



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KONVEKTİF KOŞULLARDA KURUTULAN SEBZE
VE MEYVELERİN KURUMA
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

EDA ELGİN KILIÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2014

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONVEKTİF KOŞULLARDA KURUTULAN SEBZE
VE MEYVELERİN KURUMA
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

EDA ELGİN KILIÇ

Bu tez
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2014

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Eda Elgin KILIÇ tarafından hazırlanan “Konvektif Koşullarda Kurutulan Sebze ve Meyvelerin Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 06 / 02 /2014 tarihinde oy birliği ile Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvan, Ad ve Soyad (DANIŞMAN)
Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Yrd. Doç. Dr. İnci ÇINAR
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, KSÜ

Unvan, Ad ve Soyad (ÜYE)
Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Doç. Dr. Mürüvvet ILGIN
Bahçe Bitkileri Bölümü, KSÜ

Unvan, Ad ve Soyad (ÜYE)
Anabilim Dalı, Üniversite

Yrd. Doç. Dr. Yekta GEZGİNÇ
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, KSÜ

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof. Dr. M. Hakkı ALMA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Eda Elgin KILIÇ

KONVEKTİF KOŞULLARDA KURUTULAN SEBZE VE MEYVELERİN KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

EDA ELGİN KILIÇ

ÖZ

Kurutma işlemi gıdaların muhafazası için kullanılan en yaygın yöntemdir. Kurutma işlemi ülkenin ekonomisi ve gıdaların besinsel değerini uzun süre koruması açısından önemli bir muhafaza işlemidir. Bu çalışmada ülkemizde yetiştirilen besinsel ve ekonomik değeri yüksek olan bazı sebze ve meyvelerin (armut, elma, havuç, kabak, patlıcan) farklı kurutma hava sıcaklığında kuruma karakteristikleri belirlenmiştir. Bu amaçla kurutma denemeleri laboratuvar tipi kurutucularda 60 °C, 70 °C, 80 °C’de doğal konvektif yolla gerçekleştirilmiş ve boyutsuz nem oranı değerleri elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar artan kurutma hava sıcaklığının kuruma hızını artırdığını ve kuruma süresini azalttığını göstermiştir.

Meyve ve sebzelerin farklı kurutma hava sıcaklıklarındaki kuruma davranışları matematiksel olarak seçilmiş ince tabaka kurutma modelleri ile ifade edilmiştir. Bu amaçla farklı kurutma sıcaklıklarında kuruma kinetiklerinin modellenmesinde üç yarı teorik model (Newton, İki Terimli, Henderson ve Pabis modelleri) kullanılmıştır. Deneysel verilerin kurutma modellerine uygunluğu regresyon analizi kullanarak belirlenmiştir. Farklı kurutma sıcaklıklarında meyve ve sebzelerin kuruma davranışlarının açıklanmasında model uygunluğunun belirlenmesinde non-lineer regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) değeri farklı kurutma hava sıcaklıklarında her örnek için yüksek ($R^2 > 0.98$) bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: kurutma, regresyon analizi, ince tabaka kurutma modelleri, doğal kurutma

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Şubat / 2014

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İnci ÇINAR

**THE INVESTIGATION OF DRYING CHARACTERISTIC AT CONVECTIVE
CONDITIONS OF FRUITS AND VEGETABLES**

(M.Sc. THESIS)

EDA ELGİN KILIÇ

ABSTRACT

The drying process is the most common method used to preserve foods. The drying process is an important protection method in terms of economy of the country and protection for a long time of nutritional value of foods is an important protection method. In this study, some of which is grown in high nutritional and economic value of vegetables and fruits (pears, apples, carrots, pumpkin, eggplant) was tried to determine the drying characteristics of different drying air temperature. For this purpose experiments were performed using air temperatures at 60 °C, 70 °C, 80 °C at natural convective conditions. At the result of the experiment moisture data were obtained. According to the experimental data increasing air temperature increases the drying rate and decreases drying time.

In order to explain the experimental results of drying at different drying temperatures, thin-layer drying models were used in the literature. For this purpose three semi theoretical models (Newton, Two-Term, Henderson and Papis, models) were used for modelling of the drying kinetics at different drying temperature. The regression analysis is used for determination of compliance the data obtained experimentally with the data obtained from the drying models. In describing the drying behavior of fruits and vegetables at different temperatures non linear regression analysis is used. Regression coefficient (R^2) value is found high ($R^2 > 0.98$) for each samples drying at different temperatures.

Key Words: Drying, the regression analysis, thin-layer drying models, the natural convective condition

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Food Engineering February / 2014

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İnci ÇINAR

KONVEKTİF KOŞULLARDA KURUTULAN SEBZE VE MEYVELERİN KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Ülkemiz önemli bir sebze ve meyve üretim potansiyeline sahiptir. Meyve ve sebze üretimi iklim başta olmak üzere diğer faktörlerinde elverdiği ölçüde hemen hemen tüm bölgelerimizde üretilmektedir. Meyve ve sebzenin uzun süre saklanabilmesi yapılarındaki fazla sudan dolayı imkânsızdır. Bu durumda ülke ekonomisi ve besinsel değerlerin kayıpları açısından önemli rol oynamaktadır. Meyve ve sebzelerin bileşimindeki fazla suyun uzaklaştırılması kurutma işlemi ile mümkündür. Kurutma meyve ve sebzelerin saklanmasında kullanılan en eski muhafaza yöntemidir. Kurutma işlemi eş zamanlı gerçekleşen kütle ve ısı transferini içermektedir. Meyve ve sebzeden suyun uzaklaştırılması amacıyla gerekli ısının kurutucuya taşınma yöntemine göre üç farklı kurutma yöntemi bulunmaktadır.

Bu çalışmada kurutma işlemi konveksiyonel kurutma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Konveksiyonel sıcak hava ile kurutmada kurutma hava sıcaklığı önemli parametreler arasındadır. Kurutma havası sıcaklığının kuruma kinetiği üzerine etkisini belirlemek amacıyla 60, 70, 80 °C kurutma hava sıcaklıklarında doğal konvektif ortamlarda kurutma gerçekleştirilmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılan elma, armut, havuç, patlıcan, kabak örneklerinin nem içeriğinin zamanla değişimini belirlemek için belirli zaman periyotlarında nem kaybı değerleri ölçülmüştür. Elde edilen deneysel veriler kurutma hava sıcaklığındaki artışın kurutma süresini kısalttığını göstermiştir. Deneysel olarak elde edilen veriler kurutma modellerinden elde edilen veriler ile karşılaştırılarak regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) ile kurutma sabitleri (a , b , k_1 , k_0) hesaplanmıştır. Elde edilen regresyon analizi ile farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80 °C) kurutulan meyve ve sebzelerin deneysel verilerini açıklayan en uygun model bulunmuştur. Kuruma eğrilerinin, kuruma kinetiğinin açıklanmasında Newton, Henderson ve Pabis, İki Terimli kurutma modellerinin uygun olduğu belirlenmiştir.

THE INVESTIGATION OF DRYING CHARACTERISTIC AT CONVECTIVE CONDITIONS OF FRUITS AND VEGETABLES

SUMMARY

Our country has a significant potential for production of fruits and vegetables. Climate mainly and the extent permitted by the other factors fruit and vegetables production is produced in almost all regions. Fruits and vegetables is being able to be stored for a long time is impossible due to the more water on the structure of fruits and vegetables. In this case, it takes an important role in terms of loss of nutritional values and country's economy. Removing the excess water from structure fruits and vegetables can be possible through drying process. Drying is the oldest preservation method is used to store fruits and vegetables. The drying process covers the transfer of mass and heat that took place simultaneously. According to transportation methods which transport required heat to dryer there are three different drying methods are for removing water from fruits and vegetables.

In this study, the drying process came out with the method of convection drying. Drying air temperature is an important parameter in drying with hot air convection. In order to determine the effect of drying air temperature on drying kinetics, drying was carried out at natural convective conditions using 60, 70, 80 °C drying air temperature. To determine apple, pear, carrot, eggplant, apricot samples' variation of moisture content over time in drying experiments, the loss of moisture during certain time periods was measured. The obtained experimental data showed that the drying air temperature increase shortens drying time. Regression analysis was performed by comparing the data obtained experimentally with the data obtained from drying models. Regression coefficient (R^2) and the drying constants (a , b , k_1 , k_0) were measured. The most suitable model describing the experimental data of dried fruits and vegetables at different temperature (60, 70, 80 °C) was found with regression analysis. Newton, Henderson and Pabis, Two Terms dryer models were determined to be suitable in explaining drying fruits and vegetables.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında benden desteğini ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İnci ÇINAR'a, tezimin laboratuvar çalışmalarının yürütülmesinde laboratuvar imkânlarından yararlanmamı sağlayan Nizip Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü'ne ve tezimin bitirme aşamasında bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Ahmet KAYA hocama teşekkürlerimi sunarım.

Duydukları güven, sağladıkları destek ve esirgemedikleri sabırları için aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2.KURUTMA İLE İLGİLİ TEORİK BİLGİLER	4
2.1. Kurutma Yöntemleri	4
2.2. Kurutmanın Aşamaları	5
2.3. İnce Tabaka Kurutma Modelleri	7
2.4. Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler	9
2.5.1.Kurutma havası sıcaklığı.....	9
2.5.2. Kurutma havası hızı	9
2.5.3. Kurutulan gıdanın yüzey alanı	9
2.5.4. Ortamın nem içeriği.....	9
3.LİTERATÜR	11
4.MATERYAL VE METOD	21
4.1.Materyal.....	21
4.2. Metod	21
4.2.1. Örneklerin Hazırlanması.....	21
4.2.2. Örnek Kurutma Denemeleri.....	21
4.2.3. Nem İçeriğinin Belirlenmesi:	22
4.2.4. Denge Nem İçeriğinin Belirlenmesi	23
4.2.5. Boyutsuz Nem Oranının Hesaplanması	23
4.3. Modelleme Çalışmaları	23
4.3.1. Newton modeli	23

4.3.2. Henderson ve Pabis modeli	23
4.3.3. İki terimli modeli	24
4.4. Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi	24
5.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
5.1. Kurutma Sıcaklığının Deneysel Kuruma Davranışına Etkisinin İncelenmesi	26
5.2. Kuruma Modellerinin Oluşturulması	31
6.SONUÇLAR.....	41
7.KAYNAKLAR.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a, b	Kurutma modellerindeki katsayılar
k,	Kurutma sabiti
k ₀	Kurutma sabiti
k ₁	Kurutma sabiti
KM	Kuru madde
M	t anındaki nem içeriği, g su/g k.m.
Me	Denge nem içeriği, g su/ g k.m.
Mi	Başlangıçtaki nem içeriği, gsu/ g k.m.
M ₀	Başlangıç nem içeriğini (g su / g km)
t	Zaman (s)
T	Sıcaklık (°C)
MR	Boyutsuz nem oranı, $MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}$
RMSE	Tahmini standart hatası
R ²	Regresyon katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen taşınım olayları	4
Şekil 2.2. Karakteristik kuruma eğrileri.....	6
Şekil 2.3. Kurutulan gıdanın nem içeriğinin bağıl nem ile ilişkisi	10
Şekil 5.1. Elmanın farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi.....	26
Şekil 5.2. Armudun farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi.....	27
Şekil 5.3. Havucun farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi.....	28
Şekil 5.4. Patlıcanın farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi.....	29
Şekil 5.5. Kabağın farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi.....	30
Şekil 5.6. Elma farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması	32
Şekil 5.7. Armut farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması	34
Şekil 5.8. Havuç farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması	36
Şekil 5.9. Kabak farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması	38
Şekil 5.10. Armut farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması	40

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 4.1. NUVE 500 marka etüv iç dizayn.....	22
--	----

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Gıda kurutmada kullanılan ince tabaka kuruma eğrisi modeller	8
Tablo 4.1. Kullanılan ince tabaka kurutma modelleri.....	24
Tablo 5.1. Elma örneklerinin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları	31
Tablo 5.2. Armut örneklerinin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları	33
Tablo 5.3. Havuç örneklerinin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları	35
Tablo 5.4. Kabak örneklerinin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları	37
Tablo 5.5. Patlıcan örneklerin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları	39

1.GİRİŞ

Ülkemiz coğrafi konumu, üretime uygun verimli ve geniş tarım alanları, değişik bölgelerin ekolojik farklılıkları sayesinde meyve ve sebzelerin iyi koşullarda ve kaliteli olarak yetişebildiği nadir ülkelerden biridir. Günümüzde meyve ve sebze üretimi tarımsal üretimde önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde mevcut bulunan meyve ve sebze çeşitleri iklim başta olmak üzere diğer faktörlerinde elverdiği ölçüde hemen hemen tüm bölgelerimizde üretilmektedir. Akdeniz ve Ege Bölgeleri Türkiye toplam meyve üretiminin %54'ünü ve sebze üretiminin ise %49'unu oluşturmaktadır. Üretim miktarları 2013 yılının ilk tahmininde bir önceki yıla göre sebzelerde %1,3 ve meyvelerde %0,9 oranında artış göstermiştir. Üretim miktarlarının 2013 yılında yaklaşık olarak sebzelerde 28,1 milyon ton ve meyvelerde 18,2 milyon ton olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir (TÜİK, 2013).

Yaş meyve ve sebzeler işletme imkânlarının yetersizliği ve ürünlerin kısa sürede bozulma eğiliminde olmaları nedeniyle birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Üretilen meyve ve sebzelerdeki kayıpların gelişmiş ülkelerde yıllık üretimin %35-40'ına ulaştığı tahmin edilmektedir (Karim ve ark. 2005). Bu durum meyve ve sebze üretimindeki besinsel kayıpların yanı sıra ülke ekonomisi açısından oluşan kayıpların da önemli boyutta olduğunu göstermektedir. Bu kayıpları önlemek meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmak amacıyla çok farklı muhafaza yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde uygulama alanı en geniş olan yöntem kurutmadır.

Son yıllarda kurutulmuş ürünler de taze ürün pazarına etkili bir alternatif oluşturmaktadır. Ülkemizde kurutulmuş ürünlerin %63'ü yurtdışına ihraç edilmektedir ve bu miktar tüm ihracat gelirimizin %80'ini oluşturmaktadır. Kuru ve kurutulmuş meyve, sebze ve baharatlardan elde edilen gelir, toplam gelirin büyük kısmını oluşturmaktadır. Türkiye yurtdışına kuru üzüm, incir ve kayısı dışında pırasa, soğan, domates, patlıcan, havuç ve pek çok bitkiyi ihraç etmektedir (Yaldız ve Ertekin, 2001).

Dünyada kurutulmuş gıdaların üretimi her geçen gün artmakta ve bu üretimin büyük bölümü A.B.D (297.557 ton) ve Türkiye'de (190.000 ton) gerçekleştirilmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebze pazarı Japonya'da 7,6 milyar dolar (1998'den günümüze) ve Çin'de 800 milyon dolar (1990'ların başlarından günümüze) olarak belirlenmiştir. Kurutulmuş gıda üretiminin tüm ülkeler için gelecek yüzyılda da artması ve ekonomik değerini artırarak korunması beklenmektedir (Zhang ve ark. 2006). Mevcut pazarın elde tutulması ve yeni

pazarlara girilebilmesi için meyve ve sebzelerin kısa sürede kaliteli ve hijyenik olarak kurutulması büyük önem taşımaktadır.

Gıdaların kurutulması yöntemi insanların doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir. Meyve ve sebzelerin kolay bozulmasının sebebi yapılarında yüksek oranda bulunan sudur. Meyve ve sebzelerin yapısında yüksek miktarda bulunan su, mikroorganizmaların üreyip yaşaması için elverişli bir ortam sağlar. Meyve ve sebzelerin kurutulmasının en önemli amacı gıdada mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal bozulmalarda elverişli ortam oluşturan su içeriğini azaltmaktır. Su içeriğinin ve aktivitesinin azalması mikrobiyolojik bozulmaları önler, enzim reaksiyonlarını yavaşlatarak su ortamında gerçekleşen bozulma reaksiyonlarına engel olur ve ortam sıcaklığında uzun süre depolanabilmesini sağlayarak gıdanın raf ömrünü güvenli olarak uzatır. Genel gıda maddesinin yapısı ile tat ve aromanın korunması ağırlık kaybı sebebiyle paketleme, depolama ve nakliyenin kolaylaşması kurutmanın başlıca avantajlarıdır (Kaya ve Orhan, 2008).

