Şen, 2014).



Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga spektrumu (Palamutcu ve Dağ, 2009)

Deneysel çalışmalarda MD devreleri oluşturulmaktadır. Materyaller, devrede aplikatör olarak adlandırılan kısımda ışığa maruz bırakılır. Aplikatör, bir boşluklu dalga kılavuzu veya boşluk yankılatıcısı olabilir. Enerjinin tamamı materyal tarafından emildiğinde işlem tamamlanmış olur. Sürekli ya da kesikli dalgalar vasıtasıyla elektrik alan materyale iletilir. Sürekli sistemler tek bir enerji değeriyle çalışmakta iken, sisteme farklı enerji seviyeleri verilmesi sistemin kesikli çalıştığını göstermektedir (Ulcay vd., 2002). Mikrodalga devre Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Bir mikrodalga devresi (Ulcay vd., 2002)

Geleneksel kurutma işlemlerinde, ürünün kurutulması için gerekli ısı enerjisi ürüne konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon olmak üzere üç farklı şekilde

aktarılabilmektedir. Bu üç aktarım şeklinde kuruma süresi, ortam sıcaklığıyla ürün sıcaklığı arasındaki farkın büyüklüğünden ve ürün yüzeyinden içeriye doğru gerçekleşen ısı iletim yeteneğinden etkilenir. Mikrodalga kurutma sisteminde ise ürün içindeki su molekülleri titreterek sürtünme sonucu ısıyı oluşturması nedeniyle, tüm ürün ısıtılmaktadır (Karaaslan, 2008). Mikrodalga hacimsel ısıtma sağlayan dielektrik ısıtma tekniklerindedir. Hacimsel ısıtma ile ısının materyalin içinde oluşturulması, mikrodalga ürün penetrasyonunun fazla olmasından ve su molekülleri tarafından absorbe edilmesinden dolayı, ürünler geleneksel yöntemden daha kısa sürede istenilen sıcaklık düzeylerine getirilebilmektedir (Ramesh vd., 2002). Bu nedenle mikrodalga tekniğinde, geleneksel yöntemlerden daha hızlı ısınma sağlanmakta, enerji gereksinimi düşük; fakat enerji verimi yüksek olmaktadır. Ayrıca ekipmanlarının kolay temizlenebilmesi, az yer kaplaması, ambalajlı gıdalara da uygulanabilir olması ve besin değerini korumasından dolayı geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılmaktadır (Başkaya Sezer ve Demirdöven, 2015).

Mikrodalgalar gıda endüstrisinde pastörizasyon, sterilizasyon, buz çözme, kurutma, pişirme ve ısıtma gibi pek çok işlemde değişik amaçlarla kullanılabilir. Gıdaların mikrodalga ısıtılmasına frekans, mikrodalga gücü, ısıtma hızı, sıcaklık, gıdanın kütlesi, su içeriği, yoğunluk, fiziksel geometri, elektriksel iletkenlik, dielektrik ve termal özellikler etki etmektedir (Konak vd., 2009).

## **2.8. Kurutma Öncesi Ön İşlemler**

Meyve ve sebzelerin kurutulmasında uygulanan ön işlemler türlere göre değişebilmekle birlikte genel olarak ayıklama, sınıflama, yıkama gibi işlemler birçok meyve ve sebze türünün kurutulmasında uygulanmaktadır. Ancak bu ön işlemler yanında meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılan kükürtleme, alkali çözelti uygulaması, haşlama, tuzlama ve değişik çözeltilerin uygulanması ön işlemleri daha büyük önem taşır (Şen, 2013).

### **2.8.1. Kükürtleme**

Her kurutulan üründe sıklıkla ortaya çıkan en önemli olumsuzluk, renk esmerleşmesidir. Birçok meyve ve sebze kurutma sırasında bu renk değişimleri görülmektedir. Kayısı, kurutma sırasında rengi en çok değişikliğe uğrayan meyvelerden biridir. Renk esmerleşmesi kurutmadan önce, kurutma sırasında ve depolama sürecinde

oluşur. Renk esmerleşmesi enzimatik veya enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucu olabilir. Meyveler başta olmak üzere haşlamaksızın kurutulmuş ürünlerde oksidasyon enzimlerinin faaliyetiyle, başta polifenoller olmak üzere birçok maddenin oksidasyonuna dayalı renk esmerleşmesi kendini gösterir. Ancak olay su miktarının azalması sonucu durur. Bununla birlikte kurutulmuş ürünlerde renk esmerleşmesi daha çok enzimatik olmayan yolla meydana gelmektedir. Maillard Reaksiyonu olarak isimlendirilen bu esmerleşme reaksiyonunda şekerlerin aldehit grupları ile proteinlerin amino grupları rol oynamaktadır. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, kurutma sırasında hızlı ve depolamada ise koşullara göre belli bir hızla devam eden sürekli olaylardır. Kuru meyvenin su miktarı genellikle sınırlayıcı değildir (Fennema, 1976).

Meyvelerde kuruma sırasında meydana gelen enzimatik ve özellikle de enzimatik olmayan esmerleşmeleri önlemek için kükürt dioksit uygulaması en yaygın başvurulan uygulamadır. Kükürt dioksitin bir taraftan hücredeki bazı enzimleri, özellikle oksidasyon enzimleri, inaktif hal getirirken, diğer taraftan özellikle enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını da engellediği belirtilmektedir. Kükürt dioksit enzimatik olmayan esmerleşmeyi, karbonil grubu ara ürünleriyle reaksiyona girerek onların esmer pigmentlere dönüşümünü bloke etmek suretiyle önlemektedir. Kükürt dioksit gazı ayrıca daha önce oluşmuş esmer rengin açılıp düzeltilmesini de sağlamaktadır (Karaçalı, 2002; Cemeroğlu ve Özkan, 2009).

Meyve ve sebzelerde kurutulmasında ön işlem olarak kükürt dioksit uygulaması, su kaybı hızlandığı için kurumayı da hızlandırmaktadır. Sebzelerin mekanik olarak kurutulmasında kükürt dioksit uygulanan ürünlerde kurutma sıcaklığını biraz yükseltilebilir. Bu da sebzelerde renk esmerleşmesi görülmeden daha kısa sürede kurutmanın tamamlanmasına olanak sağlayabilmektedir (Şen, 2013).

Kükürt dioksit uygulaması kurutmada oldukça etkili, ucuz ve uygulamasının kolay olması nedeniyle vazgeçilmez bir uygulamadır. Ancak kükürt konusunda kurutulmuş ürünleri ithal eden ülkelerin hassasiyeti her geçen gün artmaktadır. Birçok Avrupa ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de kuru kayısıda bulunmasına izin verilen maksimum kükürt dioksit konsantrasyonu 2000 ppm' dir. Günümüzde üreticilerin uygulamak istemedikleri 2000 ppm kükürt dioksit standardının ilerleyen yıllarda daha aşağıya çekilme ihtimali vardır (Asma vd., 2005; Aksoy vd., 2012).

### 2.8.2. Alkali Çözelti Uygulaması

Özellikle bütün olarak kurutulan ve üzerinde kalın bir kütikula-mum tabakası bulunan meyvelerde bu katmanı uzaklaştırılması, inceltilmesi, zayıflatılması ve hidrofil özellik kazandırılması gerekir. Bu amaçla bazı meyvelerde (çekirdeksiz üzüm, erik vb.) alkali çözeltiler (NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) daldırılma veya püskürtülme şeklinde uygulanır. Bu alkali çözeltiler içinde, kuvvetli bir alkali olan NaOH en yaygın olarak kullanılır. Bazı durumlarda bunların karışımları da kullanılır. Bu uygulama sayesinde kurumanın hızlandırılması amaçlanmaktadır.

Türkiye’de üzümlerde alkali çözeltisi uygulamasından sonra güneşte kurutulurken, ABD’de bazen yapay kurutucularda kurutulmaktadır. Bu uygulamanın sıcak yapılması (haşlama etkisi) kabuğa yakın yerleşen enzimlerin parçalanmasını sağlar. Kullanılan alkali dozu çeşidi, olgunluk durumu ve yetiştirme bölgesine göre değişir. Az olgun ve yeşil meyvelerde kullanılan alkali çözeltilerin dozu yükseltilir. Benzer şekilde sıcak ve kuru bölgelerde yetiştirilen meyvelerde de (erik) doz yükseltilir. Bu ön işlemden suyun özelliği uygulamanın başarısını etkilemektedir. Sert sularda etkinlik azaldığı için doz biraz yükseltilmeli veya su iyileştirilmelidir.

Türkiye’de üzümlerin kurutulmasında “bandırma çözeltisi” veya “potasa eriği” olarak adlandırılan %5-6 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> alkali çözeltiye %0,5 zeytinyağı ilave edilerek hazırlanan çözeltiye daldırılır. Çekirdeksiz kuru üzümlerin kurutma öncesi bandırma çözeltisine daldırılması hem kurutmayı hızlandırmakta hem de rengin korunmasını sağlamaktadır. Meyveler bandırma çözeltisine daldırıldıkça çözeltinin konsantrasyonu düşeceğinden belli aralıklarla K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ilave edilerek çözelti istenilen konsantrasyonda tutulması sağlanır. Erik gibi meyveleri kurutulmadan önce iriliklerine göre boylandıktan sonra %0,5-1,5’lik NaOH çözeltisine kısa süreli (10-15 s) daldırılıp, su ile yıkanır. Böylece mum tabakasının uzaklaşması ile kuruma işlemi hızlanır (Şen, 2013).

### 2.8.3. Haşlama

Sebzelerde (özellikle parçalanarlarda) enzimlerden kaynaklanan kalite kayıplarını önlemek için haşlama yapılır. Sebzelerin haşlanmasında, peroksidaz enziminin parçalanması esas alınır. Haşlama ile sebzelerde en önemli sorun olan renk esmerleşmesine neden olan enzimler inaktif hale getirilmektedir. Örneğin; bezelye ve fasulye 3-4 dakika haşlama ile sadece enzimatik renk esmerleşmeleri önlenebilirken,

enzimatik olmayan renk esmerleşmesi önlenememektedir. Bu durumda sebzelerin kurutulmasında kükürt dioksit gibi diğer ön işlemlerden de yararlanılmaktadır. Meyvelerin kurutulmasında da enzimatik renk esmerleşmeler tamamen ortadan kaldırmak için meyvelerin de haşlanması gerektiği belirtilmiştir (Aguilera vd., 1987).

Klasik şekilde kaynar su ile yapılan haşlamalarda meyvelerde önemli kayıpların olmasına ve yapılarda bozulmalara neden olduğundan, bu işlem meyvelerin kurutulmasında bir ön işlem olarak uygulanamamaktadır. Özellikle dondurularak muhafaza edilecek sebzeler için geliştirilen “bireysel hızlı haşlama” yönteminin kurutulacak bazı meyvelerde de başarı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Cemeroğlu ve Özkan, 2009).

Bazı sebzeler (kırmızıbiber, soğan, sarımsak) haşlamaya uygun olmadığı için kurutma öncesi bu ön işlem uygulanamamaktadır. Bazı meyveler de haşlanabilir fakat doku çok yumuşar, su ile temas edince şeker kaybı meydana geldiğinden tercih edilmemektedir. Sebzelerin kurutulmasının ön işlem olarak kullanılan haşlama, bazen kükürt dioksit uygulaması ile birlikte yapılmaktadır. Önce haşlama yapılmakta daha sonra değişik konsantrasyonlarda kükürt dioksit olacak şekilde sülfid ve bisülfid çözeltileri püskürtülmektedir (Şen, 2013).

Bezelye daneleri 2-3 dakika süreyle kaynar su veya düşük basınçlı buhar ile haşlanır ve soğutulduktan sonra kurutulur. Son üründe 300-500 ppm kükürt dioksit olacak şekilde sülfid veya bisülfid çözeltisi püskürtülür. Taze fasulyeler ise doğrandıktan veya kıyıldıktan sonra 3-4 dakika süreyle kaynar suda veya buharda haşlanmaktadır. Daha sonra bu fasulyeler soğuk suyla sıcaklıkları alınarak kurutulurlar. Taze fasulyelerin haşlama süresi uzatılırsa yeterince pişirildikten sonra kurutulacağından tüketim aşamasında pişirme işlemi kısa tutulması yeterlidir. Bazı işletmelerde kurumuş fasulyelerde 500 ppm kükürt dioksit olacak şekilde kükürtleme işleme uygulanmaktadır (Cemeroğlu ve Özkan, 2009).

Havuçların kurutulmadan önce silindir şeklinde elekler yardımıyla toprak vb. kirlere uzaklaştırılır, havuçlar değişik sistemler ile yıkanır, basınçlı buharda ve kaynar NaOH çözeltisinde (%5) tutularak (3 -4 dakika) kabuğu soyulur. Bu havuçlar boylarına göre ayrılarak değişik şekillerde (küp, halka) kesilerek hemen buharda 6-8 dakika süreyle haşlanır. Bazı işletmeler haşlamaya ilaveten, renk kararmasını önlemek için haşlama bandının çıkışına %0,2-%1,0'luk kükürt dioksit çözeltisi püskürten sistemler

ilave etmektedir. Kükürt dioksit çözeltisinin uygulama miktarı kurutulmuş havuçlarda 500-1000 ppm kükürt dioksit olacak şekilde yapılması önerilir (Cemeroğlu ve Özkan, 2009).

Kerevizler yıkama, kesme, soyma, ayıklama, yıkama işlemlerinden sonra özel cihazlarla değişik şekillerde (küp, dilim, çubuk) doğandıktan sonra yaklaşık 2 dakika süreyle atmosferik basınçta haşlanır. Bu haşlamanın dezavantajı ise önemli miktarda aroma kaybına neden olmasıdır. Bu nedenle kurutulmuş kerevizlerde renk önemli değilse haşlama uygulanmayabilir. Kerevizlerin kurutulmasında, haşlama sonunda kurutulmuş kerevizde 500-1000 ppm kükürt dioksit olacak şekilde sülfite ve bisülfite çözeltileri püskürtülür veya %0,5-1,0'lik sodyum bisülfite çözeltilerine daldırılmıştır. Kültür mantarları bütün veya doğranmış olarak 2-5 dakika süreyle kaynar suda veya buharda haşlanır. Doğranmış mantarların kurutma öncesi 5-10 dakika süreyle 400 ppm  $Cl_2$  ve 300 ppm kükürt dioksit içeren çözeltilere daldırılmanın renk açısından olumlu sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Bazı kurutma tesisleri pırasaların kurutulmasında hafif bir haşlama uygulasa da kurutulmuş pırasada aroma ve lezzet kaybına neden olduğundan yaygın olarak kullanılan ön işlemlerin önemli olmadığı sonucuna varılmıştır (Şen, 2013).

#### **2.8.4. Tuzlama**

Kurutulmuş sebzelerde depolama sürecinde küf ve maya gelişimi önemli bir sorundur. Bu amaçlı sebzelerin kurutulması sonrası dönemde, mikrobiyal yükü kontrol etmek için kurutma öncesi tuz uygulaması (tuzlama) yapılmaktadır. Çünkü birçok bakteri %6'ın üzerindeki tuz konsantrasyonlarında yaşayamamakta veya tuzlama ile bakteriyel aktivitesi azalmaktadır. Tuz, doğrudan serpmeye veya tuzlu çözeltilere daldırma veya püskürtme şeklinde uygulanır. Kurutmada kullanılan diğer tüm kimyasallar gibi kullanılan tuzun Türk Gıda Kodeksi 2004/44 no'lu Sofra ve Gıda Sanayii Tuz Tebliği'ne uygun değerlere sahip olması gerekmektedir. Tuz kurutma öncesi domateslerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tuz uygulaması yaygın olarak domatesin kurutulmasında kullanılan bir ön işlemdir. Tam olumda hasat edilen domates meyveleri, kurutma yerlerine getirilerek sap kısmında çiçek burnuna doğru bir bıçak yardımıyla ikiye bölünür. Tuz uygulaması meyve kesiminden hemen sonra yapılmalı, meyve kesim yüzeyinde yüksek sıcaklık

nedeniyle kabuk oluşumuna izin verilmemelidir. Genellikle tuz uygulaması sergi yerlerine serilen kesilmiş yarım domateslerin üzerine yemeklik granül tuzun el ile serilmesi, şeklinde yapılır. Granül tuz uygulamasında bir ton domates için ortalama 5-6 kg iri tuz gerekmektedir. Tuzlu üründe renk kükürtlü üründeki gibi parlak kırmızı olmaz, kirli kiremit kırmızısı renk alır. Ürün bu kırmızılığı normal depo koşullarında çok kısa zamanda kaybederek kararmaktadır. Tuzlu ürün daha çok İtalya'da ve bazı Avrupa ülkelerinde tüketilir. Tuzlu ürünlerde rutubet oranını düşürmek zordur. Fazla nemli ürünlerde ise mayalanma ve küflenme meydana gelir (Şen, 2013).

### **2.8.5. Değişik Çözeltilerin Uygulanması**

Kurutma ve depolama sürecinde renk değişimlerini önlemek amacıyla askorbik asit, sitrik asit, malik asit gibi değişik asitler, tokoferoller, sistein gibi doğal antioksidantlar ile etil oleat kullanılır. Bunlar tek başına veya diğer yöntemlerle birlikte uygulanabilir. Örneğin; domateslerin kurutulmasında sitrik asit + tuzun birlikte uygulanması gibi (Duman vd., 2010). Son yıllarda kükürt dioksit yerine askorbik asit, tokoferoller, sistein gibi bazı doğal antioksidanların kullanılması ile ilgili çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Şeftalileri 3 dakika süreyle %1 askorbik asit ve %0,25 malik asit içeren çözeltiliye daldırmanın renk açısından kükürt dioksit uygulamasına göre daha iyi sonuç verdiği bildirilmiştir (Cemeroğlu vd., 2009).

### **2.8.6. Ultrases Uygulanması**

Denge durumunda bulunan taneciklerin mekanik titreşimleri ses, bir saniyede olan titreşim sayısı ise frekans olarak tanımlanır. Elektromanyetik dalgaların aksine ses boşlukta iletilemez. Ses dalgaları ancak moleküler ortamda iletilebilmektedir. Ses hareketi boyunca sıkışma ve genleşme bölgeleri arasında gerçekleşen, pozitif veya negatif atmosferik basınç değişimi derecesi genlik olarak isimlendirilir (Kantaş, 2007).

İnsan kulağının işitebileceğinin üzerinde frekansa sahip ses dalgaları (20 kHz ile 10 MHz aralığında) ultrases olarak adlandırılır. Ultrases, akustik bir enerjidir (Tüfekçi ve Özkal, 2015). Ultrases bir ortamdan geçerken; çeşitli uygulamalarda kullanılmasına olanak sağlayan ve ses dalgasının frekansı ve genliğine bağlı olarak oluşan pek çok fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etki oluşturmaktadır (Knorr vd., 2004).

Kullanılan ses dalgasının şiddetine göre gıda işlemede ultrases kullanımı; 'Yüksek Frekans Düşük Güç' ve 'Düşük Frekans Yüksek Güç' olmak üzere iki ana



kategoriye ayırmak mümkündür. 0.1 ile 10 MHz frekans ve 1 W/cm<sup>2</sup>'den küçük şiddete sahip yani yüksek frekans düşük güç grubundaki ses dalgaların kullanıldığı yöntem; bir ürün veya prosesi izlemek, kontrol etmek ya da farklı gıda maddelerinin fiziko-kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılır. Düşük frekans yüksek güç yani 20 ile 100 kHz frekans ve 10-100 W/cm<sup>2</sup> arasında şiddete sahip ses dalgalarının kullanıldığı yöntem, bir ürün veya prosese doğrudan etki etmek amacıyla kullanılır (Kantaş, 2007). Ultrasesin gıda işlemede kullanımı, uygulamada oluşturduğu etki ve sağladığı faydalar Çizelge 2.2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Ultrasesin gıda işlemede kullanımı (Patist ve Bates, 2008).

Uygulama alanı	Etki/Fayda
1)Ekstraksiyon	1)Ekstraksiyon verimini ve etkisini arttırmak
2)Emülsifikasyon / Homojenizasyon	2)Yüksek kayma gerilimine sahip mikro akış, uygun maliyetle emülsiyon üretimi.
3) Kristalizasyon	3) Daha küçük kristal oluşumu, kristallerin üniform nükleasyonu ve modifikasyonu.
4) Filtrasyon	4) Kirlenmeyi azaltma, akı hızını arttırma.
5) Seperasyon	5) Kimyasal ayırma tekniklerine olan ihtiyacı azaltma, basınç düşüm noktalarında partiküllerin aglomerasyonu.
6) Köpük giderme	6) Verimliliği arttırma, köpük giderici ajanların kullanımını azaltma, boru hatlarında oluşan fireyi azaltma.
7) İnaktivasyon (enzimatik ve mikrobiyal)	7) Mikrobiyal hücre membranlarına direkt kavitasyonel zarar, ısı transferini arttırma, düşük sıcaklıklarda enzim inaktivasyonu, gıda kalitesini koruma.
8) Fermantasyon	8) Fermantasyon prosesini hızlandırma, metabolit üretimini arttırma, canlı dokuyu uyarma, substrat transferini iyileştirme.
9) Isı transferi	9) Kavitasyon ile ısı transferini arttırma, ısıtma ve kurutma işlemlerini hızlandırma ve daha düşük sıcaklıklarda çalışma imkanı.

### 2.8.7. Ozmotik Dehidrasyon

Ozmotik dehidrasyon tekniği, kurutma teknolojisinin ihtiyaç duyduğu enerji girdisinin azaltılması ve istenen niteliklerde ürün eldesi gibi avantajları sebebiyle son yıllarda artan bir ilgi kazanmıştır. Ozmotik dehidrasyon tek başına bir kurutma yöntemi

olmayıp, asıl kurutma işlemi öncesinde, bir ön işlem olarak değerlendirilebilir. En basit ifade ile ozmotik dehidrasyon gıdada bulunan suyun belli bir kısmının, hipertonic (ozmotik) çözeltilere daldırma veya ozmotik ajanın direkt uygulanması ile kontrollü olarak uzaklaştırılması (difüzyonu) esasına dayanır (Çınar, 2008).

Ozmotik dehidrasyon sadece suyu uzaklaştırmakla kalmaz, aynı zamanda ürüne istenen duysal, besinsel ve kimyasal içeriği sağlamak amacıyla antioksidanlar, koruyucular, vitamin ve mineraller, su aktivitesi düşürücü ajanların da eklenmesi için bir taşıyıcı ortam oluşturur. Ayrıca diğer bir açıdan ozmotik dehidrasyon konvektif kurutma veya dondurma için gereken enerji girdilerini azaltan bir ön işlem olarak düşünülebilir (Torreggiani vd., 2004).

