**T.C.**
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# KONTROLLÜ ŞARTLAR ALTINDA KURUTULAN BAMYANIN KURUTMA KARAKTERİSTİĞİNİN VE RENK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

**Osman AKYÜZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

**Konya, 2010**

# ÖZ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

## KONTROLLÜ ŞARTLAR ALTINDA KURUTULAN BAMYANIN KURUMA KARAKTERİSTİĞİ VE RENK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

**Osman AKYÜZ**
**Selçuk Üniversitesi**
**Fen Bilimleri Enstitüsü**
**Tarım Makinaları Anabilim Dalı**

**Danışman:** Doç. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI
2010, **Sayfa:**56

**Jüri:** Doç. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI
Doç: Dr. Hakan Okyay MENGEŞ
Yrd. Doç Dr. Selçuk DARICI

Bu çalışmada, bamyanın farklı hava sıcaklığı ve hava hızlarında gösterecekleri kurutma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 40 $^{o}$C, 50 $^{o}$C, 60 $^{o}$C ve 70 $^{o}$C, hava hızları ise 1.0 m/s ve 2.0 m/s olarak alınmıştır. Denemeler sonucunda, hava sıcaklığının ve hava hızının bamyanın kuruma hızı üzerine olan etkileri belirlenmiştir. Elde edilen verilere istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca örneklerin renk ölçümleri yapılmıştır.

Kurutmada kullanılan hava sıcaklığının ve hava hızının artışı bamya örneklerinin tümünde kuruma hızı ve kuruma sabiti değerini artırmış, L, a ve b değerlerini ise azaltmıştır. Bamyanın kurutulmasında Newton modeli ile yapılan tahminin standart hatası (RMSE) 0.011318 ile 0.025491 arasında, uyumun iyilik derecesini gösteren $\chi^2$ değeri 0.000131 ile 0.000109 arasında ve modelleme yeterliliğini gösteren EF değeri ise 0.998841 ile 0.989590 arasında, Page modeli ile yapılan tahminin standart hatası (RMSE) 0.002414 ile 0.012642 arasında, uyumun iyilik derecesini gösteren

$\chi^2$ değeri 0.000005 ile 0.000183 arasında ve modelleme yeterliliğini gösteren EF değeri ise 0.998127 ile 0.999929 arasında bir değişim göstermiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Bamya, hava sıcaklığı, hava hızı, kuruma hızı, kuruma sabiti, renk özellikleri

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**THE DETERMINATION OF DRYING CHARACTRERISTICS AND COLOR VALUES AT CONDITIONES DIFFERENT DRYING OF OKRA**

**Osman AKYÜZ**

**Selçuk Universty**

**Graduate School of Naturel and Applied Sciences**

**Department of Agricultural Machinery**

**Supervisor:** Assist. Prof. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI

2010, **Pages**: 56

**Jury:** Assoc. Prof. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI

Assoc. Prof. Dr Hakan Okyay MENGEŞ

Assist. Prof. Dr. Selçuk DARICI

In this study, the drying characteristics of okra at the different air temperatures and air velocity were determined. In the trials, air temperatures were 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C and air velocities were 1.0 $m.s^{-1}$, 2.0 $m.s^{-1}$. According to the results, the effects of air temperature and air velocity on okra drying velocity were determined. The data obtained from trials were evaluated statistically. In addition to these, colors of the samples were measured.

It has been observed that drying velocity and drying coefficient have increased, L, a and b values have decreased by increasing air temperature and air velocity. According to Newton Model, Root mean square error (RMSE) changed between 0.011318 and 0.025491, khi square ( $\chi^2$ ) changed between 0.000131 and 0.000109, the modeling efficiency (EF) changed between 0.998841 and 0.989590. According to Page Model, these values changed between 0.002414 and 0.012642, between 0.000005 and 0.000183, between and 0.998127 and 0.999929 respectively.

**ANAHTAR KELİMELER:** Okra, air temperature, air velocity, drying velocity, drying coefficient, color values

**TESEKKÜR**

Bu araştırmanın yüksek lisans tezi olarak planlanması ve yürütülmesinde destek ve yardımlarını esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI'na, denemelerin yürütülmesi ve sonuçların değerlendirilmesi aşamasındaki tüm yardımları için Sayın Hocam Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ'e teşekkür ederim.

Ayrıca destekleri için Konya İl kontrol Laboratuar Müdürü Dr. M. Kürşat IŞIK'a, Ziraat Yüksek Mühendisi Murat HARMANKAYA'ya ve Ziraat Yüksek Mühendisi Hüseyin BÜLBÜL'e sonsuz teşekkürler.

**Konya, 2010** **Osman AKYÜZ**

# ÇİZELGE LİSTESİ

**Çizelge No** **Sayfa No**

1.1. Türkiye'de Yıllar İtibariyle Sebze Üretim Değerleri..... 3
4.1. Tek Hız Kademesinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri ..... . 32
4.2. Denemelerin Gerçekleştiği Kurutma Havası Koşulları ..... . 35
4.2. Kuruma Eğrilerini Açıklamak İçin Kullanılan Modeller..... . 35
5.1. Farklı Çalışma Koşullarında Newton Modelinde Yer Alan Katsayı ve İstatistiksel Veriler..... . 44
5.2. Farklı Çalışma Koşullarında Page Modelinde Yer Alan Katsayı ve İstatistiksel Veriler..... . 44
5.3. Taze Bamyadan ile 1m/s ve 2 m/s Kurutma Hızlarından Elde Edilen L, a ve b Değerleri……47

## EK ÇİZELGE LİSTESİ

**Ek Çizelge No** **Sayfa No**

1. Bamya örneklerinde $40^0$ Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri……..... .. .....57
2. Bamya örneklerinde $50^0$ Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri..... .. .....58
3. Bamya örneklerinde $60^0$ Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri..... .. .....59
4. Bamya örneklerinde $70^0$ Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri..... .. .....59
5. Bamya örneklerinde $40^0$ Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri……..... .. .....60
6. Bamya örneklerinde $40^0$ Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri……..…..……..... .. .....61
7. Bamya örneklerinde $40^0$ Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri……..... .. .....61
8. Bamya örneklerinde $40^0$ Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri……..…..…..... .. .....62
9. Bamya Örneklerinde 40°C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri ……..……..…...…..... .. .....63
10. Bamya Örneklerinde 50°C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri ……..……...……..…..... .. .....64
11. Bamya Örneklerinde 60°C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri ……..……...……..…..... .. .....65
12. Bamya Örneklerinde 70°C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri ……..……...……..…..... .. .....66
13. Bamya Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama % Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler İçin Varyans Analiz Sonuçları…….....66
14. Bamya Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değeriyle Kurutma Sıcaklıklarına Yapılan LSD Testi Sonuçları …….....67

15. Bamya Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değeriyle Kurutma Zamanlarına Yapılan LSD Testi Sonuçları ..…….....67
16. Bamya Örneklerinde % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan LSD Testi Sonuçları.…….....67
17. Bamya Örneklerinde % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan LSD Testi Sonuçları.…….....68
18. Bamya Örneklerinde % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan LSD Testi Sonuçları.…….....69
19. Kurutulan Bamya Örneklerine Ait Parlaklık Değerlerine (L) Yapılan Varyans Analiz Sonuçları.……...…….....70
20. Kurutulan Bamya Örneklerinin Parlaklık Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan LSD Testi Sonuçları …….....70
21. Kurutulan Bamya Örneklerine Ait (a) Değerlerine Yapılan Varyans Analiz Sonuçları……...…….....70
22. Kurutulan Bamya Örneklerinin (a) Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan LSD Testi Sonuçları.……...…….....70
23 Kurutulan Bamya Örneklerine Ait (b) Değerlerine Yapılan Varyans Analiz Sonuçları……...…….....70
24. Kurutulan Bamya Örneklerinin (a) Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan LSD Testi Sonuçları.……...…….....71

## ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil No** **Sayfa No**

2.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statiği açısından anlamı ..... .....5
2.2. Tarım Ürünlerinin Kinetik Kuruma Eğrileri..... .....6
3.1. Hava sıcaklığının ve bağıl nemin çeltiğin kurutma süresine etkisi..... .....11
3.2. Çeşitli faktörlerin sarımsak kurutmaya etkileri..... .....15
3.3.Çeşitli faktörlerin soğanın kuruma karakteristiklerine etkileri ..... ….....18
3.4. Siklon Tipi Kurutucunun Şematik Gösterimi ..... .....21
4.1. Sıcaklık ve hava hızı ölçü cihazı..... .....27
4.2. Deneme düzeninin şematik görünüşü ..... .....29
4.3. Deneme düzeninin genel görünüşü ..... .....29
4.4. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçüm noktaları ..... .....31
4.4 CIE Lab renk uzayı……..... .....38
5.1. 1.0 m/s hava hızında kurutulan bamya örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi..... .....40
5.2. 2.0 m/s hava hızında kurutulan bamya örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi..... .....40
5.3. $40^0$ C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan bamya örneklerinin gösterdikleri % nem değişimi……... ..... .....43
5.4. $50^0$ C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan bamya örneklerinin gösterdikleri % nem değişimi……... ..... .....43
5.5. $60^0$ C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan bamya örneklerinin gösterdikleri % nem değişimi……... ..... .....43
5.6. $70^0$ C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan bamya örneklerinin gösterdikleri % nem değişimi……... ..... .....43
5.7. Farklı kurutma şartlarında kurutulan bamyaların deneysel ve Page modeline göre tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin değişimi……...47

# İÇİNDEKİLER

ÖZET..... ..i
ABSTRACT..... ii
TEŞEKKÜR..... iv
ÇİZELGE LİSTESİ..... v
EK ÇİZELGE LİSTESİ .....vi
ŞEKİL LİSTESİ..... viii
İÇİNDEKİLER .....ix
1. GİRİŞ ..... 1
2. KURUMA MEKANİZMASI ..... 4
2.1. Kurumanın Statiği ve Kinetiği ..... .4
2.1.1. Kurumanın statiği..... .4
2.1.2. Kurumanın kinetiği ..... .6
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI ..... .10
4. MATERYAL VE METOT ..... 25
4.1. Materyal ..... 25
4.1.1. Araştırmada kullanılan ürün..... 25
4.1.2. Araştırmada kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları……..…...…25
4.1.3. Deneme düzeni……...…...27
4.2. Metod ..... ……29
4.2.1. Deneme düzenin çalışması ..... 29
4.2.2. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçümü ..... 30
4.2.3. Hava sıcaklığının, hava hızının ve bağıl nemin ölçülmesi ..... 30
4.2.4. Ürün neminin belirlenmesi..... 32
4.2.5. Deneme materyali ürünlerin kuruma değişkenlerinin belirlenmesi…….33
4.2.5.1. Kuruma hızının belirlenmesi..... 33
4.2.5.2. Ürüne ait kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde dikkate alınan parametreler..... 34

4.2.5.3. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellemesi ……..... 34

4.2.6. Renk ölçümleri…….……36

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA ..... 38

5.1. Kurutmada Kullanılan Hava Sıcaklığının Bamyanın Kuruması Üzerine Etkisi……..... 38

5.2. Kurutmada Kullanılan Hava Hızının Bamyanın Kuruması Üzerine Etkisi…….41

5.3. Farklı Koşullarda Kurutulan Deneme Materyali Ürünlere Ait Kuruma Sabiti Değerleri..... 43

5.4. Renk Analiz Sonuçları..... 47

6. KAYNAKLAR ..... 50

EK ÇİZELGELER

# 1. GİRİŞ

Bir tarım ülkesi olan Türkiye, gerek ekolojik şartları ve gerekse coğrafi konumu nedeniyle önemli bir sebze ve meyve üretim potansiyeline sahiptir. Yüksek oranda nem içeriğine sahip bu taze sebze ve meyvelerin kalitelerinin uzun süre korunması ve bozulmalarının önlenmesi için yaygın olarak hem kurutma hem de soğukta depolama yöntemleri kullanılmaktadır (Pala 1987).

Doğal kurutma yöntemiyle kurutulan sebze ve meyveler oldukça çeşitlidir. Türkiye'de her cins üzüm, incir, erik, kayısı, zerdali, dut, vişne, kiraz, elma, armut, sert kabuklu meyvelerden ceviz, badem, fındık, sebzelerden bamya, patlıcan, biber, fasulye, kabak, hemen her çeşit tat ve koku veren maydanoz, dereotu, nane, kekik, defne, ıhlamur gibi bitkiler ve tüm tahıllar, baklagiller, pirinç ve mısır güneşte kurutularak saklanmaktadır (Doymaz 1998).

Kurutma ilk çağlardan beri kullanılan en eski ürün işleme yöntemlerinden birisidir. Doğal (gölgede ve güneş altında) ve sıcak havalı kurutucular ile kurutma düşük işletme maliyeti nedeniyle günümüzde en yaygın 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).

Ülkemizde kurutma işlemi genellikle, açık hava şartlarında ve sıcak havayla kurutma yapılmakla birlikte, diğer enerji kaynaklarıyla yapılan kurutma yöntemleri olan vakumla kurutma, kızıl ötesi kurutma, osmotik kurutma, püskürtmeli kurutma, dielektrik kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleriyle de kurutma yapılmaktadır.

Yapay kurutmada, güneşte kurutmanın birçok olumsuz yönleri ortadan kaldırılmış olmaktadır. Bu yöntem ile kurutmada sağlanabilecek bazı avantajları şöyle sıralayabiliriz:

— Kurutma süresi büyük oranda kısalmaktadır. Doğal koşullarda 1–2 hafta süren kurutma işlemi yapay kurutuculardа 20-24 saate inebilmektedir,

— Daha temiz ve kaliteli ürün alınabilmektedir,

— Yapay kurutma ile vitamin kayıpları en aza inmektedir (Winkler 1962).

Yapay kurutma yönteminin bu üstünlüklerine karşın kuruluş ve işletme masraflarının yüksek olması kullanım alanını büyük ölçüde sınırlandırmaktadır (Ergüneş 1990).

Uygun bir kurutma açısından kurutuculardа, kurutmaya etkili faktörlerin ürünün özelliğine bağlı olarak kontrol altına alınabilmesi önemlidir. Bu faktörler arasında materyalin şekli, boyutları, kurutulacak materyalin kurutma ortamındaki konumu, fiziksel ve kimyasal yapısı gibi etmenler kuruma üzerine etkili olmaktadır. Ancak bugüne kadar yapılan araştırmalar, bu faktörlerin kuruma sırasında önemli sayılabilecek bir değişim göstermediği ve hava şartlarına oranla ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu göstermiştir.

Bir materyalin kuruması üzerine etki eden en önemli dış faktör kurutmada kullanılan hava şartlarıdır. Bu nedenle hava şartları olarak sıralayabileceğimiz havanın sıcaklığı, nemi ve hava hızının farklı değerleri için materyalin göstereceği değişimi incelemek bize o materyalin kuruma karakteristikleri hakkında yeterli bilgi verebilmektedir (Ergüneş 1990).