Kurutma işlemi sırasında gıdanın yapısında bulunan mineraller korunduğundan besinsel içerik açısından daha iyi bir nitelik kazandırmaktadır. Ayrıca kurutma prosesi meyve ve sebzelerin, saklanması, depolanması ve taşınması açısından diğer gıda muhafaza yöntemlerine göre daha ekonomiktir (Doymaz ve Pala, 2002).

Meyve ve sebzelerden suyun uzaklaştırılması için farklı kurutma metotları kullanılmaktadır. Güneşte kurutma tropik ve yarı tropik bölgelerde meyve ve sebzelerin kurutulmasında uzun zamandır kullanılan doğal kurutma yöntemidir. Güneşte kurutma ucuz, kolay ve yaygın bir yöntem olmasına rağmen uygulanması, iyi hava koşullarına ihtiyacı ve uzun kurutma süresi sebebiyle sınırlıdır. Olumsuz hava koşullarına, çevresel kontaminasyona ve böcek istilasına gibi olumsuz koşullara açık olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Aghbashlo ve ark. 2009). Bir diğer dezavantajı ise her gıdanın güneşte kurutulma olanağının olmamasıdır. Güneşte kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kuruma süresi uzundur. Genellikle %15 su oranından daha aşağıya inilmesi oldukça güçtür. Bu olumsuz yönleri ile doğal kurutma birçok gıda için uygun ve yeterli bir yöntem değildir (Soysal, 2004). Bu olumsuzlukları ortadan kaldırarak daha homojen ve kaliteli ürünler sağlayan, güneşte kurutmaya göre çok daha kısa sürede gerçekleşen sıcak hava ile kurutma alternatif kurutma metodu olarak kullanılmaktadır. Sıcak hava ile kurutma yönteminde en önemli aşama optimum kurutma parametrelerinin (kurutma havası sıcaklığı, kurutucu hava nemi ve kurutma

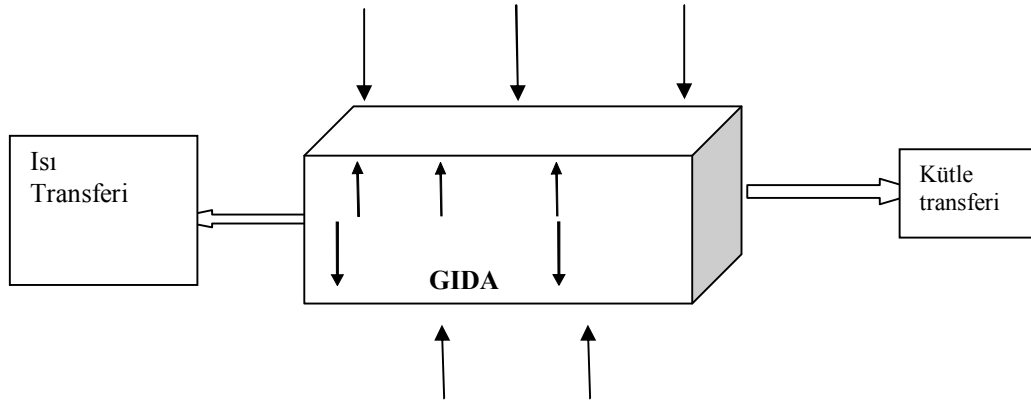
süresi vb) belirlenmesidir. Kurutma parametrelerinin belirlenmesi gıdaların kuruma davranışlarının belirlenmesinde son derece önemlidir.

Endüstride kağıttan tekstile, seramikten gıdaya kadar çok geniş uygulama alanına sahip kurutma prosesi, birçok bilim insanının uzun yıllardır ilgisini çekmektedir. Gıda endüstrisinde kurutma prosesi ile ilgili uzun yıllardan beri süre gelen temel araştırma alanları kurutucu hava nitelikleri, kurutucu tipleri, enerji maliyeti ve gıda kalitesini etkileyen parametrelerin belirlenerek kurutma prosesinin optimize edilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır.

Çalışmanın amacı seçilmiş sebze (kabak, patlıcan, havuç) ve meyvelerin (elma, armut) konveksiyonel sistemde ve farklı kurutma havası sıcaklıklarında kuruma davranışlarının belirlenmesidir. Farklı kurutma havası sıcaklıklarında gerçekleştirilen kurutma denemelerinde boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi kaydedilerek kuruma karakteristikleri saptanmış ve literatürde yer alan ince tabaka kurutma modellerine uygulanarak modellerin uygunluğu regresyon analizi ile belirlenmiştir.

2. KURUTMA İLE İLGİLİ TEORİK BİLGİLER

Gıdalardan suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanan kurutma işlemi eş zamanlı gerçekleşen ısı ve kütle transferini içermektedir. Gıdaların kurutulması sırasında gerçekleşen taşınım olayları Şekil 2.1’ de özetlenmiştir. Buna göre kurutma sırasında gıda, çevresindeki sıcak hava ile temas etmekte ve ısısı artmaktadır. Gıda yüzeyi ısı etkisi ile kurumaya başlamakta, yüzeydeki nem kururken bir taraftan da gıdanın iç yüzeyindeki su difüzyon yolu ile yüzeye taşınmakta ve buradan ısının etkisi ile buharlaşmaya devam etmektedir (Krokida ve ark. 2003). Mekanistiğinden anlaşılacağı üzere kuruma işlemi sırasında ısı ve kütle transferini etkileyen başlıca parametreler ortam sıcaklığı, nemi, gıdanın yüzey alanı ve basınç olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.1 Gıdaların kurutulması sırasında gerçekleşen taşınım olayları.

2.1. Kurutma Yöntemleri

Kurutma yöntemleri doğal ve yapay olmak üzere iki ana gruba ayrılmakla birlikte, farklı gruplandırılması da olanaklıdır. Doğrudan güneşte kurutma ile ilgili sakıncalar dikkate alındığında, daha kısa sürelerde ve standart kalitede kurutulmuş ürün elde edebilmek için yapay kurutucuların kullanılmasını kaçınılmaz kılmıştır. Kurutulacak gıdadaki suyun uzaklaştırılması amacıyla gerekli ısının kurutucuya taşınma yöntemine göre "*konveksiyonel kurutma*" "*kontaktif kurutma*" ve " *radyasyonel kurutma*" olmak üzere başlıca üç farklı kurutma yöntemi söz konusudur.

Konveksiyonel kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından yani çoğunlukla olduğu gibi hava tarafından taşınır. Sıcak hava, kurutulacak gıdanın içinden, üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak; "*sıcak hava kurutma*" tekniği olarak

bilinir. Kurutulanan maddenin niteliklerine bağlı olarak bu yöntemin birçok uygulama çeşidi vardır. Örneğin, kabin kurutucular, tünel kurutucular, akışkan yatak kurutucular, püskürterek kurutucular bu yöntemin değişik uygulamalarıdır.

Kondaktif kurutma yönteminde ise evaporasyon için gerekli ısı, kondüksiyonla taşınır. Yani, kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden ısıya ısı taşınır. Bu yöntemin de çok çeşitli uygulamaları mevcut olup, en yaygın örneği valsli (silindirik) kurutuculardır.

Radyasyondan yararlanılarak kurutmada, kurutulacak materyale ısının iletimi, herhangi bir fiziksel taşıyıcıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile sağlanmaktadır. Başka bir ifadeyle radyasyon ile kurutmada, mikrodalga, dielektrik veya infrared gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır (Cemeroğlu, 2003).

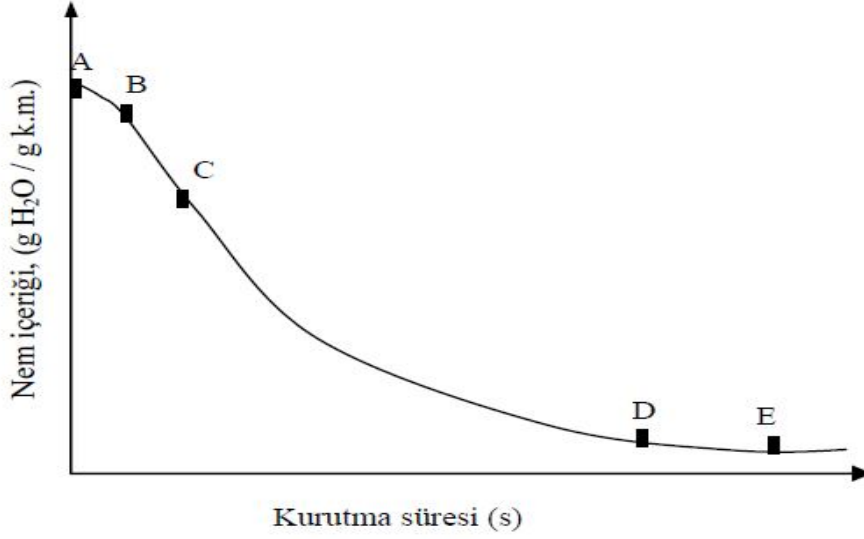
2.2. Kurumanın Aşamaları

Kurutma prosesi sırasında gıdanın kuruması ısınma, sabit hızda kuruma ve azalan hızda kuruma olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir. Kurumakta olan bir gıdanın nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimini veren karakteristik kuruma eğrileri Şekil 2.2' de verilmiştir. Kuruma hızı birim zamanda kurutucu havanın etkisi ile gıdadan uzaklaşan nem miktarı olarak tanımlanır. Şekil 2.2' de kuruma hızının kuruma süresine göre değişimi verilmiştir.

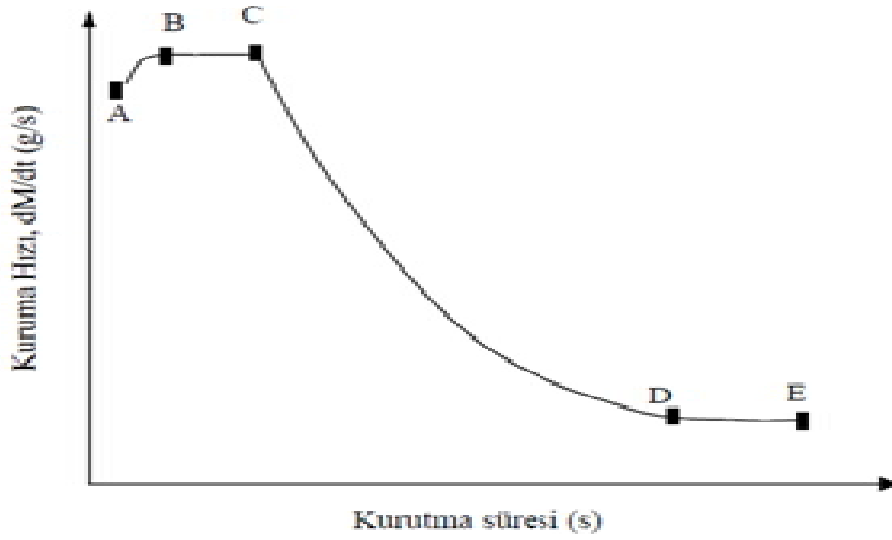
AB ile gösterilen ısınma aşaması, gıdanın sıcaklığı kurutma havasının sıcaklığı ile dengeye ulaşınca kadar sürmektedir. Gıda dilim kalınlığı azaldıkça, ısınma aşaması süresince oluşan nem kaybı dikkate alınmayacak ölçüde azalmaktadır. Bu aşamada genel olarak kuruma hızında bir artma görülmekle beraber tüm kuruma işleminin çok az bir kısmını oluşturduğu için ihmal edilebilmektedir.

Sabit kuruma hızı aşaması, Şekil 2.2' de BC çizgisiyle birleştirilmiştir. Bu aşamada gıdanın üzeri ince bir su tabakası ile kaplı olduğundan, önce bu su tabakası buharlaşmaya başlamaktadır. Aslında bu durum durgun bir su yüzeyinden olan serbest buharlaşmaya benzetilebilmektedir. Başlangıçta çok hızlı olan bu buharlaşma, bir süre sonra yüzeyin hemen üzerinde olan buhar tabakası nedeniyle yavaşlamaktadır. Kurumanın devam etmesi için, bu buhar filminin, bir hava akımı ile dağıtılıp taşınması gerekmektedir. Şekil 2.2' deki C noktasında, gıdanın yüzeyindeki serbestçe buharlaşabilen nem sona erdiğinden zaman, sabit hızda kuruma sona ermekte ve bu noktadaki nem "kritik nem" olarak bilinmektedir. C noktasının görülebilmesi için gıdanın başlangıç neminin kritik nem değerinden daha yüksek

olması gerekmektedir. Meyvelerde ve sebzelerde sabit kuruma hızı aşaması, genellikle çok kısa sürmekte veya görülmemektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.2. Karakteristik kuruma eğrileri

Azalan hızda kuruma aşaması, Şekil 2.2' deki sabit kuruma aşamasından sonra başlayan CDE eğrisi kısmı göstermektedir. Bu aşamada buharlaşma gıdanın içinde başlamakta ve su

yüzeğe esas itibarıyla gaz difüzyonu ile ulaşmaktadır. Yüzeğe yakın bölümler, hem doğrudan doğruya yüzeğe ve hem de kapilerlere nem verdiklerinden iç katmanlara göre daha çok su kaybetmektedir. Bunun sonucu olarak gıdanın dış yüzeyinde kabuk bağlama, buruşma, çatlama ve yarılmalar gözlemlenmektedir. Bu evrede kuruma süresi arttıkça, birim zamanında buharlaşan nem miktarı azalmaktadır. Bu nedenle bu aşama azalan kuruma hızı aşamasıdır ve nem kaybı sona erene kadar (E) devam etmektedir. Birinci azalan kuruma hızı aşaması (CD) bir geçiş aşaması olup hem yüzeyden serbest buharlaşma ve hem de iç kısımlarda buharlaşan suyun hareketi etkili olmaktadır. Hava hızı, sıcaklık ve nem bu aşamada etkili olmaktadır. İkinci aşamada kuruma hızı, bütünüyle içsel nem hareketine bağlı olarak olmaktadır. DE ile gösterilen bu aşama denge nemine ulaşmaya kadar devam etmektedir (Demiray, 2010).

2.3. İnce Tabaka Kurutma Modelleri

İnce tabaka kurutma modelleri gıdanın kurutulması sırasında nem içeriğinin zamanla değişimini açıklamak için geliştirilmiş modellerdir. Teorik, ampirik ve yarı teorik model olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Bu modellerden teorik modeller nem transferinde iç direnci göz önüne alırken, yarı teorik ve ampirik modellerde gıda ile ortam arasındaki dış etkiler göz önüne alınmıştır (Özdemir ve Devres, 1999). Kurutma eğrilerinin açıklanmasında yarı teorik modeller teorik modellere göre daha az kabule dayanmasında dolayı daha yakın yaklaşımlar vermiş ve literatürde daha fazla kullanılmıştır. Yarı teorik modeller Fick difüzyon denkleminin genel seri çözümlerinin basitleştirilmesiyle türetilmiş veya basitleştirilmiş modellerin modifiyesiyle elde edilmiştir (Kaya, 2008). Fick difüzyon denkleminin analitik çözümüne literatürde geniş olarak yer verilmiştir (Simal ve ark., 2005; Azzouz ve ark., 2002; Aghbashlo ve ark., 2009; Karathanos, 1999). Ampirik modeller deneysel veriler ile türetilen matematiksel eşitlikleri içerdikleri için belirtilen deneysel koşullar dışında gıdanın genel kuruma davranışının açıklanmasında yeterli olmamıştır. Literatürde kullanılan ince tabaka kurutma modelleri Tablo 2.1'de verilmiştir. (Wang ve ark., 2007; Hacıhafizoğlu ve ark., 2008).