Ozmotik dehidrasyon kütle transferine dayanan dinamik periyottan sonra, su ve şeker/tuz arasındaki denge prensibi ile karakterize edilir. Yani proses süresince suyun dokudan uzaklaştırılması ve şeker/tuzun girişi sağlanırken her iki komponent arasında su aktivitesi dengesi oluşmasıyla (net transferin sıfır olduğu denge durumu) dehidrasyon sona erer. Ozmotik dehidrasyon parametreleri, şeker/ tuz çeşidi ve konsantrasyonu ürün kalitesi üzerine son derece etkilidir (Çınar, 2008).

Ozmotik dehidrasyon işletme maliyetini azaltması ve tüketici ihtiyaç ve beğenisine cevap verebilecek niteliklerde ürün sağlaması sebebiyle birçok araştırmaya konu olmuştur. Son yıllarda popülaritesi artan ozmotik dehidrasyon hakkında temel ve güncel bilgiler sunulmuştur. Tek başına bir işleme tekniği olmayıp, asıl işlemden önceki ara işlem basamağı olarak değerlendirilen ozmotik dehidrasyon endüstriyel çaplı üretimler için bir alternatiftir. Bu teknikle elde edilecek yarı işlenmiş ve orta nem düzeyine sahip ürünler geniş yelpazede kullanım alanı bulacaktır (Çınar, 2008).

### **2.8.8. Vakum İmpregnasyon Yöntemi**

Vakum impregnasyon işlemi, ozmotik dehidrasyon işlemi hızlandıran bir teknolojidir. Ozmotik dehidrasyon, ozmotik çözelti içerisinde bitki dokusundan suyun belli oranlarda uzaklaştırılması için kullanılan yaygın bir yöntemdir ve dondurma, dondurarak kurutma, mikrodalga kurutma, havalı kurutma, vakumlu kurutma gibi koruma yöntemlerine tabi tutulan meyve-sebzelere besinsel, duysal ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmek ve bütünlüklerini korumak için uygulanan ön işlemdir (Silva vd., 2014).

“İmpregnasyon” emdirme veya nüfuz etme anlamı taşımaktadır. Vakum impregnasyon, gözenekli yapıda bitki ve hayvan dokularının içerisine hızlı ve kontrollü bir şekilde sıvı geçişinin sağlamak için kullanılan bir yöntemdir. Vakum impregnasyon öncelikle gıda ürünlerinin kalitesinde iyileştirmeler yapma ihtiyacından ortaya çıkmıştır. Vakum impregnasyon ürünlerin yapısal bütünlüğünü etkilemeden kısmi su giderme ve çözünmüş maddelerin taşınarak impregne edilmesiyle gıda ürünlerinin bileşimini değiştirmek amacıyla uygulanır. Vakum impregnasyon sırasında gözenekli ürünün basınç değişimlerine karşı hidrodinamik mekanizma hareketlerinin haricinde sıvı faz açık gözenekler içinde gözenekleri dolduran gaz ile alışverişe girmesi gözlenir (Fito, 1994).

Gıdalarda ozmotik uygulamalarda:

- Kütle transfer gerçekleşir
- Gıda kompozisyonunda da bazı değişiklikler olabilir
- Vakum impregnasyon, meyve ve sebze işleme uygulamasında yaygın bir şekilde kullanılmakta ve pek çok avantaj sağlamaktadır.

#### **2.8.8.1. Vakum İmpregnasyon Uygulama Aşamaları**

**Birinci aşama;** kapalı vakum uygulanacak kap içerisine kısa süre ( $t_1$ ) vakum basıncı ( $P_1$ ) uygulanır, böylece gıda bünyesindeki gazlar uzaklaştırılır.

**İkinci aşama;** bu aşamada vakum uygulamadan önce hazırlanan solüsyonun bir miktarı kapalı vakum kabına alınır. Meyve ve sebzeler de solüsyon içerisine bırakılır ve uygun aparatla meyve ve sebzeler solüsyona daldırılır. Atmosferik basınca ( $P_2$ ) dönülmekte gaz çıkışıyla oluşan boşluklar hidrodinamik akış yardımıyla ozmotik dehidrasyon sıvısı tarafından kolayca doldurulur (Fito vd., 2001).

#### **2.8.8.2. Vakum İmpregnasyon Uygulaması**

Öncelikle vakum impregnasyon çözeltisi hazırlanır. Çözelti için genelde glikoz, sakkaroz, mısır şurubunun direkt kendilerinden ya da belirli oranlarda hazırlanan kombinasyonlarından elde edilir. Vakum impregnasyon çözeltisi %25-60 Brix aralığında, örneğe göre hazırlanır. Vakum impregnasyon çözeltisinin sıcaklığı 20-50°C arasında değişmektedir. Sonrasında kullanılacak örnekler hazırlanır. Hazırlanan örnekler hacimce uygun ve vakum uygulanabilecek kaba alınır. Çözelti/örnek oranı

ayarlandıktan sonra iyice daldırmayı sağlamak açısından paslanmaz çelikten bir elek kullanılır. Vakum belirlenen basınçta uygulanmaya başlanır. 5 dakikada bir uygulanan basınç serbest bırakılarak ardından tekrar atmosferik basınç uygulanır. Bu işlem örneğe göre ve vakum impregnasyon çözeltisinin konsantrasyonundaki değişime göre yaklaşık 15-30 dakika devam edilir. Daha sonra vakum emdirilmiş meyveler boşaltılır ve seçilen örnekler harmanlanarak tartımları yapılır ve kurutma işlemine hazırlanır.

### **2.8.8.3. Vakum İmpregnasyonu Etkileyen Faktörler**

Vakum impregnasyonu, hammaddenin dokusu, şekli ve büyüklüğü, impregnasyon çözeltisinin türü, çözeltinin sıcaklığı, konsantrasyonu ve bileşimi, atmosferik basıncın süresi ile çözelti/ örnek oranı gibi faktörler etki etmektedir ve bu faktörler, literatür örnekleriyle aşağıda kısaca açıklamaktadır.

#### **Hammaddenin Yapısı, Şekli ve Büyüklüğü**

Moraga vd. (2009) çilekler üzerine uyguladıkları vakum impregnasyonda çilekleri 35 mm ile 50 mm arasındaki boyutlarda kestiklerinde maksimum sonuç elde etmişlerdir. Talens vd. (2002) kivi üzerine uyguladıkları vakum impregnasyon da kivileri 40 mm boyutunda kestiklerinde maksimum sonuç elde etmişlerdir. Boyut özelliğinin yanı sıra gözenek boyutu iri olan gıdaların vakum impregnasyona daha elverişli olduğu saptanmıştır.

#### **Vakum İmpregnasyon Çözeltisinin Türü**

Üç farklı çözelti kullanılmaktadır. Bu çözeltiler kısaca aşağıda verilmektedir.

**İzotonik çözelti;** hücre içi ve dışında konsantrasyonun eşit olması durumudur.

**Hipotonik çözelti;** hücre dışı çözelti konsantrasyonu hücre içi madde konsantrasyonundan az olması durumudur.

**Hipertonik çözelti;** hücre dışı çözelti konsantrasyonunun hücre içi madde konsantrasyonundan fazla olması durumudur.

#### **Çözeltinin Konsantrasyonu, Sıcaklığı ve Bileşimi**

İmpregnasyon çözeltisi hazırlanırken duyuşal özellikleri ve çözünürlüğü iyi olan, toksik olmayan, düşük maliyetli çözücü ve çözünen seçilmelidir. İmpregnasyon çözeltisi için uygun sıcaklık örnek bileşimine bağlı olarak 20-50°C arasında seçilebilir.

Barat vd. (2001) elma dilimleri üzerine yaptıkları çalışmada 30, 40, 50°C'de %25-65 Brix sakkaroz çözeltisiyle vakum impregnasyon uygulandı.

Bu çalışmada 40°C'deki vakum impregnasyon çözeltisinin uygunluğu saptanmıştır. Moiera ve Sereno (2001) 25°C sıcaklıkta şeker çözeltilerinin elma dilimleri üzerine etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak ürünlerin nem içeriği, örnek ağırlığı ve hacimce net değişimler olduğunu gözlemlemiştir. Vakum impregnasyon sırasında yüksek sıcaklık uygulamak ozmotik dehidrasyon sürecini hızlandırırken örneklerin renk, doku ve lezzet profilleri üzerinde olumsuz etkiler yapabileceği gözlemlenmiştir. Vakum impregnasyon çözeltisinin bileşimi için nişasta şurubu, sakkaroz, gliserol, monosodyum glutamat, tuz, glikoz, laktoz ve maltodekstrin gibi maddeler ve bu maddelerin kombinasyonları kullanılmaktadır.

#### **Vakum Basıncı ve Süresi**

Andres vd. (2001) elma üzerine vakum impregnasyon etkisini incelemiş elma dilimlerinin 400 mbar'lık basınç altında elma gözeneklerinden tüm sıvının alması için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Mujica-Paz vd. (2003) izotonik bir solüsyon hazırlayarak mango, elma, papaya, muz, şeftali ve kavun dilimlerinde farklı basınç (135-674 mbar) ve farklı sürelerin (3-45 dakika) etkilerini araştırmıştır. Elma için 674 mbar ve 50 Brix, kavun için 593 mbar ve 57 Brix uygun bulunmuştur. Basınç ve sürelerin tüm meyve dilimleri üzerine önemli etkiye sahip olduğunu ve genellikle daha yüksek vakumda impregnasyon çözelti hacminin arttığını gözlemlemiştir.

#### **Atmosferik Basıncın Süresi**

Guillemina vd. (2008) elma küpleri üzerine yaptığı çalışmada vakum impregnasyon uygulamasının ardından uygulanan basınç 10 saniye bırakılıp ardından atmosferik basınç koşullarında 2,5 dakika vakum uygulamasının yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

#### **2.8.8.4. Vakum İmpregnasyon Uygulamalarında Oluşan Değişiklikler**

Hawkes ve Flink (1978) elma halkalarını kurutmak için laktoz, maltodekstrin ve sakkarozu birleştirmiş ve havayla kurutma uygulamıştır. Depolama sırasında askorbik asit tutma ve renk kararlılığına bakıldığında sakkaroz uygulanan elma halkalarının daha stabil kaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kurutma sırasında yapısal hasarın daha az olduğu belirtilmiştir. Mujica-Paz vd. (2003) yaptıkları bir çalışmada vakum emdirme olayının bitki dokularının sertliği, besin değeri ve raf ömrünü arttırmak için alternatif bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Fito vd. (1994) vakum ozmotik dehidrasyon

uygulamasında vakum altında kısa sürede (5-15 dakika) ozmotik çözelti içine daldırılmaktadır. Daha sonra ürün atmosfer basıncında normal ozmotik dehidrasyona maruz bırakılır. Vakum ozmotik dehidrasyonda gıda gözeneklerinin doldurulması vakuma kısa süre maruz kalma ve atmosfer basıncında tutma süresine bağlıdır. Lenart vd. (1992) ozmotik çözeltinin konsantrasyon artışı ve sıcaklık artışının kütle transferi sırasında tat, doku ve renkte istenmeyen değişiklikleri neden olduğunu belirtmiştir.

Vakum impregnasyon kalite geliştirme sırasında gıdaların gözenekli dokularının hasarını en aza indirmek, rengini, doğal lezzetini ve aromasını korumak gibi avantajlarının yanı sıra ısıya duyarlı gıda bileşenlerini koruması açısından önemli bir yöntemdir. Vakum impregnasyon çözeltilerinin normal hava veya vakum kurutma sırasında taze meyve dokusunu ve uçucu lezzet bileşenlerinin korunması açısından önemli bir yöntemdir. Yeni ürün geliştirmede ürünün gözenekli yapısından yararlanarak katkı maddelerinin penatre edilmesiyle ürün kalitesini artırma ve raf ömrünü uzatma sağlanabilir. Vakum impregnasyonda uygulanan vakum sayesinde gözeneklerdeki gazın dışarı atılmasıyla oksidatif esmerleşme ve meyve parçalarının rengindeki solmanın önlenmesi gözlemlenmiştir (Lenart, 1992).

Xie ve Zhao (2004) böğürtlen ve çilekleri dondurmadan önce uygulanan vakum impregnasyon çözeltisinde %7,5 kalsiyum glukol ve HMP (heksoz monofosfat) ve HFCS'nin (yüksek fruktozlu mısır şurubu) kombinasyonu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda dondurulmuş ve tekrar eritilmiş ürünlerde sızma kaybının azaldığı ve doku kalitesinin iyileştiği görülmüştür. Vakum impregnasyon uygulanan örneklerde sızma kaybının uygulanmayan örneklere göre yaklaşık olarak %20-50 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.

#### **2.8.8.5. Vakum İmpregnasyonun Kurutmada Önce Ön İşlem Olarak Kullanılmasının Amacı**

Vakum impregnasyon tekniği gıda endüstrisinde meyve ve sebze proseslerinin bazılarında ön işlem olarak kullanılmakta bu sayede enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca son ürün bileşimini ve kalitesini artırarak yeni ürün geliştirme ve raf ömrü çalışmalarında kullanılmaktadır. Dondurma, kurutma ve minimal işleme gibi asıl işlemlerden önce impregnasyon çözeltisine eklenen sıkıştırıcı ajanlar, antioksidanlar ve antimikrobiyal bileşenler olan fonksiyonel gıda gözeneklere nüfuz etmesiyle ürünün

kalitesinde ve raf ömründe artış sağlanmıştır. Yine kurutmada önce ön işlem olarak kullanımı su kaybına yol açarak enerji tasarrufunu sağlamaktadır. Vakum impregnasyon ile enerji tasarrufu iki şekilde sağlanabilir; 1) Isıtma uygulamalarından bir miktar kütle geçişinin sağlanması, 2) Sonraki basamakta daha kısa süreli ısı uygulamasının olması.

## 2.9. Granny Smith Elma

Granny Smith elma türü köken olarak Avustralya'ya dayanır. Granny Smith melez bir elma türüdür. Dış kabuk rengi yeşil, et rengi yeşilden beyaza ya da yeşilimsi sarıdır. Meyve büyüklüğü elma standartlarında orta büyüklüktedir. Meyve şekli ise kısayuvarlak-konik olarak gözlemlenir. Granny Smith türü lezzet olarak kalitesi yüksek grupta değerlendirilir, duyu kriterlerinde ise lezzeti keskin/ferahlatıcı olarak nitelenir. Granny Smith elma çeşitleri arasında yüksek antioksidan ve fenol konsantrasyonuna sahiptirler. Aynı zamanda düşük kalorili, diyet lifi ve potasyum içeriği yüksek olduğundan sağlıklı beslenme ve diyet listelerinde önerilen bir gıdadır (Dixon, 1998).

**Çizelge 2.3.** Granny Smith elmanın (100 g) besin değeri (Coffman, 2013).

<b>Besin ögesi</b>	<b>Miktarı</b>
Karbonhidratlar	13,81 g
Şekerler	10,39 g
Diyet lifi	2,4 g
Yağ	0,17 g
Protein	0,26 g
Vitaminler	
Thiamin (B <sub>1</sub> )	0,017 mg
Riboflavin (B <sub>2</sub> )	0,026 mg
Niasin (B <sub>3</sub> )	0,091 mg
Pantotenik asit (B <sub>5</sub> )	0,0061 mg
Vitamin B <sub>6</sub>	0,041 mg
Folat (B <sub>9</sub> )	3 µg
Vitamin C	4,6 mg
Mineraller	
Kalsiyum	6 mg
Demir	0,12 mg
Magnezyum	5 mg
Fosfor	11 mg
Potasyum	107 mg
Çinko	0,04 mg

### 2.9.1. Granny Smith Elmanın Özellikleri

Granny Smith elma türü melez bir türdür. Tam verimi sağlamak açısından aşılama yöntemiyle varyasyonlar oluşturulmuştur. Günümüzde “Granny Smith” olarak bildiğimiz elma türünün geneli Sydney’deki türün klonlarıdır (Symons, 2007). Granny Smith elmaları açık yeşil renktedir. Elmalı turta, elma cipsi ve elmalı kek gibi popüler birçok elma yemeklerinde kullanılırlar. Granny Smith, diğer elmalara kıyasla depolamada çok daha kolay korunur; bu da ihracat pazarlarındaki başarısına büyük katkı sağlamıştır. Depolama sırasında düşük etilen gazı üretiminin depolanmasını kolaylaştırdığı belirtilmiştir. Depolama şartları sağlandığında bir sene boyunca kalitesini kaybetmeden depolanabilmektedir (Hall ve Scote, 1961).

Granny Smith birçok elma çeşidi arasında antioksidan kapasite en yüksek elmalardan biridir. Bunun yanı sıra yüksek fenol bileşimine sahiptir. Özellikle yapısında bulundurduğu flavonoidler siyanidin ve epikateşinin cildi güzelleştirme etkisi olduğu belirtilmiştir. Granny Smith düşük kalori, yüksek diyet lifi içeriği ve yüksek potasyum içeriği nedeniyle kilo kontrolü sağlama çalışmalarında önerilmektedir (Coffman, 2013).

### 2.10. Kurutmanın Matematiksel Modellemeleri

Matematiksel modelleme kurutma teknolojisinin en önemli parçasıdır. Matematiksel modelleme, optimum çalışma koşullarına karar verme ve daha sonra istenilen çalışma koşullarında uygun kurutmayı yapabilmek için kurutma donanımlarının tasarımlarına olanak sağlamaktadır. Modelleme teorisi, etkin sistemi tanımlayan bir grup matematiksel denklemdir. Bu denklemleri uygulayarak işlemlerin başlangıç koşullarının bilgisi ile zamanın bir fonksiyonu tahmin edilebilir. Ancak, kuruma eş zamanlı ısı ve kütle transferi dâhil çok karmaşık bir süreç olduğu için, denklemler sayısal yöntemler kullanılmadan çözmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle, analitik yolla çözülebilir aşağıdaki varsayımlara, basitleştirilmiş modelleri kullanarak elde edilebilir (Kutlu vd., 2015).

1. İhmal edilebilir büzülme
2. Düzgün ilk nem dağılımı
3. Sabit difüzyon katsayısı
4. İhmal edilebilir harici direnç

Fick’in İkinci Kanunu genel difüzyonal kurutma aralığında gıdaların kurutma kinetiğinin çeşitli modellemeleri için kullanılır (Eşitlik 2.7).



$$\frac{d_M}{d_t} = \nabla(D_{eff}\nabla M) \quad (2.7)$$

Sonsuz bir levha için boyutsuz nem oranı denklemi Eşitlik 2.8 ve Eşitlik 2.9'da boyutsuz nem oranı verilmiştir.

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{D_{eff}\pi^2}{4L^2} \cdot t \quad (2.8)$$

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \quad (2.9)$$

$D_{eff}$ : Difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ )

$M$ : Belirli zamanda nem miktarı (kg su miktarı/ kg kuru madde)

$M_e$ : Denge nem miktarı (kg su miktarı/ kg kuru madde)

$M_i$ : Başlangıç nem miktarı (kg su miktarı/ kg kuru madde)

$L$ : Ürünün kalınlığı (m)

$MR$ : Boyutsuz nem oranı

Eşitlik 2.8 ve 2.9 sadeleştirildiğinde aşağıdaki denklem elde edilir (Eşitlik 2.10).

$$M_R = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}^t}{L^2}\right) \quad (2.10)$$

Bilim adamları Eşitlik 1.6'ya dayanarak kuruma davranışını açıklayan bir dizi başarılı model tanımlamışlardır. Kuruma sabiti “k” yerine taşıma özellikleri söz konusu olduğu modeller kullanmışlar ve bu modelleri ince tabaka model olarak adlandırmışlardır (Çizelge 2.4). İnce tabaka denklemleri kurutma işlemlerinin bağımsız kontrol mekanizmasını uyumlu şekilde ifade etmektedir. Bu denklemler, tarım ürünlerinin kuruma sürelerini tahmin etmek ve kuruma eğrilerinin genel formunu elde etmek için kullanılır (Kutlu vd., 2015).

**Çizelge 2.4.** Bazı ince tabaka kurutma modelleri (Mayor ve Sereno, 2003)

<b>Modeller</b>	<b>Denklemler</b>
Handerson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Modifiye Page	$MR = \exp(-kt)^n$
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$

### 2.10.1. Handerson ve Pabis Modeli

Handerson ve Pabis Modeli Eşitlik 2.6'nın Fick'in İkinci Yasası'nın basitleştirilmiş şeklidir (Eşitlik 2.11) (Kutlu vd., 2015).

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = a \exp(-kt) \quad (2.11)$$

### 2.10.2. Newton Modeli

Newton Modeli, Handerson ve Pabis Modeli'ne çok benzemekle beraber Newton'un Soğutma Yasası'na paralel bir model olarak kabul edilmiştir (Eşitlik 2.12). Bu model temel olarak bir sıvı içerisine daldırılmış bir gövdeden ısı akışı ile düşük sıcaklıklarda tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır (Kutlu vd., 2015).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp(-kt) \quad (2.12)$$

### 2.10.3. Page Modeli

Page Modeli, 1949 yılında Page, Newton Modeli'nde kurutma süresini daha iyi açıklayabilmek için "t" üs ekleyerek yeni bir model geliştirerek modelin oluşmasını sağlamıştır (Eşitlik 2.13) (Kutlu vd., 2015).

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp(-kt^n) \quad (2.13)$$

### 2.10.4. Modifiye Page Modeli

Modifiye Page Modeli, Page Modeli'ne "k" üstel ekleyerek geliştirilmiş bir modeldir (Eşitlik 2.14) (Kutlu vd., 2015).

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp(-kt)^n \quad (2.14)$$

### 2.10.5. Logaritmik Model

Logaritmik Model, kurutma mekanizmasını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan bir denklemdir (Eşitlik 2.15) (Kutlu vd., 2015).

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = a \exp(-kt) + c \quad (2.15)$$

Yukarıdaki bu modeller nem oranını açıklamak için kullanılmaktadır. Deneysel olarak bulunan ve modeller ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki uyumu istatistiksel olarak açıklamak amacıyla tahminin standart hatası (RMSE) (Eşitlik 2.16), ki-kare ( $\chi^2$ ) (Eşitlik 2.17) değerleri ile modelin modelleme yeterliliği (EF) (Eşitlik 2.18) kullanılmaktadır (Kutlu vd., 2015).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini,i} - MR_{deneysel,i})^2} \quad (2.16)$$

$$Ki-kare = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{N-n} \quad (2.17)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{deneysel,i} - ANO_{deneysel,ort})^2 - \sum_{i=1}^N (ANO_{tahmini,i} - ANO_{deneysel,i})^2}{\sum_{i=1}^N (ANO_{deneysel,i} - ANO_{deneysel,ort})^2} \quad (2.18)$$

Bu modellerde  $MR_{tahmini}$ : Tahmini ayrılabilir nem oranı,  $MR_{deneysel}$ : Deneysel ayrılabilir nem oranı, N: Deneysel veri sayısı, n: Kullanılan modeldeki katsayı ve  $MR_{deneysel,ort}$ : Deneysel ayrılabilir nem oranı değerlerinin ortalamasıdır. Tahminin standart hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca ki-kare ( $\chi^2$ ) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir. Bunların yanında deneysel verileri açıklayan modelin modelleme yeterliliği (EF) değerinin bire yakın olması modelin kullanılabilirliğinin bir göstergesidir (Kutlu vd., 2015).