Türkiye'de ortalama olarak 37 bin ton üretim miktarı bulunan bamya Ege, İç Anadolu, Marmara, Akdeniz ve Karadeniz Bölgelerinde yoğun bir şekilde yetiştirilmektedir. Genellikle temmuz ve ağustos aylarında taze olarak toplanır. Ülkemize özgü çeşitleri bulunan bamya, sıcak ve zeytinyağlı yemeği yapılabildiği gibi salatalara ve çorbalara aroma verici olarak da katılmaktadır (Göğüs ve Maskan 1999). Ayrıca kurutularak, dondurularak ve konserve yapılarak da tüketilmektedir.

Ebegümecigillerden olan bamyanın anavatanının Asya ve Hindistan olduğu düşünülmektedir. Familyasında pek çok alt türü olmasına rağmen Türkiye'de tüketilen alt türü *"Hibiscus Esculentus L."* olarak isimlendirilir. İyi bir

protein, demir, fosfor, bakır, kalsiyum, magnezyum, potasyum, Vitamin A, C ve K yönünden zengindir.

Türkiye, sebze üretim potansiyeli ve ülke çapındaki yaygınlığı bakımından zengin ve kendisine yeterli bir seviyededir. Çizelge 1.1'de Türkiye'de üretimi yapılan bazı sebze türlerinin yıllara göre üretim değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye'de Yıllar İtibariyle Sebze Üretim Değerleri (ton) (Anonymous 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 ve 2008)

| **Ürün** | **2003** | **2004** | **2005** | **2006** | **2007** | **2008** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lahana | 629 000 | 700 000 | 675 000 | 686 199 | 646 284 | 673 152 |
| Ispanak | 220 000 | 213 000 | 238 000 | 242 231 | 235 731 | 225 746 |
| Pırasa | 305 000 | 295 000 | 326 000 | 320 091 | 256 397 | 252 286 |
| Kabak | 295 000 | 292 000 | 294 000 | 288 336 | 267 142 | 279 451 |
| Patlıcan | 935 000 | 900 000 | 930 000 | 924 165 | 863 737 | 813 686 |
| **Bamya** | **35 500** | **43 000** | **36 000** | **36 843** | **36 992** | **37 543** |
| Domates | 9 820 000 | 9 440 000 | 10 050 000 | 9 854 877 | 9 891 720 | 10 985 355 |
| Sivri biber | 1 370 000 | 710 000 | 744 000 | 775 577 | 727 190 | 734 596 |
| Dolmalık biber | 420 000 | 375 000 | 400 000 | 392 617 | 357 246 | 371 050 |
| Fasulye | 545 000 | 582 000 | 555 000 | 563 763 | 519 968 | 563 056 |
| Bezelye | 54 000 | 58 000 | 49 000 | 89 632 | 87 743 | 88 828 |
| Havuç | 405 000 | 438 000 | 388 000 | 394 725 | 641 953 | 591 538 |

Bu çalışmadaki temel amaç, farklı kurutma havası sıcaklıklarında ve kurutma havası hızlarında kurutulan bamya örneklerinin kuruma kinetiğini incelemek ve bamyaların tüm kuruma periyodu boyunca göstereceği özellikleri bilinir hale getirerek, bu amaçla geliştirilmesi düşünülecek yapay kurutucuların tasarımı için temel verileri ortaya koymaktır.

## 2. KURUMA MEKANİZMASI

### 2. 1. Kurumanın Statiği ve Kinetiği

Kurutma, nemli materyal ile çevresi arasında gerçekleşen karmaşık bir nem alıp-verme işlemidir (Ertekin 2002).Bu işlem sırasında materyalin nemi, çevresindeki katı veya akışkan (sıvı veya gaz) fazdaki ortama geçer. Kurutma işlemlerinde çevre ortamı olarak genellikle hava kullanılmaktadır. Bu nedenle kurutma nemli materyal ile hava arasındaki bir ilişki olarak ele alınabilmektedir.

Kuruma sırasında materyal neminde meydana gelen değişimler ve etkili unsurlar, statik ve kinetik açılardan incelenebilir.

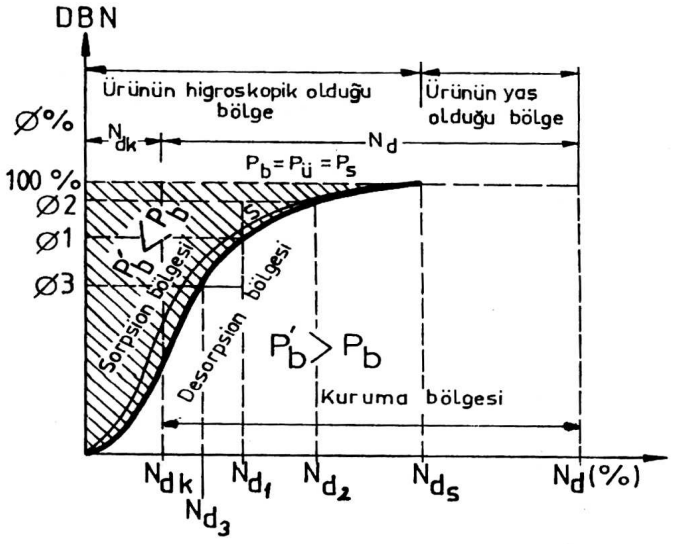
#### 2. 1. 1. Kurumanın statiği

Hava ile materyal arasındaki nem dengesi, zaman dikkate alınmadan irdelenmektedir. Nem dengesi iki olayla gerçekleşebilir:

a- Desorpsiyon (materyalin çevre havasına nem vermesi)

b- Sorpsiyon (materyalin çevreden nem alması)

Denge durumunda; havada bulunan su buharının kısmi basıncı ($P_b$) ile ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ($P_ü$) birbirine eşittir. Materyalin yüzey sıcaklığı yaklaşık çevre havası yaş termometre havası sıcaklığına eşit olduğundan ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ile ($P_ü$), havanın yaş termometre sıcaklığındaki su buharının kısmi buhar basıncı ($P´_{b)}$ eşit alınabilmektedir. Bu nedenle denge durumunda materyalin ulaştığı nem ($N_d$), havanın kısmi buhar basıncına yani bağıl nemine ($\phi$) bağlıdır.

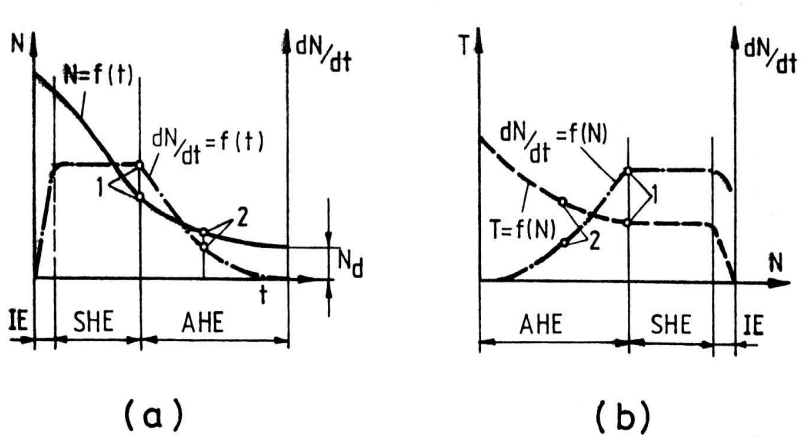



Şekil 2.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statiği açısından anlamı (Yağcıoğlu 1999)

Herhangi bir materyalin sorpsiyon izoterm eğrisi kurutma açısından incelendiğinde sorpsiyon ve desorpsiyon bölgeleri Şekil 2.1'de gösterildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi, izoterm eğrisinin denge bağıl nemi (DBN) ekseni ile arasında kalan bölge içindeki her noktada ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı havada bulunan suyun buhar basıncından daha küçük olduğundan ($Pb^{'}$<Pb) bu bölge, materyalin bünyesine nem aldığı şartları belirtmektedir. İzotermin, denge nemi ekseni ile arasında kalan bölge içinde ise durum tam ters olduğundan (Pb'>Pb) bu bölge materyalin çevreye nem verdiği şartları belirtmektedir. Tarım ürünlerinde bulunan suyun tümü, kurutma sırasında üründen tamamen alınmadığından gerçek kuruma bölgesi şekilde görülen alandan daha küçüktür. Bu nedenle kuruma bölgesi ürünün ulaşabileceği en küçük denge nemi $N_{dk}$ değerinden geçen bir eksenden başlatılarak gösterilmektedir.

### 2. 1 .2. Kurumanın kinetiği

Kurumanın kinetiğinde, materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişi, kuruma sürecinde geçen zaman dikkate alınarak incelenir. Şekil 2.2'de tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri görülmektedir.




Şekil 2.2. Tarım Ürünlerinin Kinetik Kuruma Eğrileri (Yağcıoğlu 1999)

Yukarıdaki şeklin incelenmesinden anlaşılacağı üzere kuruma olayının kinetik olarak incelenmesi sırasında aşağıdaki ilişkiler dikkate alınmaktadır:

- Materyalin nemi ile kuruma süresi: N=f(t)
- Kuruma hızı ile materyal nemi: dN/dt=f(N)
- Kuruma hızı ile kuruma süresi: dN/dt=f(t)
- Materyal sıcaklığı ile nemi: T=f(N)

Kuruma olayının gerçekleşmesi sırasında üç evre ile karşılaşılmaktadır.

Bu evreler;

- Materyalin ısınma evresi (IE),
- Sabit hızla kuruma evresi (SHE),
- Azalan hızla kuruma evresi (AHE)'dir.

Kuruma başlangıcında görülen ısınma evresi (IE), kurutulacak ürünün sıcaklığı, kurutma ortamının sıcaklığı ile dengeye gelinceye kadar devam etmektedir. Bu evrede kuruma hızı giderek artarak bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşmaktadır. IE süresi, toplam kurutma süresine göre çok kısa olduğundan kuruma eğrilerinde gösterilmemektedir (Yağcıoğlu 1981 ve Güner 1991).

Sabit hızla kuruma evresinde (SHE), kurutulacak materyalin yüzeyi başlangıçta ince bir su tabakası ile kaplıdır. Öncelikle bu su tabakası buharlaşmaya başlar. Ürünün özelliklerine bağlı olmayan bu buharlaşma tamamen dış hava koşullarınca belirlenmekte ve nem materyalin yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakasının yüzeyinden buharlaşan su ile aynı davranışı göstererek buharlaşmaktadır. Yüzeydeki serbest su tabakası sabit bir kuruma hızı ile buharlaşırken devamlı olarak hücre aralarındaki hava boşluklarının meydana getirdiği kılcal borularla beslenmektedir, diğer bir ifadeyle, sabit hızla kuruma evresi (SHE) boyunca, suyun materyal yüzeyine iletim hızı ile yüzeyden buharlaşan suyun hızı birbirine eşit olmaktadır (Akyurt ve ark.1971).

Sabit hızla kuruma evresi (SHE) boyunca, materyalden yüzeye doğru bir nem taşınması söz konusu olduğundan, materyalin iç katmanlarındaki nem miktarı giderek azalmaktadır. Bu durum nedeniyle, kurumakta olan materyalin yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan suya eşit miktarda su, artık iç kısımlardan yüzeye taşınamamaktadır. Bunun sonucunda, materyalin yüzeyinin tamamen serbest su ile kaplı olması durumu sona ermektedir. Bu anda materyalin sahip olduğu nem düzeyine birinci kritik nem ve kuruma eğrilerinde bu durumu belirleyen noktaya ise birinci kritik nokta (BKN) adı verilmektedir.

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, sabit hızla kuruma evresi (SHE), ısınma evresinin (IE) sona erdiği nokta ile birinci kritik nokta (BKN) arasında yer almaktadır.

Tarım ürünlerinin, özellikle tahılların, hasat sırasında sahip oldukları nem genellikle BKN değerinden daha az olmaktadır. Bu nedenle, sebze ve meyvelerin

dışında kalan çoğu tarım ürününün kurutulmasında sabit hızla kuruma evresine (SHE) rastlanmamaktadır..

Birinci Kritik Nokta (BKN) değerinden sonra, kuruma eğrisinin eğimi azalan yönde hızla değişim göstermektedir. Bu noktadan itibaren, kuruma hızının zaman içinde giderek azaldığı başka bir evre başlamaktadır. Bu evre, birim zaman aralıklarında buharlaşan nem miktarının bir önceki zaman dilimine göre azalma göstermesi nedeniyle, azalan hızla kuruma evresi (AHE) olarak tarif edilmektedir.

Bu evre kendi içersinde, iki aşamada gerçekleşmektedir. Materyalin yüzeyindeki su filmi kaybolmaya başlayınca, kuruma hızı da ıslak alan miktarı ile orantılı olarak azalma göstermektedir. Bu evreye "1. azalan hızla kuruma evresi" denilmektedir. Bu evre sonunda, suyun materyalin iç kısımlarından yüzeye iletim hızı, yüzeyden meydana gelen buharlaşma hızında daha küçük olduğundan, materyalin yüzeyinin tamamen ince su tabakası ile kaplanması durumu ortadan kalkmaktadır. Bu andan itibaren kuruma hızı daha da yavaşlamakta ve bu noktadan itibaren "2. azalan hızla kuruma evresi" başlamaktadır.

Bu evre sonunda, materyal ile çevrenin sıcaklığı eşit duruma gelerek, $N=f(t)$ eğrisi $N_d$ değerine, $dN/dt=f(N)$ eğrisi ise sıfır değerine ulaşarak birbirlerine asimptot olmaktadırlar.

Azalan hızla kuruma evresi (AHE) sırasında, kuruma hızı değişiminin doğrusallıktan sapmaya başladığı noktaya, ikinci kritik nokta (İKN) ve materyalin bu andaki nem değerine ise " ikinci kritik nem" adı verilmektedir.

Bu evre sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla;

- Teorik
- Yarı teorik,
- Deneysel yöntemlerle elde edilen çeşitli matematiksel modellerden yararlanmak mümkündür.

Bu modellerin bazı yararlı ve sakıncalı yönlerinin olduğu kuşkusuzdur. Teorik modeller her türlü madde ve koşul için uygulanabilmektedirler. Ancak çözümü için gereken eşitliklerin birçok parametre ve karmaşık yapı içermesi bu tür modellerin kullanışlılığını azaltmaktadır. Yarı teorik modeller daha az karmaşık olmakla birlikte içerdikleri parametrelerin yalnızca ele alınan ürünlerle ilgili olması, kullanımını kısıtlamaktadır. Deneysel yollarla elde edilen verilere dayanarak kuruma hızının belirlenmesinde, karmaşık matematiksel eşitlikler yoktur. Ancak elde edilen eşitlikler deneme yapılan materyal ve deneme koşulları için geçerli olmaktadır. Yarı teorik modeller içinde en yaygın kullanım alanı bulunan eşitlik "logaritmik kurutma" denklemi olarak bilinmektedir.

$$\frac{N_t - N_d}{N_0 - N_d} = \exp(-kt) \quad \text{.....(1)}$$

(Ayensu 1997; Tiris ve ark. 1994; Liu ve Bakker-Arkema 1997)

Eşitlikte ($N_o$) başlangıç nemini, ($N_t$) herhangi t anındaki nemi, ($N_d$) ise denge nemini ifade etmektedir. Eşitliğin sol tarafında yer alan kısım, kurutmanın farklı t anlarındaki alınabilir nem oranı (ANO) değerlerini vermektedir. k, ise kuruma sabiti olarak adlandırılmakta ve kurutulacak ürün ve kurutma şartlarına göre deneysel verilerden yararlanılarak belirlenmektedir.