Tablo 2.1. Gıda kurutmada kullanılan ince tabaka modelleri

Model	Model Adı	Kaynaklar
1 $MR = \exp(-kt)$	Newton	Erentürk ve ark (2004)
2 $MR = \exp(-kt^n)$	Page	Aghbashlo ve ark (2009)
3 $MR = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis	Singh ve Pandey(2012)
4 $MR = a \exp(-kt) + b$	Logaritmik	Toğrul ve Pehlivan (2004) Goyal ve ark (2007)
5 $MR = a \exp(-ktn) + bt$	Midilli	Evin, D. (2012) Midilli ve ark. (2002)
6 $MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh	Özdemir ve Devres (1999)
7 $MR = a \exp(-kt) + b \exp(-k_1t)$	İki Terimli	Babalis ve ark (2006)
8 $MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-k_1at)$	İki Terimli Exponansiyel	Yaldız ve Ertekin(2001)

MR: Nem oranı, k ve k_1 kurutma sabitleri

2.4. Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler

Kurutma prosesinde kuruma hızını etkileyen birçok faktör bulunmakta ve bunların başında kurutma havasının sıcaklık, nem ve hızı, gıdanın yüzey alanı (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vb.) gibi fiziksel faktörler gelmektedir (Krokida ve ark. 2003).

2.4.1. Kurutma sıcaklığı

Sıcaklık kurutma prosesinde gıdanın kuruma hızını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Kurutma sıcaklığı arttıkça difüzyon hızı ve kuruma hızı artmaktadır. Kuruma hızının artması kuruma süresini kısaltmaktadır. Gıdaların kurutulması sırasında yüksek sıcaklık uygulamasında havanın nem tutma oranı yüksek olduğundan yüksek buhar basıncı sağlanmakta ve böylece daha hızlı bir kurutma işlemi gerçekleşmekte, ısı kayıpları en aza indirilmiş olmakta, gıdanın erişeceği denge nem içeriği yükselmektedir. Ancak özellikle ince tabaka halinde olan gıdalarda yüksek sıcaklıklarda yanma ve buna bağlı olarak da besin değeri kayıpları gözlemlenebilmektedir (Demiray, 2010).

2.4.2. Kurutma hava hızı

Gıdaların kuruma hızına etki eden diğer bir faktör, kurutma havasının hızıdır. Kurutulan maddenin yüzeyinde oluşabilecek film tabakası yüksek hava hızı ile önlenerek suyun kontrollü buharlaşması hızlanır, havanın hızı gıdanın yüzeyinde sürükleyici bir etki yaratarak kuruma hızını arttırmaktadır (Demiray, 2010).

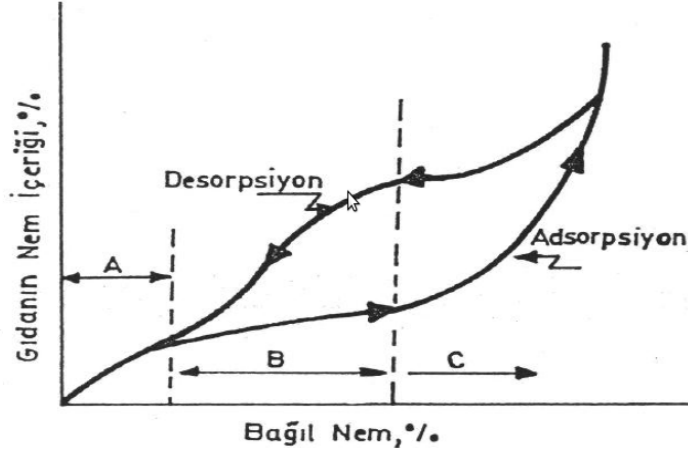
2.4.3. Kurutulan gıdanın yüzey alanı

Genel olarak kurutulan gıdanın yüzey alanı arttıkça kuruma hızı artmaktadır. Kurutulan gıdanın merkezine ilerleme süresini kısaltılması ve daha kısa sürede gıdanın neminin uzaklaştırılması amacıyla küçük parçacıklar ya da ince dilimler seçilmelidir (Soysal, 2004). Gıdanın kuruma hızı, ürün dilim kalınlıkları ile ters orantılı olarak değişmektedir.

2.4.4. Ortamın nem içeriği

Kurutulan gıdanın içerdiği nem miktarı ortamda bulunan su buharı miktarına göre değişiklik göstermektedir. Ortamın nemi arttırıldığında ve azaltıldığında gıdadaki nem değişimi farklı karakteristiklere sahip olmaktadır. Gıdanın içinde bulunduğu havanın nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile gıdanın içerdiği nem miktarındaki değişimini gösteren eğriler sorbsiyon izotermi olarak adlandırılırlar. Sabit sıcaklıkta ortamın neminin arttırılması ile meydana gelen, gıdanın içerdiği nem miktarındaki değişim *adsorpsiyon* (gıdanın nem alması), yine sabit sıcaklıkla ortamın neminin azaltılması ile maddenin içerdiği

nem miktarındaki meydana gelen değişim *desorpsiyon* (gıdanın nemini kaybetmesi) olarak adlandırılmaktadır. Farklı nitelikteki gıdalar için bu izoterm eğrileri birbirinden farklılık göstermektedir. Kurutulan gıdalardaki nem miktarının ortamın bağıl nemine bağlı olarak değişimi Şekil 2.3'te verilmiştir (Cemeroğlu, 2003). Buna göre adsorpsiyon ve desorpsiyon eğrileri çakışmamakta ve bu durum *histerisis* olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.3. Kurutulan gıdanın nem içeriğinin ortam bağıl nemine bağlı değişimi (Cemeroğlu 2003).

3.LİTERATÜR

Kurutma komplike yapısı ile birçok bilim adamının uzun yıllardır ilgisini çekmiş ve hala çekmeye devam etmektedir. Literatürde gıda ürünlerinin kuruma davranışını deneysel ve sayısal olarak araştıran birçok çalışma mevcuttur. Gıdaların kuruma davranışını etkileyen faktörlerin (kurutma hava sıcaklığı, nemi, hızı ve ön işlem uygulanması) kuruma hızı üzerine etkisini belirlemek amacıyla literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu parametrelerin tek başına veya birlikte etkileri, farklı kurutma yöntemleri uygulayarak kurutmanın optimize edilmeye çalışıldığı araştırmalardan son yıllarda yer alan seçilmiş çalışmalar değerlendirilmiştir. Araştırmalarda farklı kurutma koşullarında farklı kurutma ön işlem ve sistemleri ile kurutulan gıdaların kurutma davranışını açıklayabilmek için çok sayıda matematiksel model kullanılmıştır. Gıdaların kuruma işlemi sırasında zamanla değişen nem oranını belirlemek amacı ile sıklıkla ince tabaka kurutma modelleri tercih edilmektedir.

Literatürde farklı kurutma koşullarında farklı ön işlem ve kurutma sistemlerinin gıdanın kurutma karakteristiklerine etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Doymaz ve arkadaşları tarafından ön işlemin uygulandığı kurutma denemelerinde çarliston kırmızıbiberi, çekirdeksiz üzüm, beyaz dut, siyah üzüm, domates, pırasa, patlıcan, kiraz, patates kullanılmıştır. Çalışmalarda gıdanın yüzeyindeki mumsu tabakayı azaltmak, kuruma hızını arttırmak amacıyla farklı çözeltiler (etiloleat, sitrik asit, askorbik asit, potasyum metabisülfid, sıcak su) ön işlem olarak kullanılmıştır.

Kırmızıbiber üzüm (Doymaz ve Pala, 2002a) ve çekirdeksiz üzüm (Doymaz ve Pala, 2002b), beyaz dut (Doymaz, 2004a), siyah üzüm (Doymaz, 2006), domates (Doymaz, 2007), pırasa dilimleri (Doymaz, 2008), patlıcan (Doymaz, 2011a), kiraz (Doymaz ve İsmail, 2011) ve patates (Doymaz, 2011b) kurutma çalışmalarında ön işlemin ve sıcaklık artışının kuruma hızını artırarak kuruma süresini kısalttığı gözlemlenmiştir. Çalışmalarda elde edilen deneysel veriler literatürdeki ince tabaka kurutma modelleri ile kıyaslanarak en yüksek R^2 değerini veren modelin kuruma davranışını en iyi açıklayan model olduğu saptanmıştır.

Ön işlem uygulaması erik (Goyal ve ark., 2007) ve mango dilimlerinin (Goyal ve ark., 2006) kurutulmasında kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklarda (55, 60, 65 °C) ve %1 potasyum metabisülfid (KMS) ön işlem uygulamasıyla tünel kurutucuda erik ve mango dilimleri kurutularak, sıcaklık artışının ve ön işlemin kuruma hızını arttırarak kuruma süresini kısalttığını gözlemlenmiştir. Deneysel veriler literatürde verilen 6 farklı ince tabaka kurutma

modeli ile kıyaslanarak en yüksek R^2 değerini veren Logaritmik modelin erik dilimlerinin kuruma davranışını en iyi açıklayan model olduğunu saptanmışlardır.

Ön işlemin (su ve buharda haşlama) 60 °C' de kurutulan kırmızıbiberlerin kuruma davranışı üzerine etkisini belirlemek amacıyla Tunde-Akintunde ve Ajala (2010) çalışmalarında ön işlem görmüş kırmızıbiberler ile ön işlem görmemiş kırmızıbiberlerin kuruma davranışlarını incelemişlerdir. Ön işlem görmüş kırmızıbiberlerin kuruma hızının ön işlem görmemiş kırmızıbiberlere göre daha hızlı olduğunu saptamışlardır. Kırmızıbiberlerin kurutma karakteristiklerinin tanımlanması için 4 matematiksel model (Newton, Henderson ve Pabis, Logaritmik ve Page) üzerinde çalışılmıştır. Bu dört modelin regresyon katsayısı (R^2) değerleri karşılaştırılmış ve Page modelinin diğer modellere göre kuruma karakteristiklerini daha iyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır.

Kurutma hava sıcaklığı ve hızının etkisini araştıran çalışmalar ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmakta ve bu çalışmaların yoğunluk kazandığı görülmektedir. Çalışmalarda kurutma havası sıcaklığının ve hızının artışının kuruma hızını etkilediği ve arttırdığı gözlemlenmiştir. Babalis ve ark. (2006) tünel kurutucuda incir örneklerinin kuruma davranışlarını incelemişlerdir. Denemeler farklı kurutma hava sıcaklığında (55, 65, 75, 85° C) ve kurutma hava hızında (0.5, 1.2 ve 3 m/s) gerçekleşmiştir. Kuruma hızı üzerine kurutma hava sıcaklığı ve hızının etkisi incelenmiştir. Kurutma hava sıcaklığı arttıkça kuruma hızının arttığı ve kuruma süresinin kısaldığı belirlenmiştir. Kurutma hava hızının da kuruma hızının artmasında ve kuruma süresinin kısalmada önemli bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Kuruma süresince incirin kuruma davranışını açıklayabilmek için literatürde yer alan ince tabaka kurutma modellerinin deneysel verilere uygunluğu araştırılmıştır. Regresyon katsayısı ile kurutma davranışını açıklayan en uygun modelin İki Terimli Ekspansiyel model olduğu saptanmıştır.

Literatürdeki kuruma çalışmalarında kurutma hava sıcaklığı ve hızının kuruma davranışı üzerine etkisi nane yaprakları (Doymaz, 2006b), ıspanak yaprakları (Doymaz, 2009), kekik yaprakları (Doymaz, 2011c), fasulye (Doymaz, 2004b) ve maydanoz (Doymaz ve ark., 2000) için araştırılmıştır.

Doymaz (2006b) nane yapraklarının 35, 45, 55, 60 °C' de ve 1,4 m/s hava hızındaki kuruma davranışlarını incelemiştir. Nane yapraklarının farklı sıcaklıklardaki kuruma davranışlarını açıklamak için ince tabaka kurutma modelleri kullanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçları açıklamak için kullanılan modellerden (Lewis, Henderson, ve Pabis, Logaritmik Page modeli) Page modelinin uygun olduğu belirlenmiştir.

Doymaz (2009) ıspanak yapraklarının 50, 60, 70, 80°C sıcaklıklarda ve 1,2 m/s hava hızında kuruma davranışını incelemiştir. Kuruma kinetiğini açıklamak için Lewis, Henderson, ve Pabis, Page ve Logaritmik modeller kullanılmıştır. Kuruma hızının sıcaklık ile arttığı, en hızlı kurumanın 80 °C 'de gerçekleştiği ve kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin de Logaritmik model olduğu belirlenmiştir.

Doymaz (2011c) çalışmasında 40, 50, 60 °C kurutma sıcaklığında ve 2,0 m/s kurutma hava hızında kurutulan kekiklerin kuruma kinetiklerini incelemiştir. Sıcaklık artışı ile kuruma süresinin önemli oranda azaldığı, kuruma süresinin sıcaklığa bağlı olarak 120 ile 495 dakika arasında değiştiği belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığı ve kurutma hava hızına göre elde edilen kurutma eğrilerini matematiksel olarak açıklamak için literatürde ki 12 matematiksel model kullanılmıştır. Deneysel olarak elde edilen veriler ile tahmin verileri arasındaki ilişkileri gösteren regrasyon katsayısı (R^2) değerleri hesaplanmıştır. Buna göre nem değişimini en uygun biçimde açıklayan Midilli ve arkadaşları tarafından geliştirilen model olduğu saptanmıştır.

Doymaz (2004b) Türkiye İskenderun bölgesinde yetiştirilen yeşil fasulyelerin kuruma davranışları ile ilgili çalışmasında, ince tabaka kuruma modelleri kullanarak yeşil fasulyenin 50, 60, 70 °C sıcaklıkta kuruma davranışını incelemiştir. Artan kurutma hava sıcaklığının daha kısa kuruma zamanına sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Kuruma kinetiğini belirlemek için Henderson ve Pabis, Lewis ve Page modelleri kullanılmıştır. Page modelinin deneysel verileri en iyi ifade ettiği sonucuna varılmıştır.

Doymaz ve ark (2000) kabin ve mikrodalga kurutucularla yapılan kurutma işleminin maydanoz üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kurutma deneyleri her iki sistemde de 40, 45, 50, 55, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Her iki kurutucuda yapılan denemelerin sonucunda; sıcaklık artışının kurutma işlemini hızlandırdığı görülmüş ve mikrodalga kurutucuda kurutma işleminin çok daha kısa sürede gerçekleştiği saptanmıştır. Kurutulmuş ürünlerde ürün kalitesini belirleyen önemli kriterlerden biri de renktir. Kabin ve mikrodalga kurutucularda düşük sıcaklıklarda çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Kabin kurutucuda, maydanoza ait gerçekleştirilen denemelerden elde edilen verilere Page ve Ekspansiyel denklemleri uygulanarak regresyon katsayıları hesaplanmıştır. Page denkleminin R^2 değerlerinin Ekspansiyel denkleminin R^2 değerlerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Aghbashlo ve ark (2009) laboratuvar tipi bantlı kurutucuda patates dilimlerinin farklı kurutma hava sıcaklığında ve hava hızında kurutma davranışını belirlemeye çalışmışlardır.

Denemelerde kurutma hava sıcaklığı 50, 60, 70 °C, kurutma hava hızı 0.5, 1, 1,5 m/s olarak belirlenmiştir. Kurutma süresince patates dilimlerinin nem oranının zamanla azaldığı gözlenmiştir. Kuruma davranışını açıklayabilmek için 3 farklı ince tabaka kurutma modeli üzerinde çalışılmıştır. Kullanılan modellerden regresyon katsayısı (R^2) değerleri karşılaştırıldığında deneysel verilere en uygun modelin Page modeli olduğu saptanmıştır.

Arıcı ve Mengeş (2012) mantarın farklı kurutma hava sıcaklığında ve hızında kuruma davranışını incelemiştir. Kuruma süresinin belirli bir anında ürünün nem içeriğinin belirlenmesi için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Mantar örnekleri 50, 60 ve 70 °C kuruma havası sıcaklıklarında ve 1.0, 2.0 ve 3.0 m/s kurutma havası hızlarında kurularak kurutma süreleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Papis, Logaritmik, İki Terimli Eksponansiyel, Wang ve Sign, Thompson, Difüzyon yaklaşımı, Geliştirilmiş Henderson ve Papis, Verma ve ark. ve Midilli ve ark. modellerine uygulanarak en uygun model belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Midilli ve arkadaşlarının modelinin mantarın kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

Alibaş (2012) tarafından 4 (± 0.1) mm kalınlığındaki enginar (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus*) dilimleri 50, 75 ve 100 °C sıcaklıktaki ve 1 m/s hıza sahip hava akımıyla kurutulmuşlardır. Kurutma işlemleri 50°C’de 300 dakika, 75 °C’de 210 dakika ve 100°C’de ise 130 dakika sürmüştür. Bu çalışmada kurutma literatüründe daha önce çeşitli araştırmacılar tarafından tanımlanmış 12 farklı ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra Midilli ve ark. (2002) eşitliğinden türetilmiş olan ve Alibaş Yaklaşımı olarak adlandırılmış yeni bir kurutma yaklaşımı ile deneysel olarak elde edilen veriler modellenmiştir. Deneysel olarak elde edilen veriler ile tahmin verileri arasındaki ilişkileri gösteren regresyon katsayısı (R^2) değerleri hesaplanmıştır. Buna göre çalışmada kullanılan üç farklı sıcaklık seviyesinde de elde edilen deneysel verilere en yakın sonuçları veren model Alibaş Modeli olarak belirlenmiştir.