### 2.11. Bazı Gıda Ürünleri İçin Kurutma Kinetiği Çalışmaları

Çelen vd., (2016) 5mm dilimindeki patatesin mikrodalga bantlı kurutucuda mikrodalga gücünün (1500W ve 2100W) ve bant hızının (0,175, 0,210 ve 0,245 m/min) kurutma zamanı, renk değişimi ve enerji tüketimine etkisi araştırıldı. Elde edilen sonuçlara göre mikrodalga gücünün artması ve bant hızının azalması ile enerji tüketimi

azalmıştır. Dokuz adet kurutma modelinin uygunluğunu belirlemek için deneysel ve teorik nem oranları dikkate alınarak korelasyon katsayısı ( $r^2$ ), standart hata ( $e_s$ ) ve  $\chi^2$  değerleri hesaplandı. Tüm kurutma şartları için Page modelin en uygun model olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2.5). Efektif difüzyon katsayısı  $2,958.10^{-7}$  ve  $3,587.10^{-6}$   $m^2/s$  aralığında hesaplanmıştır. Kurutma süresince en az enerji  $0,175m/min$  ve  $2100W$  gücünde belirlenmiştir.

Kaya ve Aydın (2008) bir konvektif kurutucuda kurutulan kızılciğın kuruma davranışına, kurutma havası sıcaklığının etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, kuru kızılciğın, farklı sıcaklık ve denge bağıl nemlerinde sorpsiyon eğrisi belirlenmiştir. Elde edilen kuruma eğrileri, üç farklı ince tabakalı kurutma modeline yerleştirilmiş (Lewis, Henderson ve Pabis ve iki terimli eksponansiyel) ve kızılciğın kurumasını tanımlamada iki terimli eksponansiyel ve Henderson ve Pabis modellerinin uygun olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2.6).

**Çizelge 2.5.** 5mm dilim kalınlığında, 0,175 m/min bant hızında yapılan kurutulmuş patates dilimine ait modellerin analiz sonuçları (Çelen vd., 2016)

Model	Güç	Sabitler	$r^2$	$e_s$	$\chi^2$
Weibull	1500	a=-0,310 b=-1,324 k=0,0003 n=2,187	0,993	0,001	0,035
	2100	a=-1,268 b=-2,245 k=0,00008 n=2,531	0,997	0,001	0,029
Verma	1500	a=-16,815 k=0,078 g=0,072	0,964	0,006	0,079
	2100	a=0,840 k=0,031 g=0,031	0,887	0,053	0,231
İki terimli eksponansiyel	1500	a=-0,121 k=-0,043	0,967	0,005	0,074
	2100	a=-0,051 k=-0,092	0,992	0,001	0,036
Wang & Singh	1500	a=-0,006 b=0,0003	0,976	0,003	0,058
	2100	a=0,001 b=-0,001	0,996	0,0005	0,022
Henderson & Pabis	1500	a=1,353 k=0,037	0,891	0,015	0,122
	2100	a=1,362 k=0,048	0,847	0,021	0,146
Geometric	1500	a=2,695 n=0,519	0,679	0,043	0,207
	2100	a=2,595 n=0,536	0,673	0,045	0,211
Page	1500	k=0,00007 n=2,734	0,998	0,0002	0,016
	2100	k=0,000 n=3,179	0,989	0,002	0,042
Lewis	1500	k=0,025	0,926	0,027	0,165
	2100	k=0,031	0,887	0,037	0,179
Midilli	1500	a=1,124 b=-0,018 k=0,00001 n=2,587	0,981	0,003	0,059
	2100	a=1,232 b=0,033 k=0,000 n=0,033	0,972	0,009	0,033

**Çizelge 2.6.** Kızılıcığa ait kurutma model katsayılarının sıcaklıkla değişimi (Kaya ve Aydın, 2008).

Model	Sıcaklık (°C)	Sabitler	r <sup>2</sup>	
İki terimli eksponansiyel	30	a=0,6071 k <sub>0</sub> =0,0429 b=0,5218 k <sub>1</sub> =0,0429	0,996	
	40	a=0,5889 k <sub>0</sub> =0,0528 b=0,5171 k <sub>1</sub> =0,0528	0,996	
	50	a=0,5639 k <sub>0</sub> =0,0688 b=0,5112 k <sub>1</sub> =0,0688	0,996	
	Henderson ve Pabis	30	a=1,1289 k=0,0429	0,996
		40	a=1,1060 k=0,0528	0,996
		50	a=1,0751 k=0,0688	0,996
50		k=0,0688	0,996	
Lewis	30	k=0,0383	0,989	
	40	k=0,0481	0,989	
	50	k=0,0643	0,989	

Gür (2016), balkabağının akışkan yataklı kurutucuda kurutma karakteristiği incelenmiştir. Deneyler için balkabağı tarla hasadından sonra küp şeklinde kesilerek, 50, 60 ve 70°C'deki üç farklı sıcaklıktaki hava ile akışkan yataklı kurutucuda kurutulmuştur. Kurutulan balkabağının başlangıç nemi yaş baz da %95 (kuru bazda %1930) mertebelerinde olup akışkanlaşma hızı 3,5 m/s seçilmiştir. Deney sonuçlarından, akışkan yataklı kurutucuda oldukça yüksek kuruma hızlarına ulaşıldığı ve böylece kuruma sürelerinin klasik yöntemlere ve sabit yataklı kurutuculara göre çok kısa sürelerle indiği görülmüştür. Kurutma deneylerimizde en fazla 120 dakika sonunda %6'dan düşük bal kabağı nemlerine ulaşmak mümkün olmuştur. Bal kabağı kurutmanın matematiksel modellenmesi için literatür de sıkça kullanılan yarı-teorik modellerden Lewis modeli, Henderson ve Pabis modeli, Page modeli ve logaritmik ince tabaka kurutma modelleri seçilmiştir (Çizelge 2.7). Bunun yanında Fick'in Birinci Yasası olan kurutma teorik modeli ile de kurutma karakteristiği incelenmiştir. Bu modelde hesaplanan etkin difüzyon katsayılarının sonuçları, literatürdeki değerleri ile karşılaştırılmıştır. Akışkan yataklı kurutucuda hesaplanan etkin difüzyon katsayıları, sabit yataklı kurutuculara göre %70'lere varan daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bunun yanında etkin difüzyon katsayılarının sıcaklığa bağımlılıkları Arrhenius denklemi ile açıklanmıştır.

**Çizelge 2.7.** Balkabağının kurutulmasına ait kurutma modellerinin uygunluğunu gösteren hata değerleri (Gür, 2016).

Model	Sıcaklık (°C)	r <sup>2</sup>	RMSE
Lewis	50	0,9945	0,0229
	60	0,9930	0,0266
	70	0,9905	0,0313
Henderson ve Pabis	50	0,9951	0,0217
	60	0,9934	0,0257
	70	0,9908	0,0308
Page	50	0,9999	0,0021
	60	0,9999	0,0018
	70	0,9999	0,0021
Logaritmik	50	0,9986	0,0115
	60	0,9984	0,0125
	70	0,9969	0,0180

Çakmak vd. (2016), dağ çileği (*Arbutus unedo* L.) meyvelerinin liyofilizatör ve tepsili kurutucuda kuruma kinetiğini incelemiştir. Başlangıç nem içeriği  $2.299 \pm 0.011$  kg su/kg kuru madde olan dağ çileğinin nem içeriği,  $-50^{\circ}\text{C}$ 'deki liyofilizatörde 12 saat süre sonunda  $0.160 \pm 0.001$  kg su/kg kuru madde içeriğine düşürülürken;  $60^{\circ}\text{C}$  ve 0,6 m/s sabit hava hızında tepsili kurutucuda 16 saat sonunda  $0.156 \pm 0.001$  kg su/kg kuru madde içeriğine düşürülmüştür. İnce tabaka kuruma modelleriyle deneysel verilerin uyumu incelendiğinde; Page modelinin, dağ çileğinin her iki kurutma yöntemi için deneysel kuruma verilerine en uygun model olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2.8). Dağ çileğinin C vitamini, fenolik madde içeriği ve toplam antioksidan aktivite değerleri incelendiğinde, kuruma işlemiyle bu değerlerde azalma olduğu saptanmıştır. Ancak liyofilizatörde kurutulan örneklerin, tepsili kurutucuda kurutulan örneklere göre daha yüksek C vitamini, fenolik madde içeriği ve toplam antioksidan aktivite değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Liyofilizatörde kurutulan örneklerde parlaklık değeri ( $L^*$ ) ve sarılık ( $+b^*$ ) değeri taze örneğe kıyasla daha yüksek bulunurken, tepsili kurutucuda kurutulan örneklerde kırmızılık ( $+a^*$ ) değerinin taze örneğe kıyasla yüksek bulunmuştur.

**Çizelge 2.8.** Dağ çileğinin kurutulmasına ait kuruma eğrilerine uygulanan kuruma modellerinin istatistiksel sonuçları (Çakmak vd., 2016).

Model	Tepsili Kurutucu			Liyofilizatör		
	r <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE	r <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE
Newton	0,9943	0,00068	0,02568	0,9740	0,00292	0,05400
Page	0,9963	0,00044	0,02058	0,9851	0,00167	0,04081
Henderson ve Pabis	0,9959	0,00049	0,02179	0,9737	0,00295	0,05431
Logaritmik	0,9959	0,00050	0,02179	0,9737	0,00332	0,05431
Two-term	0,9957	0,00052	0,02244	0,9662	0,00379	0,06158
Midilli vd.	0,9963	0,00045	0,02067	0,9812	0,00211	0,04588

Demiray (2009), kurutma tekniği gıdaların muhafazası sırasında kullanılan yaygın bir yöntemdir. Yapılan bu çalışmada, ülkemizde özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde üretimi yapılan “Rio Grande” çeşidi domateslerin farklı kurutma sıcaklıklarında ve %20 bağıl nem koşulunda göstereceği kuruma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla denemelerde 60-70-80-90 ve 100°C hava sıcaklıkları kullanılarak, herhangi bir ön işlem uygulamadan domatesler ortalama %10 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Kuruma kinetiğine, askorbik asit, likopen, β-karoten ve renk değişim kinetiklerine ait modelleme çalışmaları yapılmıştır. İncelenen modeller arasında 60 ve 100°C değerleri arasında ve %20 bağıl nemde domateslerin kurutulmasını en iyi tanımlayan modelin Modifiye Page Modeli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2.9). Askorbik asit, likopen ve β-karoten değişim kinetiklerinin birinci dereceden kinetik modele, renk değişim kinetiklerinin sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modele uygunluk gösterdiği saptanmıştır.

Kurutma tarımsal ürünlerin tüketim ve depolama sürelerini arttırmak için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Uygun kurutma yönteminin seçimi başarılı kurutma için en önemli aşamadır. Polatçı (2012) yaptığı bir çalışmada Japon (*Prunus salicina* L.) Black Beauty erik çeşidi kullanmıştır. Araştırma kapsamında meyveler 3 farklı kurutucu (hassas kurutucu, vakumlu etüv ve normal etüv) kullanılarak 50°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Yaş ve kuru ürünlerin renk değerleri (Hunter L, a, b) belirlenmiş, kroma değerleri ve hue açıları hesaplanmıştır. Japon eriğinin kuruma özellikleri belirlenerek Page ve Exponential Decay (iki terimli) eşitlikleri ile matematiksel modelleme yapılmıştır. Kurutma süreleri hassas kurutucu, normal etüv ve vakumlu etüv için sırasıyla 21,5, 33,5 ve 45,5 saat olarak belirlenmiştir. Modelleme bulgularına göre “p” değerleri 0,0001 değerinden küçük bulunması bütün modellerin varyans analiz sonuçlarına göre istatistiki açıdan anlamlı tahmin yapılabildiğini

göstermektedir. Page eşitliği, bütün kuruma değerleri dikkate alındığında genel olarak en yüksek belirtme katsayısı değerine (0,9881-0,9994) sahip olmuştur.

**Çizelge 2.9.** Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan domates numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kullanılan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler (Demiray, 2009).

Model	Sıcaklık (°C)	$r^2$	RMSE	$\chi^2$
Page	60	0,9939	0,014265	0,000163
	70	0,9944	0,018306	0,345812
	80	0,9850	0,02288	0,000619
	90	0,9888	0,023035	0,000545
	100	0,9799	0,034371	0,000907
Henderson ve Pabis	60	0,9743	0,110182	0,008441
	70	0,9772	0,219583	0,025765
	80	0,9585	0,281397	0,007968
	90	0,9529	0,293676	1,435973
	100	0,9628	0,26846	0,044671
Lewis	60	0,9635	0,043874	0,001924
	70	0,9582	0,08628	0,005627
	80	0,9322	0,100693	0,008173
	90	0,9213	0,08894	0,012555
	100	0,9429	0,075791	0,007169
Logaritmik	60	0,9499	0,109446	0,012717
	70	0,9651	0,229868	0,032484
	80	0,9469	0,193446	0,006698
	90	0,9175	0,212155	0,123535
	100	0,9501	0,422677	0,090185
Modifiye Page	60	0,9939	0,01391	0,000175
	70	0,9944	0,017975	0,000232
	80	0,9850	0,022494	0,000622
	90	0,9888	0,023076	0,000059
	100	0,9799	0,034371	0,000932

Erentürk ve Erentürk (2006), farklı kuruma şartları ve farklı örnek kalınlıkları için havucun tek tabaka kuruma kinetiği incelemiştir. Kuruma verileri kullanılarak kuruma eğrileri elde etmişlerdir. Kuruma kinetiğini ifade etmek amacıyla literatürde bulunan dört farklı kuruma modeli sisteme uygulanmıştır. Modellerin kıyaslanması,  $r$ ,  $r^2$ ,  $c^2$ , ve SSR değerleri bulunarak yapılmıştır. Bunlara ek olarak nem içeriği tahmininde yapay sinir ağı modelleri uygulanmış ve seçilen modellerle kıyaslanmıştır. En yüksek  $r$  ve  $r^2$  en düşük  $c^2$ , ve SSR değerlerini diğer dört modele göre yapay sinir ağı vermiştir. Buna göre havuç kuruma kinetiğinin tahmininde yapay sinir ağı oldukça yüksek doğrulukla en iyi sonucu vermiştir (Çizelge 2.10).



**Çizelge 2.10.** Havuç kurutmaya ait kuruma süresi ve nem içeriğine göre incelenen modellerin istatistiksel sonuçları (Erentürk ve Erentürk, 2006).

Model	$r^2$	$c^2$	SSR
Newton	0.9785	2.45E-3	2.644
Page	0.9932	2.61E-3	2.815
Modifiye Page	0.9971	2.52E-3	2.725
Henderson ve Pabis	0.9753	2.90E-3	3.132
Yapay Sinir Ağı	0.9998	1.89E-5	2.039E-3

Bingöl ve Devres (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, Türkiye'nin önemli ihracat ürünlerinden olan üzümün kuruması esnasında kararmaya neden olan polifenol oksidaz enziminin, çocuklarda ve yaşlılarda astım, isilik ve mide rahatsızlıklarına neden olabilen sülfite kullanılmadan inaktive edilmesi ve aynı zamanda da kuruma hızının artırılması amaçlanmıştır. Mikrodalga yardımcı konvektif kurutma, konvansiyonel kurutma yöntemlerine göre daha hızlı olduğundan ve gıda maddesinde bulunan dipolar su molekülleri ile etkileşebilmesinden dolayı etkin bir kurutma işlemine olanak sağlamaktadır. Gıda içindeki sıcaklık artışının modellenmesi mikrodalga ısıtma ve kurutma işleminin kontrolü açısından önem arz etmektedir. Kurutma hızını daha da arttırmak ve iyi bir son ürün elde edebilmek amacıyla üzümler kurutma işleminden önce 40°C sıcaklığındaki etil oleat ve potasyum karbonat içeren çözelti içine 3 dakika süreyle daldırılmış veya 90°C'deki buharla 140 saniye süreyle haşlanarak ön işlenmişlerdir. Üzümler ön işlemlerden sonra mikrodalga yardımcı konvektif kurutucuda 0.25 W/g başlangıç mikrodalga güç oranı ve 60°C sıcaklığında ortalama 1.8 m/s hızındaki hava ile kurutulmuşlardır. Matlab programının Eğri Yaklaştırma (CFT) araç kutusu kullanılarak kuruma eğrileri literatürdeki ince tabaka modelleri ile tanımlanmışlardır. Uygun modelleme Midilli matematiksel modeli bulunmuştur (Çizelge 2.11).

Karaaslan (2014) tarafından yapılan bir çalışmada ise, ilk nem içeriği yaş baza göre %75,21 olan 200 g ağırlığındaki Trabzon hurmaları yaş baza göre nem içeriği %15 oluncaya kadar 5 farklı mikrodalga güç seviyesinde kurutulmuştur. Kurutma işlemleri 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga güç seviyelerinde gerçekleştirilmiş ve kuruma süreleri bu güç seviyelerinde sırasıyla 104, 41, 31, 25, 18 dakika sürmüştür. Bu laboratuvar kurutucusunda ürünlerin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Midilli ve Küçük, Wang ve Singh, Lojistik, İki Terimli, Verma, İki terimli üstel, Difüzyon Yaklaşımı modelleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu modellerin performansları, gözlemlenen ve tahmini nem içeriği arasında belirtme katsayısı değeri ( $r^2$ ), tahminin standart hatası

(SEE) ve kalanların kareleri toplamına (RSS) göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm çalışma koşullarında Midilli ve Küçük modelinin ürünlerin kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

**Çizelge 2.11.** 0.25 W/g başlangıç mikrodalga güç oranı ile 60°C konvektif hava ile kurutulan kontrol ve ön işlenmiş üzümün ince tabaka model eğri uydurma istatistikleri (Bingöl ve Devres, 2010).

<b>Model</b>	<b>Kontrol</b>	<b>Buhar ile Haşlanan</b>	<b>Çözeltiye Daldırma</b>
Lewis	$r^2=0,973$	$r^2=0,999$	$r^2=0,97$
	RMSE=0,05	RMSE=0,00	RMSE=0,04
	SSE=0,046	SSE=0,001	SSE=0,047
Page	$r^2=0,999$	$r^2=0,999$	$r^2=0,996$
	RMSE=0,00	RMSE=0,00	RMSE=0,02
	SSE=0,001	SSE=0,000	SSE=0,008
Henderson ve Pabis	$r^2=0,985$	$r^2=0,999$	$r^2=0,983$
	RMSE=0,03	RMSE=0,00	RMSE=0,04
	SSE=0,024	SSE=0,000	SSE=0,033
Logaritmik	$r^2=0,997$	$r^2=0,999$	$r^2=0,998$
	RMSE=0,01	RMSE=0,00	RMSE=0,01
	SSE=0,004	SSE=0,000	SSE=0,002
Midilli vd.	$r^2=0,999$	$r^2=0,999$	$r^2=0,998$
	RMSE=0,00	RMSE=0,00	RMSE=0,01
	SSE=0,000	SSE=0,000	SSE=0,002

### 3. MATERYAL VE METOT

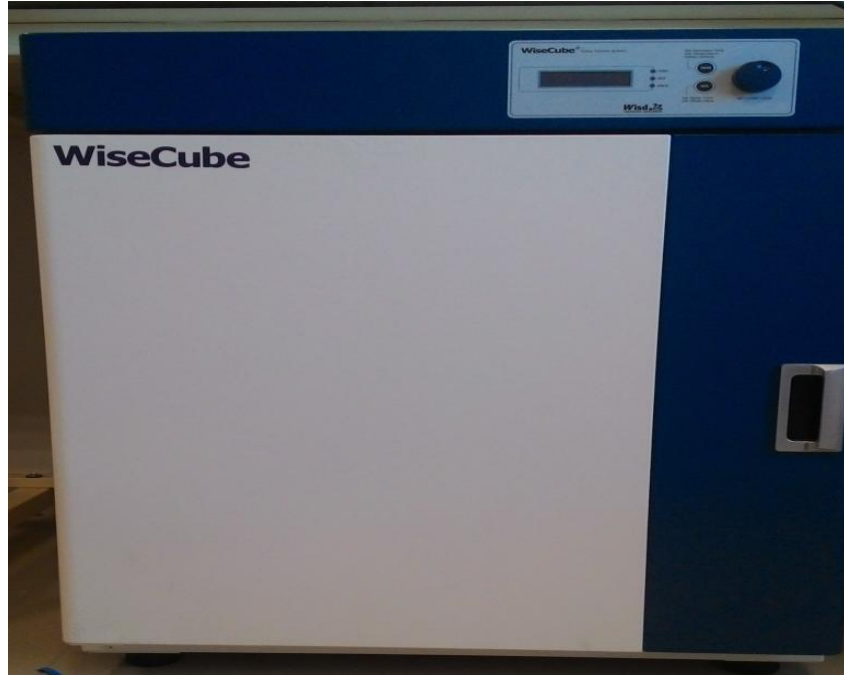
#### 3.1. Materyal

Granny Smith türü elma Burdur'daki bir dağıtıcıdan temin edilmiştir. Buzdolabı koşullarında +4°C sıcaklıkta muhafaza edilmiş Granny Smith türü elma kabuklarından keskin bir bıçak yardımıyla manuel olarak ayrılmış ve 12x12x12 mm küp halinde kesilmiştir.

Denemelerde kullanılan Granny Smith elma örneklerinin, kurutma işlemine başlamadan önce nem içeriği, etüvde 90°C sıcaklıkta 3 saat kurutulmasıyla saptanmıştır. Kuru madde içeriği % 14,37 ve ilk nem içeriği ise %85,63 olarak tespit edilmiştir.

##### 3.1.1. Denemelerde Kullanılan Sistemler ve Ölçü Aletleri

Granny Smith türü elma, konveksiyonel kurutucu olan, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvar'ında bulunan etüvde (Wisecube, Daihan, Güney Kore) kurutulmuştur. Kurutma kabinine ait genel görünümü Şekil 3.1'de ve kurutma kabinine ait genel özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Konveksiyonel tip kurutucu

**Çizelge 3.1.** Konveksiyonel etüv tipi kurutucunun genel özellikleri

<b>Özellikler</b>	<b>Değerler</b>
Dış ebatlar (G*D*Y, mm)	640×832×1,703
İç ebatlar (G*D*Y, mm)	505×505×1000
Hacim (L)	250
Maksimum yükleme kapasitesi (kg)	118
Sıcaklık aralığı (°C)	0 ~ 60 °C
Programlama	Kabin içindeki sıcaklık dijital olarak ayarlanır ve izlenir.
Güç tüketimi (kW)	1,8

### 3.1.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Manuel olarak kabuklarından ayrılan elmalar uygun kalınlıkta kurutma işlemi için (Nicer Dicer Plus) (Şekil 3.2) kullanılmıştır. Su aktivitesini belirlemek için su aktivitesi ölçüm cihazı (Testo 645, Testo, İzmir, Türkiye) kullanılmıştır. Antioksidan aktivite analizleri için ise santrifüj (NF 800R, Nüve, İstanbul, Türkiye) ile spektrofotometre cihazı (Optizen Pop, Optizen, Güney Kore) kullanılmıştır.