## 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Meyve ve sebzelerin kurutulması konusunda yapılan araştırmaları üç ana başlık altında incelemek mümkündür. Bunlardan birincisi kurutma sırasında kurutmanın yapıldığı ortam koşulları (hava sıcaklığı, hava hızı ve havanın bağıl nemi) ile kurutulan materyale ait özelliklerin ele alınarak (boyut vb.) kuruma hızına etkilerinin incelendiği araştırmalar, ikincisi, kurutma sırasında nem taşınım mekanizmasının irdelendiği çalışmalar, üçüncüde ise kurutma sırasında kurutulan materyale ait kalite kayıplarının incelendiği araştırmalardır.

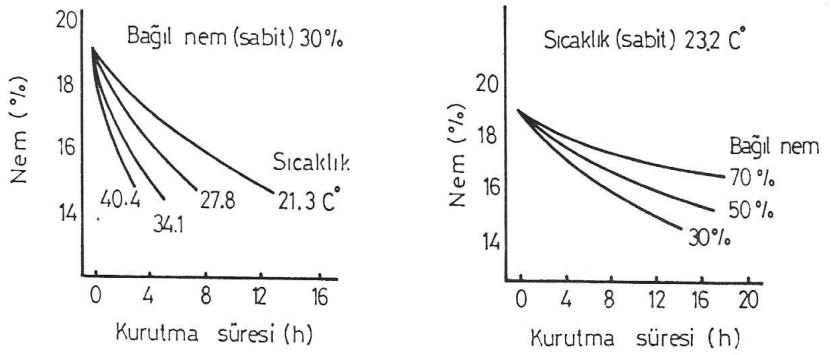
Popescu ve ark. (1972), maydanoz numunelerini üç aşamalı kurutma işlemi ile kurutmuşlardır. Birinci aşamada, sıcak hava ile %30–50 nem içeriği sağlanıncaya kadar ön kurutma yapılmış, ikinci aşamada nem dengesi sağlanmış ve son aşamada ise nem içeriği %5–7 oluncaya kadar sıcak hava ile kurutmuşlardır. Bu yöntemle kurutulan ürünlerin tekrar su alma yetenekleri ve pişirme özellikleri sıcak hava ile kurutulan ürünlere göre yüksek ve kuruma süresinin kısa olduğu belirtilmiştir.

Mariupol (1975), sebzeleri akışkan yatak kurutucuda kurutmuştur. Optimum kurutma koşullarını; sıcaklık 120–160°C, akış hızı 5–7 m/s, sebze yükü 60–80 kg/$m^2$ olarak seçmiştir. Bu koşullarda kurutma süresini ürün çeşidine bağlı olarak 8–14 dakika olarak bulmuştur. Maydanozu kurutmak için optimum küp şeklindeki sebze boyutunun 8 mm olduğunu belirtmiştir.

Coleman (1978), araştırmalarında yeşilbiberi, klasik sıcak havalı ve doğrudan güneş ışınımı alan kurutucularla kurutarak C vitamini düzeyini araştırmışdır. Sıcak havalı kurutuculardа kurutulan biberlerde C vitamini düzeyinin daha fazla olduğunu belirtmiştir.

Gulyaev ve Bugrova (1981), 2–2.5 mm kalınlığında doğranmış olan maydanoz örneklerini 3 kg/$m^2$ yük altında, 48 – 55°C'de ve 0.40 – 0.42 m/s hava hızında kurutmuşlardır. Denemeler sonunda maydanozun %7 nem içeriğine kadar 160 dakikada kuruduğunu tespit etmişlerdir.

Yamashita (1982), çeltiğin kurutulmasında, kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemin çeltiğin kuruma süresine etkisini Şekil 3.1'de görüldüğü gibi açıklamış ve sabit bir bağıl nemde kurutma havası sıcaklığının artmasıyla ve kurutma bağıl neminin azalmasının, kuruma hızını arttırdığını bildirmiştir.




Şekil 3.1. Hava sıcaklığının ve bağıl nemin çeltiğin kurutma süresine etkisi (Yamashita 1982)

Mazza (1983), havuç örneklerinin haşlama, kükürtleme, nişastalama ve sodyum klorür çözeltilerine daldırma işlemlerinin, kuruma hızına etkilerini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre haşlanarak kurutulan örneklerde kuruma hızının arttığını, kükürtleme ve nişastalama işlemlerinin ise kuruma hızını etkilemediğini, havuç örneklerinin sodyum klorür çözeltisine daldırma işleminin ise kuruma hızını azalttığını saptamıştır.

Cemeroğlu ve Acar, (1986), kurutma sıcaklığının, kurutma işleminin en önemli faktörlerinden biri olduğu ve kurutma sıcaklığının; ürünün kuruma süresine ve ürün bileşimine etki ettiğini bildirmektedir. Ürünün en yüksek kuruma sıcaklığı ile yanma sıcaklığı birbirine yakın değerler olduğunu,. bu nedenle kurutma havası sıcaklığının iyi ayarlanmasının kaliteli bir kurutma için gerekli olduğuna belirtmektedirler. Yüksek kurutma sıcaklığının ürünün renk, tat ve koku gibi özelliklerini etkilediğini de vurgulamışlardır.

Doğantan ve Tuncer (1988), geliştirdikleri kurutucu ile yaptıkları denemeler sonucunda, kırmızı biber için optimum kurutma sıcaklığını 55$^{o}$C olarak belirlemişlerdir. Ayrıca kırmızıbiberlerin kurutma öncesi kesilerek

kurutulmasıyla, kurutma süresinde %60 oranında bir azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Doğantan ve Tuncer (1989), kontrollü şartlar altında laboratuvar tipi bir kurutucuda, kırmızıbiberin kurutma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre Kahramanmaraş kırmızı biberi için kurutma havası sıcaklığının en fazla 60$^{o}$C olması gerektiğini, özellikle 65$^{o}$C hava sıcaklığında biberde yanma olacağını belirlemişler, bunun yanında optimum hava hızının 0.5 m/s olması gerektiğini ve kurutmadan önce biberlerin yarılmasıyla, kurutma zamanının önemli ölçüde azalacağını vurgulanmışlardır.

Sittiphong ve ark. (1989), kabuklu ve kabuksuz soya fasulyeleri ile fındıkların kurutma karakteristikleri üzerine farklı kurutma havası sıcaklığı ve hava hızlarının etkilerini incelemişlerdir. Fındığın kurutulmasında, 0.18 m/s hava hızında ve 40$^{o}$C kurutma havası sıcaklığında kuruma zamanını 17 saat olarak, 60$^{o}$C kurutma havası sıcaklığında ise kuruma zamanını 9 saat olarak saptamışlardır. Ayrıca araştırma sonucunda %70 bağıl nem ve 30$^{o}$C kurutma havası sıcaklığında her iki türde de denge nemi değerlerini yaklaşık olarak %12 olarak belirtmişlerdir.

Renk, ışığın spektral dağılımından meydana gelen görsel bir özelliktir. Doğal gıdaların renkleri içerdikleri çok çeşitli kimyasal formlara sahip olan ve pigment olarak tanımlanan maddelerden kaynaklanmaktadır. Meyveler ve sebzeler gibi doğal kaynaklı birçok ürün çeşitli renklere sahip olup, çekicilikleri renkleri ile ilgilidir. Renk gıdaların duyusal özellikleri yönünden ele alındığında, tüketici tercihi açısından, gıdanın çekiciliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Gıdaların kurutulması sırasında, gıdaların rengini veren karoten pigmentleri, ısı ile bozunarak okside olurlar. Bu da gıdanın renginde değişimlere neden olur. Genel olarak, uzun kurutma zamanları ve yüksek sıcaklıklar pigmentlerin daha çok bozunmasına ve gıdanın renginin daha çok değişmesine neden olur. Gıdaların renginin kurutma sırasında değişmesini engelleyebilmek için gıdanın cinsine bağlı olarak sülfürleme veya askorbik asit ile yıkama gibi ön işlemlerden geçirilmesi gerekir (DeMan 1990).

Tuncer (1990), mikrodalga alanına konulan pırasa, kırmızı ve yeşilbiber, patlıcan, soğan ve patatesin uygun mikrodalga güç kademesi seçilerek ve hiç bir kalite kaybı olmaksızın, konveksiyonlu kurutmaya oranla 1/5 -1/12 arasında değişen daha kısa sürede kurutmanın mümkün olabileceğini belirtmektedir.

Tulasidas ve ark. (1993), Sultani çekirdeksiz üzümleri fanlı ve mikrodalga fırın fonksiyonları olan bir fırında, sıcak havayla ve mikrodalga ile kurutma yöntemlerinin kombinasyonuyla kurutmuş ve kuruma hızı üzerinde kimyasal ön uygulamanın etkisini araştırmıştır. Meyvelerin, etil oleatlı sıcak alkali çözeltisine batırılmasının, kuruma süresini önemli ölçüde azalttığını, mikrodalga ışınlarla kurutma yönteminde kimyasal ön uygulama yapılmadığı taktirde bile yeterli ürün kalitesine sahip kuru ürünün elde edildiğini ve üzümlerin mikrodalga ile kurutulmasında 50 °C'lik mikrodalga sıcaklığının optimum sıcaklık olduğunu bildirilmişlerdir..

Kachru ve Singh (1994), ön işleme tutulmuş (çizme ve ıslatma) yeşil fasulyelerin farklı kurutma havası sıcaklığı ve hava hızlarında kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Kurutma havası sıcaklıkları 20-55$^{o}$C, hava hızları ise 0.8–2 m/s arasında seçmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, yeşil fasulyelerin kurutma öncesi ön işleme tutulmasının, kurutma zamanını önemli oranda kısalttığını ve ön işleme tutulmuş fasulyelerin nem içeriğinin %55'den %10'a indirmek için ortalama 6 saat süre gerektiğini belirlemişlerdir.

Ergüneş ve Özgöz (1995), sera içinde ve dış ortamda fasulye, biber ve soğanın kuruma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Denemeler süresince fasulye ve biberleri bütün ve kıyılmış halde, soğanı ise sadece kıyarak kurutmuşlardır. Sera içerisinde ve kıyılarak kurutulan ürünlerin kuruma sürelerinin normal olarak kurutulan ürünlere göre daha kısa olduğunu belirlemişlerdir. Her ürün için ayrı ayrı kuruma sabiti değerlerini hesaplamışlar ve exponential modelin kurumayı daha iyi ifade ettiği belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında kurutulan ürünlerin dehidrasyon özelliklerini araştırılmışlar ve sera içerisinde kıyılarak kurutulan soğanın dehidrasyon yeteneğinin daha iyi olduğunu saptamışlardır.

Nehru ve ark. (1995), *pleurotus florida* mantarlarını günlük 2.5 kg kurutma kapasiteli bir güneşli kurutucuda test etmişlerdir. Denemeler öncesinde, mantarlara aşağıda sıralanan ön işlemler uygulanmıştır.

- %0.5 potasyum metabisülfat (15 dakika)

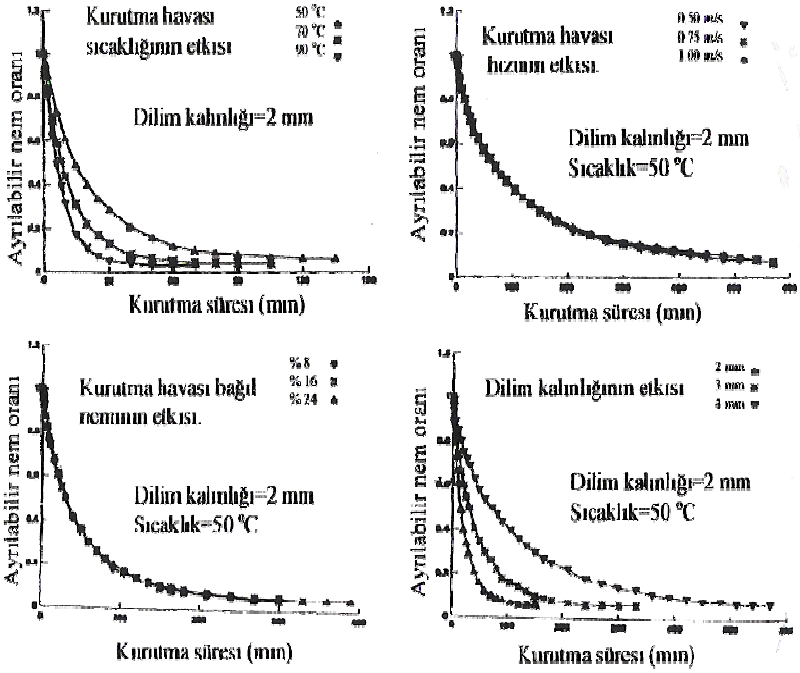
- %0.5 sodyum benzota (15 dakika)

- Buhara tutma ve sonra su ile soğutma (3 dakika)

- Hiçbir ön işlem uygulanmamış

Araştırma sonuçlarına göre; mantarların nem içeriğini %92.6'dan, %10'a indirmek için gerekli kurutma zamanı ve 5.5–6.5 saat arasında bulmuşlardır. Ayrıca en iyi damak tadı kalitesini, 15 dakika %0.5'lik potasyum metabisülfat çözeltisine bandırılmış mantar örneklerinde elde etmişlerdir.

Madamba ve ark. (1996), kurutma havası sıcaklığını 50-90$^{o}$C, bağıl nemini %8–24, hava hızını 0.5–1.0 m/s ve dilim kalınlığını 2–4 mm arasında değiştirerek sarımsağın kurutma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Düşük sınırlardaki bağıl nem değerlerinde, sıcaklık ve dilim kalınlığının kurutma için önemli faktörler olduğunu ve hava hızının ise kuruma hızına önemli bir etkisinin olmadığını saptamışlardır. Sarımsağın kuruma hızına olan etkilerini Şekil 3.2'de vermişlerdir.




Şekil 3.2. Çeşitli faktörlerin sarımsak kurutmaya etkileri

Elustondo ve ark. (1996), Soğan dilimlerinin kalınlıklarının kurumaya etkilerini incelemişler ve dilim kalınlıklarının azalması ile kurutma süresinin azaldığını belirlemişlerdir.

Demirtaş (1996), laboratuar koşullarında kurduğu deney düzeneğinde; kurutma havasının dört farklı bağıl neminde (% 45 -%70), beş farklı sıcaklığında (25°C - 50°C) ve üç farklı hava hızında (0.2 m/s - 0.6 m/s) fındığı kurutmuştur. En iyi kurutma havası sıcaklığını 35–40°C olarak belirlemiştir.