Tunç ve Mengeş (2010) tarafından yapılan çalışmada, bir laboratuvar kurutucusunda patlıcanın kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, İki Terimli ve Eksponansiyel, Wang ve Sing, Thompson, Difüzyon yaklaşımı, Geliştirilmiş Henderson ve Pabis, Verma ve ark. ve Midilli ve ark. modelleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kuruma olayını en iyi açıklayan modelde bulunan katsayılar, kurutma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkileri çoklu regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Regresyon katsayısı (R^2) değerleri

kullanılarak en uygun model saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; kuruma havası sıcaklığının ve hızının etkilerini patlıcan örnekleri için; nem değişimini en uygun biçimde açıklayan Midilli ve arkadaşlarının modeli olduğu belirlenmiştir.

Lee ve Kim (2008) çalışmalarında 50, 60, 70 °C kurutma sıcaklığında ve 0,6 m/s kurutma hızında soğan dilimlerinin kurutma kinetiğini incelemiştir. Kurutma hava sıcaklığının, kuruma hızı ve kuruma süresi üzerine etkisi belirlenmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen verileri, kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrileri lineer olmayan regresyon analizi kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir Literatürde bulunan 9 ince tabaka kurutma modeli kullanarak kurutma kinetiğini en iyi açıklayan model belirlenmiştir. Logaritmik modelin regresyon katsayısı (R^2) değeri diğer modeller ile karşılaştırıldığında kuruma karakteristiğini en iyi açıklayan model olduğu saptanmıştır.

Erbay ve İçier (2010), zeytin yaprakları kuruma davranışlarının tanımlanması amacıyla tepsili kurutucu kullanılmış ve ince tabaka modelleri kullanılarak kuruma davranışları ifade edilmiştir. Deneysel sonuçların uygunluğu doğrusal olmayan regresyon analizi ile karşılaştırılmış, model katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre 50 °C sıcaklık ve 0.5-1.5 m/s hava hızı aralığında, Modifiye Henderson ve Pabis modeli en uygun model olmuştur.

Dikbasan (2007) çalışmasında tünel kurutucuda küp şeklinde kesilmiş kırmızı elma (*Malus domestica*) kullanılarak, farklı sıcaklık (40, 45, 50, 55, 60, 65 °C), hava hızında (1.1, 1.4, 1.9, 2.3, 2.5 m/s) kurutma deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneysel veriler literatürdeki 14 farklı kurutma modeline uygulanmıştır. Midilli ve arkadaşlarının modeli deneysel verilere en iyi açıklayan model olduğu saptanmıştır.

Sacılık (2007) çalışmasında ince dilimlenmiş domateslerin kurutma prensibini incelemek amacıyla kurutma çeşidi olarak konveksiyonel bir kurutucuda çalışmıştır. Konveksiyonla kurutma deneyinde kurutma havasının hızı 0.8 m/sn ve sıcaklığı 50, 60, 70 °C olarak seçilerek domatesin kuruma karakteristiği incelenmiştir. Bu deneyde Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik ve İki Terimli modellerden faydalanılmış ve Logaritmik modelin domateslerin kurutma karakteristiği için en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir. Chawla ve ark. (2006) tarafından domates pulpu farklı kurutma yöntemleriyle (kabin tipi kurutucu, tepsili kurutucu, akışkan yatak kurutucu ve dondurarak kurutma) 50, 60, 70 °C de kurutulmuş ve tüm yöntemler için kurutma kinetiğini en iyi açıklayan model olarak Page model belirtilmiştir.

Kaya ve ark. (2007) çalışmalarında elmanın kuruma kinetiğini incelemiştir. Kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğinin

saptanması için mevcut kurutma modellerinin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Farklı hava sıcaklığında, hızında ve neminde örneklerden her deneme koşulu için tek tabaka halinde kurutucuya yerleştirmişlerdir. Elde edilen verilerden literatürde yer alan ince tabaka modeller (Henderson ve Pabis, Newton, İki Terimli Eksponansiyel) kullanılarak nem içeriğini belirleyen en uygun model belirlenmiştir. Kullanılan üç modelin de elmanın kuruma kinetiğini açıkladığı belirlenmiştir.

Mengeş ve Ertekin (2006) yaptıkları araştırmada laboratuvar kurutucusunda tek tabaka halinde kükürlü ve kükürtsüz olarak kurutulan Malatya-Bölgesi Hacıhaliloğlu tipi kayısının kuruma periyodu boyunca göstereceği nem değişimini belirlemek amacıyla 14 farklı matematiksel modeli birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca kurutma havası sıcaklığının ve kurutma havası hızının en uygun modeldeki sabite ve katsayılara olan etkilerini çoklu regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Kuruma sırasında nem değişimini en uygun biçimde açıklayan model Page modeli olmuştur.

Arıcı (2006) çalışmasında mantarın farklı kurutma havası sıcaklığında ve hızında kurutma karakteristiklerini belirlemeye çalışmıştır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 60, 70, 80 °C, hava hızı olarak 1.0, 2.0 ve 3.0 m/s alınmıştır. Mantarın kuruması esnasında belirli bir andaki nem içeriğini belirlemek amacı ile Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Papis, Logaritmik, İki Terimli, İki Terimli Eksponansiyel, Wang ve Sign, Thompson, Difüzyon yaklaşımı, Geliştirilmiş Henderson ve Pabis, Verma, Midilli modelleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Mantarın kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin Midilli ve arkadaşları olduğu saptanmıştır.

Akpınar (2006) çalışmasında patates, elma ve kabak dilimlerinin siklon tipi kurutucularda kurutulması ile elde edilen kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrileri lineer olmayan regresyon analizi kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Denemelerde hava sıcaklığı 60, 70, 80 °C, hava hızı olarak 1.0, 1.5 m/s alınmıştır. İnce tabaka prensibine dayanan 12 ayrı model kurutmada elde edilen deneysel sonuçların uygunluğu doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanarak karşılaştırılmış, modellerin katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre patates, elma ve kabak dilimlerinin kurutma hava sıcaklığını ve hızının etkisinde kuruma davranışını en iyi açıklayan modelin Midilli ve arkadaşlarının modeli olduğu saptanmıştır.

Ertekin ve Yıldız (2004) çalışmalarında laboratuvar kurutucusunda patlıcanın kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, İki Terimli, İki Terimli Eksponansiyel, Wang ve

Singh, Thompson, Difüzyon Yaklaşım, Geliştirilmiş Henderson ve Pabis ve Verma ve arkadaşlarının modelleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kuruma olayını en iyi açıklayan modelde bulunan katsayılara, kurutma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkileri çoklu regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Regresyon katsayısı değerleri kullanılarak en uygun model saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Page modelinin patlıcanın kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir.

Lahsani ve ark (2004) tarafından güneş enerjili bir kurutucuda armut kurutma çalışması yapılmıştır. 50, 55 60 °C kurutma hava sıcaklığı kullanılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre kurutma davranışı üzerinde en önemli faktörün kurutma hava sıcaklığı olduğu saptanmıştır. Kuruma eğrilerini matematiksel model ile açıklanmasında deneysel verilere en uygun modelin İki Terimli model olduğu belirlenmiştir.

Akpınar ve ark. (2003a) siklon tipi bir kurutucuda kabağın kuruma davranışını incelemişlerdir. Deneyle 60, 70 ve 80 °C 'lik üç farklı hava sıcaklığında, 1 ve 1.5 m/sn hava hızlarında, 35 mm çapında ve 5 mm kalınlığında kesilmiş kabak dilimleri ile gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrileri lineer olmayan regresyon analizi kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Farklı sıcaklıklarda, farklı hava akış hızlarında kurutulan örneklerde kuruma hızında, hava hızından çok, hava sıcaklığının etkisinin daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrileri üssel bir eşitlikle modellenmiştir. Modelin deney sonuçlarına uygulanması sonucunda yapılan istatistiksel analizde korelasyon katsayısı, modelin modelleme yeterlilik değerlerinin yüksek, tahmini standart hatasının ve khi-kare değerlerinin çok düşük olduğu görülmüştür.

Akpınar ve ark (2003b) çalışmalarında konvektif kurutucuda kurutulan kırmızıbiber dilimlerinin kuruma davranışına, kurutma havası sıcaklığının etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyle 55, 60 ve 70 °C kurutma hava sıcaklığında, 1.5 m/sn kurutma hava hızında gerçekleşmiştir. Literatürde verilen 11 farklı tek tabaka kuruma modellerini kullanarak deneysel verilere en uygun modeli belirlemeye çalışmışlardır. Bütün modeller içinde Difüzyon modeli kırmızıbiber dilimlerinin kuruma davranışını açıklamak için en iyi model olarak tespit etmişlerdir.

Toğrul ve Pehlivan (2003) kayısının kurutma parametrelerinin modellenmesi ile ilgili çalışmalarında, kayısının kuruma davranışını belirlemek amacı ile deneylerde hava sıcaklıklarını 50, 60, 70 ve 80 °C hava hızını ise 0.2 m/s, 0.5 m/s, 1.0 m/s ve 1.5 m/s olarak kullanmışlardır. Literatürde verilen 14 farklı tek tabaka kuruma modellerini kullanarak

deneysel verilere en uygun modeli belirlemeye çalışmışlardır. Modeller içinde Logaritmik model kayısıların kuruma davranışını açıklamak için en iyi model olarak belirlenmiştir.

Silva ve ark (2013) çalışmalarında konvektif kurutma ile muz örneklerini herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan farklı sıcaklıklarda kurutulmuşlar, dilimlenmeden kurutulan muzların farklı sıcaklarda (40, 50, 60, 70 °C) kuruma davranışını incelemişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre sıcaklık artışının kuruma hızını artırdığı ve kuruma süresini kısalttığı belirlenmiştir. Deneysel verileri açıklamak amacıyla çalışılan ince tabaka kurutma modellerinden en uygun modelin Page ve bu çalışmada geliştirilen model (Silva) olduğu saptanmıştır. Deneysel olarak elde edilen veriler ile tahmin verileri arasındaki ilişkileri gösteren regrasyon katsayısı (R^2) değerleri hesaplanmıştır. Buna göre nem değişimini en uygun biçimde açıklayan Page ve Silva modeli olduğu belirlenmiştir.

Kumar ve ark (2012) konvektif kurutma ile tepsi kurutucuda kurutulan bambu dilimlerinin kuruma davranışını incelemişlerdir. Denemelerde 4 farklı kurutma hava sıcaklığı (55, 65, 75 °C) kullanılmıştır. Kurutma hava sıcaklığı arttıkça kuruma hızı arttığı, kuruma süresinin kıaldığı gözlenmiştir. Bambu dilimlerinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek için kullanılan modellerden Page ve Logaritmik modelin, Ekspansiyel modele göre daha uygun olduğu saptanmıştır.

Diamante ve ark (2010) farklı sıcaklıkta kivi ve kayısı meyvelerinin kuruma davranışlarını incelemişlerdir. Kuruma davranışını matematiksel model ile açıklamak için literatürde yer alan ince tabaka kurutma modellerini kullanmışlardır. İnce tabaka kurutma modellerinden Henderson ve Pabis, Page ve Logaritmik modelin 60, 70, 80 °C de kivi ve kayısı örneklerinin kurutulması sonucu elde edilen deneysel veriler uygunluğu araştırılmıştır. Bu çalışmada geliştirilen ve Page modelinden türetilen modelin regresyon katsayısı (R^2) değerleri karşılaştırıldığında diğer modellere göre deneysel verileri açıklayan en uygun model olduğu saptanmıştır.

Guine ve ark (2010) çalışmalarında farklı kurutma koşullarının kabağın kimyasal özellikleri üzerine etkisini ve bu kurutma koşullarında kabağın kuruma davranışını belirlemek için kinetik modeller kullanmışlardır. Deneysel olarak 30, 40, 50, 60, 70 °C kurutma hava sıcaklıkları kullanılmıştır. Kurutma deneyleri kabak örneklerinin nem içeriği %5 oluncaya kadar devam etmiştir. Deneysel sonuçlarında kurutma sıcaklıklarının kabağın besin değerini belirleyen kimyasal özellikler üzerinde önemli bir etki göstermediği saptanmıştır. Ancak kurutma sıcaklığının kabağın kuruma süresi üzerinde önemli etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. 30 °C 'de kuruma 8 saat sürerken, 70 °C 'de 2 saat sürmüştür. Deneysel olarak

elde edilen verilerin matematiksel olarak modellenmesi yapılmıştır. Belirli bir zamandaki nem değişimini belirlemek amacıyla 6 matematiksel model kullanılmıştır. Çalışılan modeller arasında Page modelin en uygun model olduğu saptanmıştır.

Hii ve ark (2009) fermente edilmiş kakao tohumlarının farklı kurutma hava sıcaklığında kuruma davranışlarını incelemiştir. Denemelerde 60, 70, 80 °C kurutma hava sıcaklıkları kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklarda elde edilen kuruma eğrilerini matematiksel modeller ile ifade edilmesi için literatürde bulunan ince tabaka kurutma modellerinden Page modeli ile İki Terimli modelin kombinasyonundan yeni bir model geliştirilmiştir. Bu çalışma ile geliştirilen modelin regresyon katsayısı (R^2) değerlerinin kakao tohumlarının kuruma karakteristiklerini açıklayan en uygun model olduğunu göstermiştir.

Markowski ve Zielinska (2011) bu çalışmada 1 x1 x1 cm küp şekilli havuçların akışkan yataklı kurutucuda, farklı sıcaklıkta (60, 70, 80 ve 90 °C) kuruma süresince değişen nem içeriğini açıklamak için Lewis, Page, Henderson ve Pabis ve İki Terimli Ekspansiyel modelleri kullanılmış ve en uygun modelin İki Terimli Ekspansiyel modeli olduğu saptanmıştır.

Kaya ve Aydın (2008) çalışmalarında bir konvektif kurutucuda kurutulan kızılcığın kuruma davranışına, kurutma havası sıcaklığının etkisini deneysel olarak incelemiştir. Her denemede kurutma tepsilerine 500 gr ağırlığında örnekler konulmuştur. Lewis, Henderson ve Pabis ve İki Terimli ince tabakalı kurutma modelleri kızılcığın kurutma davranışını tanımlamada kullanılmıştır. Elde edilen kuruma eğrileri üç farklı ince tabakalı kurutma modeline yerleştirilmiş ve regresyon analizi ile kurutma katsayıları belirlenmiştir. Kurutma hava sıcaklığının 30 °C den 50 °C' ye çıkarılması ile toplam kurutma süresinin %34 oranında azaldığı tespit edilmiştir. İnce tabakalı kurutma modellerinden İki Terimli Ekspansiyel, Henderson ve Pabis modellerinin deneysel sonuçlara en uygun modeller olduğu belirlenmiştir.

4.MATERYAL VE METOD

4.1.Materyal

Bu çalışmada Gaziantep ilindeki yerel marketlerden satın alınan havuç (*Daucus carota*), elma (*Malus domestica*), armut (*Pyrus L.*), patlıcan (*Solanum melonge*), kabak (*Cucurbita pepo*), araştırma materyali olarak kullanılmıştır. Kurutma denemeleri için seçilen meyve ve sebzeler kirliliklerinden arındırılmış, tasnif edilerek analiz aşamasına kadar buzdolabı sıcaklığında ($4 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$) muhafaza edilmiştir.

4.2. Metot

4.2.1. Örneklerin hazırlanması

Seçilen sebze ve meyveler kurutma öncesinde 0.5x0.5x0.5 cm küp boyutlarında kesilerek her bir kurutma denemesi için üç paralelli olarak hazırlanmıştır.