Tekstür analizleri için Pamukkale Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tahıl İşleme Laboratuvarı'nda (Denizli) bulunan tekstür analiz cihazı (CT3, Brookfield, Massachusetts, ABD) (Şekil 3.3) kullanılmıştır.



**Şekil 3.2.** Nicer Dicer Plus doğrayıcı



**Şekil 3.3.** Tekstür analiz cihazı

### 3.2. Kullanılan Kimyasallar

Tez çalışması kapsamında kullanılan kimyasallar dekstroz ( $C_6H_{12}O_6H_{20}$ ) Vankim Kimya'dan (İstanbul, Türkiye), sakkaroz ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) Burdur Şeker Fabrikası'ndan (Burdur, Türkiye), askorbik asit Gediz Un Ltd. Şti.'nden (Kütahya, Türkiye), kalsiyum klorür ( $CaCl_2$ ), gallik asit, Trolox® çözeltisi (6-Hidroksi-2,5,7,8-tetrametil kroman-2-karboksilik asit), metanol ( $CH_3OH$ ), Folin-Ciocalteu Phenol, potasyum persülfat ( $K_2S_2O_8$ ) ve ABTS stok çözeltisi (2,2'-Azino-bis-diamonyum tuzu) Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, İngiltere) ve etanol ( $C_2H_6OH$ ) Merck'ten (Darmstadt, Almanya) temin edilmiştir.

### 3.3. Metot

Kurutma denemeleri konveksiyonel etüvde 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarda asıl kurutma işlemine geçmeden her bir sıcaklıkta ayrı ayrı ön deneme yapılmıştır. Ön denemeler sonucunda örneklerin kuruma davranışını ortaya koymak için çalışmanın gerçekleştirildiği koşullara göre örnekleme zamanları belirlenmiş, denemelerin tamamlanması için uygun olabilecek nem içerikleri ve bu nem içeriklerine ulaşılması

için gerekli olan zaman ve su aktiviteleri belirlenmiştir. Asıl denemeler, ön denemelerde elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yürütülmüştür.

### 3.3.1. Örnek Hazırlama

Kurutma işlemine kadar +4°C’de buzdolabında muhafaza edilen yaklaşık 9 kg Granny Smith türü elma oda sıcaklığında dengeye gelene kadar bekletilmiştir. Bekletilen elmalar kabuklarından manuel olarak ayrılmış ve yaklaşık 12x12x12 mm kalınlığında olacak şekilde küp doğrayıcı yardımıyla dilimlenmiştir. Küp şeklinde dilimlenen elmaların kararmasının önlenmesi için hazırlanan askorbik asit çözeltisi üzerlerine püskürtülmüştür. Daha sonra ön işlem uygulanan numuneler kurutma öncesi kalibrasyonu yapılan konvektif etüvde 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutma işlemine maruz bırakılmıştır. Kurutma işlemi sırasında farklı zamanlarda numunelerin ağırlık kayıpları gravimetrik olarak takip edilmiş ve her bir zaman diliminde kurutulan numunelerden 10 g alınarak -18°C’de analiz öncesinde saklanmıştır.



Şekil 3.4. Kurutma öncesi küp olarak doğranmış Granny Smith elma

### 3.3.2. Vakum İmpregnasyon Çözeltisinin Hazırlanması

Vakum impregnasyon çözeltisi olarak suda çözünür kuru madde içeriği (Briks) %50,0 olacak şekilde %32,5’i dekstroz, %16’sı sakkaroz, %1’i askorbik asit, %0,5’i kalsiyum klorür içeren karışım hazırlanmıştır. Briks değerleri Atago marka

refraktometre (PAL-3 model, Tokyo, Japonya) ile belirlenmiştir. İmpregnasyon için hazırlanan sakkaroz çözeltisi 35°C sıcaklıkta kullanılmıştır.

### **3.3.3. Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşlemler**

#### **3.3.3.1. Daldırma Yöntemi**

Meyve/şurup oranı ağırlık/hacim esasına göre 1/1 olarak kullanılmıştır. Yaklaşık 300 g elma dilimi örneği 300 mL impregnasyon çözeltisi içine tam olarak daldırılacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu işlem 30 dakika boyunca uygulanmıştır. Beşer dakika arayla impregnasyon çözeltisinin suda çözünür kuru madde içeriği refraktometre ile belirlenmiş ve meyve örneğine transfer olan vakum impregnasyon çözeltisi miktarı hesaplanmıştır. Daldırma işlemi bittikten sonra meyve örnekleri impregnasyon çözeltisinden süzülerek ayrılmıştır. Ön işlemde geçirilmiş elma küpleri darası alınmış kurutma teline dizilmiş ve tekrar tartılmıştır. Tartım işleminin ardından örnekler 40, 50 ve 60°C sıcaklığa önceden ayarlanmış doğal konveksiyonel bir etüve kurutma için yerleştirilmiştir.

#### **3.3.3.2. Vakum İmpregnasyon Yöntemi**

Meyve/şurup oranı 1/1 olacak şekilde elma küpleri ve vakum impregnasyon çözeltisi vakum uygulanabilecek bir kap içerisine (RV-261, Re-Va, İzmir, Türkiye) yerleştirilmiştir. Vakum impregnasyon (Vİ) çözeltisi içindeki meyvelerin şurup içinde kalması için tel üzerine ağırlıklar yerleştirilmiştir. 70 kPa vakum basıncı uygulanmıştır. Vakum beşer dakika arayla kesilerek meyveye geçen çözünür madde miktarı, vakum impregnasyon çözeltisinin briks değeri takip edilerek belirlenmiştir. Vakum uygulamasına 30 dakika boyunca devam edilmiştir. İşlem sonrasında meyve örnekleri vakum impregnasyon çözeltisinden süzülerek ayrılmıştır. Ön işlemde geçirilmiş elma küpleri darası alınmış kurutma teline dizilmiş ve tekrar tartılmıştır. Tartım işleminin ardından örnekler 40, 50 ve 60°C sıcaklığa önceden ayarlanmış doğal konveksiyonel bir etüve kurutma için yerleştirilmiştir.

#### **3.3.3.3. Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon Yöntemi**

Meyve/şurup oranı 1/1 olacak şekilde elma küpleri ve vakum impregnasyon çözeltisi vakum uygulanabilecek bir kap içine yerleştirilmiştir. Vakum impregnasyon

çözeltisi içindeki meyvelerin şurup içinde kalması için tel üzerine ağırlıklar yerleştirilmiştir. Kap daha sonra, sonikasyon gücü %100 olarak ayarlanmış 40 kHz frekansta çalışan ultrasonik su banyosunda (WUCD06H model, Daihan, Güney Kore) 30 dakika boyunca ultrasonikasyona maruz bırakılmıştır. Ultrasonikasyon uygulaması sırasında örneklere 70 kPa vakum basıncı kullanılmıştır. Vakum beşer dakika arayla kesilerek meyveye geçen çözünür madde miktarı, Vİ çözeltisinin briks değeri takip edilerek belirlenmiştir. Vakum uygulamasına toplam 30 dakika devam edilmiştir. İşlem sonrasında elma küpleri Vİ çözeltisinden süzülerek ayrılmıştır. Ön işlemden geçirilmiş elma küpleri darası alınmış kurutma teline dizilmiş ve tekrar tartılmıştır. Tartım işleminin ardından örnekler 40, 50 ve 60°C sıcaklığa önceden ayarlanmış doğal konveksiyonel bir etüve kurutma için yerleştirilmiştir.

Her üç işlem için kütle transfer (Eşitlik 3.1) oranı ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$\text{Kütle Transfer Oranı (\%)} = \frac{M_0 - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Bu eşitlikteki  $M_0$ , Vİ çözeltisinin başlangıçtaki briks değerini;  $M_s$  ise Vİ çözeltisinin işlem sonrası briks değerini göstermektedir.

### **3.3.4. Analiz Yöntemleri**

#### **3.3.4.1. Toplam Kuru Madde İçeriklerinin Belirlenmesi**

Bu çalışmada Granny Smith elma örneklerinin kuru madde içeriği, konveksiyonel etüvde 90°C sıcaklıkta sabit tartıma ulaşıncaya kadar kurutulması yoluyla belirlenmiştir (Anonim, 2008).

#### **3.3.4.2. Renk Değişiminin Belirlenmesi**

Bu çalışmada elma küpleri kurutulurken renk değişimleri belirlenmiştir. Kurutma sırasında her yarım saatte bir elma küpleri örneklerinin belirlenen kısımlarından kolorimetre (CR-400 model, Konica-Minolta Sensing Americas Inc., New Jersey, ABD) yardımıyla  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  (CIELAB) değerleri ölçülerek renk değişimlerinin reaksiyon dereceleri saptanmıştır.



#### **3.3.4.3. Ekstraktların Hazırlanması**

Ekstrakt elde edebilmek için, kurutma işlemi sırasında alınan ve  $-18^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilen elmalardan yaklaşık 2'şer gram havan yardımıyla ezilerek erlenlere alınmış ve üzerine 10 mL %70'lik etanol eklenmiştir. Ultrasonik su banyosunda (Wise Clean Wisd WUC-D06H, Daihan, Güney Kore) 10 dakika ultrasonikasyona maruz bırakılmasının ardından 200 devir/dakika'ya ayarlanan orbital çalkalayıcıda (SHO-1D, Daihan, Güney Kore) 15 dakika çalkalama işlemine maruz bırakılmıştır. Falkon tüplerine alınan örnekler 10 dakika  $10^{\circ}\text{C}$ 'de 7450 devir/dakika'da (NF 800R, Nüve, Türkiye) santrifüjlenmiştir. Pastör pipeti yardımıyla üst faz 25 mL'lik balon jojeye alınmıştır. Bu işlemler sonucunda kalan tortu tekrar aynı işlemlerden geçirilerek üst faz elde edilerek bir önceki ile birleştirilmiş ve ekstrakt 25 mL hacme %70'lik etanol ile tamamlanmıştır. Hazırlanan ekstraktlar  $-20^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta depolanmıştır.

#### **3.3.4.4. DPPH Yöntemi ile Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi**

DPPH stok çözeltisi metanol içerisinde son konsantrasyonu 24 mg/100mL olacak şekilde hazırlanmıştır. Çalışma çözeltisi, stok çözelti seyreltilerek stok çözelti metanol ile son absorbans  $1.20 \pm 0.02$  olacak şekilde seyreltilmiştir. Kalibrasyon eğrisi Trolox® ile elde edilmiştir. Trolox® çözeltisi, konsantrasyonu 12.5mg/25mL ve Trolox® kalibrasyon eğrisi için spektrofotometre küvetindeki son konsantrasyon 50  $\mu\text{M}$ 'dan düşük olacak şekilde hazırlanmıştır. Deneylerde 150  $\mu\text{L}$  örnek veya standart 2850  $\mu\text{L}$  DPPH çalışma çözeltisi ile test tüplerinde karıştırılarak reaksiyona karanlık bir ortamda 60 dakika devam edilmiştir. Süre sonunda absorbans 515 nm dalga boyunda spektrofotometrede (Optizen Pop, Mecasys Co., Ltd., Güney Kore) okunmuştur. Okuma sonunda kalibrasyon eğrisi aralığında çıkmayan örnekler bu aralığa girene kadar seyreltilmiştir (Thaipong vd., 2006).

#### **3.3.4.5. Toplam Fenolik Madde Tayini ile Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi**

Toplam fenolik madde tayininde Mikro-adapte Folin-Ciocalteu yöntemi kullanılmıştır. Folin-Ciocalteu ajanı, hacmen 1:10 oranında distile su kullanılarak seyreltilmiştir. Sodyum karbonat çözeltisi (%20) hazırlamak amacıyla 75 g/L olacak şekilde sodyum karbonat tartılmış ve ölçü balonu distile suyla hacim çizgisine tamamlanmıştır. Gallik asit kalibrasyon eğrisi hazırlamak için 500 mg/L

konsantrasyonda stok çözelti hazırlanmış ve lineer bölgede son konsantrasyon 5-100 mg/L olacak şekilde seyreltme yapılmıştır. 2 mL örnek veya standart alınmış ve üzerine 10 mL seyreltilmiş FC ajanı ilave edilmiştir. Reaksiyon başladıktan 1-8 dakika arasında 8 mL %20'lik sodyum karbonat ilave edilmiş ve karışım 2 saat karanlık bir ortamda bırakılmıştır. Süre sonunda absorbanlar 760 nm dalga boyunda okunmuştur. Okunan sonuçlar kalibrasyon eğrisinin içine düşmediyse gerekli oranda seyreltmeler yapılmıştır (Cemeroğlu, 2010).

#### **3.3.4.6. ABTS Yöntemi ile Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi**

ABTS radikali oluşturmak için ABTS suda çözündürülmüş ve 2.6 mM'lık potasyum persülfat ile hacmen 1:1 oranında karıştırılmıştır. Bu karışım 12-16 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Son absorban 1.20±0.02 olacak şekilde metanol ile seyreltilmiştir. Trolox® ile kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır. 150 µL örnek veya standart 2850 µL ABTS karışımı tüplerde karıştırılmıştır. Daha sonra reaksiyon karanlık ortamda 30 dakika devam ettirilmiştir. Süre sonunda absorban 734 nm dalga boyunda okunmuştur. Örneklere ait absorban değerlerinin kalibrasyon eğrisinin içine düşmesi için gerektiğinde örnekler seyreltilmiştir (Thaipong vd. 2006).

#### **3.3.5. Kurutma Kinetiğinin Belirlenmesi**

Granny Smith elmaların kurutma işlemi sonucunda elde edilen bulgularla elma küplerinin kuruma hızı (Eşitlik 3.2) ve nem oranı (Eşitlik 3.3) belirlendi. Kurutma kinetiğinin matematiksel modellemesini belirlemesi için ince tabaka kurutma modellerinden Handerson-Pabis, Newton, Page, Modifiye Page ve Logaritmik Modelleri seçilmiştir.

##### **3.3.5.1. Nem İçeriğinin Hesaplanması**

Granny Smith elmaların kurutulması çalışmalarında, nem içeriğinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların hesaplamaları Eşitlik 3.2'deki denklem esas alınarak hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2’de,

$M_t$ = Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

$m$ = Örneğin ağırlığı (g)

$KM$ = Örneğin içerdiği kuru madde miktarıdır (g) (Maskan, 2001).

### 3.3.5.2. Kuruma Hızının Hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı türevlerinin alınması ile bulunmuştur.

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{M_{t-dt} - M_t}{dt} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3’te,

$M_{t-dt}$ = t+dt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

$M_t$ = Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

$d_t$ =Kuruma zamanını (h) ifade etmektedir (Maskan, 2001).

### 3.3.5.3 Nem Oranını Hesaplanması

Nem oranı Eşitlik 3.4’te hesaplanmıştır.

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte

$M_R$ = Nem oranı (birimsiz)

$M_t$ = Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

$M_e$ = Denge anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

$M_o$ = Başlangıç anındaki nem içeriğidir (kg su/ kg kuru madde)

Gıdaların kurutulması işleminde;  $M_e$  değeri  $M_t$  ve  $M_o$  ile kıyaslandığında çok küçüktür ve hesaplamalarda  $M_e$  değerinin kullanılmasının sonuçlara herhangi bir etki etmeyeceğinden kullanılmayabilir (Maskan, 2001).

### 3.3.6. Elma Küplerinin Renk Degradasyonunun Reaksiyon Derecesinin Belirlenmesi

#### 3.3.6.1. Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model

Sıfırıncı dereceden kinetik model Eşitlik 3.5’ te sunulmuştur.

$$A_t = A_0 - kt \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.5'te,

**A:** Herhangi bir t anındaki bileşen değeri

**A<sub>0</sub>:** t=0 anındaki bileşen değeri

**k<sub>0</sub>:** Kinetik sabiti (h<sup>-1</sup>)

**t:** Kuruma zamanını (h) ile ifade etmektedir (Maskan, 2001).

### 3.3.6.2. Birinci Dereceden Kinetik Model

Birinci dereceden kinetik model Eşitlik 3.6'da sunulmuştur.

$$\ln A_t = \ln A_0 - kt \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6'da,

**A:** Herhangi bir t anındaki bileşen değeri

**A<sub>0</sub>:** t=0 anındaki bileşen değeri

**k<sub>1</sub>:** Kinetik sabit (h<sup>-1</sup>)

**t:** Kurutma zamanını (h) ile ifade etmektedir (Maskan, 2001).

### 3.3.6.3. İkinci Dereceden Kinetik Model

İkinci dereceden kinetik model Eşitlik 3.7'de sunulmuştur.

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_0} \pm kt \quad (3.7)$$

**A:** Herhangi bir t anındaki bileşen değeri

**A<sub>0</sub>:** t=0 anındaki bileşen değeri

**k<sub>2</sub>:** Kinetik sabiti (h<sup>-1</sup>)

**t:** Kurutma zamanını (h) ifade etmektedir (Maskan, 2001).

### 3.3.7. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklık derecesine bağımlılık düzeyi, hem Q<sub>10</sub> hem de aktivasyon enerjisinin (E<sub>a</sub>) hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Reaksiyon hızı ve sıcaklık arasındaki ilişki Arrhenius tarafından 1889'da tanımlanmış olup bugün de geçerliliğini koruyan bu ifade Eşitlik 3.8'de verilmiştir.

$$k = k_0 \exp^{-E_a/RT} \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.8’de,

$k$ =Kinetik sabiti ( $h^{-1}$ )

$k_0$ =Arrhenius sabiti veya frekans faktörü ( $h^{-1}$ )

$E_a$ =Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)

$R$ =Gaz sabiti ( $8,314 \times 10^{-3}$  kJ/mol)

$T$ =Sıcaklık (K)

Eşitlik 3.8 ile Arrhenius bağıntısının doğal logaritması alınarak,

$$\ln k = \ln k_0 - E_a/RT \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.9 elde edilir. Bu eşitlikten yararlanılarak aktivasyon enerjisi hesaplanır.  $1/T - \ln k$  grafiğindeki doğrunun eğiminden yararlanılarak ve Eşitlik 3.9 kullanılarak,  $E_a$  hesaplanır.

$$E_a = -(\text{eğim})R \quad (3.10)$$

### 3.3.8. $Q_{10}$ Değerinin Hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklığa bağımlılığını gösteren diğer bir kinetik katsayı olan  $Q_{10}$  değeri, sıcaklığın  $10^\circ\text{C}$  yükseltilmesinin reaksiyon hızına etkisini gösteren bir kriter olup (Cemeroğlu vd., 2011), Eşitlik 3.11’den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{10} = (k_1/k_2)^{10/(T_2-T_1)} \quad (3.11)$$

$k_1$ =  $T_1$  sıcaklığındaki kinetik sabit ( $h^{-1}$ )

$k_2$ =  $T_2$  sıcaklığındaki kinetik sabit ( $h^{-1}$ )

$T_1$ = Sıcaklık (K)

$T_2$ = Sıcaklık (K)

### 3.3.9. Tekstür Analizleri

Doku duyuşsal bir özelliktir. Bu yüzden tekstür analizleri mekanik sistemler kullanılarak tespit edilebilir. Elma küpleri doku analizörü platformuna yatay olarak yerleştirilir. Tekstür analizi için 3,2 mm çapında silindirik prob kullanılmıştır. Analiz sırasında elma örnekleri 5.0 g tetik kuvvetiyle orijinal örnek yüksekliğinin %58’ine kadar sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminin test hızı 1,00 mm/s olarak ayarlanmıştır.

Tekstür analiz cihazında yapılan ölçümler sonucunda sertlik, yapışkanlık, esneklik, çatlama, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerine ait veriler elde edilmiştir.

### **3.3.10. Su Aktivitesinin Belirlenmesi**

Kurutma için kullanılacak elma örneklerinin havan yardımıyla ezildikten sonra ölçüm kabına alınarak su aktivitesi cihazının haznesine yerleştirilmiş ve ilk su aktivitesi değeri ölçülmüştür. Elma örneklerine üç farklı ön işlem uygulandıktan sonra 7 saat kurutma işlemine tabi tutulmuş ve sonrasında ezme aparatıyla ezilen elma örnekleri ölçüm kabına alınarak su aktivitesi cihazının haznesine yerleştirilerek kurutma sonrasındaki örneklere ait su aktivitesi değerleri saptanmıştır.

### **3.3.11. İstatistiksel Analizler**

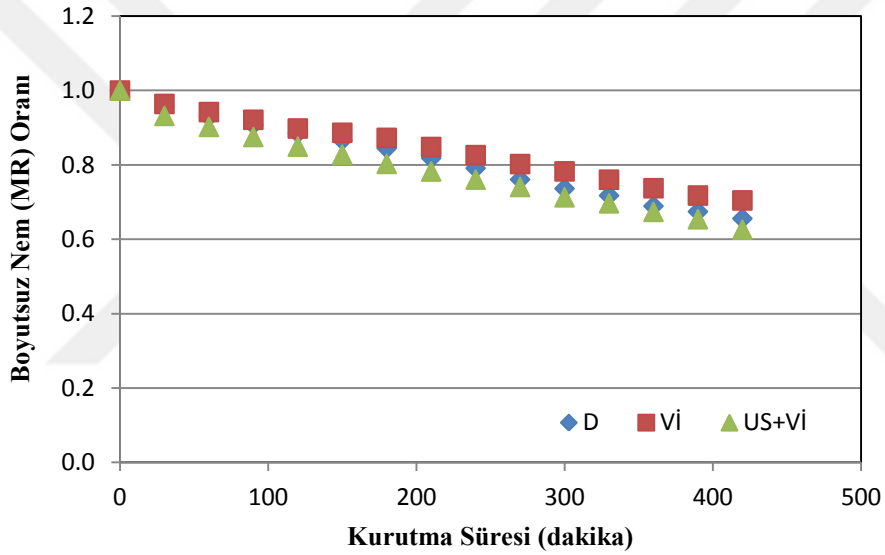
Ortalama hata kareleri toplamın karekökü (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca ki-kare değerleri Eşitlik 2.16 ve 2.17 ifadeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

Tüm denemeler ve deneyler üç tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler the SAS System for Windows 9.0 (SAS Institute Inc., Carry, Kuzey Karolina, ABD) istatistik paket programında, varyans analizi ile istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Ortalamaların karşılaştırılmasında Duncan çoklu karşılaştırma testi veya PDGLM800 makro yazılımı (A.M. Saxton, the University of Tennessee, Knoxville, ABD) kullanılarak harfler üretilmiştir.