Pal ve Chakraverty (1997), 45, 50, ve $60^0$C kurutma havası sıcaklığı ve 0.9 ve 1.6 m/s hava hızı koşullarında ön işlemin mantarın kuruma karakteristiklerine ve bunların kaliteye etkilerini belirledikleri çalışmalarında, yıkanan ve sınıflandırılan örnekleri 3 dakika süreyle buharda haşlamışlar ve ardından %0.5'lik sodyum metasülfit ve %0.5'lik sitrik asit solüsyonuna 5 dakika süreyle daldırarak ön işleme tabi tutmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre; ön işlem örneklerinde yeniden su alma kapasitesinin diğerlerine oranla daha yüksek gerçekleştiğini ve ayrıca bu işlemin sıcak su ile yapılmasının soğuk suya göre değerini arttığını saptamışlardır. Yeniden su alma işleminden sonra mantarların yapı ve görünüşlerinin ön işlem görmeyen mantarlarda daha iyi olduğunu, buna

karşın ise ön işlem uygulanan örneklerin renk ve tatlarının daha iyi olduğunu ayrıca yüksek sıcaklıklarda kurutmanın renk bozulmasına neden olduğunu saptamışlardır. Kuruma süresi ve kalite dikkate alındığında $50^0$C kurutma havası sıcaklığı ve 0.9 m/s hava hızında hem ön işlem görmüş hem de görmemiş mantarlar için iyi kaliteli kuru ürünler sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

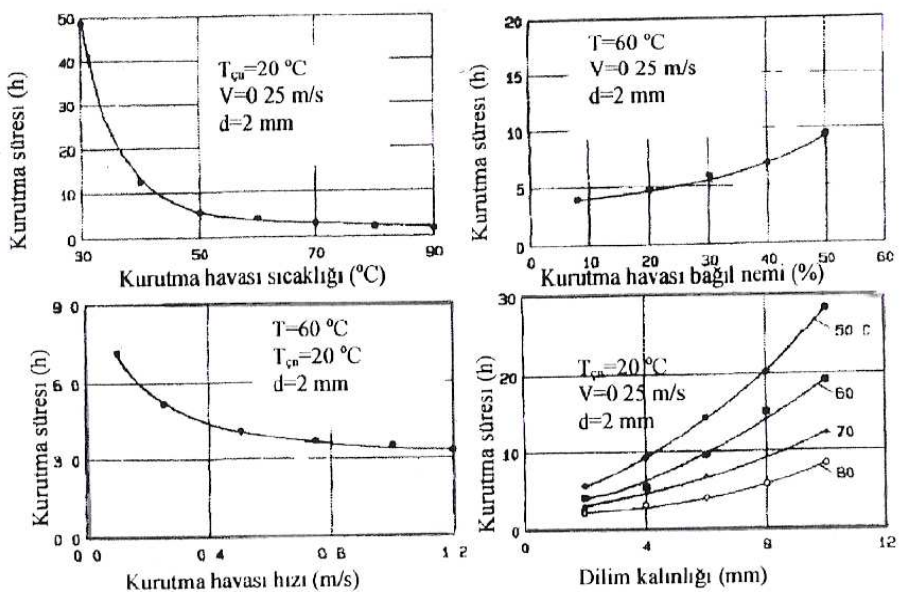
Funebo ve Ohlsson (1998), mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile elma ve mantarların su içeriğinin azaltılması konulu bir çalışma yapmışlardır. Kalite parametreleri olarak tekrar su alma kapasitesini, renk ve taze ürünün yoğunluklarını dikkate almışlardır. Düşük hava hızının yanmalara ve kahverengileşmeye neden olduğu için, en düşük hava hızını 10 m/s olarak seçmişlerdir. Sonuç olarak en iyi kalite ürünlerin mikrodalga ile kurutulan ürünler olduğu sonucuna varmışlardır.

Lin ve ark. (1998), taze fasulyenin kurutulmasında, hiçbir ön işleme tabi tutmadan, 100 $^o$C sıcaklıkta 15 saniye süreyle 40 g/l'lik NaOH çözeltisine daldırma, bir dakika 85 $^o$C sıcaklıktaki saf suda haşlama ve bir dakika süreyle buharda haşlama ön işlemlerini uygulamışlardır. Sonuçlara göre su veya buharda haşlama yönteminin birbirine çok yakın ve en kısa kurutma süresinin bu ön işlemlerde gerçekleştiğini vurgulamışlar ve kurutma havası sıcaklığının kurutma süresine etkili önemli bir faktör olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Sarsavadia ve ark. (1999), çapları 55–70 mm arasında değişen beyaz soğanları 50, 60, 70 ve 80 $^0$C sıcaklıklarda, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1,0 m/s hava hızlarında ve %10, %15 ve %20 bağıl nem koşullarında kurutarak, bu parametrelerin kurumaya etkilerini incelemişlerdir. Kurutma havası sıcaklığının artması ile kurutma için gerekli sürenin azaldığını ve kurumanın başlangıcında yüksek sıcaklıklarda kuruma hızının fazla olduğunu, kuruma işleminin ilerlemesi ile kuruma hızının azaldığını saptamışlardır.

Adam ve ark. (2000), Soğanları elle soyup elektrikli dilimleme makinesi ile dilimlemişler ve kurutma havası sıcaklığının, bağıl nemin, hızın ve dilim kalınlığının soğanın kuruma karakteristiklerine ve kalite kriterlerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, kurutma havası sıcaklığının 65$^o$C'nin

üzerine çıkmasının kalitede azalmaya neden olduğunu, kurutma havası hızının hem kuruma davranışına hem de kaliteye önemli etkisinin bulunmadığını, hava hızının 0.5 m/s'den fazla olmasının, kurutma süresi ve renge etkisinin önemli olmadığından dolayı, enerji tasarrufu açısından bu değerin üzerine çıkılmaması gerektiğini bildirmektedirler. Bununla beraber 0.1 m/s'nin altındaki hava hızlarında kurutma süresinin önemli düzeyde etkilediğini, yeniden su alma kapasitesinin 75 $^{o}$C sıcaklıkta, 25 $^{o}$C sıcaklıktakinden daha hızlı olduğunu ancak alınan su miktarında bir değişme olmadığını, kalite açısından 60 $^{o}$C sıcaklığın en uygun sıcaklık olduğunu ve 2- 4 mm'lik dilim kalınlığının kalite kriterleri açısından en uygun değerler olduğunu saptamışlardır. Çeşitli faktörlerin soğanın kuruma karakteristiklerine olan etkilerini Şekil 3.3'de görüldüğü gibi belirtmektedirler.




Şekil 3. 3. Çeşitli faktörlerin soğanın kuruma karakteristiklerine etkileri

Olgun ve Rzayev (2000), fındığın açık havada 82 saatte, kabinet tipli kurutucuda ek ısıtıcı kullanılması durumunda 28 saatte, ek ısıtıcı kullanılmadığı durumda ise yaklaşık 50 saatte, çadır tipli kurutucuda 73 saatte ve ek ısıtıcı kullanılmayan dolap tipli kurutucuda ise 72–76 saatte fındığın kuruduğunu belirlemişlerdir. Kurutulmuş fındıklardan alınan numuneleri, görüntü ve tat

analizine de tabi tutmuşlar ve fındıklarda herhangi bir bozulmaya rastlamamışlardır.

Yaldız (2001), havuç ve pırasanın kuruma karakteristiklerini belirlenmek ve kuruma süresinin belirli bir anında ürünün nem içeriğini saptamak için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Bu ürünler 30, 40, 50, 60 ve 70 $^{o}$C kurutma havası sıcaklıklarında ve 0.5, 1.0 ve 1.5 m/s kurutma havası hızlarında kurutularak kurutma süreleri belirlenmiştir. Elde ettiği verileri Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, iki terimli, iki terimli eksponansiyal, Wang ve Singh, Thompson, Difüzyon Yaklaşım, Verma ve ark., Geliştirilmiş Henderson ve Pabis matematiksel modellerine uygulayarak en uygun modeli belirlemiştir.

Tuğrul ve ark. (2001), kabin ve mikrodalga kurutucularla yapılan kurutma işleminin dereotu üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Her iki kurutucuda yapılan denemelerin sonucunda; sıcaklık artışının kurutma işlemini hızlandırdığını, mikrodalga kurutucuda ise kurutma işleminin çok daha kısa sürede gerçekleştiği saptanmışlardır. Kabin ve mikrodalga kurutucularda yüksek sıcaklıklarda (<70°C) çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından avantajlı olduğunu saptamışlardır.

Alibaş (2001), bazı meyve ve sebzeleri sıcak hava ve mikrodalga kombinasyonlu bir kurutucuda kurutarak kuruma karakteristiklerini ve kurutucunun enerji tüketim değerlerini belirlemiştir. Bu araştırma için 13 farklı sebze ve meyve kullanmıştır. Önce maksimum ayarda fanlı fırın uygulaması yapmış daha sonra çoğunlukla 1000 W mikrodalga güç seviyesinde (üründen ürüne değişim göstermiş) çalışmıştır. Çoğunlukla 1000 W güç seviyesinde mikrodalga etkisinde bırakılan sebze ve meyvelerin, diğer kurutma yöntemlerine göre oldukça kısa sürelerde kuruduğunu, renk, koku ve tat gibi özelliklerini kaybetmediğini, uzun süre bozulmadan kalabildiğini ve morfolojik açıdan herhangi bir değişime uğramadığını gözlemlemiştir.

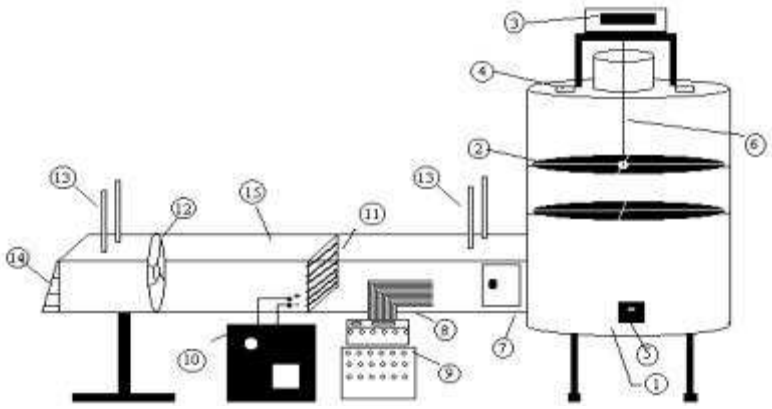
Akpınar ve Biçer (2002), tarımsal ürünlerin kurutulmasında, siklon tipi bir kurutucunun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Siklon tipi kurutucuda,

geleneksel kurutma sistemlerinden farklı olarak, örneklerin ısıtılmış hava ile teması, eksenel akış ortamı yerine dönel akış ortamında gerçekleşmiştir. Dönel akış, havanın kurutma odasına alt taraftan açısal yönde verilerek sağlanmıştır. Deneylerde 12.5x12.5x25 mm ve 8x8x18 mm ebatlarında dikdörtgenler prizması şeklinde kesilmiş patates örnekleri kullanılmıştır. Örneklerin kuruma karakteristiği, kurutma havasının 60…70 °C giriş sıcaklığında ve 1.0 m/s hız şartlarında dönel akış için incelemişlerdir. Deney setinde gerekli düzenlemeler yapılarak, deneyler aynı fiziki şartlarda eksenel akış için de tekrarlanmış ve her iki akış kurutma süresi açısından karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; kurutma havası giriş sıcaklığının artmasıyla, kuruma hızının küçük boyuttaki örneklerde büyük boyuttaki örneklere göre daha fazla arttığını, örnek boyutu küçüldükçe kuruma hızının arttığını ve dolayısıyla kurutma süresinin azaldığını, dönel akış ortamında kurutulan ürünlerde daha kısa sürede daha düşük nem oranlarına inildiğini belirlemişlerdir. Farklı kurutma havası giriş sıcaklığına bağlı olarak dönel akış ortamında kurutma süresinin, patates örneklerinde 12.5x12.5x25 mm boyutunda 640–740 dakika, 8x8x18 mm boyutunda 400–520 dakika arasında değişim gösterdiğini ve eksenel akışta yapılan deneylerde dönel akışa göre kurutma süresinin yaklaşık 30–40 dakika arttığını belirlemişlerdir.

Doymaz ve ark. (2003), kabin ve mikrodalga kurutucularla yapılan kurutma işleminin maydanoz üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Kurutma deneyleri her iki sistemde de 40, 45, 50, 55, 60 ve 70°C sıcaklıklarda gerçekleştirmişlerdir. Her iki kurutucuda yapılan denemelerin sonucunda; sıcaklık artışının kurutma işlemini hızlandırdığını ve mikrodalga kurutucuda kurutma işleminin çok daha kısa sürede gerçekleştiğini saptamışlardır. Kabin ve mikrodalga kurutucularda düşük sıcaklıklarda çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından avantajlı olduğu tespit etmişlerdir. Kabin kurutucuda, maydanoza ait gerçekleştirilen denemelerden elde edilen verilere Page ve Exponential denklemleri uygulanarak regresyon katsayılarını hesaplamışlar ve Page denkleminin $R^2$ değerlerinin Exponential denkleminin $R^2$ değerlerinden daha yüksek olduğunu saptanmışlardır..

Kamışlı (2003), bulguru tepsili kurutucuda farklı hava hızlarında ve sıcaklıklarda kurutarak, kuruma kinetiğini incelemiştir. Deneysel verilere uyan matematiksel modelin logaritmik model olduğunu saptamıştır.

Akpınar ve Biçer (2003), kabağın kuruma davranışını siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde, 60, 70 ve 80 $^{o}$C 'lik üç değişik hava giriş sıcaklığı ile 1 ve 1.5 m/s kurutma havası seçmişlerdir. Araştırmacılar deneysel sonuçlardan elde edilen kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrilerini lineer olmayan regresyon analiz kullanılarak matematiksel olarak modellemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, siklon tipi kurutucuda (Şekil 3.4) dönel akış ortamında kurutulan kabak örneklerinin kuruma hızının yüksek olduğunu saptamışlardır. En yüksek kuruma hızını 80 $^{0}$C kurutma havası giriş sıcaklığında ve 1.5 m/s kurutma havası hızında elde etmişler, en düşük kuruma hızını ise 60 $^{0}$C kurutma havası giriş sıcaklığında ve 1.0 m/s kurutma havası hızında elde etmişlerdir. Ayrıca kurutma havası sıcaklığının ve hızının arttıkça, kabak örneklerinin nem içeriğinde belirgin şekilde hızlı bir azalmanın görüldüğünü ve kuruma hızının arttığını saptamışlardır.