4.2.2. Örnek kurutma denemeleri

Kurutma işlemi laboratuvar tipi NÜVE marka FN 500 model kurutma fırınında üç farklı sıcaklıkta (60, 70 ve 80°C) ve üç paralelli olarak doğal konvektif koşullarda gerçekleştirilmiştir. Kurutma prosesi süresince örneklerin su kayıpları 10'ar dak'lık periyotlarla belirlenmiştir. Bu amaçla kurutma kabininden alınan örnekler Shimadzu marka AY - 220 model analitik hassas terazide 0,0001 gram hassasiyette tartılmıştır.

4.2.3. Nem içeriğinin belirlenmesi

Kuruma davranışının saptanması amacıyla hazırlanan örneklerin (Fotoğraf 4.1) doğal konvektif kurutma koşullarında farklı sıcaklıklarda kurutulması sırasındaki nem içerikleri eşitlik 4.1 ile hesaplanmıştır:



Fotoğraf 4.1 NUVE 500 marka etüv iç dizaynı

$$M_t = \frac{(m - KM)}{KM} \quad (4.1)$$

Eşitlikte;

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriğini (g su / g kuru madde)

m: Örneğin t anındaki ağırlığını (g)

KM: Örneğin içerdiği kuru madde miktarını (g) ifade etmektedir.

4.2.4. Denge nem içeriğinin belirlenmesi

Farklı kurutma sıcaklıklarındaki denge nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla 10'ar dak aralıklı olarak gerçekleştirilen kurutma işlemine iki örnek tartımı arasındaki fark 0.01 g'ın altında olana kadar devam edilmiştir. Tartımlar arasında farkın önemsiz olduğu ağırlıktan denge nem içeriği (M_e) saptanmıştır.

4.2.5. Boyutsuz nem oranının hesaplanması

Model eşitliklerinde sıklıkla kullanılan boyutsuz nem oranı eşitlik 4.2 'de verilmiştir (Karathanos, 1999).

$$MR = \frac{M_i - M_e}{M_o - M_e} \quad (4.2)$$

Eşitlikte,

MR: Nem oranını (birimsiz)

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriğini (g su / g kuru madde)

M_e : Denge anındaki nem içeriğini (g su / g kuru madde)

M_0 : Başlangıç nem içeriğini (g su / g kuru madde) ifade etmektedir.

4.3. Modelleme Çalışmaları

4.3.1. Newton modeli

Gıdaların kuruma kinetiğinin açıklanması sırasında en çok kullanılan modellerden olan Newton modeli eşitlik 4.3'te verilmiştir (Tunde – Akintjunde ve Ajala, 2010).

$$MR = \exp(-kt) \quad (4.3)$$

Eşitlikte;

k: Kurutma sabiti (dak^{-1})

t: Kurutma süresi (dak) ifade etmektedir.

4.3.2. Henderson ve Pabis modeli

Henderson ve Pabis model eşitliği 4.4'te verilmiştir (Singh ve Pandey, 2012).

$$MR = a \exp(-kt) \quad (4.4)$$

Eşitlikte;

a: Henderson ve Pabis modeline ait katsayı (birimsiz)

k: Kurutma sabiti (dak^{-1})

t: Kuruma süresi (dak) ifade etmektedir.

4.3.3. İki terimli model

İki terimli model eşitliği 4.5'te verilmiştir (Babalıs ve ark., 2006).

$$MR = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t) \quad (4.5)$$

Eşitlikte;

k_0 : Kurutma sabiti (dak^{-1})

k_1 : Kurutma sabiti (dak^{-1})

a: İki terimli modeline ait katsayı (birimsiz)

b: İki terimli modeline ait katsayı (birimsiz)

t: Kuruma süresi (dak) ifade etmektedir.

4.4. Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellenmesi

Bu çalışmada, regresyon analiz yöntemi yardımıyla deneysel boyutsuz nem oranı-kurutma süresi değişimi verileri modelleme çalışmalarında kullanılmıştır. Boyutsuz nem oranı eğrileri Tablo 4.1 'de verilen ince tabaka kurutma modellerine uygulanmış ve regresyon analizi ile kurutma sabitleri (k , k_0 , k_1), model sabitleri (a, b) ve regresyon katsayısı (R^2) belirlenmiştir. Regresyon analizinde SigmaPlot 10.0 kullanılmıştır. Regresyon katsayısı model uygunluğunu belirleyen en önemli parametredir. Yüksek regresyon katsayısı model uygunluğunu ifade etmektedir (Sarsavadia ve ark, 1999).

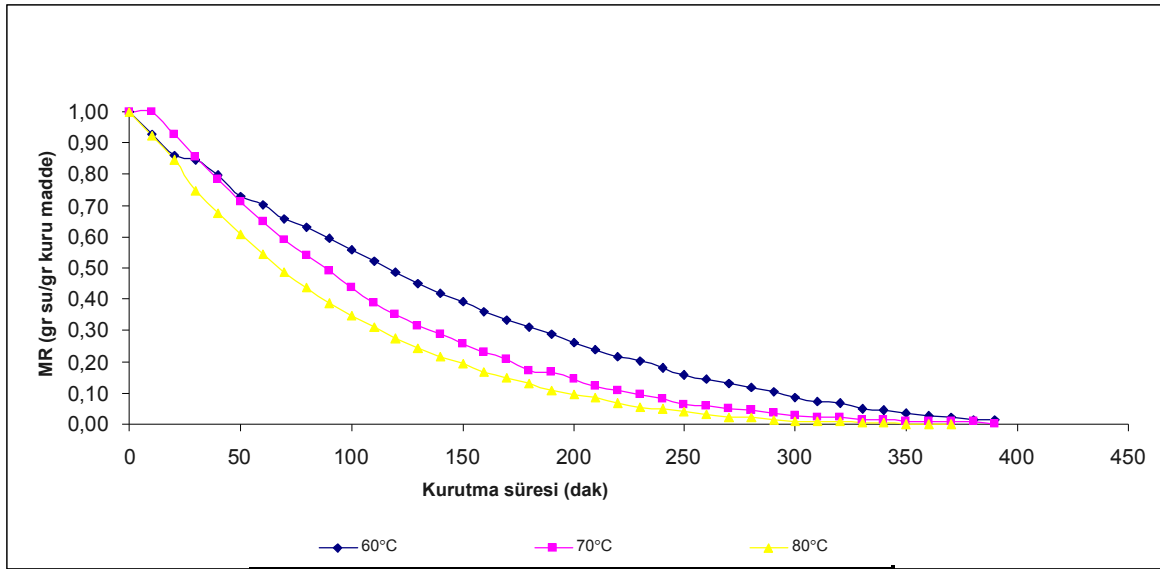
Tablo. 4.1. Kullanılan ince tabaka kurutma modelleri

Model	Eşitlik	Referans
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Arıcı ve Mengeş, 2012
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Singh ve Pandey 2012
İki Terimli	$MR = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Babalıs ve ark 2006

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Kurutma Sıcaklığının Deneysel Kuruma Davranışına Etkisinin İncelenmesi

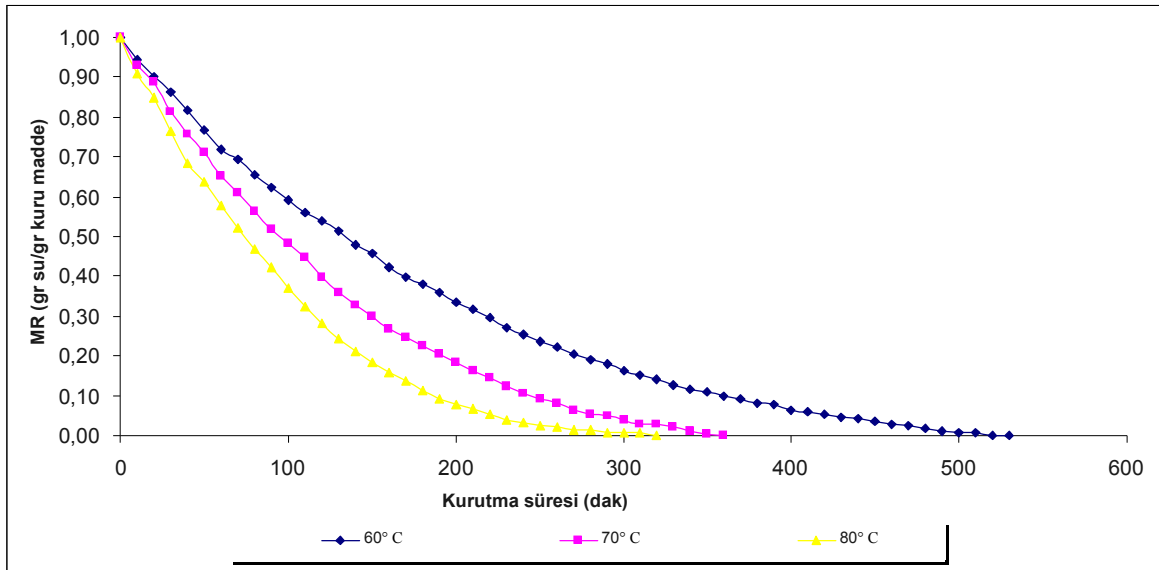
Çalışılan tüm örneklerde kurutma hava sıcaklığındaki artışın suyun buharlaşma hızını arttırdığı, kuruma süresini kısalttığı ve denge nemine daha kısa sürede ulaşılmasına neden olduğu saptanmıştır. Kurutma tüm örnekler için azalan kuruma hızı döneminde gerçekleşmiştir. Denemeler sonucu elde edilen ağırlık kaybı datası boyutsuz nem oranı olarak ifade edilmiştir. Farklı kuruma havası sıcaklıklarında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi elma örnekleri için Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Elmanın farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi.

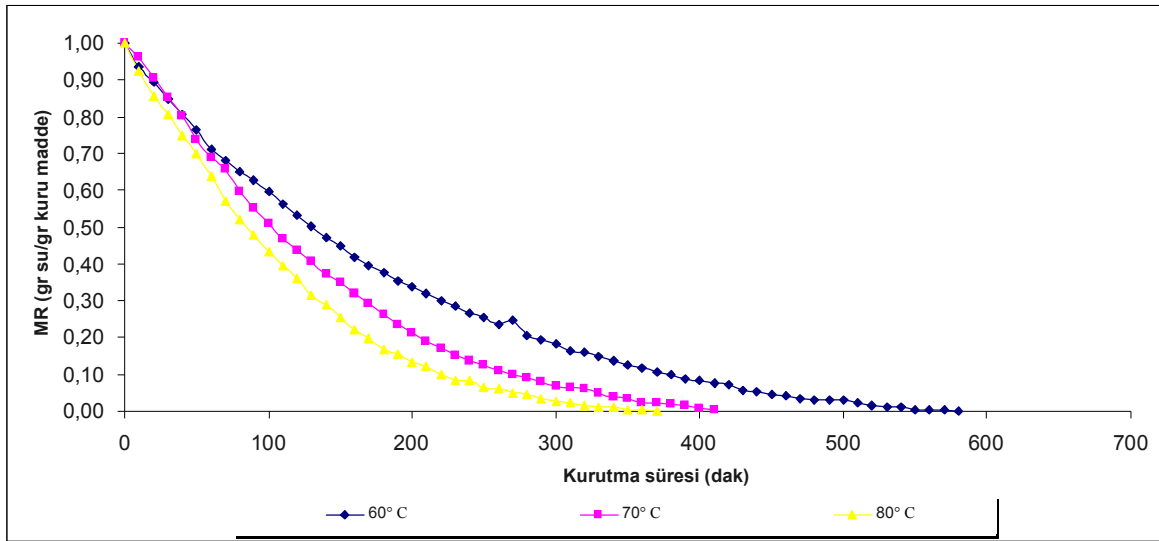
Doğal konvektif koşullarda yapılan kurutmada kurutma hava sıcaklığının artması ile boyutsuz nem oranı belirgin olarak azalmış ve denge nemine ulaşma süresi kısalmıştır. Kurutmanın azalan kuruma hızı bölgesinde gerçekleştiği ve örneklerin nem içeriğinin kurutmanın ilk 100 dak 'sında büyük oranda azaldığı görülmüştür. Denge nemine ulaşma süresi 60, 70 ve 80 °C'de sırasıyla 330, 250 ve 210 dak olmuştur. Ayrıca boyutsuz nem oranının %50 azalması için gereken kurutma süresi 60, 70 ve 80°C'de yapılan kurutmalarda sırasıyla 130, 90 ve 70 dak olmuştur. Literatürde Dikbasan (2007) ve Akpınar (2006) tarafından farklı kurutma koşullarında elma kurutma çalışmalarında da kuruma azalan kuruma hızı bölgesinde gerçekleşmiştir. Elde edilen kuruma eğrilerinin literatürdeki bu çalışmalar ile örtüştüğü belirlenmiştir.

Şekil 5.2' de Armutun farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi verilmiştir. Doğal konvektif koşullarda yapılan armut kurutma denemelerinde farklı kurutma sıcaklıklarında farklı kuruma eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen boyutsuz nem oranının kurutma süresi ile değişim eğrileri incelendiğinde kurumanın azalan kuruma bölgesinde gerçekleştiği, kurutma havası sıcaklığındaki artışın kurutma süresini kısalttığı gözlenmiştir. Her üç kurutma sıcaklığı için kurutma süresinin ilk 120 dak'sında önemli oranda kuruma gerçekleşmiştir. Armut örnekleri için %50 nem oranında azalma 60, 70 ve 80 °C'de yapılan kurutmalarda sırasıyla 150, 120 ve 90 dak, denge neme ulaşma süreleri ise 490, 340 ve 290 dak olmuştur. Toplam kurutma süresi armut örnekleri için sıcaklığın 60 den 80°C 'ye çıkarılması sonucu %40 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Güneş enerjili kurutucuda Lahsasni ve ark (2004) armudun 50, 55 60 °C deki kurutmasında kurutma davranışı üzerinde en önemli faktörün kurutma hava sıcaklığı olduğunu ve kurumanın azalan kuruma hızı bölgesinde gerçekleştiğini saptamışlardır. Elde edilen kuruma eğriler literatürdeki bu çalışma ile uyum içindedir.



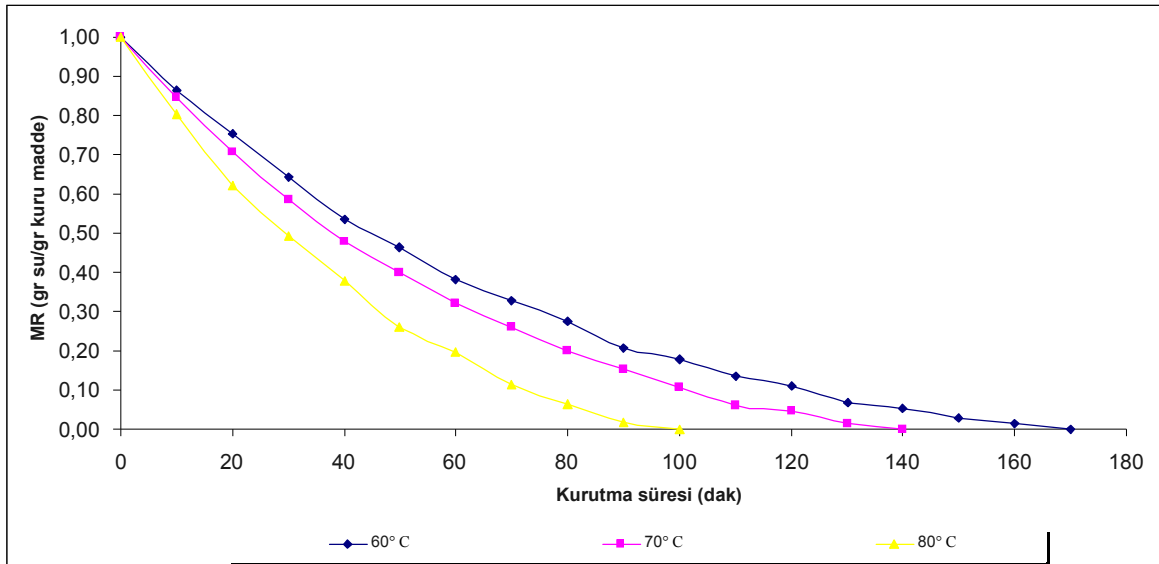
Şekil 5.2. Armutun farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi.