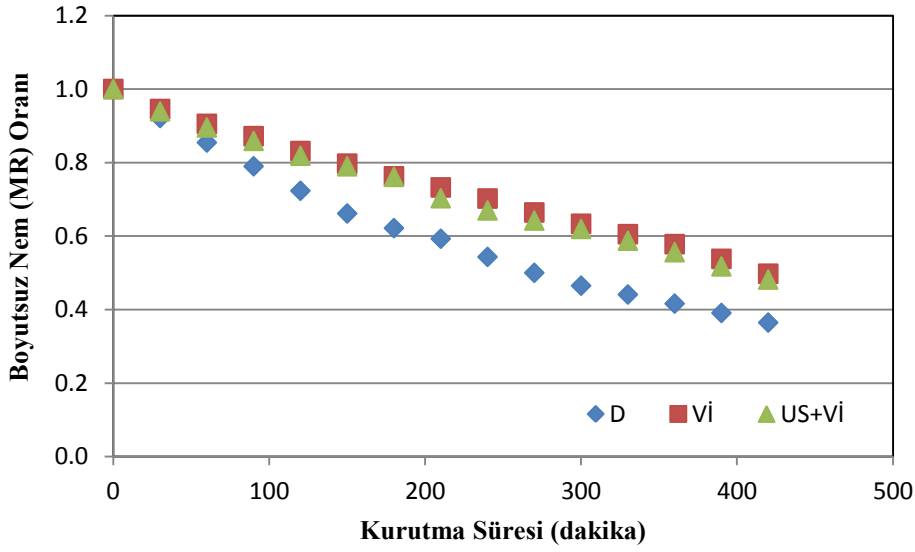
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Nem İçerikleri Değişimi

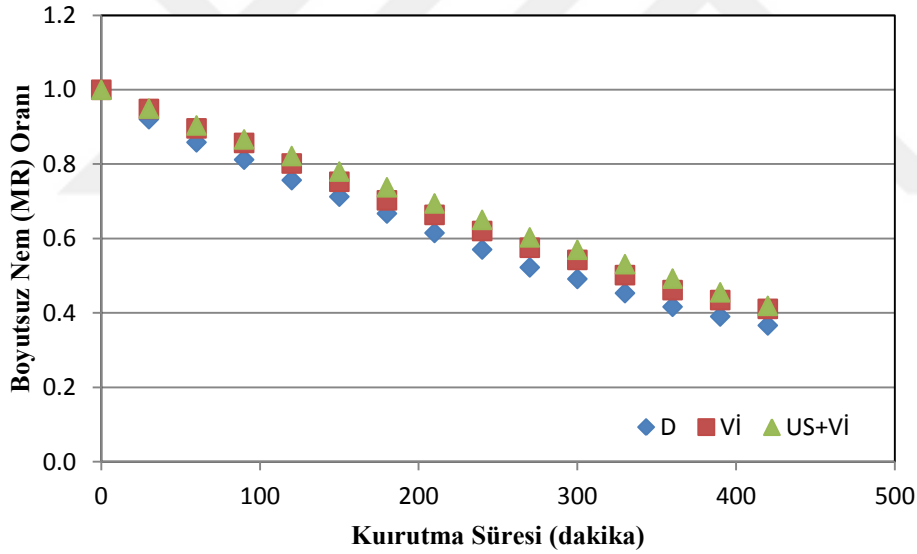
Kullanılan elma örneklerinin başlangıç ortalama nem içeriklerinin üç farklı ön işlem için (Daldırma yöntemi (D), Vakum impregnasyon yöntemi (Vİ), Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi (US+Vİ)) zamana bağlı olarak nem oranındaki değişimler sırasıyla 40°C sıcaklıkta kurutma Şekil 4.1, 50°C sıcaklıkta kurutma Şekil 4.2 ve 60°C sıcaklıkta kurutma Şekil 4.3'te sunulmuştur.



Şekil 4.1. Farklı ön işlemler kullanılarak 40°C sıcaklıkta kurutulan elma örneklerinin nem oranlarının zamana bağlı değişimi



**Şekil 4.2.** Farklı ön işlemler kullanılarak 50°C sıcaklıkta kurutulan elma örneklerinin nem oranlarının zamana bağlı değişimi



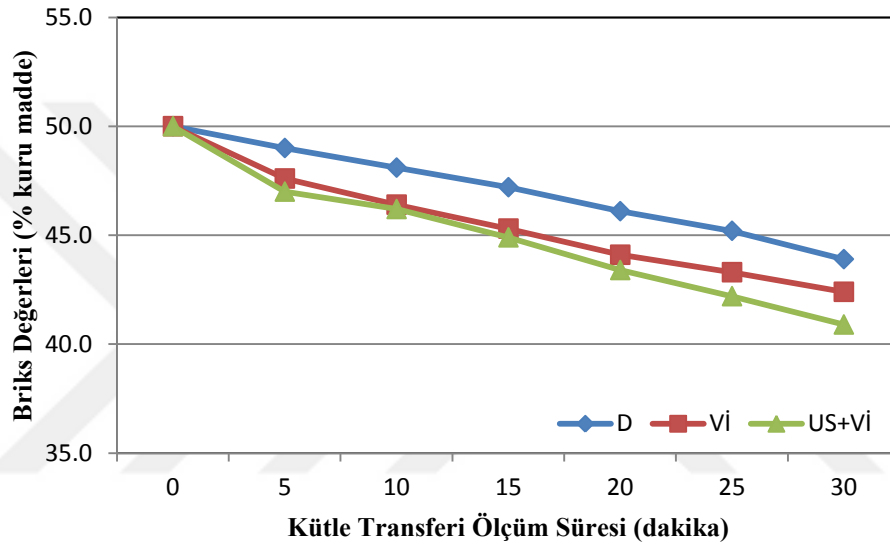
**Şekil 4.3.** Farklı ön işlemler kullanılarak 60°C sıcaklıkta kurutulan elma örneklerinin nem oranlarının zamana bağlı değişimi

Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemleri uygulanan elma küpleri 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Kurutma sırasında 30 dakikada bir numunelerin kütle değişimleri takip edilerek MR değerleri hesaplanmıştır. 50 ve 60°C kurutma sıcaklıklarında farklı ön işlemler kullanılarak kurutulan elma küplerinin MR değişimlerinin paralellik gösterdiği saptanmıştır.



## 4.2. Uygulanan Ön İşlemlerde Gerçekleşen Kütle Geçişleri

Başlangıç Briks değeri %50 olan vakum impregnasyon sıvısı üç ön işlem ile elma küplerine emdirilmiştir. Çalışılan üç yöntem sırasıyla daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemidir. Bu üç yöntem 30 dakika boyunca her 5 dakikada bir vakum impregnasyon çözeltisinin Briks değeri ölçülerek elma küplerine gerçekleşen kütle geçişleri hesaplanmıştır. Şekil 4.4'te üç yönteme ait impregnasyon çözeltisinin Brix değerleri değişimi verilmiştir.



Şekil 4.4. Vakum impregnasyon çözeltisinin üç ön işlem için zamana bağlı Brix değişimi

Üç farklı ön işleme ait vakum impregnasyon çözeltisinin briks değerlerinde zamana bağlı değişimler ve ilgili istatistik sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Üç farklı ön işleme ait vakum impregnasyon çözeltisinin briks değerlerinde zamana bağlı değişimler (ortalama±standart sapma)

Süre (Dakika)	Daldırma Yöntemi*	VI. Yöntemi	US+VI. Yöntemi
0	50,00±0,00 (L)	50,00±0,00 (L)	50,00±0,00 (L)
5	49,00±0,67 (K)	47,60±1,06 (J)	47,00±1,09 (IJ)
10	48,10±0,98 (J)	46,40±0,93 (HI)	46,20±0,84 (GH)
15	47,20±0,99 (I)	45,30±0,74 (FG)	44,90±1,00 (DEF)
20	46,10±1,24 (GH)	44,10±0,97 (DE)	43,40±1,12 (C)
25	45,20±1,36 (EF)	43,30±0,85 (C)	42,20±1,50 (B)
30	43,90±1,57 (CD)	42,40±0,81 (B)	40,90±1,02 (A)

\* Çizelgede parantez içindeki farklı harfler ortalamaların  $\alpha=0,05$  seviyesinde istatistiksel anlamda farklı olduğunu göstermektedir.

Uygulanan 30 dakikalık ön işlemler sonunda, vakum impregnasyon çözeltisinin briks değerinde en düşük değer US+Vİ işleminde (40,90±1,02) bulunmuş ve bu değer diğer iki ön işlemten istatistiksel anlamda daha düşük olduğu görülmüştür (p<0,05).

Yapılan 30 dakikalık ön işlemler sonunda, daldırma yönteminin (D) uygulandığı elma küplerine vakum impregnasyon çözeltisinden %11,26'lık ortalama kütle transferi olurken, vakum impregnasyon (Vİ) yönteminin uygulandığı elma küplerine vakum impregnasyon çözeltisinden %14,63'lük kütle transferi olmuş ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon uygulanan (US+Vİ) elma küplerine vakum impregnasyon çözeltisinden %18,20'lik kütle transferi olduğu hesaplanmıştır. Yapılan istatistik analizler sonucunda ön işlemlerin etkilerinin (30.dakikalık işlem sonunda) birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir (p<0,05).

#### 4.3. Kurutma Kinetiğine Ait Matematiksel Modelleme Çalışmaları

Konveksiyonel etüv tipi kurutucuda kurutulan elma örneklerinin üç farklı sıcaklık ortamında kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler, doğrusal olmayan regresyon analizi ile beş ayrı ince tabaka kurutma modellerine uygulanmıştır. Bu analizin sonucunda elde edilen model uyum sonuçları sırasıyla ön işlem olarak daldırma yöntemi Çizelge 4.2'de, vakum impregnasyon yöntemi Çizelge 4.3'te, ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Farklı sıcaklıklarda kurutulan, ön işlem olarak daldırma yöntemi uygulanan elma örneklerinden elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi

Model	Sıcaklık (°C)	Sabitler ve Katsayılar			RMSE	$\chi^2$	$r^2$
Handerson ve Pabis	40	k=0,0017	a=1,0253		0,1439	0,0020	0,9916
	50	k=0,0023	a=1,0051		0,0727	0,0007	0,9827
	60	k=0,0024	a=1,0395		0,1812	0,0027	0,9949
Newton	40	k=0,0017			0,0763	0,0005	0,9916
	50	k=0,0023			0,0692	0,0007	0,9827
	60	k=0,0024			0,0861	0,0008	0,9949
Page	40	k=0,0027	n=0,9298		0,0277	0,0001	0,9974
	50	k=0,0028	n=0,9623		0,0705	0,0008	0,9284
	60	k=0,0075	n=0,8051		0,0626	0,0004	0,9825
Modifiye Page	40	k=0,0041	n=0,9298		0,7461	0,0462	0,9974
	50	k=0,0035	n=0,9623		0,3944	0,0008	0,9284
	60	k=0,0195	n=0,8051		0,9138	0,0669	0,9825
Logaritmik	40	k=0,3410	a=1,1324	c=0,4949	0,4578	0,0351	0,7192
	50	k=0,3744	a=1,1994	c=0,4049	0,9369	0,0987	0,7276
	60	k=0,3852	a=1,2599	c=0,3694	0,9391	0,0970	0,6657

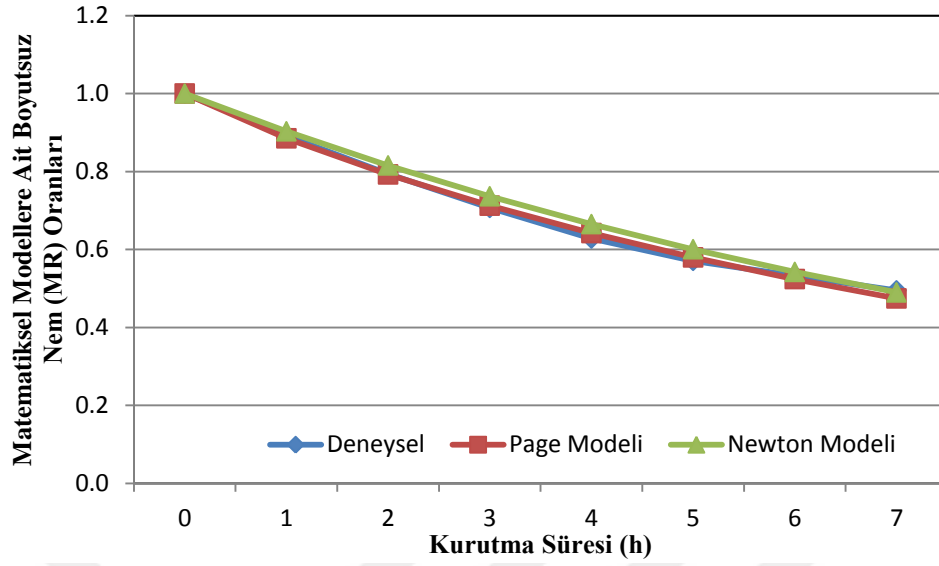
**Çizelge 4.3.** Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş, ön işlem olarak vakum impregnasyon yöntemi uygulanan elma örneklerinden elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi

Model	Sıcaklık (°C)	Sabitler ve Katsayılar			RMSE	$\chi^2$	$r^2$
Handerson ve Pabis	40	k=0,0018	a=1,0337		0,1718	0,0022	0,9963
	50	k=0,0021	a=1,0623		0,2581	0,0047	0,9615
	60	k=0,0018	a=1,0278		0,1679	0,0020	0,9983
Newton	40	k=0,0018			0,0800	0,0006	0,9963
	50	k=0,0021			0,1431	0,0017	0,9615
	60	k=0,0018			0,0921	0,0007	0,9983
Page	40	k=0,0047	n=0,8413		0,0237	0,0001	0,9968
	50	k=0,0037	n=0,9321		0,0286	0,0001	0,9969
	60	k=0,0045	n=0,8488		0,0258	0,0001	0,9969
Modifiye Page	40	k=0,0109	n=0,8413		0,9243	0,0667	0,9968
	50	K=0,0049	n=0,9321		0,7388	0,0436	0,9969
	60	k=0,0103	n=0,8488		1,5350	0,1828	0,9969
Logaritmik	40	k=0,0695	a=1,0720	c=0,3259	0,8422	0,0754	0,7178
	50	k=0,3726	a=1,1787	c=0,4059	0,9135	0,0921	0,7142
	60	k=0,3176	a=1,0570	c=0,4528	0,8712	0,0779	0,6913

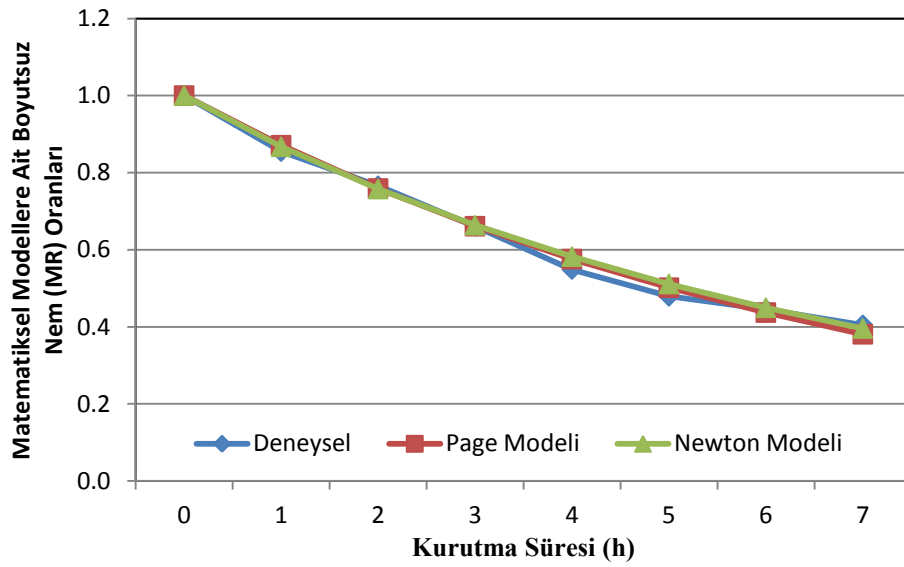
**Çizelge 4.4.** Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş, ön işlem olarak ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi uygulanan elma örneklerinden elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumunun incelenmesi

Model	Sıcaklık (°C)	Sabitler ve Katsayılar			RMSE	$\chi^2$	$r^2$
Handerson ve Pabis	40	k=0,0011	a=1,0113		0,0452	0,0002	0,9986
	50	k=0,0023	a=1,1075		0,4948	0,0185	0,9821
	60	k=0,0020	a=1,0216		0,1099	0,0010	0,9951
Newton	40	k=0,0011			0,0199	0,0006	0,9986
	50	k=0,0023			0,2699	0,0017	0,9821
	60	k=0,0020			0,1001	0,0008	0,9951
Page	40	k=0,0023	n=0,8728		0,0184	0,0001	0,9974
	50	k=0,0119	n=0,7359		0,0104	0,0001	0,9996
	60	k=0,0035	n=0,9053		0,0295	0,0001	0,9969
Modifiye Page	40	k=0,0049	n=0,8728		0,6583	0,0361	0,9974
	50	K=0,0384	n=0,7359		1,8191	0,2504	0,9969
	60	k=0,0061	n=0,8728		1,0186	0,0826	0,9969
Logaritmik	40	k=0,2550	a=1,7700	c=0,4468	0,6696	0,0456	0,6994
	50	k=0,3908	a=1,1847	c=0,3682	0,8242	0,0765	0,7408
	60	k=0,3545	a=1,0666	c=0,4385	0,8653	0,0808	0,7144

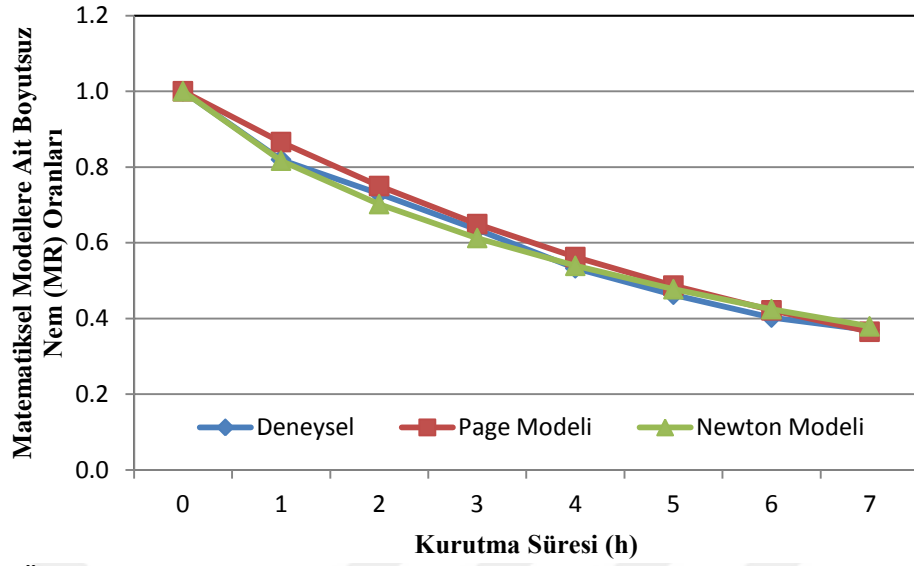
Tüm kurutma sıcaklıkları için üç ön işlem uygulamasında da deneysel verilere en iyi uyum sağlayan modellerin, en yüksek  $R^2$ , en düşük RMSE ve ki-kare değerlerini veren “Newton” ve “Page” modelleri olduğu görülmüştür. Uyumlu modeller ile deneysel veriler arasındaki ilişki sırasıyla daldırma yöntemi için Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7, vakum impregnasyon yöntemi için Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10 ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi için Şekil 4.11, 4.12 ve 4.13’te sunulmuştur.