Şekil 3.4. Siklon Tipi Kurutucunun Şematik Gösterimi (Akpınar ve Biçer 2003) (1-Kurutma Odası, 2- Tepsiler, 3- Terazi, 4- Gözetleme Camları, 5- İç Sıcaklığı Gösteren Termometre, 6- Tartım Çubuğu, 7- Kumanda Panosu, 8- Termoelemanlar, 9- Dijital Termometre ve Kanal Seçici, 10- Voltaj Transformatörü, 11- Isıtıcılar, 12-Fan, 13- Yaş ve Kuru Termometreler, 14- Klape, 15- Kanal)

Koç ve ark. (2003), zorlamalı konveksiyonlu güneş enerjili bir kurutucu tasarımını yaparak kırmızıbiber (*Capsicum annum*) kurutmada kurutucu performansını araştırmışlardır. Güneş enerjili kurutucu güneş enerjisini absorbe ederek kurutma odasına aktaran hava ısıtıcı kollektör ve kurutulacak ürünün raflar üzerine yerleştirildiği ve kurutmanın gerçekleştirildiği kurutma odası olmak üzere iki kısımdan oluşturmuşlardır. Kurutma işlemini, kurutma havasının kurutma odasına giriş hızını 1.25 m/s alarak ve her bir biberi 8 eşit parçaya dilimleyerek gerçekleştirmişlerdir. Kurutma odasına konulan 5 kg taze biberin başlangıç ağırlığının %20'sinin altına düşene kadar kurutma işlemine devam etmişlerdir. Isı transferi eşitliklerinden yararlanarak hava ısıtıcı kolektör verimini ($\eta_c$) % 45 ve sistemin kurutma verimini ($\eta_k$) % 31 olarak bulmuşlardır. Toplam 1,6 kg kırmızıbiberi açık havada güneş altında kurutarak, biberlerin toplam 37 saatte ilk ağırlıklarının %14'üne, buna karşın kurutucu içerisinde kurutulan biberlerin ilk ağırlığının %20'sinin altına düşmesinin ise yaklaşık 46 saat sürdüğünü belirlemişlerdir. Bu denemede açık havada daha hızlı bir kurutma sağlanmasına karşın, L-askorbik asit (C-Vitamini) ve renk seviyeleri incelendiğinde kurutucu ile kurutulan biberlerde elde edilen değerleri açıkta kurutulan biberlerden daha yüksek olarak bulmuşlardır.

Aktaş ve ark. (2004), fındık kurutulmasında bir standard bulunmaması nedeniyle, fındık kurutulması ile ilgili verileri detaylı bir şekilde irdelemişlerdir. Bu verilere bağlı olarak enerji maliyeti düşük, sıcaklık, nem ve ağırlık kontrollü güneş enerjili bir kurutma fırını tasarımı yapmışlar ve böylece güneş enerjili kurutma sistemlerinin fındık kurutulmasına uygulanabilirliğini ortaya koymuşlardır.

Soysal (2004), Hatay yöresinde yetiştirilen maydanozları, yedi farklı mikrodalga gücü (360, 450, 540, 630, 720, 900 W) kullanarak kurutmuştur. Kurutma denemelerinde örnek büyüklüğünü 25 g olarak almış, yaprakları dönen tabak içinde tek düze dağılımlarını sağlayarak ve ürün nem içeriğini kuru baza göre %0–10 arasında bir nem içeriğine ulaşıncaya kadar kurutmuştur. 900 W

mikrodalga gücünde, 360 W'a göre % 64 daha kısa zamanda kuruma sağlandığını bildirmiştir.

Toğrul ve ark. (2005a), yaptıkları çalışmada, 0.5, 1.0 ve 1.5 cm kalınlığında küp şeklinde kesilmiş mantarların kuruma davranışlarını infrared kurutucuda 50, 60, ve 80 $^{o}$C kurutma havası sıcaklığı değerlerinde incelemişlerdir. Sıcaklığın 50 $^{o}$C'den 80 $^{o}$C'ye çıkarılmasıyla 0.5, 1.0 ve 1.5 cm dilim kalınlıklarının kuruma süresinde sırasıyla 170, 140, 104 dakikalık azalma olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca mantar kalınlığının difüzyon katsayısına etkini araştırmışlar ve sonuçta sıcaklık ve kalınlıktaki artışın difüzyon katsayısı artışına sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Toğrul ve ark. (2005b), dört farklı kalınlıkta kestikleri muz dilimlerini infrared kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 $^{o}$C sıcaklık değerlerinde kurutarak muz dilimlerinin kuruma kinetiğini incelemişlerdir. Araştırmacılar sonuçta, artan kurutma havası sıcaklığı ile hem kuruma hızının hem de difüzyon katsayısının arttığını, muz dilim kalınlığının artmasıyla da kuruma hızının azaldığını tespit etmişlerdir.

Özcan ve ark. (2005), fesleğeni etüvde (50°C kurutma) ve güneşte kurutarak, mineral içeriklerini incelemişlerdir. Etüvde (50°C'de) kurutmada, 15 saat kuruma süresinde nem oranının %17.31'e, güneşte kurutmada 28 h sonra nem oranının %23.79'a düştüğünü belirlemişlerdir. Ayrıca etüvde kurutmada elde edilen mineral madde miktarlarının güneşte kurutulmuşlara göre (K, P, Ca, S, Mg, Fe ve Al) daha yüksek olduklarını vurgulamışlardır.

Özler ve ark. (2006), Tokat yöresinde yetiştirilen mısırların farklı kurutma ortamı ve ön işlem teknikleri kullanmak suretiyle kurutmuşlardır. Denemelerinde at dişi mısır, sert mısır ve şeker mısır olmak üzere üç mısır çeşidi kullanmışlardır. Mısırları tane olarak % 2 etil oleat, % 4 potasyum karbonat, %2 sodyum hidroksit çözeltilerinden bir tanesine 1 dakika süreyle bandırdıktan sonra laboratuvar tipi kurutucuda kurutmuşlardır. Ön işlem uygulanmayan muameleyi kontrol olarak almışlardır. Kurutucuda hava sıcaklığını ortalama 49.3 $^{o}$C ve hava bağıl nemini %

21.5 tutarak kontrollü olarak denemeleri yürütmüşlerdir. At dişi mısır ve şeker mısır örneklerinde kuruma hızı üzerine en etkili kimyasalın %2 sodyum hidroksit olduğunu, sert mısırda ise kurutucuda yapılan kurutma denemelerinde ön işlem yapmanın pratik olmayacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Erdem (2007), ev tipi bir mikrodalga fırında Aflatoksinli kırmızı pul biberin, ozonlu suyla yıkamayı temsilen 5 ve 10 dakika sürelerde yıkandıktan sonra mikrodalga ile ürünün kurutulmasında kullanılan mikrodalga uygulama süresinin (mikrodalga jeneratörlerinin açık kalma süresi/mikrodalga jeneratörlerinin kapalı kalma süresi) enerji tüketimi, kuruma süresi, ulaşılan son nem ve ürün renk kalitesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Kullanılan mikrodalga uygulama süreleri (açık, sn/kapalı, sn) sırasıyla sürekli, 30/30, 30/45, 30/60, 45/30, 45/45, 45/60 olacak şekilde ayarlamıştır. Denemeler sonucunda mikrodalga uygulama süresi artıkça kurutma etkinliğinin arttığını, fakat mikrodalga ünitenin çalışmadığı sürelerin az ya da çok olduğu 30/30, 45/30, 45/60 olan denemelerde enerji tüketiminin ve kuruma sürelerinin arttığını gözlemlemiştir. Denemeler sonucunda 45/45 mikrodalga uygulamasında enerji tüketimi ve kuruma süreleri diğer kombinasyonlara göre daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Arslan ve Özcan (2008), biberiye yapraklarını *(Rosmarinus officinalis* L., Lamiaceae), etüvde (50°C), mikrodalga fırında (700 W, 2450 MHz) ve güneşte kurutmuşlardır. Mikrodalga fırında kurutmayla, güneş ve etüvde kurutmaya oranla % 99 oranında kuruma süresinin kısaldığını belirlemişlerdir. Biberiye yapraklarında K, Ca, Na, Mg ve P'nin en bol mineral maddeler olduğunu, etüvde kurutmayla bu mineral madde oranlarının değişiminin daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Logaritmik, Midilli ve Küçük modellerinin, güneşte ve etüvde kurutmada iyi bir uyum sağladığını ve renk değerlerinin ise azaldığını belirmişlerdir.

Tunç (2008), patlıcanı $45^0$C, $55^0$C, $65^0$C ve $70^0$C kututma havası sıcaklığında, 6 ve 9 mm kalınlıklarında ön işleme tabi tutarak, 1.5 ve 2.5 m/s hava hızlarında kurutmuştur. Kurutma havası hızının artmasıyla ve patlıcan örneklerine ön işlem uygulanmasıyla, kuruma süresinin kısaldığını saptamıştır. Kurutma işleminde ANO değerlerinin en iyi tahminini Midilli ve arkadaşlarının geliştirdiği modelin sağladığını, modelin kullanılabilirliğinin (EF) 6 mm patlıcan örnekleri

için 0.998300…0.999123 arasında, 9 mm'lik örnekler için ise 0.998684…0.999188 arasında değiştiğini belirlemiştir.

Kocabıyık ve Demirtürk (2008), nane yapraklarının infrared enerji ile kurutulmasında nanenin kuruma karakteristiklerini, kuruma süresini, kuruma hızını incelenmişler ve özgül enerji tüketimini ve kurutulmuş nane yapraklarının renk özelliklerini araştırılmışlardır. Denemeleri 1080 $W/m^2$ infrared radyasyon yoğunluğunda, dört farklı hava hızında (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 m/s) gerçekleştirilmişlerdir. Bütün kuruma koşullarında kuruma süresini 64 -180 dakika arasında, özgül enerji tüketiminin tüm kuruma koşulları için 37.04 ile 106.58 MJ/kg-buharlaşan su arasında değiştiğini ve kuru nanenin renk özelliklerinin işlem değişkenlerinden etkilendiğini belirlemişlerdir.

# 4. MATERYAL VE METOD

## 4. 1. Materyal

### 4. 1. 1. Araştırmada kullanılan ürün

Konya Bölgesinde yetiştirilen bamya, araştırma materyali olarak seçilmiştir. S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü kurutma laboratuarına getirilen bamya örnekleri, gerekli olduğu durumlarda denemeye alınmadan birkaç gün süreyle bir soğutucuda muhafaza edilmiştir. Kurutma denemeleri 2009 hasat sezonunda gerçekleştirilmiştir.

### 4. 1. 2. Araştırmada kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları

Denemelerde kullanılan araçlar ve ölçüm cihazların bazı teknik özellikleri aşağıdaki verilmiştir.

**Elektrik motoru:**

Markası : Gamak
Tipi : AGM BO 40
Gücü : 0.55 KW
Devir :1365 $min^{-1}$
Voltaj : 220-380V, (Akım) 2.8/1.6
Frekans :50 Hz

**Aspiratör (Fan):**

Markası : Çubuk
Tipi: :ÇTÖR-26

**Alternatif akım motoru devir kontrol cihazı (Elektronik varyatör):**

Markası : Dinventer
Tipi: :DIN 1220220B
Giriş Gerilimi : 200V-240V ± %10
Giriş Faz Sayısı : 1
Motor Gücü : 2.2 KW

Giriş Akımı : 26 A

Çıkış Akımı :10 A

**Tartımda kullanılan ölçüm cihazı:**

Markası : Shimadzu

Ölçüm Hassasiyeti : 0.01 g

Ölçüm Aralığı : 0-1200 g

Voltaj :16-80 mA

Frekansı : 50 Hz

Yapım Hatası : +%0.1

**Mikro işlemcili sıcaklık kontrol cihazı:**

Markası : Elimko

Tipi : E-200

Skala : 0-300 $^{o}$C

Çalışma Gerilimi : 220 V ± 10,50 Hz

Okuma Hassasiyeti : 0.1

**Hava hızı ve sıcaklık ölçme cihazı:** Hava hızı ve sıcaklık ölçme cihazı aşağıdaki Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Sıcaklık ve hava hızı ölçü cihazı

**Sıcaklık ölçer**:

Markası : Elimko

Tipi : E-RH-T-101

Skala : 0-300 $^{o}$C

Çıkış : 20 mA

Çalışma Gerilimi : 24 V

**Hava hızı ölçer:**

Markası : Testo-term

Ölçüm Aralığı : 0.4 – 40 m/s

Hata Sınırı : % 0.1

**Güç Kaynağı:**

Markası : Elimko

Tipi : E-7000-GK

Çıkış Gerilimi : 2×24 V

Besleme : 220 V, 50Hz

**Kurutma fırını:**

Markası : Nüve

Tipi : FN 500

Sıcaklık Sınırı : 0-250 $^{o}$C

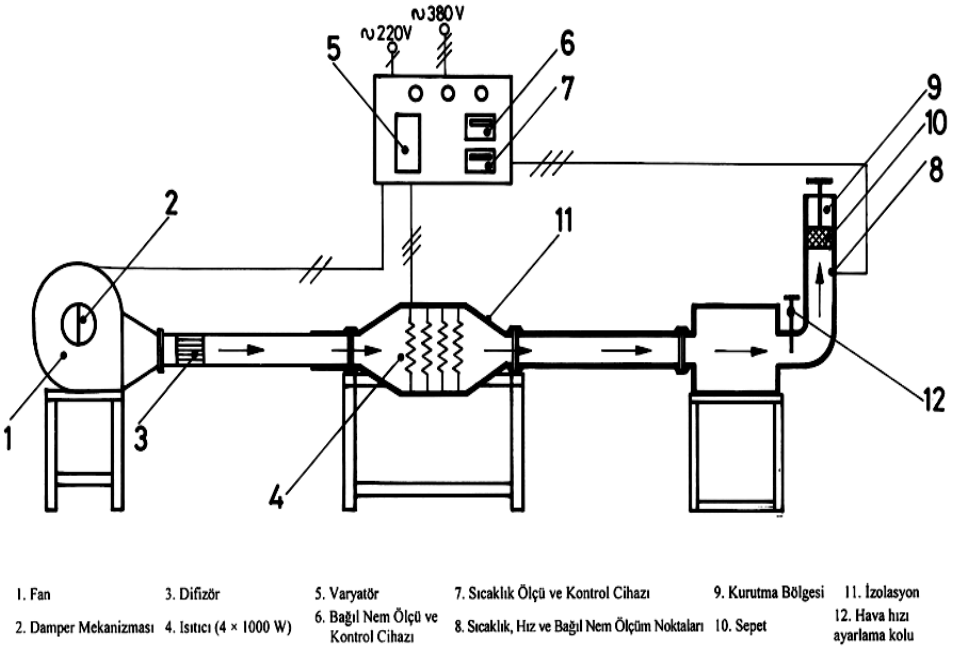
Hacim : 120 $dm^3$

Çalışma Gerilimi : 120 V-50 Hz

### 4.1.3. Deneme Düzeni

Kurutma çalışmalarında, kurutmada kullanılacak hava şartlarını kontrollü bir biçimde düzenleyebilen bir deneme düzenine ihtiyaç vardır. Bu amaçla bu çalışmada S.Ü.Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Kurutma laboratuarında mevcut ve daha önceki araştırmalarda kullanılan kurutma tesisi, denemelerin

gerçekleştirilebilmesi için kullanılmıştır. Deneme düzeninin şematik görünüşü Şekil 4.2'de, genel görünüşü ise Şekil 4.3'de görülmektedir.