Şekil 5.3 'te havucun farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi verilmiştir. Elde edilen kuruma eğrilerinden farklı kurutma havası sıcaklıklarında havuç örnekleri farklı kuruma davranışları göstermiştir. Buna göre farklı kurutma havası sıcaklıklarında farklı kurutma eğrileri elde edilmiştir. Her üç sıcaklıkta havuç örneklerinin nem içeriğinde önemli oranda azalma kurutmanın 140 dak'sında gerçekleşmiştir. Boyutsuz nem oranının kurutma süresi ile değişim eğrilerinden sıcaklık artışının kurutma süresini kısalttığı gözlenmiştir. 60, 70 ve 80°C'de yapılan kurutmalarda boyutsuz nem oranının %50 azalması için gereken kurutma süresi sırasıyla 150, 100 ve 90 dak iken denge nemine ulaşma süresi ise 530, 450 ve 350 dak olmuştur. Toplam kurutma süresi armut örnekleri için sıcaklığın 60 den 80°C 'ye çıkarılması sonucu %35 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalardan Zelinska ve Markowski (2009) tarafından yapılan havuç kurutma denemelerinde havuç örneklerine ön işlem uygulanarak, farklı kurutma hava sıcaklığında ve hızında kurutma gerçekleşmiştir. Kurutma havası sıcaklığının kuruma davranışı üzerinde daha etkili olduğu belirtilmiştir.



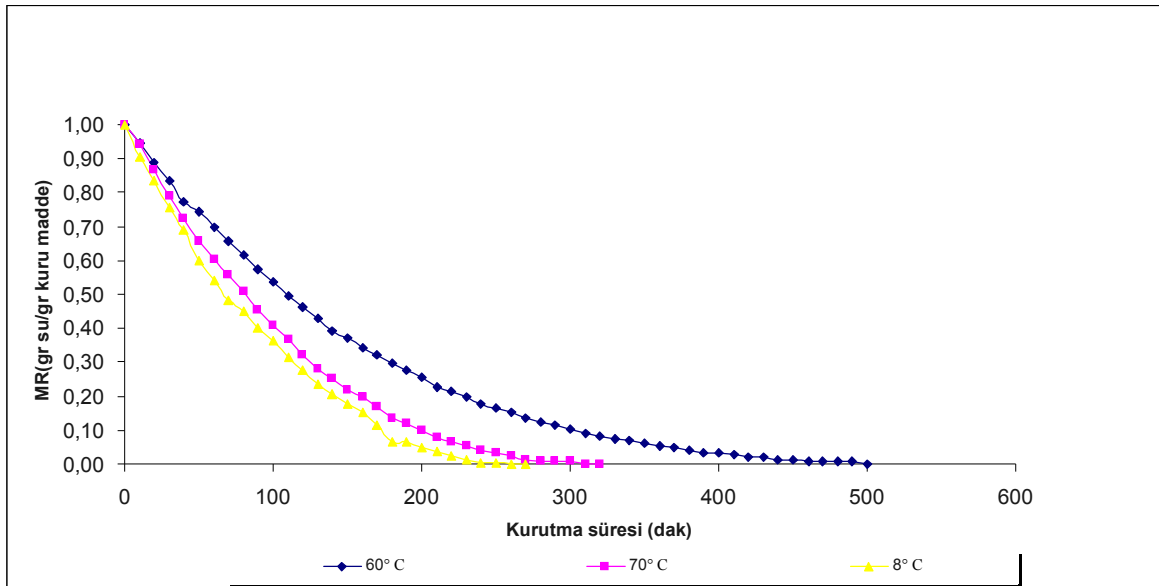
Şekil 5.3. Havucun farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi

Şekil 5.4 'te patlıcanın farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi verilmiştir. Boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişim eğrileri incelendiğinde patlıcan örneklerinin kurutma havası sıcaklığındaki artışa bağlı olarak boyutsuz nem oranında belirgin bir azalma görülmüş ve kuruma süresi kısalmıştır. Patlıcan örneklerinin nem içeriği her üç kurutma sıcaklığında kurutmanın ilk 40 dak 'sında büyük oranda azalmıştır. Kuruma azalan kuruma bölgesinde gerçekleşmiştir. Kurutma sıcaklığındaki değişime bağlı olarak kuruma eğrileri kuruma davranışları farklılık göstermiştir. Patlıcan örneklerinin denge nemine ulaşma süresi 60, 70 ve 80°C'de sırasıyla 180, 130 ve 80 dak iken boyutsuz nem oranının %50 azalması için gereken kurutma süresi 60, 70 ve 80°C'de yapılan kurutmalarda sırasıyla 50, 40 ve 30 dak olmuştur. Toplam kurutma süresi patlıcan örnekleri için sıcaklığın 60 den 80°C 'ye çıkarılması sonucu %50 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Literatürde Doymaz (2001a), Ertekin ve Yaldız (2004), Tunç ve Mengeş (2010) patlıcan kurutmuş, Doymaz (2001a) ön işlem ve farklı kurutma hava sıcaklığı etkilerini, Yaldız (2004), Tunç ve Mengeş (2010) farklı kurutma hava sıcaklığı ve hızının patlıcanların kuruma karakteristiklerine etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda kurutma hava sıcaklığının nem içeriğine etkisi ve elde edilen kuruma eğrileri doğal konvektif koşullarada yapmış olduğumuz çalışma sonuçları ile yakın uyum içindedir.



Şekil 5.4. Patlıcanın farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi.

Kabakların farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi Şekil 5.5 'te verilmiştir. Doğal konvektif koşullarda yapılan kurutmada artan kurutma sıcaklığı boyutsuz nem oranında belirgin bir azalmaya sebep olmuş ve kuruma daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Kurutmanın ilk 110 dak 'sında kuruma efektif olarak gerçekleşmiş ve örneklerin nem içeriği büyük oranda azalmıştır. Denge nemine ulaşma süresi 60, 70 ve 80°C'de sırasıyla 450, 300 ve 200 dak iken boyutsuz nem oranının %50 azalması için gereken kurutma süresi 60, 70 ve 80 °C'de yapılan kurutmalarda sırasıyla 150, 80 ve 60 dak olmuştur. Toplam kurutma süresi kabak örnekleri için sıcaklığın 60 den 80 °C 'ye çıkarılması sonucu %45 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Akpınar (2006) ile Guine ve ark (2010) kabak kurutma çalışmışlardır. Guine ve ark (2010) deneylerde 30, 40, 50, 50, 60, 70 °C, Akpınar (2006), 60,70, 80 °C kurutma hava sıcaklığı ve 1.0, 1.5 m/s kurutma hava hızı kullanmışlardır. Kurutma havası sıcaklığı yanında kurutucu hava hızı da kurutma süresine etkili olmuş ve aynı sıcaklıkta yapılan kurutma denemelerinde hava hızı arttıkça kuruma hızı artmıştır. Çalışmamızda farklı kurutma hava sıcaklıklarında elde edilen kuruma eğrileri Guine ve ark (2010), Akpınar (2006) çalışmaları ile uyum içindedir.



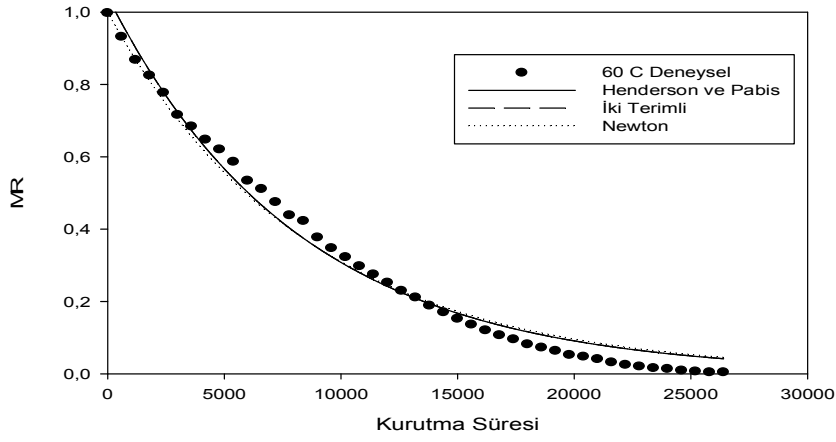
Şekil 5.5 Kabağın farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişimi

5.2. Kuruma Modellerinin Oluşturulması

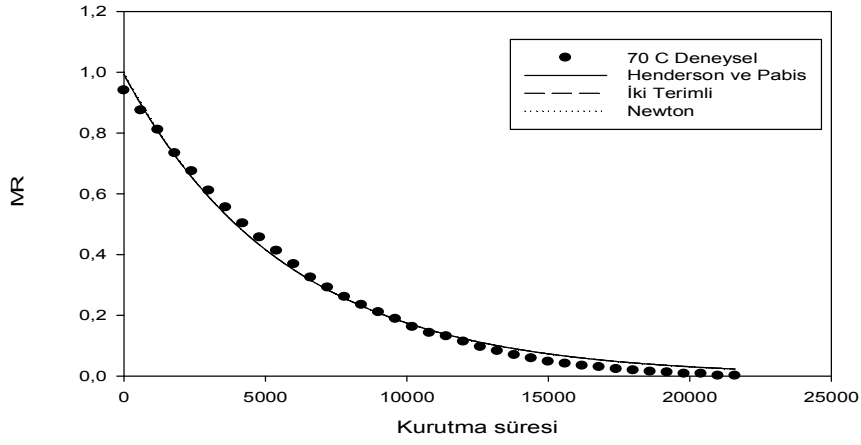
Her örnek için farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel veriler Tablo 4.1’de verilen ince tabaka kurutma modellerine uygulanarak kurutma sabitleri, kurutma katsayıları ve model uygunluğunu belirlemede önemli parametre olan regresyon katsayısı (R^2) regresyon analizi ile belirlenmiştir. Elma örneklerinin regresyon analizi sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir. Model uygunluğunun belirlenmesinde en önemli parametre olan regresyon katsayısı belirlenerek elma kurutma denemelerinden elde edilen deneysel sonuçların açıklanmasında kullanılmıştır. Regresyon analizi sonuçlarına göre her üç kurutma modelinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verileri açıklamada uygun olduğu elde edilen R^2 değerinin 0,98 den büyük olması ile belirlenmiştir. Kurutma katsayısı değerleri ise sıcaklığa bağlı olarak değiştiğinden sıcaklık artışı ile kurutma katsayısının arttığı tespit edilmiştir. Elmanın farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması Şekil 5.6’da verilmiştir. Deneysel elde edilen kuruma eğrisinin Newton, İki Terimli, Henderson ve Pabis kurutma modelleri ile örtüştüğü belirlenmiştir.

Tablo 5.1 Elma örneklerinin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları

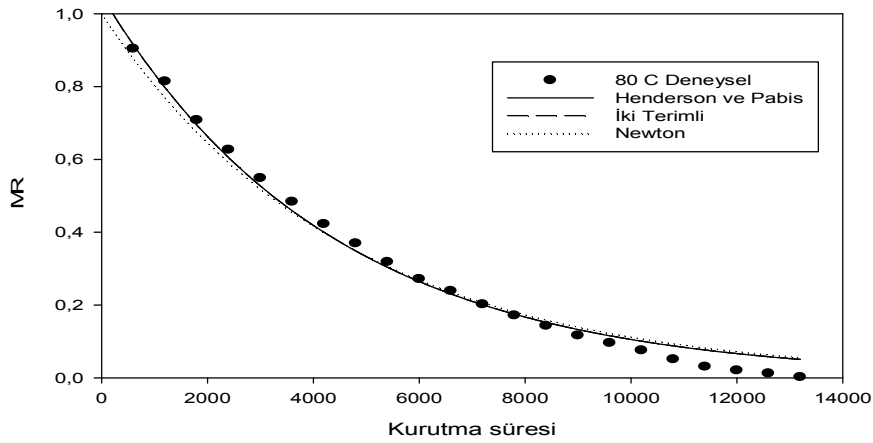
	Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Newton		İki Terimli		Henderson ve Pabis	
		Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı
Elma	60 °C	k=0.0001	$R^2=0.9853$	a=0.5417 k ₀ =0.0001 b=0.5017 k ₁ =0.0001	$R^2=0.9874$	a=1.0435 k=0.0001	$R^2=0.9874$
	70 °C	k= 0.0002	$R^2=1.0000$	a= 0.5161 k ₀ =0.0002 b=0.4770 k ₁ =0.0002	$R^2=0.9944$	a=0.9931 k=0.0002	$R^2=0.9944$
	80 °C	k= 0.0002	$R^2= 0,9887$	a=0.5157 k ₀ =0.0002 b=0.5346 k ₁ =0.0002	$R^2=1.0000$	a=1.0503 k=0.0002	$R^2=0.9917$



(a)



(b)



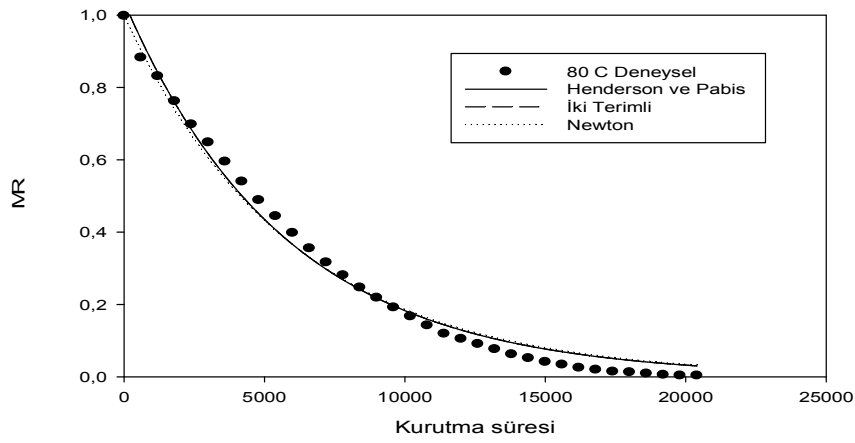
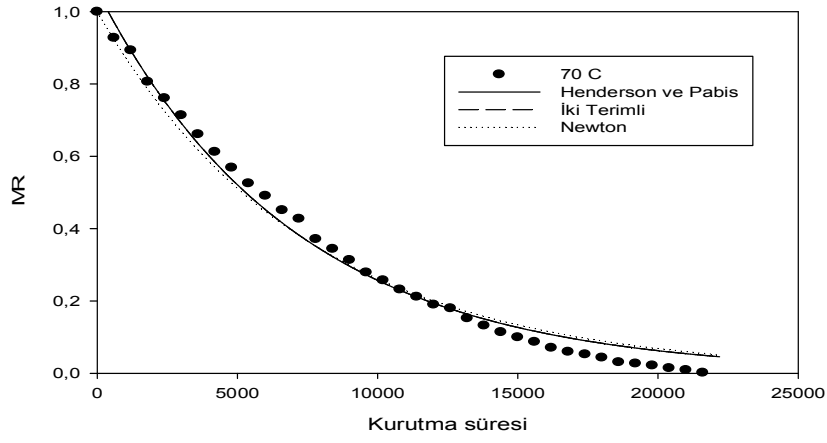
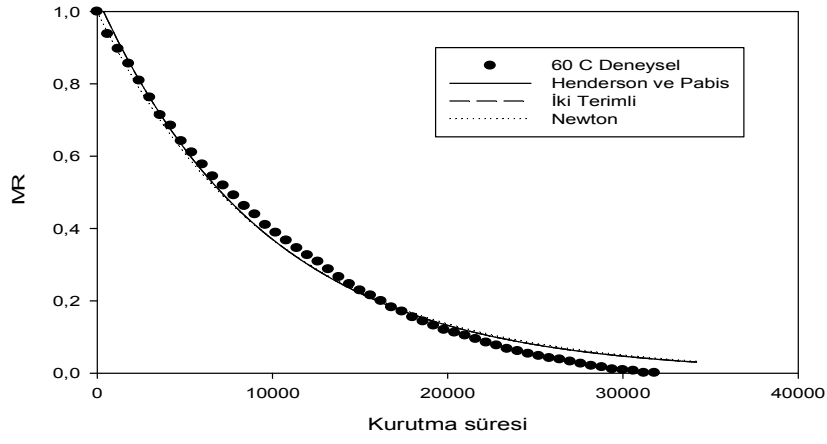
(c)

Şekil 5.6 Elmanın farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması.