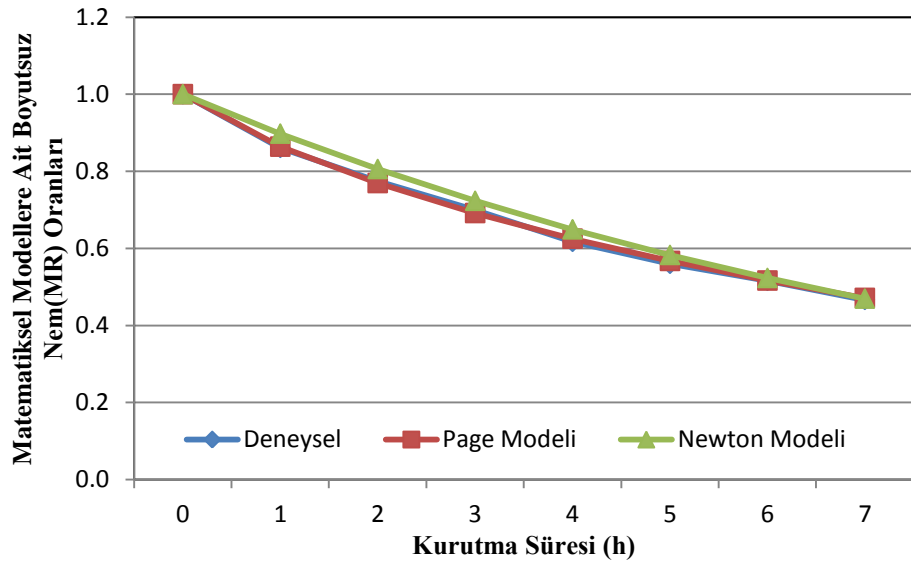
**Şekil 4.5.** Ön işlem olarak daldırma yöntemi kullanılan elma örneklerinin 40°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



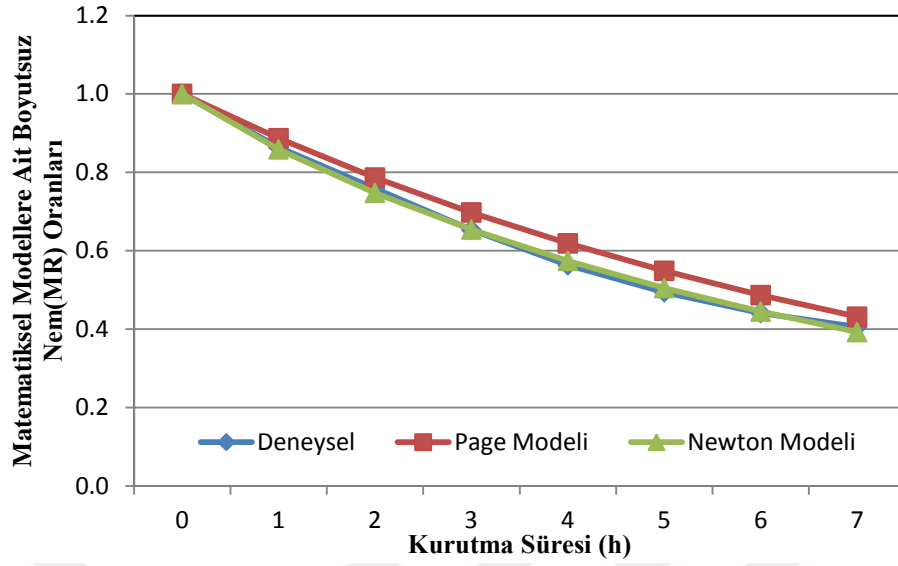
**Şekil 4.6.** Ön işlem olarak daldırma yöntemi kullanılan elma örneklerinin 50°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



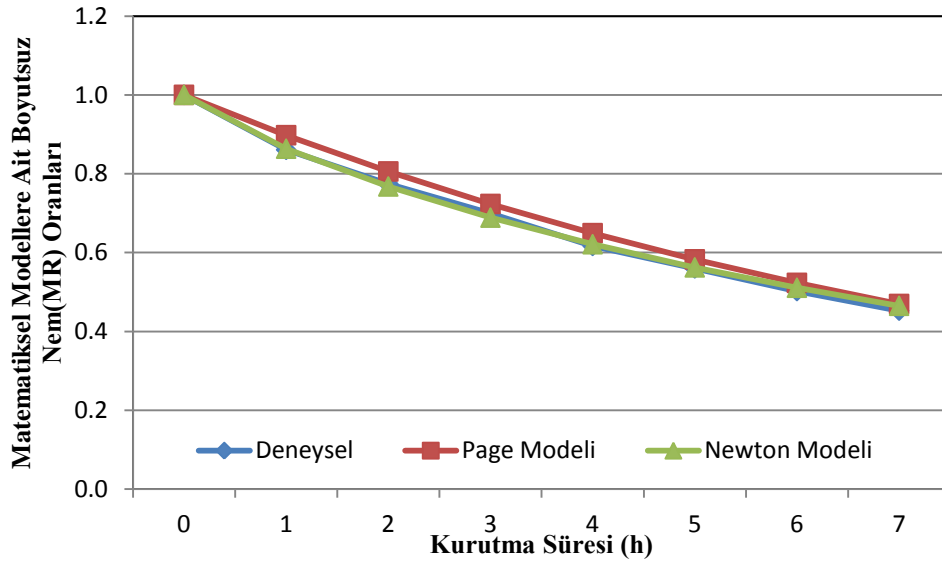
**Şekil 4.7.** Ön işlem olarak daldırma yöntemi kullanılan elma örneklerinin 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



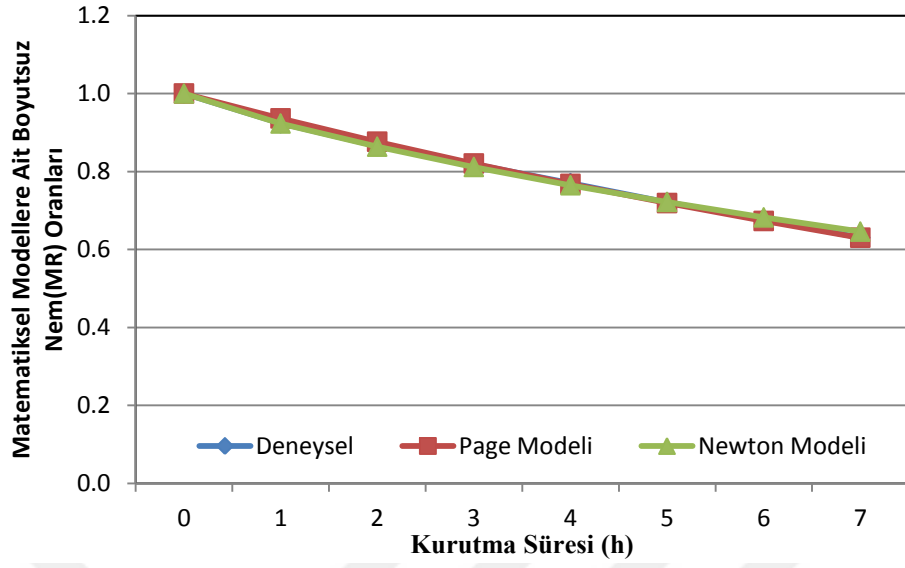
**Şekil 4.8.** Ön işlem olarak vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 40°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



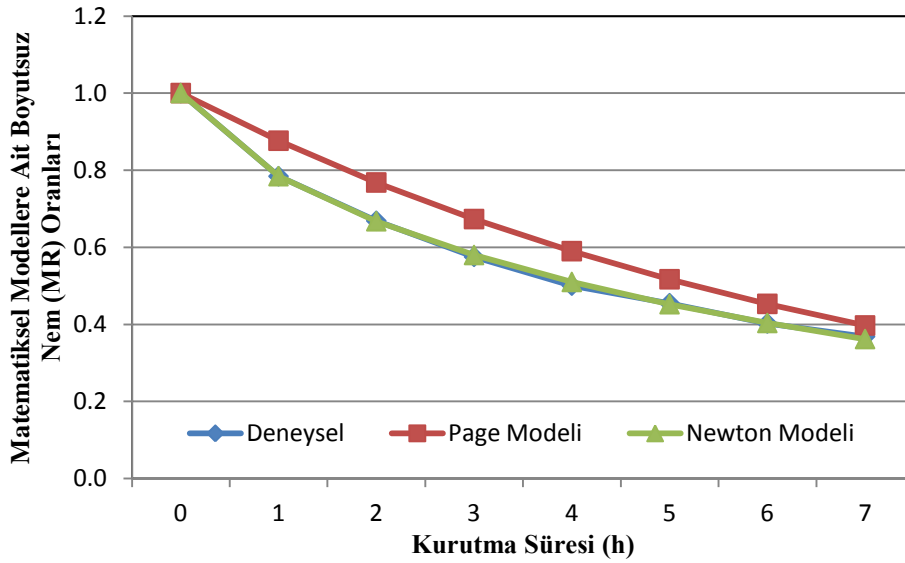
**Şekil 4.9.** Ön işlem olarak vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 50°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



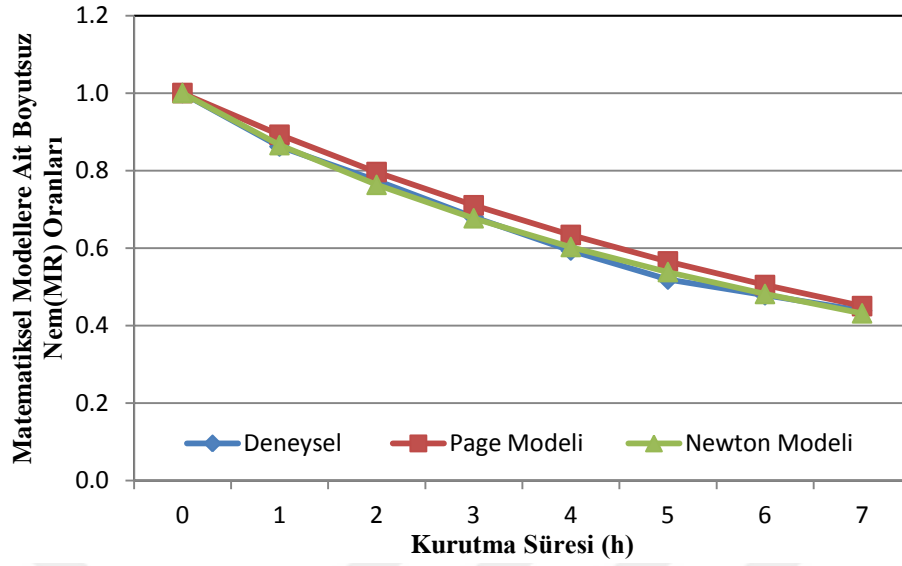
**Şekil 4.10.** Ön işlem olarak vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



**Şekil 4.11.** Ön işlem olarak ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 40°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



**Şekil 4.12.** Ön işlem olarak ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 50°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi



**Şekil 4.13.** Ön işlem olarak ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi kullanılan elma örneklerinin 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Newton modellerinden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

Elmalarla ilgili yapılan kurutma kinetiği çalışmasında Filiz vd. (2015) elma küplerini 65, 70 ve 75°C sıcaklıklarda konveksiyonel kurutucuda kurutulmuştur. Bu çalışmada en yüksek  $r^2$  ve en düşük RMSE ile ki-kare değerlerine sahip olan matematiksel modelin Midilli ve Küçük olduğu saptanmıştır. Velić vd. 2006 yılında yaptıkları bir çalışmada 20x20x5 mm kalınlığında kestikleri elma örneklerini 50, 60, 70, 80°C sıcaklıklarda kurutarak uygun matematiksel modelin en yüksek  $r^2$ , en düşük RMSE ve ki-kare değerleriyle Midilli ve Küçük modeli olduğunu saptamışlardır. Blanco-Cano vd. (2016) yaptıkları çalışmada 20-50°C arasındaki sıcaklıklarda dolaylı güneş ışığında kurutma yapmış ve uygun matematiksel modellemelerin Wang ve Singh ( $r^2=0,9999$ ), Küçük ve Midilli ( $r^2=0,9999$ ) modelleri olduğunu saptamıştır. Jokić vd. (2009) yaptıkları bir çalışmada 1,5 m/s ve 2,7 m/s hava hızında 50, 60, 70°C sıcaklıklarda elma dilimlerini kurutmuş ve uygun matematiksel modelin en yüksek  $r^2$ , en düşük RMSE ve ki-kare değerlerine sahip Page modeli olduğunu saptamışlardır. Vega-Galvèz vd. (2008) 5,0±0,2 mm kalınlığındaki elma dilimlerini 40-80°C sıcaklıklarda kurutmuşlar ve uygun matematiksel modelin en yüksek  $r^2$ , en düşük RMSE ve ki-kare değerlerine sahip olan Modifiye Page modeli olduğunu saptamışlardır. Cruz vd. (2014) 30-60°C sıcaklıklarda konvektif kurutucuda kuruttıkları elma dilimleri için uygun matematiksel modelin en yüksek  $r^2$ , en düşük RMSE ve ki-kare değerleri ile Handerson-Pabis ve Page modeli olduğunu belirtmişlerdir. Dikbasan (2007) ise 40,1-65,3°C ve 1,1



1,4 1,9 2,3 2,5 m/s hava hızlarında elma dilimlerini kurutmuş ve uygun matematiksel modelin en yüksek  $r^2=0,9991$ , en düşük RMSE= 0,0087976 ve ki-kare değerlerine sahip Midilli ve Küçük Modelinin olduğu rapor etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında elma küplerine daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemleri uygulanmış ve 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutularak matematiksel modellemesi yapılmıştır. Üç ön işlem ve üç sıcaklık değeri için uygun matematiksel modellemenin Newton ve Page Modelleri olduğu saptanmıştır. Çalışma sonucunda uygulanan ön işlem ve farklı sıcaklık derecelerinde kurutma işleminin matematiksel modellemeyi değiştirmediği sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.4. Renk Degradasyonu ve Reaksiyon Kinetiğinin Belirlenmesi

Bu çalışmada Granny Smith elma örneklerinin kurutma sırasındaki renk değişimleri incelenmiştir. CIE L\*, a\* ve b\* değerlerinin zamana bağlı değişimleri ve reaksiyon dereceleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Üç farklı ön işlem uygulanan elma örneklerinin 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarda kurutulmalarına ait renk değişimine ait reaksiyon derecesinin belirlenmesi (en yüksek  $r^2$  değerlerine ait kutucuklar işaretlenmiştir)

Ön İşlemler	Sıcaklık (°C)	Renk Parametreleri	0. Dereceden Reaksiyon Kinetiği $r^2$	1. Dereceden reaksiyon Kinetiği $r^2$	2. Dereceden Reaksiyon Kinetiği $r^2$
Daldırma Yöntemi	40	L*	0,9056	0,8964	0,8864
		a*	0,8655	0,8492	0,8197
		b*	0,8999	0,9114	0,8995
	50	L*	0,9111	0,9203	0,9278
		a*	0,7660	0,6595	0,5465
		b*	0,9225	0,9497	0,9347
	60	L*	0,9674	0,9663	0,9639
		a*	0,9776	0,9468	0,8966
		b*	0,9959	0,9931	0,9827
Vakum İmpregnasyon Yöntemi	40	L*	0,9672	0,9619	0,9553
		a*	0,9713	0,9596	0,8296
		b*	0,7303	0,6437	0,5509
	50	L*	0,9769	0,9676	0,9557
		a*	0,8583	0,8817	0,8738
		b*	0,9649	0,9460	0,9142
	60	L*	0,9116	0,9372	0,9256
		a*	0,9751	0,9650	0,9470
		b*	0,9875	0,9925	0,9816
Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon Yöntemi	40	L*	0,8632	0,8259	0,0451
		a*	0,9568	0,9412	0,8735
		b*	0,9544	0,9507	0,9353
	50	L*	0,9743	0,9657	0,9752
		a*	0,9301	0,9831	0,9722
		b*	0,9502	0,8831	0,7849
	60	L*	0,9718	0,9657	0,9267
		a*	0,9315	0,9116	0,8669
		b*	0,9550	0,9850	0,9755

Demiray (2009), domateslerin kurutulması üzerine yaptığı bir çalışmada kurutma sonrası renk analizlerinde  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri için uygun reaksiyon kinetiklerini hesaplamış ve sırasıyla  $L^*$  ve  $b^*$  renk değerinin birinci dereceden  $a^*$  renk değerinin ise sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğunu saptamıştır. Tülek vd. (2014), Trabzon hurması üzerine yaptıkları çalışmada ise, kurutma sonrası renk karakteristiklerinin reaksiyon derecelerini hesaplamış  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygun olduğunu saptamıştır.

Elma örneklerinin renk değişimlerine bakıldığında daldırma ön işlemi uygulanan elma örneklerinin  $40^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta kurutulması ile elde edilen renk parametrelerinin reaksiyon kinetiği değerleri  $L^*$  ve  $a^*$  değerleri için sıfırıncı dereceden,  $b^*$  değeri için 1.dereceden reaksiyon kinetiğine uygunluğu saptanmış. Daldırma ön işlemi uygulanan elma örneklerinin  $50^{\circ}\text{C}$  kurutulmasıyla elde edilen renk parametrelerinin reaksiyon kinetiği değerleri  $L^*$  değeri için ikinci dereceden,  $a^*$  değeri için sıfırıncı dereceden ve  $b^*$  değeri için birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygunluğu saptanmıştır. Daldırma ön işlemi uygulanan elma örneklerinin kurutulmasıyla elde edilen renk parametrelerinin reaksiyon kinetiği değerleri  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerleri için sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiğine uygunluğu saptanmıştır.

Vakum impregnasyon ön işlemi uygulanan elma örneklerinin  $40^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta kurutulması ile elde edilen renk parametrelerinin reaksiyon kinetiği değerleri  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerleri için sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiğine uygunluğu saptanmıştır. Vakum impregnasyon ön işlemi uygulanan elma örneklerinin  $50^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta kurutulması ile elde edilen renk parametrelerinin reaksiyon kinetiği değerleri  $L^*$  ve  $b^*$  değerleri için sıfırıncı dereceden,  $a^*$  değeri için birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygunluğu saptanmıştır. Vakum impregnasyon ön işlemi uygulanan elma örneklerinin  $60^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta kurutulması ile elde edilen renk parametrelerinin reaksiyon kinetiği değerleri  $L^*$  ve  $b^*$  değerleri için 1.dereceden,  $a^*$  değeri için sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiğine uygunluğu saptanmıştır.

Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemi uygulanan elma örneklerinin  $40^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta kurutulması ile elde edilen renk parametrelerinin reaksiyon kinetiği değerleri  $L$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerleri için sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiği uygunluğu saptanmıştır. Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemi uygulanan elma örneklerinin  $50^{\circ}\text{C}$  kurutulmasıyla elde edilen renk parametrelerinin

reaksiyon kinetiği değerleri  $L^*$  değeri için ikinci dereceden,  $a^*$  değeri için birinci dereceden,  $b^*$  değeri için sıfırıncı dereceden reaksiyon kinetiğine uygulanmıştır. Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemi uygulanan elma örneklerinin 60°C sıcaklıkta kurutulması ile elde edilen renk parametrelerinin reaksiyon kinetiği değerleri  $L^*$  ve  $a^*$  değerleri için sıfırıncı dereceden,  $b^*$  değeri için birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uygunluğu saptanmıştır.

#### 4.5. Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi

##### 4.5.1. DPPH Yöntemi ile Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi

Daldırma, Vİ ve US+Vİ ön işlem uygulanarak 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutulan elma örneklerinden elde edilen ekstraktların DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. DPPH yöntemi ile belirlenen antioksidan kapasitelerinin  $r^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir. DPPH yöntemi ile belirlenen antioksidan aktivite değerlerine ait aktivasyon enerjisi,  $Q_{10}$  ve  $t_{1/2}$  değerleri Çizelge 4.8'de sunulmaktadır.

**Çizelge 4.6.** Üç farklı ön işlem uygulanmış elma küplerinin üç farklı sıcaklıkta kurutulması sırasında DPPH yöntemi ile belirlenen antioksidan aktivite değerlerinde zamana bağlı değişim (ortalama±standart sapma)

Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Daldırma Yöntemi ( $\mu\text{mol TE}/100\text{g KM}$ )*	Vİ Yöntemi ( $\mu\text{mol TE}/100\text{g KM}$ )	US+Vİ Yöntemi ( $\mu\text{mol TE}/100\text{g KM}$ )
40	0	506,73±7,91 (A)	536,79±10,34 (C)	523,02±7,82 (B)
	60	440,66±5,02 (FG)	455,90±7,59 (E)	456,84±1,94 (E)
	120	370,89±3,56 (L)	373,92±4,68 (L)	391,35±2,25 (J)
	180	299,51±3,62 (Q)	307,36±3,68 (P)	317,03±2,25 (O)
	240	252,98±7,28 (T)	251,99±1,41 (TU)	266,45±0,87 (S)
	300	211,38±3,62 (X)	206,83±1,74 (XY)	210,93±2,63 (X)
	360	168,87±2,77 (2D)	174,33±5,13 (2CD)	200,54±4,92 (YZ2A)
	420	143,69±3,89 (2GH)	152,23±3,65 (2EF)	157,82±1,48 (2E)
50	0	526,85±5,45 (B)	526,31±5,28 (B)	528,06±1,89 (B)
	60	466,53±4,38 (D)	453,15±4,43 (E)	441,23±9,57 (FG)
	120	382,12±2,15 (K)	413,30±2,68 (I)	350,51±8,88 (M)
	180	318,50±7,43 (O)	334,02±2,20 (N)	286,17±11,49 (R)
	240	249,83±3,97 (TU)	267,25±1,30 (S)	238,45±2,98 (V)
	300	194,35±2,22 (Z2AB)	237,48±0,72 (V)	204,48±1,26 (XY)
	360	180,81±0,84 (2C)	193,80±3,58 (2AB)	177,29±3,47 (2C)
	420	138,02±3,56 (2H)	148,50±2,98 (2FG)	148,42±1,25 (2FG)
60	0	523,89±4,21 (B)	526,31±5,97 (B)	527,09±4,97 (B)
	60	435,16±1,71 (GH)	443,18±6,24 (F)	427,88±4,77 (H)
	120	355,15±6,16 (M)	370,56±5,12 (L)	353,15±1,77 (M)
	180	285,28±1,54 (R)	335,19±2,96 (N)	294,41±1,62 (Q)
	240	248,31±2,88 (TU)	294,24±3,18 (Q)	244,61±3,67 (UV)
	300	229,49±1,48 (TU)	251,53±1,31 (TU)	201,29±2,08 (UV)
	360	190,70±2,60 (Y)	203,21±1,95 (2B)	174,66±2,48 (2CD)
	420	144,54±6,98 (2GH)	145,43±7,40 (2FGH)	146,39±7,15 (2FG)

\* Çizelgede parantez içindeki farklı harfler veya rakamlar ortalamaların  $\alpha=0,05$  seviyesinde istatistiksel anlamda farklı olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.7.** Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemleri uygulanarak kurutulan elma örneklerinin DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite degradasyonuna ait reaksiyon derecesi,  $r^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerinin belirlenmesi

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon Derecesi	$r^2$	RMSE	$\chi^2$
Daldırma	40	0. Derece	0,9560	645,03	13,75
		1. Derece	0,8790	0,48	0,07
		2. Derece	0,0080	0,04	<0,00
	50	0. Derece	0,9827	61,70	680,45
		1. Derece	0,9920	1,39	0,57
		2. Derece	0,9500	0,02	<0,00
	60	0. Derece	0,9390	71,16	1119,69
		1. Derece	0,9860	3,86	2,49
		2. Derece	0,9590	0,03	0,0001
Vakum İmpregnasyon	40	0. Derece	0,9550	666,58	90166,92
		1. Derece	0,9960	3,89	2,56
		2. Derece	0,9840	0,03	0,0002
	50	0. Derece	0,9870	583,25	74338,13
		1. Derece	0,9880	3,23	1,80
		2. Derece	0,9300	0,02	<0,00
	60	0. Derece	0,9390	573,12	66391,87
		1. Derece	0,9860	3,50	2,0546
		2. Derece	0,9590	0,02	<0,00
Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon	40	0. Derece	0,9550	666,58	90166,92
		1. Derece	0,9960	3,89	2,56
		2. Derece	0,9840	0,03	0,0002
	50	0. Derece	0,9350	528,29	61837,64
		1. Derece	0,9920	2,39	1,11
		2. Derece	0,9890	0,02	<0,00
	60	0. Derece	0,9460	553,32	48658,02
		1. Derece	0,9950	2,87	1,45
		2. Derece	0,9870	0,02	<0,00

Kurutma sonunda (7 saat kurutma) elde edilen antioksidan aktivite değerleri söz konusu olduğunda, daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemlerinin elma küplerinin antioksidan aktivite değerleri üzerine etkisinin olmadığı ( $p>0,05$ ) belirlenmiştir.

DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite değerlerindeki degradasyona ait reaksiyon derecesinin birinci dereceye uygun olduğu görülmüştür. RMSE ve  $\chi^2$  değerleri ikinci derece reaksiyon için düşse de,  $r^2$  değerinde azalma meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.8.** Üç farklı ön işleme tabi tutulan elma küplerinin DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidana aktivite değerlerine ait aktivasyon enerjisi,  $Q_{10}$  ve  $t_{1/2}$  değerleri

Yöntem	Sıcaklık (K)	$r^2$	$k_0$ ( $h^{-1}$ )	Ea (kJ/mol)	$t_{1/2}$ (dakika)	$Q_{10}$
Daldırma	313	0,8170	77,24	195,40	231,00	6,36
	323				157,50	1,38
	333				144,38	9,35
Vakum İmpregnasyon	313	0,9890	14,63	23,40	346,50	1,39
	323				277,20	1,24
	333				187,30	1,31
Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon	313	0,9940	8,23	6,69	385,00	1,09
	323				277,20	1,07
	333				173,25	1,08

Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemleri için antioksidan aktivitelerdeki degradasyona ait Arrhenius sabitleri sırasıyla 77,24, 14,63 ve 8,23  $h^{-1}$  iken aktivasyon enerjileri 195,40, 23,40 ve 6,69 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. DPPH yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite degradasyon değerlerine ait yarılanma süreleri daldırma yönteminde daha kısa iken, diğer iki yöntemde nispeten yakın süreler görülmüştür.