Şekil 4.2. Deneme düzeninin şematik görünüşü



Şekil 4.3. Deneme düzeninin genel görünüşü

### 4. 2. Metod

#### 4. 2. 1. Deneme düzeninin çalışması

Deneme düzeni genel olarak üç ana bölümden oluşmaktadır.

—Kurutma havasını sağlayan fan ve hava debisi ayar düzeni,

—Kurutma hava sıcaklığını düzenleyin elektriksel ısıtıcıların ve sıcaklık kontrol ünitesinin bulunduğu kısım,

—Kurutma bölümü

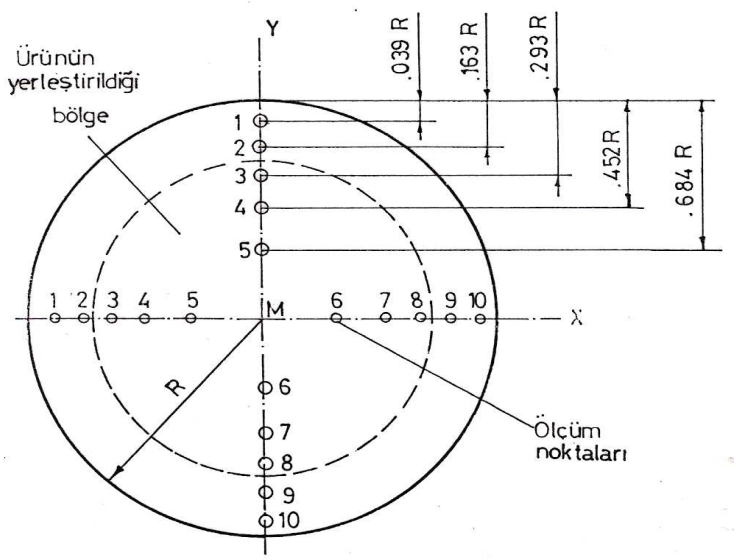
Denemeler sırasında, kurutma için gerekli olan havanın sağlandığı fanın debisi, Dinventer A.C. elektrik motoru devir kontrol ünitesi ile fanın devir sayısı kademesiz olarak ayarlanmak suretiyle istenilen değerlerde tutulmuştur. Ayrıca fanın giriş kısmında hava emiş kesitini değiştirebilen bir damper mekanizması yer almaktadır. Fanın havaya kazandırdığı türbülansın azaltılması ve düzenli bir hava akımı sağlamak amacı ile difüzör bulunmaktadır. Hava kanalı içerisinde yer alan ısıtıcılar, havayı istenilen kuru termometre sıcaklığına kadar ısıtılabilmektedir. Isıtıcı bölümünü oluşturan 4x1000 Watt gücündeki devre elemanları birbirlerinden bağımsız olarak devreye girebilmektedir. Bu elemanlardan birisinin devresine seri olarak bağlanan sıcaklık kontrol ünitesi sayesinde bu direnç, sıcaklık değişimine bağlı olarak devreye girip çıkmakta ve ayarlanan sıcaklığın deneme süresince sabit değerde kalması sağlanabilmektedir.

Ürünlerin kurutulduğu kurutma bölümü ise deneme düzeninin son kısmını oluşturmaktadır. Kurutma bölümünün alt kısmında sıcak havanın giriş yaptığı üç kanallı bir hava bölmesi yer almaktadır. Bu üç kanal sayesinde, aynı anda üç örneğin kurutulması gerçekleştirilebilmektedir. Hava bölümlerinden çıkan hava, buradan 105 mm çapında ve 1050 mm uzunluğundaki borularla kurutulacak ürüne iletilebilmektedir. Boruların alt kısmında bulunan damperler yardımıyla havanın borulara istenilen hız değerlerinde iletilebilmesi sağlanabilmektedir. Kanallardaki hava hızının ayarları bu elemanlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

Bu kanallarda ısıtılmış hava ile kurutma yapıldığından söz konusu kanalların ve elektrik ısıtıcıların bulunduğu bölümün dış yüzeyleri ısı kayıplarına karşı cam yünü ile sarılarak izole edilmişlerdir.

### 4. 2. 2. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçümü

Hava kanallarının kurutma hacmi kesitlerinde, hava kanallarında hız ölçümü ile ilgili standartlarda (Anonymous 1962 ve Handerson ve Perry 1955) belirtildiği şekilde, kanal kesit alanlarının belirli noktalarındaki hava hızları elektronik hava hızı ölçme cihazıyla ölçülmüş ve kanal kesitinin belirli noktalarındaki hız değişimi incelenmiştir. Hız ölçümleri denemelerde kullanılan 1.0 ve 2.0 m/s hız kademeleri için yapılmıştır. Şekil 4.4'de kurutucu kanal kesitindeki hız ölçüm noktaları, iki farklı hız kademesi için dairesel kanalda ölçülen hız değerleri ise Çizelge 4.1' de verilmiştir.




Şekil 4. 4. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçüm noktaları (Anonymous 1962)

Çizelge 4.1'deki değerler incelenecek olursa, kanal kesiti içerisindeki hava akış hızında önemli bir değişiklik görülmemektedir.

### 4. 2. 3. Hava sıcaklığının ve hava hızının ve ölçülmesi

Kurutma denemelerinin yapıldığı laboratuvarda ortam havasının sıcaklığı, biri fanın emiş kesitine yakın olmak üzere iki farklı yerden testo-term ve Elimko marka elektronik sıcaklık ölçme cihazlarıyla ölçülmüştür.

Kurutma havasının sıcaklığının ölçülmesinde, kurutma bölgesinin hemen altına monte edilen ve Elimko firmasınca imal edilen nem ve sıcaklık ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Hava hızları ise testo-term marka elektronik hava hızı ölçme cihazı ile denemeler süresince sürekli olarak kontrol edilmiştir.

Çizelge 4. 1. Hız Kademelerinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri

| Ölçüm noktaları | Hız kademesi 1 m/s | | Ölçüm noktaları | | Hız kademesi 1 m/s |
|---|---|---|---|---|---|
| x ekseni | | | Y ekseni | | |
| 1 | 0.80 | | 1 | 0.80 | |
| 2 | 0.90 | | 2 | 0.90 | |
| 3 | 0.90 | | 3 | 0.90 | |
| 4 | 1.00 | | 4 | 1.00 | |
| M | 1.00 | Ort:0.985 | M | 1.10 | Ort:0.986 |
| 5 | 1.10 | | 5 | 1.00 | |
| 6 | 1.00 | | 6 | 1.00 | |
| 7 | 1.00 | | 7 | 1.00 | |
| 8 | 0.90 | | 8 | 0.90 | |
| 9 | 0.80 | | 9 | 1.80 | |
| 10 | 0.70 | | 10 | 0.70 | |
| Ölçüm noktaları | Hız kademesi 2 m/s | | Ölçüm noktaları | | Hız kademesi 2 m/s |
| x ekseni | | | Y ekseni | | |
| 1 | 1.80 | | 1 | 1.80 | |
| 2 | 1.90 | | 2 | 1.90 | |
| 3 | 1.90 | | 3 | 1.90 | |
| 4 | 1.90 | | 4 | 2.00 | |
| M | 2.00 | Ort:1.957 | M | 2.10 | Ort:1.986 |
| 5 | 2.00 | | 5 | 2.00 | |
| 6 | 2.00 | | 6 | 2.00 | |
| 7 | 2.00 | | 7 | 2.00 | |
| 8 | 1.90 | | 8 | 1.90 | |
| 9 | 1.80 | | 9 | 1.90 | |
| 10 | 1.80 | | 10 | 1.70 | |

### 4. 2. 4. Ürün neminin belirlenmesi

Bamyanın ilk nemini belirlemek amacıyla kurutma fırını yöntemi kullanılmıştır (Ergüneş 1990 ve Yağcıoğlu 1999). Örnekler vakumlu etüvde 100 mm Hg'yi aşmayan basınç altında ve 70 $^{o}$C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelene kadar bekletilerek meydana gelen ağırlık değişmesinden yararlanmak suretiyle bamya örneklerinin sahip oldukları ilk nem değerleri hesaplanmıştır.

Denemeler sırasındaki nem değişimini belirlemek amacıyla, denemelerin yapılmaya başlandığı andan itibaren kurutulmakta olan örnekler, belli zaman aralıklarında alınıp, kurutma ortamının hemen yanına yerleştirilen hassas terazi ile 0.01 gram hassasiyette sürekli olarak tartılmıştır.

Kurutma işlemine, üründe herhangi bir ağırlık kaybının görülmediği denge nemi ($N_d$) değerine ulaşıldıktan sonra son verilmiştir. Daha sonra örneklerin farklı zamanlardaki nem miktarları, yaş baz (%$Ny_b$) ve kuru baz (%$Nk_b$) ağırlık esasına göre aşağıda verilen eşitliklerle hesaplanmıştır (Ayık 1985, Erdoğan 1984 ve Yağcıoğlu 1999).

$$\Delta W = W_1 \frac{N_1 - N_2}{100 - N_2} \quad \text{.....(2)}$$

Eşitlikte; $\Delta W$, üründe meydana gelen ağırlık azalmasını $W_1$, kurumadan önceki ağırlık, $N_1$ ve $N_2$ sırasıyla ürünün kurumadan önceki ve sonraki nemini (yb) belirtmektedir.

$$\%N_y = \frac{W_s}{W_s + W_k} \cdot 100 \text{……. (3)}$$

$$\%N_k = \frac{W_s}{W_k} \cdot 100 \text{……..(4)}$$

Eşitliklerde; $W_s$ ürünün içerdiği su ağırlığını, $W_k$ ise kuru madde ağırlığını ifade etmektedir.

Çoğu kez $N_{yb}$ ve $N_{kb}$ değerlerini birbirine dönüştürmek gerekmektedir. Bu amaçla aşağıda verilen eşitliklerden yararlanılmaktadır (Yağcıoğlu 1999).

$$\%N_k = \frac{N_{yb}}{100 - N_{yb}} \cdot 100 \quad \text{.....(5)}$$

$$\%N_y = \frac{N_k}{100 + N_{kb}} \cdot 100 \text{……...…….(6)}$$

**4. 2. 5. Deneme materyali ürünlerin kuruma değişkenlerinin belirlenmesi**

**4. 2. 5. 1. Kuruma hızının belirlenmesi**

Kurumakta olan bir materyalin, birim zamanda kaybettiği nem miktarı, kuruma hızı olarak tanımlanmaktadır (Uz 1978). Kuruma hızının belirlenmesinde farklı iki yöntemden faydalanılmaktadır (Yağcıoğlu 1986).

Birinci yöntemde, materyalin ölçüm yapılan ana kadar kaybettiği nem ile o ana kadar geçen süre dikkate alınmakta ve materyalden buharlaşan nem miktarı, materyalin kuru ağırlığı ve birim buharlaşma yüzey alanı cinsinden ifade edilmektedir.

Kuruma hızının belirlenmesinde yararlanılan ikinci yöntemde ise "Alınabilir Nem Oranı (ANO)" kavramı kullanılmaktadır. Boyutsuz bir terim olan Alınabilir Nem Oranı (ANO), 7 nolu eşitlikte verilmiş bulunan genel kurutma denkleminin sol tarafında yer alan oransal bir büyüklüktür. Bu değer, kurutma sırasında, herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının ($N_t$-$N_d$), üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına ($N_o$-$N_d$) oranını ifade etmektedir. Bu çalışmada bu yöntem kullanılmıştır.

Denemeler sırasında ürünlere ait belirlenen başlangıç nemi ($N_o$), herhangi bir t anındaki nem miktarını ($N_t$), denge nemi ($N_d$) ve t değerlerinden yararlanılarak hesaplanan alınabilir nem oranı (ANO) değerleri Ek Çizelge 9...12 arasında verilmiştir.

$$\frac{N_t - N_d}{N_0 - N_d} = \exp(\text{-kt}) \quad \text{.....(7)}$$

#### 4. 2. 5. 2. Ürüne ait kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde dikkate alınan parametreler

Denemeye alınan bamya örneklerinin kurutma havasının dört farklı sıcaklık ($T_1$, $T_2$, $T_3$, $T_4$) ve iki hız ($V_1$, $V_2$) kademesindeki kuruma karakteristiklerini belirlemek amacıyla düzenlenen kurutma denemeleri faktöriyel deneme desenine uygun şekilde ve iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmada kuruma zamanı Z sembolüyle gösterilmiştir. Varyans analizleri yarımşar saatlik zaman dilimleri için yapılmıştır ($Z_1$=0.5, $Z_2$=1, $Z_3$=1.5, $Z_4$=2 , $Z_5$=2.5, $Z_6$=3, $Z_7$=3.5, $Z_8$=4, $Z_9$=4.5, $Z_{10}$=5 ve $Z_{11}$=5.5 saat).

Elde edilen sonuçlar Mstat-C istatistik programında faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabii tutulmuştur (Düzgüneş ve ark. 1983).

Denemeler aşağıda belirtilen kurutma koşullarında gerçekleştirilmiştir:

Çizelge 4.2. Denemelerin Gerçekleştiği Kurutma Havası Koşulları

| | |
|---|---|
| Hava Sıcaklığı ($^oC$) | 40 ($T_1$), 50 ($T_2$) , 60 ($T_3$), 70 ($T_4$) |
| Hava Hızı (m/s) | 1.0 ($V_1$), 2.0 ($V_2$) |

#### 4. 2. 5. 3. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellemesi

Yapılan denemeler sonucunda ürünün nem içeriğinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Ürünün belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (M), ürünün ilk nem içeriğine ($M_o$) oranı olarak sadeleştirilebilen ayrılabilir nem oranı (ANO), iki farklı model ile açıklanmaya çalışılmıştır (Ertekin ve ark. 2001);

$$ANO = \frac{M}{M_0} \quad \text{……..(8)}$$

Çizelge 4.3'de kuruma eğrilerini açıklamada kullanılan modeller verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kuruma Eğrilerini Açıklamak İçin Kullanılan Modeller

| Model | Model adı | Kaynak |
|---|---|---|
| $ANO=\exp(-kt)$ | Newton | Ayensu1999, Sarsavadia ve ark. 1999 |
| $ANO=\exp(-kt^n)$ | Page | Karathanos ve Belesssiotis 1999, Yağcıoğlu 1999 |

Denemeler sırasında yapılan ölçümlerden elde edilen ($N_o$), ($N_t$) ve ($N_d$) değerleri kullanılarak, farklı t anları için STATİCTİCA istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda farklı sıcaklık ve hava hızı uygulamaları için ürünlere ait ayrı ayrı kuruma sabiti (k) değerleri, iki modele göre hesaplanmıştır.