Armut örneklerinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verilerine en uygun modelin belirlenmesi için yapılan regresyon analiz sonuçları Tablo 5.2’ de verilmiştir. Her üç kurutma modelinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verileri açıklamada uygun olduğu R^2 değerinin 0,98 den büyük olması ile belirlenmiştir. Kurutma katsayısı sıcaklık artışı ile artmıştır. Armut örneklerinin farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması Şekil 5.7’ de verilmiştir. Deneysel elde edilen kuruma eğrisinin Newton, İki Terimli, Henderson ve Pabis kurutma modelleri ile uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.2 Armut örneklerinin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları

	Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Newton		İki Terimli		Henderson ve Pabis	
		Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı
Armut	60 °C	k=9.9446 E-005	$R^2=0.9905$	a=0.5348 k ₀ =0.0001 b=0.5035 k ₁ =0.0001	$R^2=0.9920$	a=1.0383 k=0.0001	$R^2=0.9920$
	70 °C	k= 0.0001	$R^2=0,9848$	a= 0.5198 k ₀ =0.0001 b=0.5372 k ₁ =0.0001	$R^2=0.9944$	a=1.0570 k=0.0001	$R^2=0.9884$
	80 °C	k= 0.0002	$R^2 = 0,9884$	a=0.5355 k ₀ =0.0002 b=0.5012 k ₁ =0.0002	$R^2=0.9898$	a=1.0367 k=0.0002	$R^2=0.9898$

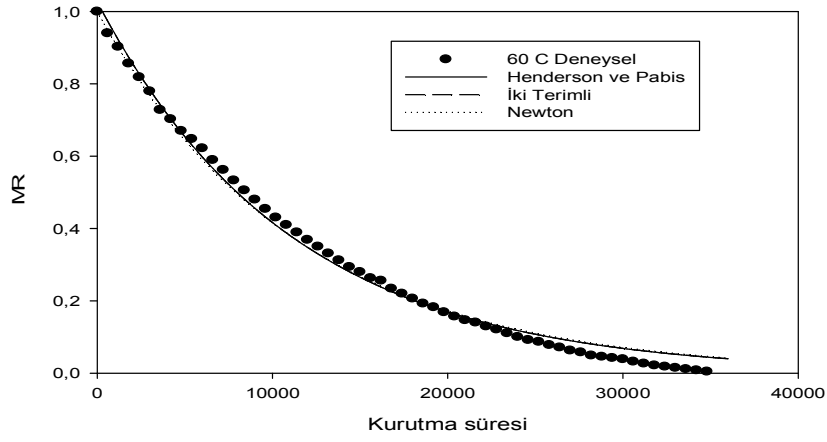


Şekil 5.7. Armut farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması

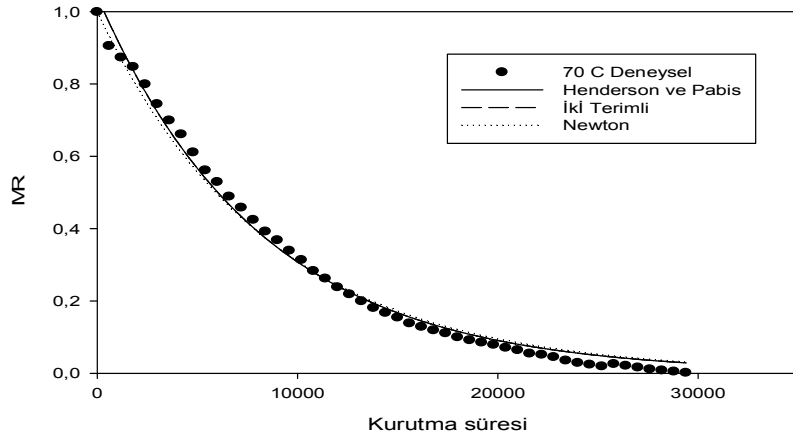
Havuç örneklerinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verilerine en uygun modelin belirlenmesi için yapılan regresyon analiz sonuçları Tablo 5.3’ de verilmiştir. Her üç kurutma modelinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verileri açıklamada uygun olduğu ($R^2 > 0,98$) belirlenmiştir. Kurutma sıcaklık artışı ile kurutma katsayısının arttığı tespit edilmiştir. Havuç örneklerinin farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması Şekil 5.8’ da verilmiştir. Deneysel elde edilen kuruma eğrisinin kurutma modellerinden elde edilen eğrilere yakın olduğu birbiri ile örtüştüğü gözlenmiştir. Deneysel elde edilen kuruma eğrisinin Newton, İki Terimli, Henderson ve Pabis kurutma modelleri ile uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.3 Havuç örneklerinin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları

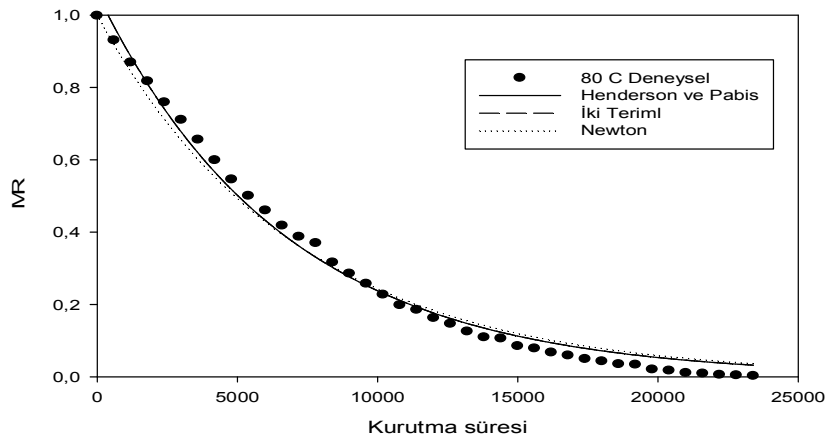
	Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Newton		İki Terimli		Henderson ve Pabis	
		Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı
Havuç	60°C	k=8.7879 E-005	$R^2=0.9921$	a=0.5255 k ₀ =9.0265 E-005 b=0.5021 k ₁ =9.0266 E-005	$R^2=0.9930$	a=1.0227 k=9.0266 E-005	$R^2=0.9930$
	70°C	k= 0.0001	$R^2=0.9918$	a= 0.5387 k ₀ =0.0001 b=0.5042 k ₁ =0.0001	$R^2=0.9936$	a=1,0430 k=0.0001	$R^2=0.9936$
	80°C	k= 0.0001	$R^2= 0,9875$	a=0.5234 k ₀ =0.0001 b=0.5366 k ₁ =0.0001	$R^2=1.0000$	a=1.0600 k=0.0001	$R^2=0.9912$



(a)



(b)



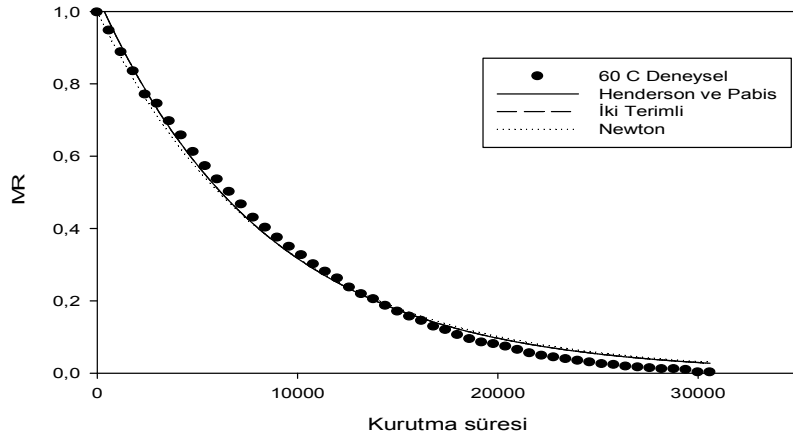
(c)

Şekil 5.8 Havuç örneklerinin farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması

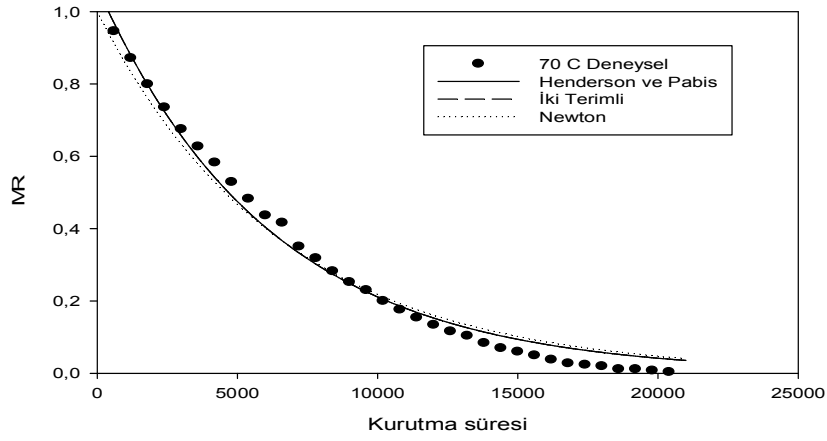
Kabak örneklerinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verilerine en uygun modelin belirlenmesi için yapılan regresyon analiz sonuçları Tablo 5.4’ te verilmiştir. Her üç kurutma modelinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verileri açıklamada uygun olduğu R^2 değerinin 0,97 den büyük olması ile belirlenmiştir. Kabak örneklerinin farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması Şekil 5.9’ da verilmiştir. Deneysel elde edilen kuruma eğrisinin Newton, İki Terimli, Henderson ve Pabis kurutma modelleri ile uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.4 Kabak örneklerinin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları.

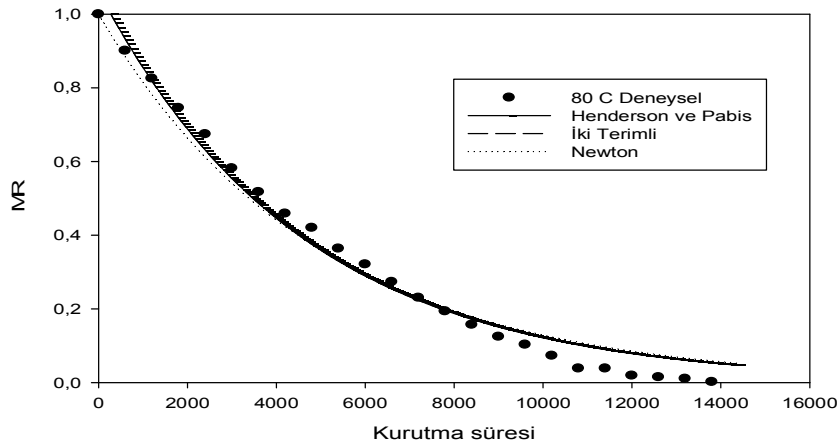
	Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Newton		İki Terimli		Henderson ve Pabis	
		Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı
Kabak	60°C	k=0.0001	$R^2=0.9929$	a=0.5158 k ₀ =0.0001 b=0.5275 k ₁ =0.0001	$R^2=1.000$	a=1.0433 k=0.0001	$R^2=0.9948$
	70°C	k= 0.0002	$R^2=0.9846$	a= 0.5592 k ₀ =0.0002 b=0.5088 k ₁ =0.0002	$R^2=0.9893$	a=1.0622 k=0.0002	$R^2=0.9833$
	80°C	k= 0.0002	$R^2= 0,9790$	a=0.5222 k ₀ =0.0002 b=0.5400 k ₁ =0.0002	$R^2=1.0000$	a=1.0622 k=0.0002	$R^2=0.9833$



(a)



(b)



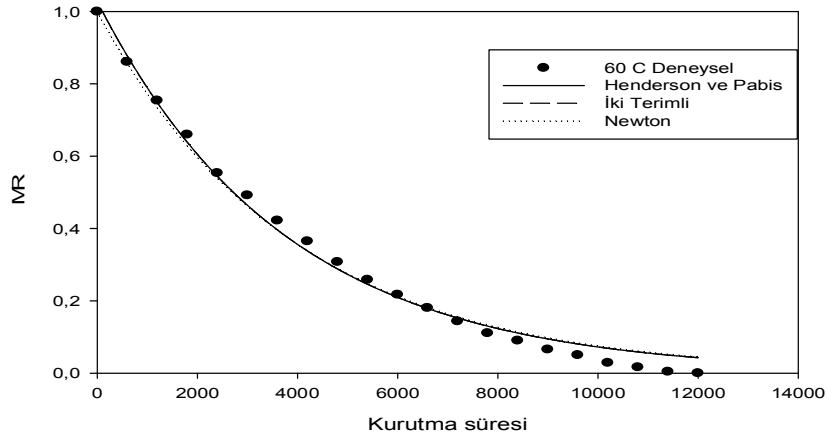
(c)

Şekil 5.9 Kabak örneklerinin farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması

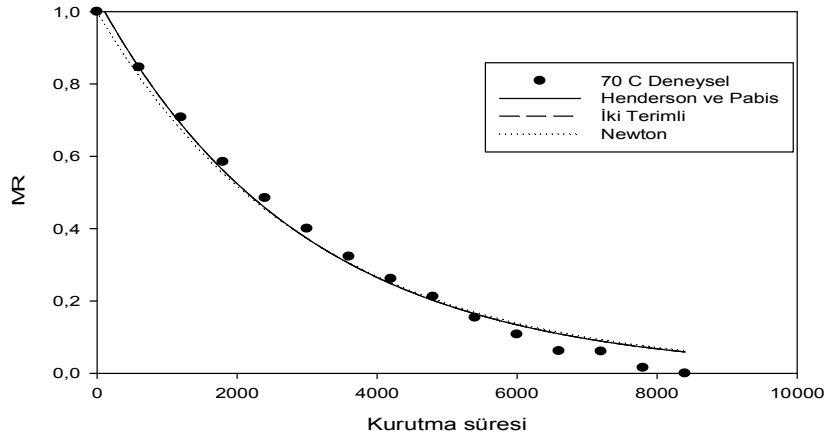
Patlıcan örneklerinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verilerine en uygun modelin belirlenmesi için yapılan regresyon analiz sonuçları Tablo 5.5’ de verilmiştir. Her üç kurutma modelinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verileri açıklamada uygun olduğu R^2 değerinin 0,98 den büyük olması ile belirlenmiştir. Patlıcan örneklerinin farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması Şekil 5.10’ da verilmiştir. Deneysel elde edilen kuruma eğrisinin Newton, İki Terimli, Henderson ve Pabis kurutma modelleri ile uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.5 Patlıcan örneklerinin farklı kurutma hava sıcaklıklarında regresyon analiz sonuçları

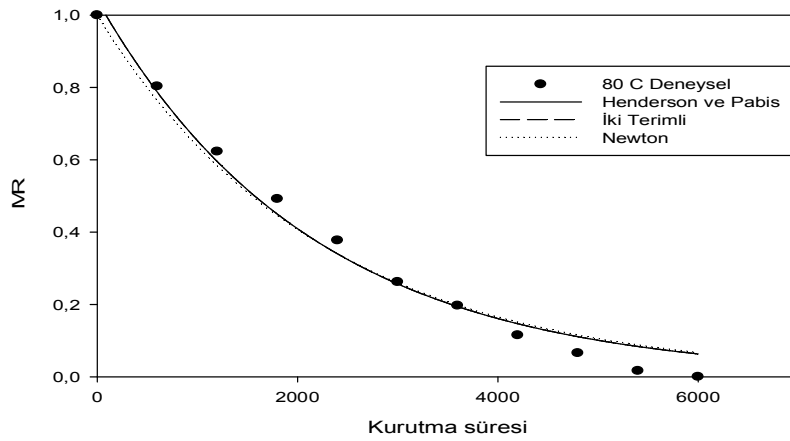
	Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Newton		İki Terimli		Henderson ve Pabis	
		Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı	Model katsayısı	Regresyon Katsayısı
Patlıcan	60°C	k=0,0003	$R^2=0.9911$	a=0.5062 k ₀ =0.0003 b=0.5526 k ₁ =0.0003	$R^2=1.000$	a=1.0289 k=0.0003	$R^2=0.9921$
	70°C	k= 0.0003	$R^2=0.9873$	a= 0.5315 k ₀ =0.0003 b=0.5064 k ₁ =0.0003	$R^2=0.9892$	a=1,0379 k=0.0003	$R^2=0.9892$
	80°C	k= 0.0004	$R^2= 0,9820$	a=0.5359 k ₀ =0.0005 b=0.5057 k ₁ =0.0005	$R^2=0.9844$	a=1.0417 k=0.0005	$R^2=0.9844$



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.10 Patlıcan örneklerin farklı sıcaklıklarda kurutulmasında boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişiminin deneysel ve model eğrilerinin kıyaslanması

6. SONUÇLAR

Kurutulan meyve ve sebzeler besinsel değeri yüksek ve ülke ekonomisi açısından önemli meyve ve sebzelerdir. Gerek yöre ve gerekse de ülke ekonomisinde ve kuru ürün ihracatında önemli olan sebze (kabak, patlıcan, havuç) ve meyvelerin (elma ve armut) konveksiyonel sistemde kurutulması sırasında kurutucu hava sıcaklığının gıdanın kuruma davranışına etkileri belirlenmeye çalışılmış, boyutsuz nem oranının zamanla değişimini açıklamak için ince tabaka kurutma modelleri kullanılmıştır.