#### 4.5.2. Toplam Fenolik Madde Tayini ile Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi

Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemleri uygulanarak 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutulan elma örneklerinden elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde tayini ile de antioksidan kapasiteleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge. 4.9'da verilmiştir. Toplam fenolik madde içeriği yöntemi ile belirlenen antioksidan kapasitelerinin reaksiyon derecesi,  $r^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerleri Çizelge 4.10'da sunulmuştur. Toplam fenolik madde içeriklerindeki degradasyona ait aktivasyon enerjisi,  $Q_{10}$  ve  $t_{1/2}$  değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Tüm kurutma sıcaklıklarında üç farklı ön işleme maruz bırakıldıktan sonra 7 saatlik kurutma sonunda elden edilen elma küplerinin toplam fenolik madde miktarları benzer bulunmuş ( $p>0,05$ ) ve ön işlemin elma küplerinin toplam fenolik madde içeriğine etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Toplam fenolik madde içeriği degradasyonuna ait reaksiyon derecesinin birinci dereceye uygun olduğu görülmüştür. RMSE ve  $\chi^2$  değerleri ikinci derece reaksiyon için düşse de,  $r^2$  değerinde azalma meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.9.** Üç farklı ön işlem uygulanmış elma küplerinin üç farklı sıcaklıkta kurutulması sırasında toplam fenolik madde içeriklerinde zamana bağlı değişim (ortalama±standart sapma)

Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Daldırma Yöntemi (mg GAE/100g KM)*	Vİ Yöntemi (mg GAE/100g KM)	US+Vİ Yöntemi (mg GAE/100g KM)
40	0	4855,50±80,19 (EF)	5925,01±106,97 (ABC)	5681,35±70,34 (C)
	60	3670,72±182,58 (JK)	4570,78±67,11 (G)	4303,16±49,98 (H)
	120	2739,75±49,37 (PQ)	3597,18±65,46 (KL)	3743,90±23,82 (JK)
	180	2177,93±76,09 (TUV)	2857,89±128,18 (OPQ)	2893,74±41,56 (OPQ)
	240	1731,63±58,43 (XYZ)	2286,14±138,72 (ST)	2171,97±64,71 (TUV)
	300	1367,69±53,90 (2BCD)	1771,11±80,65 (WXY)	1556,16±38,57 (YZ2ABC)
	360	1031,24±32,63 (2FGH)	1478,01±91,55 (Z2ABC)	1411,45±80,24 (2ABCD)
	420	795,73±53,20 (2H)	1067,25±65,72 (2EFG)	1095,76±98,52 (2EFG)
50	0	5856,05±206,83 (BC)	6028,65±309,55 (AB)	6032,73±217,05 (AB)
	60	4748,63±92,95 (FG)	5039,50±269,54 (DE)	4635,57±158,67 (FG)
	120	3716,24±65,12 (JK)	4189,70±221,75 (H)	3718,35±130,65 (JK)
	180	2997,79±29,44 (OP)	3402,14±101,58 (LM)	3061,28±181,80 (NO)
	240	2116,66±33,16 (TUV)	2677,07±113,98 (QR)	2456,02±161,99 (RS)
	300	1584,87±24,91 (YZ2AB)	2193,73±164,85 (STUV)	2017,36±139,40 (UVW)
	360	1203,06±15,81 (2DEF)	1651,48±188,34 (YZ2A)	1580,97±118,56 (YZ2AB)
	420	890,77±23,92 (2GH)	1094,90±267,58 (2EFG)	1063,78±155,51 (2EFG)
60	0	6088,07±291,24 (AB)	6189,21±268,08 (A)	6107,75±281,36 (AB)
	60	4131,77±325,36 (HI)	5154,90±324,84 (D)	4730,90±188,78 (FG)
	120	3314,73±49,96 (MN)	4298,75±156,59 (H)	3892,11±214,77 (IJ)
	180	2779,05±72,71 (PQ)	3524,32±176,80 (KLM)	3298,57±149,57 (MN)
	240	2247,50±17,09 (STU)	2836,70±64,14 (OPQ)	2653,85±188,66 (QR)
	300	1675,58±54,23 (YZ2A)	2175,74±88,18 (TUV)	1971,91±209,38 (VWX)
	360	1312,17±54,23 (2CDE)	1700,07±232,52 (YZ)	1477,88±238,66 (Z2AB)
	420	975,68±230,74 (2FGH)	1073,49±370,14 (2EFG)	1073,63±343,74 (2EFG)

\* Çizelgede parantez içindeki farklı harfler veya rakamlar ortalamaların  $\alpha=0,05$  seviyesinde istatistiksel anlamda farklı olduğunu göstermektedir.

Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemleri için toplam fenolik madde içeriklerindeki degradasyona ait Arrhenius sabitleri sırasıyla 9,75, 9,50 ve 7,42  $h^{-1}$  iken aktivasyon enerjileri 11,48, 10,23 ve 4,81 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Toplam fenolik madde içeriklerine ait tüm kurutma sıcaklıklarındaki  $Q_{10}$  değerleri üç ön işlemde de birbirine yakın bulunmuş, yarılanma süreleri açısından ise US+Vİ işlemine maruz kalan örneklerde diğer ikisine oranla daha düşük süreler tespit edilmiştir. DPPH yöntemiyle tespit edilen aktivasyon enerjilerine benzer şekilde, US+Vİ işlemi toplam fenolik madde içeriği degradasyonun da daha düşük aktivasyon enerjisine sahiptir ve düşük yarılanma süreleri ( $t_{1/2}$ ) degradasyonun daha hızlı gerçekleşmesinin bir göstergesidir. Ancak sonuçlar  $Q_{10}$  değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde, kurutma sıcaklığındaki artış bu degradasyon hızı üzerine önemli bir etkiye sahip değildir.

**Çizelge 4.10.** Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemleri uygulanarak kurutulmuş elma örneklerinin toplam fenolik madde içeriği degradasyonuna ait reaksiyon derecesi,  $r^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerleri

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon Derecesi	$r^2$	RMSE	$\chi^2$
Daldırma	40	0. Derece	0,9360	761,88	139634,1
		1. Derece	0,9980	1,14	0,29
		2. Derece	0,9310	0,0002	<0,00
	50	0. Derece	0,9560	895,61	173295,6
		1. Derece	0,9960	0,88	0,18
		2. Derece	0,9070	0,0004	<0,00
	60	0. Derece	0,8530	1422,68	494480,5
		1. Derece	0,9740	1,47	0,3665
		2. Derece	0,9710	0,0002	<0,00
Vakum İmpregnasyon	40	0. Derece	0,9350	3046,46	2083477
		1. Derece	0,9970	0,78	0,16
		2. Derece	0,9490	0,0007	<0,00
	50	0. Derece	0,9660	2397,66	1372724
		1. Derece	0,9980	0,52	0,08
		2. Derece	0,9370	0,0006	<0,00
	60	0. Derece	0,9700	4759,13	4939611
		1. Derece	0,9970	3,64	2,40
		2. Derece	0,9520	0,0009	<0,00
Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon	40	0. Derece	0,9400	2721,28	1644528
		1. Derece	0,9890	0,73	0,13
		2. Derece	0,9660	0,0006	<0,00
	50	0. Derece	0,9460	2265,29	1138876
		1. Derece	0,9940	0,51	0,07
		2. Derece	0,9210	0,0002	<0,00
	60	0. Derece	0,9550	4295,56	4041968
		1. Derece	0,9976	1,58	0,43
		2. Derece	0,9540	0,0009	<0,00

**Çizelge 4.11.** Üç farklı ön işleme tabi tutulan elma küplerinin toplam fenolik madde içeriğine ait aktivasyon enerjisi,  $Q_{10}$  ve  $t_{1/2}$  değerleri

Yöntem	Sıcaklık (K)	$r^2$	$k_0$ ( $h^{-1}$ )	Ea (kJ/mol)	$t_{1/2}$ (dakika)	$Q_{10}$
Daldırma	313	0,9110	9,75	11,48	693,00	1,07
	323				462,00	1,22
	333				346,50	1,14
Vakum İmpregnasyon	313	0,9970	9,50	10,23	693,00	1,12
	323				346,50	1,13
	333				231,00	1,13
Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon	313	0,9780	7,42	4,81	693,00	1,04
	323				315,00	1,07
	333				203,82	1,06

### 4.5.3. ABTS Fenolik Yöntemi ile Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi

Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemleri uygulanarak 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutulan elma örneklerinden elde edilen ekstraktların kurutma süresine bağlı ABTS yöntemi ile antioksidan kapasiteleri Çizelge 4.12’de sunulmuştur. Üç farklı ön işlem uygulanarak kurutulan elma örneklerinin ABTS yöntemi ile antioksidan aktivitesinin reaksiyon derecesi,  $r^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerleri Çizelge 4.13’te verilmiştir. Antioksidan aktivite degradasyonuna ait aktivasyon enerjisi,  $Q_{10}$  ve  $t_{1/2}$  değerleri Çizelge 4.14’te verilmiştir.

**Çizelge 4.12.** Üç farklı ön işlem uygulanmış elma küplerinin üç farklı sıcaklıkta kurutulması sırasında ABTS yöntemi ile antioksidan kapasitenin zamana bağlı değişimi (ortalama±standart sapma)

Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Daldırma Yöntemi (µmol TE/100g KM)	Vİ Yöntemi (µmol TE/100g KM)	US+Vİ Yöntemi (µmol TE/100g KM)
40	0	1446,49±18,69 (ABC)	1491,37±13,71 (AB)	1500,35±20,73 (AB)
	60	1150,04±35,73 (E)	1137,07±15,56 (E)	1152,15±11,25 (E)
	120	900,66±34,01 (IJK)	855,54±35,92 (HIJ)	922,55±45,38 (GHI)
	180	604,18±66,51 (NO)	623,12±16,63 (NO)	648,25±22,09 (MN)
	240	470,59±22,78 (QRS)	443,32±24,53 (RST)	471,52±9,41 (QRS)
	300	330,00±34,62 (UVWXY)	332,78±38,46 (UVWXY)	337,94±19,70 (UVWX)
	360	239,46±2,04 (XYZ2AB)	234,25±23,05 (YZ2AB)	266,92±8,14 (VWXYZ2A)
	420	174,69±20,13 (2AB)	182,61±21,34 (2AB)	184,40±20,14 (2AB)
	50	0	1331,96±88,66 (D)	1346,51±94,22 (D)
60		1011,74±92,87 (FG)	1063,57±92,24 (EF)	990,08±72,81 (FGH)
120		736,80±105,61 (LM)	823,26±127,58 (JKL)	761,85±47,20 (KL)
180		483,59±101,67 (PQRS)	605,67±118,00 (NO)	594,70±49,17 (NO)
240		402,86±32,87 (STU)	395,52±66,28 (STU)	466,85±25,94 (RS)
300		326,97±6,48 (UVWXY)	287,44±71,52 (UVWXY)	360,76±29,51 (TUV)
360		245,38±18,50 (XYZ2AB)	217,11±40,21 (Z2AB)	258,14±27,49 (WXYZ2AB)
420		166,36±15,27 (2B)	171,66±20,00 (2AB)	178,92±16,30 (2AB)
60		0	1382,87±64,42 (CD)	1385,03±64,11 (CD)
	60	1059,75±109,08 (EF)	1036,72±114,44 (E)	1023,43±116,87 (F)
	120	765,69±80,71 (KL)	807,99±135,24 (JKL)	746,09±99,32 (LM)
	180	531,87±5,15 (OPQR)	569,16±197,64 (NOPQ)	573,72±4,09 (NOP)
	240	444,54±9,95 (RST)	350,48±54,98 (TUVW)	444,04±24,09 (RST)
	300	336,11±17,11 (UVWX)	292,07±5,28 (TUVW)	322,43±32,88 (UVWXY)
	360	201,12±24,79 (Z2AB)	205,50±13,77 (Z2AB)	236,15±13,00 (YZ2AB)
	420	161,62±16,79 (2B)	167,31±12,62 (2B)	169,68±12,62 (2AB)

\* Çizelgede parantez içindeki farklı harfler veya rakamlar ortalamaların  $\alpha=0,05$  seviyesinde istatistiksel anlamda farklı olduğunu göstermektedir.

Diğer iki yönteme paralel olarak, tüm kurutma sıcaklıklarında üç farklı ön işleme maruz bırakıldıktan sonra 7 saatlik kurutma sonunda elden edilen elma küplerinin ABTS yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite değerleri benzer bulunmuş ( $p>0,05$ ) ve ön işlemin elma küplerinin antioksidan aktivite değerlerine etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



ABTS yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite degradasyonuna ait reaksiyon derecesinin birinci dereceye uygun olduğu görülmüştür. Diğer iki yöntemde görüldüğü gibi, RMSE ve  $\chi^2$  değerleri ikinci derece reaksiyon için düşse de,  $r^2$  değerinde azalma meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.13.** Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon ön işlemleri uygulanarak kurutulan elma örneklerinin ABTS yöntemi ile antioksidan aktivitesinin reaksiyon derecesi,  $r^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerinin belirlenmesi

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Reaksiyon Derecesi	$r^2$	RMSE	$\chi^2$
Daldırma	40	0. Derece	0,9840	291,2193	18517,61
		1. Derece	0,9920	0,09769	0,0024
		2. Derece	0,9200	<0,00	<0,00
	50	0. Derece	0,8780	2469,75	1218941
		1. Derece	0,9780	5,38	4,83
		2. Derece	0,8990	<0,00	<0,00
	60	0. Derece	0,9140	410,95	36302,21
		1. Derece	0,9890	5,40	4,87
		2. Derece	0,9020	<0,00	<0,00
Vakum İmpregnasyon	40	0. Derece	0,9250	2919,60	1813936
		1. Derece	0,9970	5,97	6,12
		2. Derece	0,9280	0,0005	<0,00
	50	0. Derece	0,8940	8790,66	15705717
		1. Derece	0,9840	14079,68	35766693
		2. Derece	0,9630	0,02	<0,00
	60	0. Derece	0,8620	573,12	66391,87
		1. Derece	0,9760	3,50	2,05
		2. Derece	0,9700	0,02	<0,00
Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon	40	0. Derece	0,9300	7679,93	11421048
		1. Derece	0,9980	5,86	5,87
		2. Derece	0,9160	0,0001	<0,00
	50	0. Derece	0,9280	6069,74	7699222
		1. Derece	0,9960	5,60	5,27
		2. Derece	0,9040	0,0055	<0,00
	60	0. Derece	0,8970	7775,34	13029354
		1. Derece	0,9900	6,04	6,13
		2. Derece	0,9120	0,0056	<0,00

Daldırma, vakum impregnasyon ve ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemleri için ABTS yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite degradasyonuna ait Arrhenius sabitleri sırasıyla 8,59, 9,80 ve 8,58  $h^{-1}$  iken aktivasyon enerjileri 8,58, 12,13 ve 8,56 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Tüm kurutma sıcaklıklarında, antioksidan aktivite değerlerine ait  $Q_{10}$  değerleri üç ön işlemde de birbirine yakın bulunmuş, yarılanma süreleri açısından ise Vİ işlemine maruz kalan örneklerde diğer ikisine oranla daha düşük süreler tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Üç farklı ön işleme tabii tutulan elma küplerinin ABTS yöntemiyle belirlenen antioksidan aktiviteye ait aktivasyon enerjisi,  $Q_{10}$  ve  $t_{1/2}$  değerleri

Yöntem	Sıcaklık (K)	$r^2$	$k_0$ ( $h^{-1}$ )	Ea (kJ/mol)	$t_{1/2}$ (dakika)	$Q_{10}$
Daldırma	313	0,9880	8,59	8,58	330,00	1,09
	323				277,20	1,12
	333				238,97	1,10
Vakum İmpregnasyon	313	0,8760	9,80	12,13	288,75	1,06
	323				216,56	1,26
	333				182,37	1,15
Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon	313	0,9470	8,58	8,56	301,30	1,06
	323				256,67	1,15
	333				223,55	1,10

Bu çalışmada elma küplerinin antioksidan aktiviteleri DPPH, Toplam Fenolik ve ABTS yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elma küplerinin antioksidan aktivitelerine ait  $R^2$ , RMSE ve Ki-kare değerleri hesaplanmıştır. Uygulanan antioksidan yöntemlerine ait  $E_a$ ,  $Q_{10}$  ve  $t_{1/2}$  değerleri hesaplanmıştır. Veriler değerlendirildiğinde antioksidan değerlerinde zamana ve sıcaklığa bağlı düşme olduğu gözlenmiştir.

#### 4.6. Elma Küplerinin Tekstür Analizleri

Tekstür analizleri dokusal özelliklerin belirlenmesi açısından mekaniksel olarak gerçekleştirilen bir analizdir. Elma küpleri doku analizörü platformuna yatay olarak yerleştirilir. Tekstür analizi için 3,2 mm çapında silindirik prob kullanılmış; analiz sırasında elma örnekleri 5.0 g tetik kuvvetiyle orijinal örnek yüksekliğinin %58'ine kadar sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminin test hızı 1,00 mm/s olarak ayarlanmıştır. Tekstür analiz cihazında yapılan ölçümler sonucunda sertlik, yapışkanlık, esneklik, çatlama, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerine ait veriler elde edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları 40°C kurutma sıcaklığı için Çizelge 4.15'te, 50°C kurutma sıcaklığı için Çizelge 4.16'da ve 60°C kurutma sıcaklığı için Çizelge 4.17'de verilmiştir.

**Çizelge 4.15.** Farklı ön işlemlere maruz bırakıldıktan sonra 40°C sıcaklıkta kurutulan elma küplerine ait kurutma öncesi ve sonrası tekstür profil analizi parametre değerleri

Tekstür Profil Analizi Parametreleri	Daldırma Yöntemi		Vİ Yöntemi		US+Vİ Yöntemi	
	0. saat	7. saat	0. saat	7. saat	0. saat	7. saat
Sertlik <sub>1</sub> (g)	36,5	25,0	79,5	37,5	54,0	46,5
Çiğnenebilirlik <sub>1</sub> (mJ)	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Esneklik	0,30	0,22	0,28	0,38	0,38	0,31
Kırılgenlik (g)	34,5	24,5	71,5	34,5	50,5	44,0
Sertlik <sub>2</sub> (g)	36,5	25,0	79,5	37,5	54,0	46,5
Yapışkanlık	0,65	0,69	0,72	0,70	0,69	0,68
Yaylanma (mm)	1,04	1,09	1,26	1,10	1,11	1,16
Sakızimsılık (g)	23,6	17,2	51,1	26,2	37,3	31,6
Çiğnenebilirlik <sub>2</sub> (mJ)	0,24	0,18	0,71	0,28	0,41	0,36

Farklı ön işlemlere maruz bırakıldıktan sonra 40°C sıcaklıkta kurutulan elma küplerine ait kurutma öncesi ve sonrası Tekstür Profil Analizi parametre değerlerine bakıldığında daldırma yöntemi için 0. Saat ile 7. Saat arasında sertlik<sub>1</sub>, çiğnenebilirlik<sub>1</sub>, esneklik, kırılgenlik, sakızimsılık değerlerinde düşme olduğu buna karşılık yaylanma ve yapışkanlık değerlerinde artma olduğu saptanmıştır. Vİ yöntemi için 0. Saat ile 7. Saat arasında sertlik<sub>1</sub>, çiğnenebilirlik<sub>1</sub>, kırılgenlik, sertlik<sub>2</sub>, yapışkanlık, esneklik<sub>2</sub>, sakızimsılık, çiğnenebilirlik<sub>2</sub> değerlerinde düşme olduğu buna karşılık esneklik değerinde artma olduğu saptanmıştır. US+Vİ yöntemi için 0. saat ile 7. saat arasında sertlik<sub>1</sub>, esneklik, kırılgenlik, sertlik<sub>2</sub>, yapışkanlık, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik<sub>2</sub> değerlerinde düşme olduğu buna karşılık çiğnenebilirlik<sub>1</sub> ve yaylanma değerlerinde artma olduğu saptanmıştır.

**Çizelge 4.16.** Farklı ön işlemlere maruz bırakıldıktan sonra 50°C sıcaklıkta kurutulan elma küplerine ait kurutma öncesi ve sonrası tekstür profil analizi parametre değerleri

Tekstür Profil Analizi Parametreleri	Daldırma Yöntemi		Vİ Yöntemi		US+Vİ Yöntemi	
	0. saat	7. saat	0. saat	7. saat	0. saat	7. saat
Sertlik <sub>1</sub> (g)	38,5	26,5	67,5	34,0	58,5	43,5
Çiğnenebilirlik <sub>1</sub> (mJ)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Esneklik	0,31	0,31	0,36	0,30	0,34	0,31
Kırılgenlik (g)	37,5	25,5	59,5	34,0	50,0	42,0
Sertlik <sub>2</sub> (g)	38,5	26,5	67,5	34,0	58,5	43,5
Yapışkanlık	0,64	0,71	0,63	0,65	0,65	0,79
Yaylanma (mm)	1,05	1,05	1,06	1,14	1,13	1,19
Sakızimsılık (g)	24,6	18,7	42,3	24,9	38,0	34,2
Çiğnenebilirlik <sub>2</sub> (mJ)	0,25	0,19	0,44	0,28	0,42	0,40

Farklı ön işlemlere maruz bırakıldıktan sonra 50°C sıcaklıkta kurutulan elma küplerine ait kurutma öncesi ve sonrası Tekstür Profil Analizi parametre değerlerine bakıldığında daldırma yöntemi için 0. saat ile 7. saat arasında sertlik<sub>1</sub>, kırılgenlik, sertlik<sub>2</sub>, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik<sub>2</sub> değerlerinde düşme olduğu buna karşılık çiğnenebilirlik<sub>1</sub>, yaylanma ve esneklik değerlerinin aynı kaldığı, yapışkanlık değerinde ise artma olduğu saptanmıştır. Vİ yöntemi için 0. saat ve 7. saat arasında sertlik<sub>1</sub>, esneklik, kırılgenlik, sertlik<sub>2</sub>, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik<sub>2</sub> değerlerinde düşme olduğu buna karşılık çiğnenebilirlik<sub>1</sub> değerinin aynı kaldığı, yapışkanlık ve yaylanma değerlerinde ise artma olduğu saptanmıştır. US+Vİ yöntemi için 0. saat ile 7. saat arasında sertlik<sub>1</sub>, esneklik, kırılgenlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik<sub>2</sub> değerlerinde düşme olduğu buna karşılık çiğnenebilirlik<sub>1</sub> değerinin aynı kaldığı, yapışkanlık ve yaylanma değerlerinde ise artma olduğu saptanmıştır.