Deneysel olarak bulunan ve modeller ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki uyumu istatistiksel olarak açıklamak amacıyla tahminin standart hatası (RMSE) , khi-kare ($\chi^2$) değerleri ile elde edilen modelin modelleme yeterliliği (EF) değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir

Aşağıda verilen eşitliklerde; $ANO_{tahmini}$ tahmin edilen ayrılabilir nem oranı, $ANO_{deneysel}$ deneysel ayrılabilir nem oranı, N deneysel veri sayısı, n kullanılan modeldeki katsayı sayısı ve $ANO_{deneysel,ort}$ deneysel ayrılabilir nem oranı değerlerinin ortalamasıdır.

Tahminin standart hatası (RMSE), modelden elde edilen tahmini ve deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren khi-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 (Pangavhane ve ark. 1999, Loague ve Green 1991).

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left( ANO_{tah\,\min i,i} - ANO_{deneysel,i} \right)^2 \right]^{1/2}$$

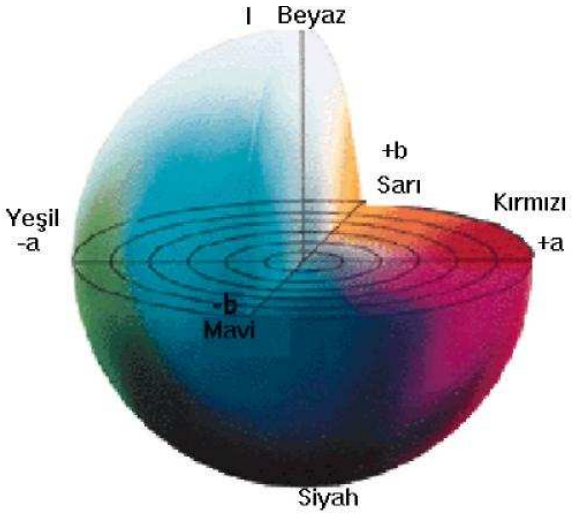
$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} \left( ANO_{deneysel,i} - ANO_{tah\,\min i,i} \right)^2}{N-n}$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left( ANO_{deneysel,i} - ANO_{deneysel,ort} \right)^2 - \sum_{i=1}^{n} \left( ANO_{tah\,\min i,i} - ANO_{deneysel,i} \right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left( ANO_{deneysel,i} - ANO_{deneysel,ort} \right)^2}$$

### 4.2.6. Renk ölçümleri

Taze bamya ve kurutulan bamyaların renklerinin ölçümünde CIE L*a*b* sistemi kullanılarak L*, a* ve b* değerleri belirlenmiştir.

CIE L*a*b* sisteminde L* değeri aydınlık derecesi (lightness) olarak tanımlanmakta ve bu değer 0 (siyah) ile 100 (beyaz) arasında değişmektedir. CIE a* değeri, 0 ile 60 arasında değişmekte olup, pozitif a* değerleri kırmızı, negatif a* değerleri ise, yeşil rengi göstermektedir. CIE b* değerleri de, 0 ile 60 arasında değişmekte; pozitif b* değerleri sarı, negatif b* değerleri ise, mavi rengi göstermektedir. a* ve b* değerlerinin 0 olması, cismin renksiz (akromatik) olduğunu göstermektedir (Özen 2008). Renk uzayının görünüşü Şekil 4.5'de verilmiştir.




Şekil 4.5. CIE Lab renk uzayı (Albayrak ve Karslığil 2001)

## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bamyanın kurutma denemelerinde, kurutma havası sıcaklıkları 40 $^{o}$C, 50 $^{o}$C ve 60 $^{o}$C ve 70$^{0}$, hava hızı değerleri ise 1.0 m/s ve 2.0 m/s olarak seçilmiştir.

Denemeler sırasında değişik zamanlarda ölçülen ve ilk ağırlığın yüzdesi olarak hesaplanan % ağırlık azalması değerleri Ek Çizelge 1 ile Ek Çizelge 8 arasında verilmiştir.

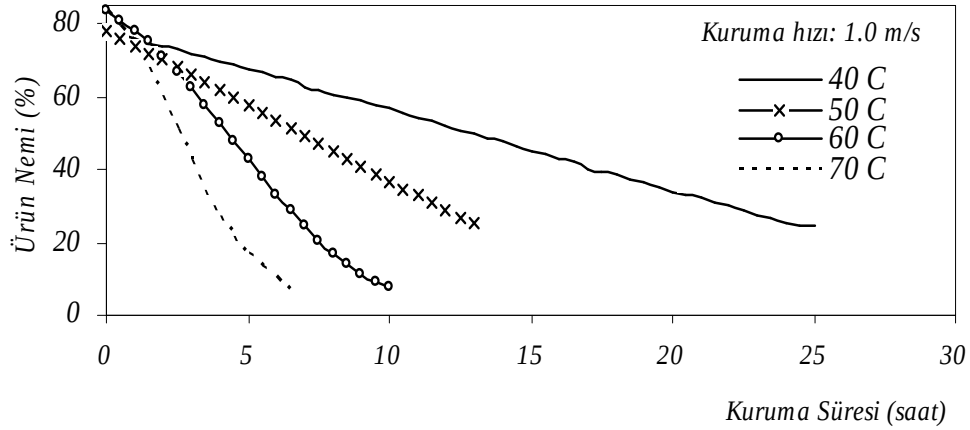
Kurutulmakta olan herhangi bir materyalde çeşitli dış koşulların etkisiyle meydana gelen nem değişiminin belirlenmesinde yaygın olarak Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerlerinden yararlanılmaktadır. Özellikle farklı hava koşullarında kurutulmuş materyallerin kuruma sabiti değerlerinin hesaplanmasında kullanılan ve matematiksel eşitliklerde yer alan ANO değerleri Ek Çizelge 9 ile 12 arasında verilmiştir.

Ek Çizelgeler genel olarak incelenecek olursa, denemeye alınan bamya örneklerinin kurutulmasında ürün neminin; kurutma havası sıcaklığı ve hava hızındaki artışa bağlı olarak azalan bir şekilde değişim gösterdiği görülmektedir. Denemeler sonucunda bamya örneklerinde en kısa kuruma süresine, 2.0 m/s hava hızı kademesinde ve 70$^{0}$C kurutma havası sıcaklığında, en uzun kuruma süresinin ise 1.0 m/s hız kademesinde ve 40 $^{0}$C kurutma havası sıcaklığında ulaşılmıştır. Bamya örneklerinin yaklaşık aynı nem düzeyine ulaşabilmesi için bu iki durum için gerekli olan süreler arasındaki fark beş kat kadardır.

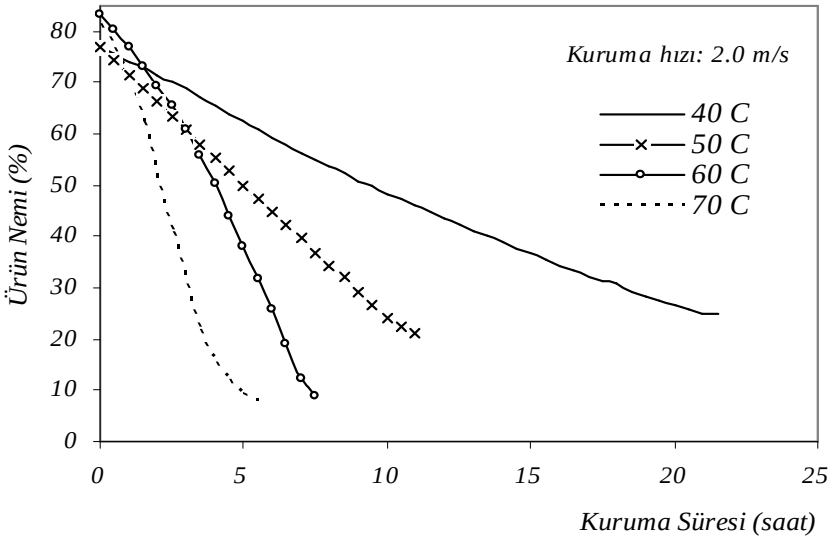
### 5. 1. Kurutmada kullanılan hava sıcaklığının bamyanın kuruması üzerine etkisi

Elde edilen sonuçlara göre, kurutmada kullanılan havanın sıcaklığının artışı, bamya örneklerinin tümünün kuruma hızı üzerinde gözle görülebilir bir artışa neden olmakta ve örneklerin kuruma süreleri kurutma havası sıcaklığına paralel olarak azalma göstermektedir. Kurutma havasındaki sıcaklık artışının materyallerin kuruma hızları üzerindeki bu etkisini, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin azalmasına bağlayabiliriz. Dolayısıyla sıcaklığın artmasıyla birlikte bağıl nemi düşen ve yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan hava kurutmada daha etkin bir rol üstlenmektedir (Ergüneş 1990).

Seçilen hava sıcaklıklarının bamya örneklerinin % nem değişimi değerlerine etkileri, 1.0 ve 2.0 m/s hava hızı koşulu için Şekil 5.1 ve 5.2 ‘de verilmiştir.




Şekil 5.1. 1.0 m/s hava hızında kurutulan bamya örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi




Şekil 5.2. 2.0 m/s hava hızında kurutulan bamya örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi

Şekil 5.1 ve 5.2 incelenecek olursa, her iki hız kademesi için bamya örneklerinde, hava sıcaklığının artışı, bamya örneklerinin % nem değişimindeki

azalmada belirgin bir hızlanmaya neden olmaktadır. Başka bir ifadeyle, kurutma havası sıcaklığı artışına bağlı olarak kuruma süresi kısalmaktadır.

Araştırmada ele alınan hava hızı değerlerinde en hızlı kuruma $70^oC$ de, en yavaş kuruma ise $40^oC$ de gerçekleşmiştir. Örneğin, 1.0 m/s hız kademesinde bamya örneklerinde denge nemi değerine $70^oC$ kurutma havası sıcaklığında 6.5 saat sonunda ulaşılırken, bu değere $40^oC$, $50^0C$ ve $60^oC$ sıcaklıklarda sırasıyla 25., 13. ve 10. saat sonunda ulaşılabilmiştir.

Kurutulan bamya örnekleri için seçilen kurutma havası hızı, kurutma sıcaklığı ve zaman parametrelerine uygulanan varyans analizi sonuçları Ek çizelge 13'de görülmektedir. Bu ek çizelgenin incelenmesiyle kurutma havası hızı, kurutma sıcaklığı, kuruma zamanı, kuruma havası hızı x sıcaklık, kuruma havası hızı x kuruma zamanı, kurutma sıcaklığı x zaman ve kurutma havası hızı x kurutma sıcaklığı x kuruma zamanı interaksiyonları istatistiksel açıdan, 0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur.

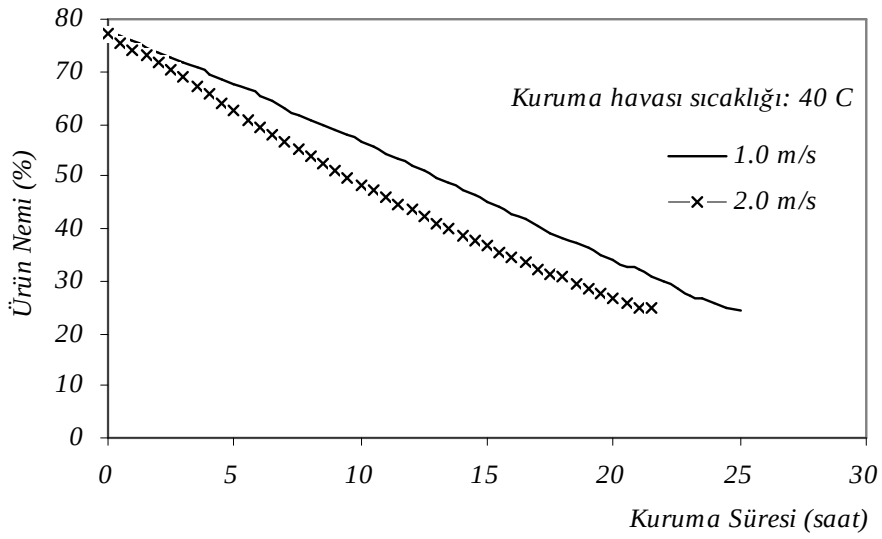
Denemeye alınan bamya örneklerdeki % ağırlık kayıp değerleri, kurutma havası sıcaklığındaki artışa bağlı olarak, artmıştır.(Ek çizelge 14). Seçilen dört kademedeki kurutma havası sıcaklık değerleri, istatistiksel bakımdan birbirlerinden farklı bulunmuştur. Uygulanan LSD testi sonucunda, en yüksek ağırlık kaybı değeri (%57.99) $70^0C$ kurutma sıcaklığı değerinde elde edilmiştir (Ek Çizelge 14).

Kurutma havası hızı x sıcaklık ve kurutma havası hızı x zaman interaksiyonlarına yapılan LSD testi sonuçları Ek Çizelge 16 ve 18'de görülmektedir. Kurutma havası hızı x sıcaklık interaksiyonunda % ağırlık kayıp oranı en yüksek değerine (%58.44), 2 m/s kurutma havası hızı ve $70^0C$ kurutma sıcaklığında ulaşılmıştır (Ek Çizelge 16). Kurutma hızı x zaman interaksiyonuna uygulanan LSD testi sonucuna göre yine, $70^0C$ kurutma sıcaklığında ve 6. saat sonunda ulaşılmıştır (Ek Çizelge 18). Her iki parametrenin seviyeleri, diğer seviyelerden farklı bulunmuştur. Bu durum kurutma havası sıcaklığının kuruma hızı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

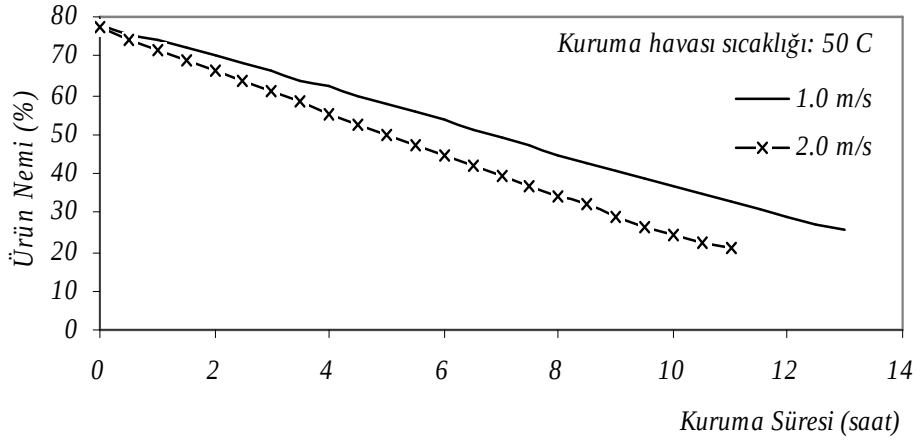
## 5. 2. Kurutmada kullanılan hava hızının bamyanın kuruması üzerine etkisi

Kuruma üzerine etkili olan bir faktörde kurutmada kullanılan hava hızıdır. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kuruma işlemi sırasında ürünün yakın çevresinde durgun bir su buharı tabakası oluşur. Oluşan bu su buharı tabakası çok ince olmasına karşın, su ile doymuş bir ortam olduğundan kuruma hızını azaltıcı bir etkiye sahiptir. İşte bu tabakanın uzaklaştırılması için kurutma havasına bir hareket kazandırmak gerekir. Diğer taraftan hava hızının etkisi kurutmanın bulunduğu aşamaya göre de değişmektedir. Kurutmanın başlarında hava hızı etkili olmasına rağmen kurumanın ileri aşamalarında, kuruma hızı alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızıyla sınırlandığından, hava hızının yüksek olmasının önemli bir etkisi bulunmamaktadır (Cemeroğlu ve Acar 1986).