Labaratuar tipi kurutucuda farklı sıcaklıklarda gerçekleşen konveksiyonel kurutmada tüm örnekler için kurutma havası sıcaklığı arttıkça kuruma süresi kısalmış ve boyutsuz nem oranındaki azalma oranı artmıştır. Kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak farklı kuruma davranışları gözlenmiştir. Elde edilen kuruma eğrileri (Şekil 5.1-5.5) literatürde birçok çalışma ile desteklenmiştir.

Farklı sıcaklıklarda yapılan kurutma denemelerinden elde edilen deneysel verilerin açıklanmasında ince tabaka kurutma modelleri kullanılmıştır. Deneysel veriler Tablo 4.1 'de verilen ince tabaka kurutma modellerine uygulanmış ve regresyon analizi ile kurutma sabitleri (k , k_0 , k_1), model sabitleri (a, b) ve regresyon katsayısı (R^2) belirlenmiştir. Her üç kurutma modelinin farklı sıcaklıklarda elde edilen deneysel verileri açıklamada uygun olduğu ($R^2 > 0,98$) belirlenmiştir. Deneysel verilerden elde edilen boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişim eğrisi ile kurutma modelleri kullanılarak elde edilen boyutsuz nem oranının kurutma süresine bağlı değişim eğrilerinin (Şekil 5.6-5.10) birbiriyle uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Newton, İki Terimli, Henderson ve Pabis kurutma modelleri farklı sıcaklıklarda kurutulan örneklerin kuruma davranışının açıklanmasında uygun modeller olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H. and Arabhosseini, A., 2009. Modelling of Thin Layer Of Potato Slices In Length of Continous Band Dryer. *Energy Conversation An Management*. 50, 1348-1355.
- Akpınar, E. K., Midilli, A., Biçer, Y. , 2003(a). Experimental Investigation Of Drying Behaviour And Conditions Of Pumpkin Slices Via a Cyclone-Type Dryer. *Journal Of Food the Science of Food and Agriculture*. 83, 1480-1486.
- Akpınar, E. K., Biçer, Y., Yıldız, C. , 2003(b). Thin Layer Drying Of Red Pepper. *Journal Of Food Engineering*. 59, 99-104.
- Akpınar, E., 2006. Determination Of Suitable Thin Layer Drying Curve Model For Some Vegetables And Fruits. *Journal Of Food Engineering*. 73, 75-84.
- Alibaş, İ., 2012. Sıcak Havayla Kurutulan Enginar (*Cynara cardunculus L. Var. Scolymus*) Dilimlerinin Kuruma Eğrilerinin Tanımlanmasında Yeni Bir Modelin Geliştirilmesi ve Mevcut Modellerle Kıyaslanması. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 26, sayı 1, 49.
- Arııcı R. Ç., 2006, Mantarın (*Agaricus Bisporus*) Kontrollü Sartlar Altında Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Arııcı R. Ç., Mengeş, O., 2012, Mantarın (*Agaricus Bisporus*) Kontrollü Sartlar Altında Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi Ve Kuruma Davranışının Modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi, Selçuk Tarım Ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(1): 84-91.
- Azzous, S., Guizani, A., Janaa, W., Belghith, A., 2002. Moisture Diffusivity And Drying Kinetic Equaqtion Of Convective Drying Of Grapes. *Journal Of Food Engineering*. 55, 323-330.
- Babalıs, S., Papanicolaou, E., Kyriakis, N., Belessiotis, V., 2006. Evaluation Of Thin Layer Drying Models For Describing Drying Kinetics Of Figs. *Journal Of Food Engineering*. 75, 205-214.

- Akpınar, E. K., Midilli, A. , Biçer, Y. , 2003. Behaviour And Conditions Of Pumpkin Slices via A Cyclone type Dryer. *Journal Of the Science Of Food And Agriculture*, 18, 1480-1486.
- Cemeroğlu, B., Karadeniz F. ve Özkan M., 2003. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi. *Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları*, No: 28, s541-675.
- Chawla, C., Kaur, D., Oberoi, D. P. S., Sogi, D. S., 2006. Drying Characteristics, Sorption Isotherms, And Lycopene Retention Of Tomato Pulp. *Drying Technology*, 26: 1257–1264.
- Demiray, E., 2010. Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, B-Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli. 113s.
- Diamante, L.M., Ihns, R., Savage, G.P., Vanhanen, L., 2010. A New Mathematical Model For Thin Layer Drying Of Fruits. *International Journal Of Food Science and Technology*, 45, 1956-1962.
- Dikbasan, T., 2007. Determination of Effective Parameters For Drying Of Apples. A Thesis Submitted To The Graduate School Of Engineering And Sciences Of İzmir Institute Of Technology. İzmir.
- Doymaz İ., İsmail, O., 2011. Drying Characteristics Of Sweet Cherry. *Food And Bioproducts Processing*. 89, 31-38.
- Doymaz, I., Pala, M., 2002a. Hot Air Drying Characteristics Of Red Pepper. *Journal of Food Engineering*, 55, 331-335.
- Doymaz, I., Pala, M., 2002b. The effects of Dipping Pretreatments On Air Drying Rates Of The Seedless Grapes. *Journal Of Food Engineering*. 52, 413-417.
- Doymaz, İ., 2007. Air Drying Characteristics Of Tomatoes. *Journal Of Food Engineering*. 78, 1291-1297.

- Doymaz, İ., 2004b. Drying Behaviour Of Gren Beans. *Journal Of Food Engineering*. 69,161-165.
- Doymaz, İ., 2004a. Drying Kinetics Of White Mulberry. *Journal Of Food Engineering*. 341 - 346.
- Doymaz, İ., 2006a. Drying Kinetics Of Black Grapes Treated With Different Solutions. *Journal Of Food Engineering*. 76, 212-217.
- Doymaz, İ., 2006b. Thin Layer Drying Behaviour of Mint Leaves. *Journal Of Food Engineering*. 74, 370-375
- Doymaz, İ., 2008. Drying of Leek Slices. Using Heated Air. *Journal Of Food Process Engineering*. 31, 721-737.
- Doymaz, İ., 2009. Thin Layer Drying Of Spinach Leaves In A Convective Dryer. *Journal Of Food Engineering*. 32, 112-125.
- Doymaz, İ., 2011(a). Drying Of Eggplant Slices In Thin Layers At Different Air Temperatures. *Journal Of Food Processing And Preservation*. 35, 280-289.
- Doymaz, İ., 2011(b). Thin Layer Drying Characteristics Of Sweet Potato Slices And Mathematical Modelling. *Heat And Mass Transfer*. 47, 277-285.
- Doymaz, İ., 2011(c). Drying of Thyme (*Thymus Vulgaris L.*) And Selection Of A Suitable Thin Layer Drying Model. *Journal Of Food Processing And Preservation*. 35,458-465.
- Doymaz, İ., Tuğrul, N., Pala, M.,2000. Maydanozun Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. *Journal Of Food Engineering*. 559 -565.
- Erbay, Z., İçier, E., 2010. The Thin Layer Drying Behaviors Of Olive Leaves (*Olea Europaea L.*) *Journal of Food Process Engineering* 33, 287–308.
- Erentürk, S., Gulaboglu, M.S., Gültekin, S., 2004. The Thin Layer Drying Characteristics Of Rosehip. *Biosystems Engineering*. 89(2), 159-166.

- Ertekin, C., Yaldız, O., 2004. Drying Of Eggplant And Selection Of A Suitable Thin Layer Drying Model. *Journal Of Food Engineering*. 63, 349-359.
- Evin, D., 2012. Thin Layer Drying Kinetics Of *Gundelia tournefortii* L. *Food And Bioproduct Processing*. 90, 323-332.
- Goyal, R. K., Kingsly, A. R. P. , Manikantan, M. R. , İlyas, S. M., 2007. Mathematical Modelling Of Thin Layer Drying Kinetics Of Plum In A Tunnel Dryer. 79, 176-180.
- Goyal, R. K., Kingsly, A. R. P. , Manikantan, M. R. , İlyas, S. M., 2006. Thin -layer Drying Kinetics Of Raw Mango Slices. *Biosystems Engineering*. 95(1), 43-49.
- Guine, R.P.F., Pinho, S., Baroca, M.J., 2010. Study Of The Convective Drying Of Pumpkin. *Food And Bioproducts Processing*. 185,7.
- Hacıhafizoğlu, O., Cihan, A., Kahveci, K., 2008. Mathematical Modelling Of Drying Of Thin Layer Rough. *Food And Bioproduct Processing*. 86, 268-275.
- Hii, C.L., Law, C.L., Cloke, M., 2009. Modelling Using A New Thin Layer Drying Model and Product Quality Of Cocoa. *Journal Of Food Engineering*, 90,191-198.
- Karathanos, V.T. 1999. Determination Of Water Content Of Dried Fruits by Drying Kinetics. *Journal Of Food Engineering*. 39, 337-344.
- Karim,, M.A., Hawlader, M.N.A., 2005 Mathematical Modeling And Experimental investigation Of tropical fruits drying, *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 48, 4914-4925.
- Kaya, A., 2008. Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. 170s.
- Kaya, A., Aydın, O., 2007. Drying Kinetics of Red Delicious Apple. *Biosystems Engineering*. 96(4), 517-524.

- Kaya, A., Orhan, A., 2008. Kurutma Havası Sıcaklığının Kızılığın Kuruma Süresi ve Sorpsiyon Eğrisine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28, 45-49.
- Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D., 2003. Drying Kinetics Of Some Vegetables. *Journal Of Food Engineering*, 59: 391-403.
- Kumar, P.S., Kanwat, M., Choudhary, V.K. 2012. Mathematical Modelling And Thin Layer Drying Kinetics Of Bamboo Slices On Convective Tray Drying At Varying Temperature. *Journal Of Food Processing And Preservation*. 37, 914-923.
- Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Jaouhari, J.T., 2004. Drying Kinetics Of Prickly Pear Fruit (*Opuntia Ficus Indica*). *Journal Of Food Engineering*. 61, 173-179.
- Lee, H.J., Kim, J.H., 2008. Drying Kinetics Of Onion Slices In A Hot –Air Dryer. *Journal Of Food Science And Nutrition*. 13,225-230.
- Markowski M., Zielinska M., 2011. Kinetics of Water Alosorption And Soluble Solid Loss Of Hot Air Dried Carrots During Rehydration. *International Journal Of Food Science and Technology*. 46, 1122- 1128.
- Mengeş, H. O., Ertekin, C., 2006. Modelling Of Air Drying Of Hacıhaliloğlu Type Apricots. *Journal Of the Science Of Food and Agriculture*. 86, 279 291.
- Midilli, A., Küçük, H., Yapar, Z., 2002. Single. Layer Drying. *Drying Technology*. 20 (7), 1503-1515.
- Özdemir, O., Devres, Y.O.,1999. The Thin Layer Drying Characteristics of Hazelnuts During Roasting. *Journal Of Food Engineering*, 42, 225-233.
- Sacilik, K., 2007. The Thin Layer Modelling of Tomato Drying Process. *Agriculture Conspectus Scientificus*. 72, 343 349.
- Sarsavadia, P.N., Sawhmey, R.L., Pangavhanc, D.R., Singh, S.P., 1999. Drying Behaviour Of Brined Onion Slices. *Journal Of Food Engineering*. 40,219-226.

- Silva, W. P., Silva, C., Gama, F., Games, J. P., 2013. Mathematical Models To Describe Thin Layer Drying And To Determine Drying Rate of Whole Bananas. Society of Agricultural Sciences. In Press.
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M.C., Rossella, C., 2005. Use of Exponential Page's And Diffusional Models To Simulate The Drying Kinetics Of Kiwi Fruit. Journal Of Food Engineering. 66, 323-328.
- Singh, N. J., Pandey, R.K., 2012. Convective Air Drying Characteristics Of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.). Food And Bioproducts Processing. 90, 317-322.
- Soysal, Y., 2004. Microwave Drying Characteristics Of Parsley. Biosystems Engineering. 89, 167-173.
- Toğrul, İ., Pelivan, D., 2003. Modelling of Drying Kinetics Of Single Apricot. Journal Of Food Engineering. 58, 23-32.
- Toğrul, İ., Pelivan, D., 2004. Modelling Of Thin Layer Drying Kinetics Of Some Fruits Under Open-Air Sun Drying Process. Journal Of Food Engineering. 65, 413-425.
- Tunç M., Mengeş, H. O., 2010. Patlıcan Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi. 24(1) : 1-9. ISSN:1309-0550.
- Tunde-Akintunde, Y. Ajala, A., 2010. Air Drying Characteristics Of Chilli Pepper. International Journal of Food Engineering. 58: 2, 13-32.
- Anonim, 2013. TÜİK, Bitkisel Üretim Tahmini. <http://www.tuik.gov.tr/>
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., Hu, X., 2007. Mathematical Modelling On Hot Air Drying Of Thin Layer Apple Pomace. Food Research International. 40, 39-46
- Yaldız, O., Ertekin C. 2001. Thin Layer Solar Drying Of Some Vegetables. Drying Technology. 19: 583-597.

Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A.S., Wang, S., 2006. Trends In Microwave Related Drying Of Fruit And Vegetables. Trends in Food Science & Technology. 17, 524-534.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, soyadı : Eda Elgin KILIÇ
e-posta : edaelgin@hotmail.com.

EĞİTİMİ

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Mersin Üniversitesi/ Gıda Mühendisliği	2003
Lise	Gaziantep Anadolu Lisesi	1998

iŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2004-2009	Süperfilm Ambalaj San.ve Tic. A.Ş Gaziantep	Ar_Ge Mühendisi
2009-.....	Gaziantep Üniversitesi Nizip Meslek Yüksek Okulu	Öğr. Görevlisi

YABANCI DİL

UDS : 50

YAYINLAR

1. **Kılıç, E.E.**, Ayana, B., ve Turhan, K.N.,“Kaplamanın Polipropilen Filmlerin Özellikleri Üzerine Etkisi”, Plastik ve Ambalaj Teknolojisi Dergisi, **113**: 58-64, (2006).

SUNUMLAR

1. **Kılıç, E.E.**, Ayana, B., ve Turhan, KN., “Kaplamanın Polipropilen Filmlerin Özellikleri Üzerine Etkisi”, 8-11 Aralık, IV. Uluslararası Ambalaj ve Sergisi 2005, İzmir (*Poster sunumu*).
2. **Kılıç, E.E.** ve Turhan, KN., “Antimikrobiyal Filmler ve Özellikleri, Mayıs, Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 2005, Mersin (*Sözlü Sunum*).

3. **Kılıç, E.E.**, ve Turhan, KN., “Biyo-bozulma özelliğine sahip ambalaj materyalleri (polimerler) ve bunların kullanım alanları ve günümüzdeki önemi”, 29 Aralık, Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü, 2004, Mersin (*Sözlü Sunum*).
4. **Kılıç, E.E.**, “Yenilebilir Film ve Kaplamalar”, 17-18 Nisan, Mersin Üniversitesi, 2004, Mersin (*Sözlü Sunum*).
5. **Kılıç,E.E.**, Çınar,İnci, ‘‘ Meyve İşlemede Ozmotik Dehidrasyon Ve Uygulamaları’’ 8-11 Ekim, Akdeniz Üniversitesi, 2008, Antalya (Poster Sunumu)