**Çizelge 4.17.** Farklı ön işlemlere maruz bırakıldıktan sonra 60°C sıcaklıkta kurutulan elma küplerine ait kurutma öncesi ve sonrası tekstür profil analizi parametre değerleri

Tekstür Profil Analizi Parametreleri	Daldırma Yöntemi		Vİ Yöntemi		US+Vİ Yöntemi	
	0. saat	7. saat	0. saat	7. saat	0. saat	7. saat
Sertlik <sub>1</sub> (g)	37,5	30,0	66,5	42,0	44,5	20,0
Çiğnenebilirlik <sub>1</sub> (mJ)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Esneklik	0,32	0,31	0,38	0,25	0,24	0,22
Kırılgenlik (g)	27,0	36,0	62,5	38,5	44,5	18,5
Sertlik <sub>2</sub> (g)	37,5	30,0	66,5	42,0	44,5	20,0
Yapışkanlık	0,60	0,70	0,68	0,64	0,78	0,56
Yaylanma (mm)	0,96	1,06	1,10	1,06	1,11	0,80
Sakızimsılık (g)	18,0	26,2	45,5	27,0	34,7	11,3
Çiğnenebilirlik <sub>2</sub> (mJ)	0,17	0,27	0,49	0,28	0,38	0,09

Farklı ön işlemlere maruz bırakıldıktan sonra 60 °C sıcaklıkta kurutulan elma küplerine ait kurutma öncesi ve sonrası Tekstür Profil Analizi parametre değerlerine bakıldığında Daldırma yöntemi için 0. Saat ile 7. Saat arasında sertlik<sub>1</sub>, esneklik, sertlik<sub>2</sub>, sakızimsılık değerlerinde düşme olduğu buna karşın çiğnenebilirlik<sub>1</sub> değerinin aynı kaldığı, kırılgenlik, yapışkanlık, yaylanma ve çiğnenebilirlik<sub>2</sub> değerlerinde artma olduğu saptanmıştır. Vİ yöntemi için 0. Saat ile 7. Saat arasında sertlik<sub>1</sub>, esneklik, kırılgenlik, sertlik<sub>2</sub>, yapışkanlık, yaylanma, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik<sub>2</sub> değerlerinde düşme olduğu buna karşılık çiğnenebilirlik<sub>1</sub> değerinin aynı kaldığı saptanmıştır. US+Vİ yöntemi için 0. Saat ve 7. Saat arasında sertlik<sub>1</sub>, çiğnenebilirlik<sub>1</sub>, esneklik, kırılgenlik,

sertlik<sub>2</sub>, yapışkanlık, yaylanma, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik<sub>2</sub> değerlerinin hepsinde düşme olduğu saptanmıştır.

#### **4.7. Kurutulmuş Elma Örneklerinin Su Aktivitesi Değerleri**

Kurutulmak için seçilen elma örneklerinin başlangıç su aktivitesi değeri 0,924 olarak belirlenmiştir. Ön işlem uygulanan elma küpleri 7 saat boyunca konvektif kurutucu da kurutulduktan sonra su aktivitesi değerleri daldırma yöntemi uygulanan ve 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutulan örnekler için sırasıyla 0,762, 0,711, ve 0,686 olarak tespit edilmiştir. Ön işlem olarak Vİ yöntemi uygulanan elma küplerinin su aktivitesi değerleri ise 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutma sonunda sırasıyla 0,743, 0,657, ve 0,599 olarak belirlenmiştir. Ön işlem olarak US+Vİ yöntemi uygulanan elma küplerinin kurutma işleminden sonraki su aktivitesi değerleri ise 40, 50 ve 60°C sıcaklıkta kurutulan örneklerde sırasıyla 0,706, 0,629 ve 0,547 olarak saptanmıştır. Kurutma işlemine uygulanan gıdaların oda sıcaklığında dayanıklı olmaları için su aktiviteleri değerinin 0,60'ın altında olması gerekmektedir. Tüm ön işlemlere ait 40°C sıcaklıkta 7 saatlik kurutma su aktivite değerini güvenli olan 0,60'ın altına düşürmek için yeterli değildir. US+Vİ ön işlemiyle elma küplerine çözünür katı transferi gerçekleşmesi nedeniyle, bu ön işleme ait elma küplerinde su aktivite değerlerinin diğer iki yöntemle göre daha düşük tespit edilmesine neden olmuştur.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Granny Smith türü elmanın kuru madde içeriği belirlenmiştir. Üç farklı ön işlem ile elma küplerine hazırlanan vakum impregnasyon sıvısı emdirilmiş ve kütle geçişleri hesaplanmıştır. Üç farklı ön işlem uygulanan elma küpleri üç farklı sıcaklıkta (40, 50 ve 60°C) kuruma kinetiğinin matematiksel olarak modellenmesi yapılmıştır. Araştırmada, üç ön işlem ve üç farklı kurutma sıcaklığında antioksidan kapasitelerinin degradasyon kinetiği belirlenmiştir. Araştırmada aynı zaman kurutulan elma küplerinin renk değişimleri ve reaksiyon kinetiği dereceleri, tekstür analizleri ve su aktivitesi ölçümleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışma bulgularından aşağıdaki sonuçlar ve önerilere ulaşılmıştır.

1. Granny Smith elma küpleri üç farklı ön işlem uygulanarak 40, 50, 60°C'de kurutulmuştur. Kurutma sıcaklıkları arasında en etkili sıcaklığın 60°C olduğu saptanmıştır.
2. Granny Smith elma küplerine üç farklı ön işlem ile vakum impregnasyon sıvısı emdirilmiştir. Bu işlemler sırasında en fazla kütle transferinin olduğu ön işlemin belirlenmesi için 30 dakika uygulanan işlemler sırasında her 5 dakikada bir briks ölçümleri yapılmış ve en çok kütle transferinin istatistik sonuçları göz önüne alınarak ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi ile gerçekleştiği saptanmıştır.
3. Granny Smith elma küplerine uygulanan üç farklı ön işlem ve üç farklı kurutma sıcaklığı için kuruma kinetiğinin matematiksel modellenmesi yapılmış, ince tabaka kurutma kinetiği modellerinden en iyi uyum gösteren modellerin yüksek  $r^2$  değeri ile en düşük RMSE ve ki-kare değerleri olan Page Modeli ve Newton Modeli olduğu saptanmıştır.
4. Granny Smith elma küplerinin kurutulmasında uygulanan üç farklı ön işlem ve üç farklı kurutma sıcaklığı için renk degradasyonu ve reaksiyon kinetiği hesaplanmıştır. Renk ölçümlerinin sonucunda  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerlerinin genellikle farklı reaksiyon kinetiklerine sahip olduğu saptanmıştır.
5. Granny Smith elma küplerinin kurutma işleminden sonra DPPH, toplam fenolik madde içeriği ve ABTS yöntemleri ile antioksidan kapasiteleri belirlenmiş ve uygun bozulma reaksiyon kinetikleri hesaplanmıştır. Uygulanan ön işlemler ve sıcaklıklardan etkilenmeksizin bozulma reaksiyon

kinetikleri en yüksek  $r^2$  ile en düşük RMSE ve ki-kare değerlerine göre birinci dereceden bozulma reaksiyon kinetiğine uygun oldukları saptanmıştır.

6. Farklı sıcaklıklarda kurutulan elma küplerinin DPPH, toplam fenolik madde içeriği ve ABTS yöntemleriyle antioksidan kapasiteleri kıyaslandığında uygulanan ön işlemler arasında istatistiki açıdan önemli bir farkın olmadığı belirlenmiştir.
7. Granny Smith elma küpleri üç farklı ön işlem uygulanıp sonrasında üç farklı kurutma sıcaklığında kurutulmuş ve tekstür analizleri yapılmıştır. Uygulanan ön işlemler için en iyi tekstür yapısına sahip elma örneklerinin ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yöntemi uygulananlar olduğu saptanmıştır.
8. Granny Smith elma küplerinin kurutulmasında uygulanan üç farklı ön işlem ve üç farklı sıcaklık için elma küplerinin su aktivitesi değerleri ölçülmüştür. Uygun kurutma sıcaklığında (50 veya 60°C) ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon yönteminin elma küplerinin su aktivite değerlerini güvenli değer olan 0,60'ın altına düşürmekte daha etkin olduğu belirlenmiştir.
9. Gıda kurutma işlemleri için alternatif işlemler geliştirilmesi gıda sanayisi açısından enerji tasarrufu, kurutma süresinin kısaltılması ve ürün kalitesinin artırılması açısından önemli avantajlar sağlayabilir. Uygulanan ön işlemler bu avantajları iyileştirme konusunda yardımcı olmaktadır. Bu konular üzerinde etkin çalışmalar yapılmalıdır.
10. Çalışmaların güçlendirilmesi açısından duyu analizi teknikleri ile desteklenmesi sağlanabilir.

## KAYNAKÇA

- Aguilera, J.M., Oppermann K., Sanchez, F., 1987. Kinetics of browning of Sultana grapes. *Journal of Food Science*, 52 (4), 990 - 993.
- Aksoy, U., F. Şen, B. Asma, M. Özgen, 2012. *Değişik Kükürt Konsantrasyonlarındaki Kuru Kayısıların Depolama Süresince Kalite Ve Besin İçeriklerindeki Değişimlerin Saptanması*. Proje Sonuç Raporu. s. 77.
- Aktaş, N., Akköse, A., 2008. Gıdalarda Faz Değişimleri ve Oluşturduğu Etkileri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi Kitabı*, Erzurum, 21-23.
- Andres , I., Salvatori, D., Chiralt, A., Fito, P., 2001. Vacuum Impregnation Viability of Some Fruits and Vegetables. In *Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation Applications in Food Industries*, Edited by Fito, P., Chiralt, A., J.M.B., Spiess Walter E.L., Behnililan, D., CRC Press, New York.
- Anonim, 2008. Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi Gıda Teknolojisi Meyveleri Kurutma. Ankara.<http://www.hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursproglari/gida/moduller/meyvelerikurutma> (Erişim Tarihi: 24.04.2017)
- Anonim, 2014. *Gıdalarda Temel İşlemler II*, <http://www.akademik.adu.tr/myo/cine/webfolders/dersnotlari/gida/temel/islemler> (Erişim tarihi: 19.04.2017)
- Atay, A.N., Atay, E., Koyuncu, F., 2010. Dünya elma ıslah programlarına genel bir bakış. *Bahçe*, 39 (1), 31 – 44.
- Ayan, H., 2010. Güneşte ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş (*Lycopersicum esculentum*) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.
- Barat, J. M., Fito, P., Andres, A., Martinez-Monzo, J., 2001. Vacuum impregnation for development of new dehydrated product. *Journal of Food Engineering*, 49, 297 - 302.
- Başkaya Sezer, D., Demirdöven, A., 2015. Meyve sebze işlemede mikrodalga haşlama uygulamaları. *Gıda*, 40 (3),171-177.
- Bayhan, H.A., 2011. Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Süresini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye.
- Bingöl, G., Devres, O.Y., 2010. Üzümlerin mikrodalga kurutma eğrilerinin ve sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi. *İTÜ Mühendislik Dergisi* 9(4), 63 - 71.



- Blanco-Cano, L., Soria-Verdugo, A., Garcia-Gutierrez L.M., Ruiz-Rivas U., 2016. Modeling the thin-layer drying process of Granny Smith apples: Application in an indirect solar dryer. *Applied Thermal Engineering*, 108, 1086 – 1094.
- Budak, H.N., Ertekin-Filiz, B., Meydan, Ç., Şimşek, A. 2011. Elma ve elma ürünlerinin tanıtımı ve Turizm açısından değerlendirilmesi. I. *Uluslararası, IV. Ulusal Eğirdir Turizm Sempozyumu*, 1-4 Aralık, Isparta.
- Cemeroğlu, B., 2013. *Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler*. Bizim Grup Basımevi, Ankara, 3, 769s.
- Cemeroğlu, B., Acar, J., 1986. *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 6, 582s.
- Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., 2003. *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*. Ankara Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 28, 541-567.
- Cemeroğlu, B., Özkan, M., 2009. Kurutma Teknolojisi. Cemeroğlu B. (Ed), *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No:39.
- Cemeroğlu, B., Özkan, M., Toklucu Kırcı, A., 2011. *Gıda Mühendisliğinde Reaksiyon Kinetiği*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 182s.
- Coffman, M.A. 2017. The Health Benefits of Granny Smith Apples. Healthy Eating. <http://healthyeating.sfgate.com/health-benefits-granny-smith-apples-3334.html> (Erişim Tarihi: 12.06.2017)
- Cruz, A.C., Guiné, R.P.F., Gonçaves, J.C., 2015. Drying kinetics and product quality for convective drying of apples (cvs. Golden Delicious and Granny Smith). *International Journal of Fruit Science*, 15, 54 – 78.
- Çakmak, H., Bozdoğan, N., Turkut, G.M., Kumcuoğlu, S., Tavman, Ş., 2016. Dağ çileğinin (*Arbutus unedo* L.) kuruma kinetiğinin incelenmesi ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda*, 41 (4), 227-234.
- Çelen, İ.H., Çelen, S., Moralar, A., Buluş, H. N., Önler, E., 2016. Mikrodalga bantlı kurutucuda patatesin kurutulabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. *Electronic Journal of Vocational Colleges- Special Issue: The Latest Trends in Engineering*, 5(4), 57 - 69.
- Çınar, İ., 2009. Ozmotik dehidrasyon mekanizması ve uygulamaları. *Gıda*, 34(5), 325 - 329.
- Çınar, İ., 2008. Kurutma Teknolojisinde Isı ve Kütle İletimi Modelleri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi Kitabı*, 21-23 Mayıs, Erzurum, Türkiye.
- Demiray, E., 2009. Kurutma İşleminde Domatesin Likopen,  $\beta$ -Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye.

- Dikbasan, T., 2007. Determination of Effective Parameters for Drying of Apples, Yüksek Lisans Tezi. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye.
- Dixon, J., Hewett, E.W., 1998. Temperature Affects postharvest color change of apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(2), 305 - 310.
- Donald, B.B., Fred, W.B., Carl, W. H., 1973. Drying Cereal Grains. Westport, The AVI Publishing Company Inc., 265s.
- Duman, İ. F. Şen ve E. Arda, 2010. Organik kuru domates üretimi, depolaması ve işleme. *Hasad*, 301, 94 - 102.
- Erbay, B., Küçüköner, E., 2008. Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi Kitabı*, Erzurum, 1045-1048.
- Erentürk, S., Erentürk, K., 2006. Havuç Kuruma Kinetiğinin Tahmininde Regresyon Analizi ve Yapay Sinir Ağlarının Kıyaslanması. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu.
- Eroğlu, E., Yıldız, H., 2011. Gıdaların ozmotik kurutulmasında uygulanan yeni tekniklerin enerji verimliliği bakımından değerlendirilmesi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 41 – 48.
- Evranoz, Ö., 1998. Gıda maddelerinin kurutulması sırasında kuruma kinetiği kontrol eden faktörler ve kalite üzerine etkileri. *Gıda*, 13(1), 51-58.
- Fennema, O. R., 1976. Principles of Food Science, Part I. Food Chemistry Morcel Dekker Inc, New York.
- Filiz, E.B., 2015. Elma Cipsinin Bazı Kalite ve Antioksidan Özelliklerine Kurutma, Ambalajlama ve Depolamanın Etkisi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye.
- Fito, P., 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, 22(1-4), 313 - 328.
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M., Martinez-Monzo, J., 2001. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49, 297 - 302.
- Geankoplis, C.J., 1993. Transport Processes and Unit Operations. Prentice Hall International, 520-569.
- Gölcü, M., Şen, F., 2014. Mikrodalga ile ıslak viyolün kurutulabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 111 - 115.

- Guillemina, A., Degraeve, P., Noela, C., Saurelb, R., 2008. Influence of impregnation solution viscosity and osmolarity on solute uptake during vacuum impregnation of apple cubes. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 475 – 483.
- Güner, M., 1991. Kurutmanın Bilimsel Temelleri, Kurutma Modelleri ve Güneşli Kurutucular. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 48, 29s.
- Gür, M., 2016. Balkabağının akışkan yataklı kurutucuda kurutulmasının deneysel ve teorik incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(2), 145 – 158.
- Güracar, M., 1995. Güneş Enerjili Hava Isıtıcısı Yardımıyla Tarım Ürünlerinin Kurutulması, Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ, Türkiye.
- Hall, E.G., Scott, K.J. and Coote, G.G., 1961. Control of superficial scald with diphenylamine. *Australian Journal of Agricultural Research*, 12, 834 - 857.
- Hawkes, J., Flink, J.M., 1978. Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2, 265 - 284.
- İseava, J., 2007. Kayısı Kurutmanın Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması, Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Jokic, S., Velic, D., Bilic, M., 2009. Influence of process parameters and pre-treatments on quality and drying kinetics of apple samples. *Czech Journal of Food Science*, 27(2), 88 – 94.
- Kantaş, Y., 2007. Effect of Ultrasound on Drying Rate of Selected Produce, PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye.
- Karaaslan, S., 2008. Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar, Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana, Türkiye.
- Karaaslan, S., 2014. Trabzon hurmasının mikrodalga ile kurutulmasında uygun kuruma modelinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 8 - 15.
- Kaya, A., Aydın, O., 2008. Kurutma havası sıcaklığının kızılciğın kuruma süresi ve sorpsiyon eğrisine etkisinin deneysel incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28(2), 45 - 49.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., Lee, D., 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science and Technology*, 15(5), 261-266.
- Konak, Ü.İ., Certel, M., Helhel, S., 2009. Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 20-31.

- Kutlu, N., İşçi, A., 2015. Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri. *Gıda*, 40(1), 39 - 46.
- Lenart, A., Lewicki, P. P., 1992. Energy consumption during osmo-convection drying of fruit and vegetables. In *Drying of Solid*, Mujumdar, A.S. (Ed.), International Science Publisher, New York, 354-366 s.
- Maskan, M., 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177 - 182.
- Mayor, L., Sereno, A.M., 2003. Modeling shrinkage drying convective drying of food materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 61, 373 - 386.
- Moirea, R., Sereno, A.M., Martinez, E., 2001. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*, 47(1), 43-49.
- Moraga, M., Moraga, G., Fito, P., Martinez-Navarrete, N., 2009. Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 372 – 379.
- Mujica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., Lopez-Malo, A., Plaou, E., Welti-Chanes, J., 2003. Impregnation and osmotic dehydration of some fruit: Effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*, 57, 305 - 314.
- Mujumdar, A.S., 2007. *Handbook of Industrial Drying*. CRC Press, New York, 605 s.
- Palamutcu, S. ve Dağ, N. 2009. Fonksiyonel tekstiller 1: Elektromanyetik kalkanlama amaçlı tekstil yüzeyleri. *Electronic Journal of Textile Technologies*, 3(1), 87-101.
- Patist, A., Bates, D., 2008. Ultrasonic Innovations in Food Industry: From the Laboratory to Commercial Production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2), 147-154.
- Polatçı, H., 2012. Farklı kurutma yöntemlerinin avg uygulaması yapılmış black beauty (*Prunus salicina* L.) erik çeşidinde kuruma süresi ve kalitesine etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(2), 171-178.
- Ramesh, M.N., Wolf, W., Tevini, D. ve Boggar, A. 2002. Microwave blanching of vegetables. *Journal of Food Science*, 67(1), 390 - 398.
- Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., 2004. *Gıda Endüstrisi Makinaları*. Savaş Kitapevi, Ankara, 318 s.
- Sayın, L., Tamer, C.E., 2014. Yüksek hidrostatik basınç ve ultrasonun gıda koruma yöntemi olarak kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(1), 83 - 94.

- Silva, K.S., Fernandes, M.A., Mauro, M.A., 2014. Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. *Journal of Food Engineering*, 134, 37 – 44.
- Soysal, Y., Öztekin, S., 2001. Technical and economic performance of a tray dryer for medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural. Engineering Research*, 79(1), 73-79.
- Symons, M., 2007. *One Continuous Picnic: A Gastronomic History of Australia* (2nd ed.). Melbourne University Press, Victoria, Avustralya, 110–112 s.
- Şen, F., 2013. Meyve ve Sebzelerin Kurutulmasında Ön İşlemler. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 17-20 Nisan, İzmir.
- Talens P., Martinez N., Fito P., Chiralt A., 2002. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3(2), 191 - 199.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Zevallos, L.C., Byrne, D.H., 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 669 - 675.
- Tripathy, P.P., Kumar, S., 2009. Modeling of heat transfer and energy analysis of potato slices and cylinders during solar drying. *Applied Thermal Engineering*, 29(1), 884 - 891.
- Tüfekçi, S. ve Özkal, S.G., 2015. Gıdaların kurutulmasında ultrases kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi* (Pamukkale Gıda Sempozyumu III Özel Sayısı), 21(9), 408 - 413.
- Tülek, Y., Demiray, E., 2014. Farklı sıcaklık ve ön işlemlerin Trabzon hurmasının renk ve kuruma karakteristiklerine etkisi. *Tarım Dergisi*, 20, 27-37.
- Ulcay, Y., Akyol, M., Gemci, R., 2002. Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 1(7), 93 - 116.
- Us, F., 2006. Osmotik Kurutma. *Türkiye 9. Gıda Kongresi (24-26 Mayıs 2006, Bolu) Bildiriler Kitabı*, Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No:33, Sayfa 65- 68, Ankara.
- Vega-Galvez, A., Miranda, M., Lemus-Mondaca, R., 2008. Empirical modeling of drying process for apple (cv. Granny Smith) slices at different air temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32, 972 – 986.
- Velic, D., Bilic, M., Tomas, S., Aladic, K., 2006. Study of the drying kinetics of “granny smith” apple in tray drier. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72(4), 323 - 3238.

Xie, J., Zhao, Y., 2004. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 434-451.

Yağcıoğlu, A., 1999. *Tarım Ürünlerinde Kurutma Tekniği*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 536s.

Yaldız, O., Ertekin, C., Uzun, H.İ., 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457-465.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ceren KARACAOĞLU

Doğum Yeri : Kütahya/ Gediz

Doğum Tarihi : 22.10.1991

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Mustafa Necip Alayeli Anadolu Lisesi, 2009

Lisans : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği, 2014

Yüksek Lisans : Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 2017

Yayınları : Ultrasonikasyon Destekli Vakum İmpregnasyon (Emdirme) Tekniği İle Muamele İşleminin Kivi Dilimlerinin Kuruma Kinetiği Üzerine Etkisi. Akademik Gıda Dergisi:14(3).

### Çalıştığı Kurum

19.06.2014-29.12.2014 : Doğu Et ve Süt Ürünleri Ltd. Şirketi