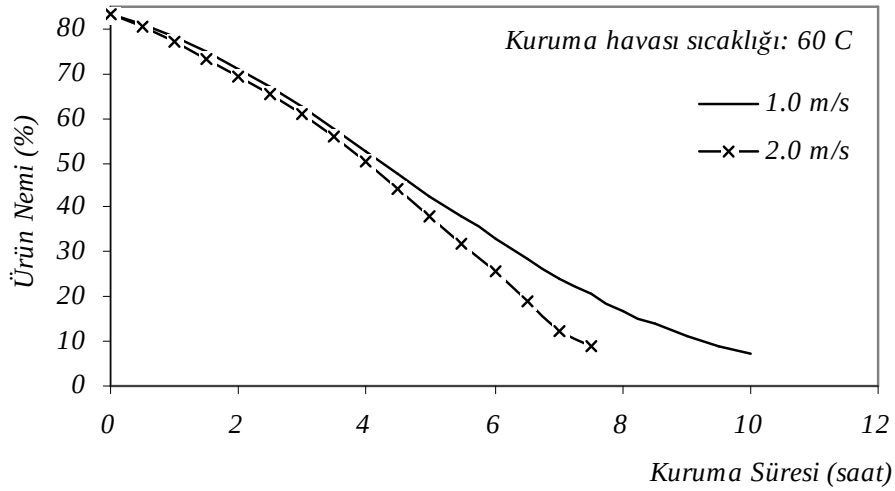
Bamya örneklerinin kurutulmasında, hava hızının etkisini belirlemek için, iki farklı hava hızı kademesi ile gerçekleştirilen deneme sonuçlarından yararlanılarak her bir sıcaklık için elde edilen nem değişiminin kuruma süresine etkileri Şekil 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 aşağıda verilmiştir.



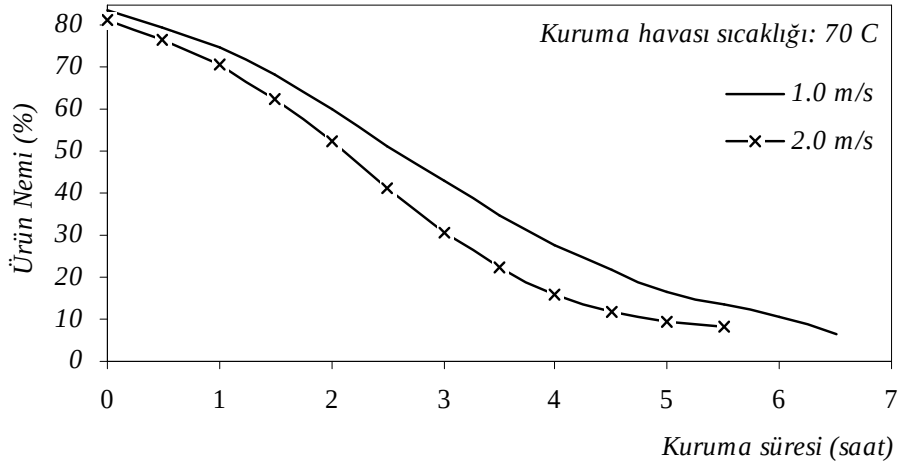

Şekil 5.3. $40^0$ C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan bamya örneklerinin gösterdikleri % nem değişimi




Şekil 5.4. $50^0$ C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan bamya örneklerinin gösterdikleri % nem değişimi




Şekil 5.5. $60^0$ C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan bamya örneklerinin gösterdikleri % nem değişimi




Şekil 5.6. $70^0$ C sıcaklıkta farklı hava hızlarında kurutulan bamya örneklerinin gösterdikleri % nem değişimi

Araştırmada seçilen kurutma havası hız değerlerinde kurutulan bamya örnekleri için her bir hava sıcaklığında en hızlı kuruma 2.0 m/s, en yavaş kuruma ise 1 m/s kuruma hızında gerçekleşmiştir. Örneğin 1.0 m/s hava hızında denge nemi değerine $40^0$C kurutma havası sıcaklığında 25. saat sonunda ulaşılırken, bu değere 2 m/s hava hızı ile kurutulan bamya örneklerinde 23 saat 30 dakika sonra ulaşılabilmiştir.

Ek Çizelge 13'de verilen varyans analiz tablosu incelendiğinde, 2.0 m/s kurutma havası hızında % 41.59 olarak elde edilen ağırlık kaybı değerinin, 1.0 m/s kurutma havası hızında % 38.31 olarak elde edilen ağırlık kaybı değeri arasında, istatistiksel bir farklılık olduğu görülmektedir. Yine Kurutma havası hızı x zaman interaksiyonunda, en yüksek ağırlık kaybı değerinin, 2.0 m/s kurutma havası hızında ve 6. saat sonunda elde edildiği görülmektedir (Ek Çizelge 17).

## 5.3. Farklı Koşullarda Kurutulan Deneme Materyali Ürünlere Ait Kuruma Sabiti Değerleri

Bamya Örneklerinde 40°C, 50°C, 60°C ve 70°C sıcaklık değerleri için ortalama alınabilir nem oranı (ANO) değerleri Ek Çizelge 9, 10, 11 ve 12'de verilmiştir. Deneme materyali bamya örneklerinin kurutulmasında, azalan hızda kuruma evresinde meydana gelen kuruma olayını açıklamak için Newton ve Page

modelleri kullanılmıştır. Bu modellere ait elde edilen istatistiksel değerler Çizelge 5.1 ve 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Farklı Çalışma Koşullarında Newton Modelinde Yer Alan Katsayı ve İstatistiksel Veriler

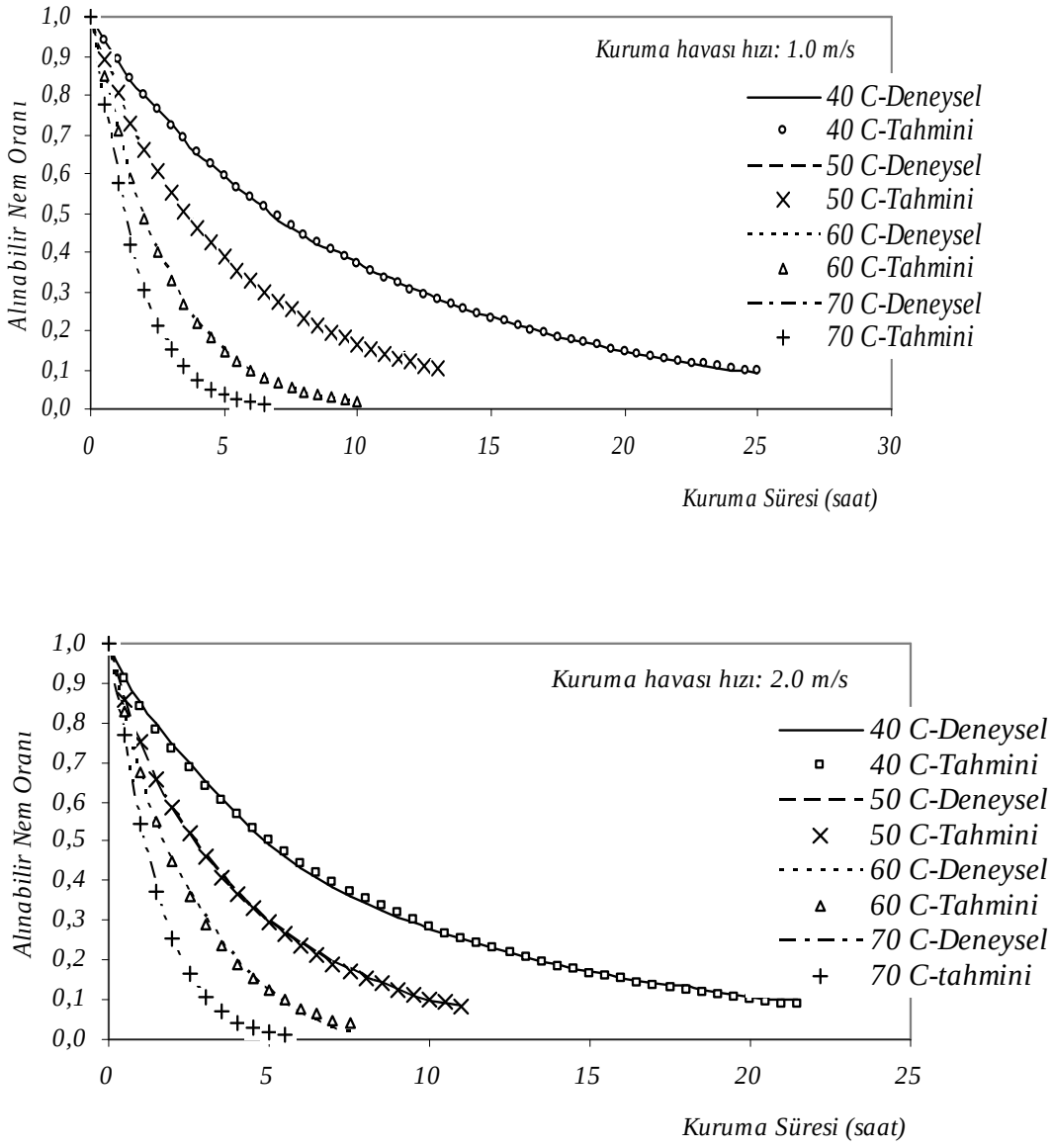
| Kurutma havası sıcaklığı ($^oC$) | Kurutma havası hızı (m/s) | k | RMSE | $\chi^2$ | EF |
|---|---|---|---|---|---|
| *ANO= exp(-k t)* | | | | | |
| 40 | 1.0 | 0,099313 | 0,011318 | 0,000131 | 0,997950 |
| | 2.0 | 0,127845 | 0,024897 | 0,000634 | 0,989590 |
| 50 | 1.0 | 0,187672 | 0,014207 | 0,000210 | 0,996843 |
| | 2.0 | 0,246412 | 0,018214 | 0,000347 | 0,994981 |
| 60 | 1.0 | 0,373243 | 0,009741 | 0,000082 | 0,998841 |
| | 2.0 | 0,410156 | 0,014692 | 0,000230 | 0,997470 |
| 70 | 1.0 | 0,600674 | 0,016764 | 0,000164 | 0,996915 |
| | 2.0 | 0,676087 | 0,025491 | 0,000709 | 0,993696 |

Çizelge 5.2 Farklı Çalışma Koşullarında Page Modelinde Yer Alan Katsayılar ve İstatistiksel Veriler

| Kurutma havası sıcaklığı ($^oC$) | Kurutma havası hızı (m/s) | k | n | RMSE | $\chi^2$ | EF |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *ANO= exp(-k $t^n$)* | | | | | | |
| 40 | 1.0 | 0,115473 | 0,937345 | 0,003213 | 0,000011 | 0,999835 |
| | 2.0 | 0,171723 | 0,865038 | 0,008216 | 0,000071 | 0,998866 |
| 50 | 1.0 | 0,217471 | 0,916889 | 0,002445 | 0,000006 | 0,999906 |
| | 2.0 | 0,289625 | 0,895235 | 0,003849 | 0,000016 | 0,999776 |
| 60 | 1.0 | 0,345682 | 1,064275 | 0,002414 | 0,000005 | 0,999929 |
| | 2.0 | 0,389338 | 1,047966 | 0,012642 | 0,000183 | 0,998127 |
| 70 | 1.0 | 0,551742 | 1,119383 | 0,004386 | 0,000012 | 0,999789 |
| | 2.0 | 0,604686 | 1,189425 | 0,005347 | 0,000034 | 0,999723 |

Çizelge 5,1'de Newton modelinde ait k katsayısı, RMSE, $\chi^2$ ve EF değerleri, Çizelge 5.2'de ise Page modeline ait k ve n katsayısı ile RMSE, $\chi^2$ ve EF değerleri verilmiştir. Bu katsayıların kullanılması ile belirtilen çalışma koşulları için bamyanın en uygun ayrılabilir nem oranını belirlemek mümkündür. Bamyanın kurutulmasında Newton modeli ile yapılan tahminin standart hatası (RMSE) 0.011318 ile 0.025491 arasında, uyumun iyilik derecesini gösteren $\chi^2$ değeri 0.000131 ile 0.000109 arasında ve modelleme yeterliliğini gösteren EF değeri ise 0.998841 ile 0.989590 arasında bir değişim göstermiştir (Çizelge 5.1). Page modeline ait yapılan tahminin standart hatası (RMSE) 0.002414 ile 0.012642 arasında, uyumun iyilik derecesini gösteren $\chi^2$ değeri 0.000005 ile 0.000183 arasında ve modelleme yeterliliğini gösteren EF değeri ise 0.998127 ile 0.999929 arasında bir değişim göstermiştir (Çizelge 5.2). Bu modellerin değerlendirilmesiyle Page modelinin modelleme yeterliliği, Newton modelinin modelleme yeterliliğine göre daha yüksek, $\chi^2$ değerleri ise daha düşük bulunmuştur. Yağcıoğlu (1999) göre de durum aynıdır. Yağcıoğlu'na göre Newton modelinin geliştirilmesi olan Page modeli kurumayı daha iyi temsil eder. İki modele ait $k_1$ (Kuruma sabiti) değerleri incelendiğinde hava hız ve sıcaklığına bağlı olarak k değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu deneme sonuçlarına göre hesaplanan ayrılabilir nem oranı (ANO deneysel) ile bu değerleri açıklayan Page modellerinden elde edilen ayrılabilir nem oranı (ANO tahmini) değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil 5.7'de verilmiştir.

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi deneysel değerler ile modellerden elde edilen tahmini değerler birbirine oldukça yakın olarak bulunmuştur. Dolayısıyla ürünün nem içeriğindeki değişim Page modeli ile deneysel verilere yakın olacak şekilde tahmin edilebilir.




Şekil 5.7. Farklı kurutma şartlarında kurutulan bamyaların deneysel ve Page modeline göre tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin değişimi

### 5.4. Renk Analiz Sonuçları

Taze bamyanın ve kurutulan bamyaların, ölçülen L, a ve b renk değerlerine ait ortalamalar Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Taze Bamyadan ile 1m/s ve 2 m/s Kurutma Hızlarından Elde Edilen L, a ve b Değerleri

| Renk özellikleri | L | a | b |
|---|---|---|---|
| Taze bamya | 54.31±1.01 | -8.27±0.43 | 31.69±0.93 |
| Hava hızı 1 m/s | | | |
| Sıcaklık/ Renk özellikleri | L | a | b |
| $40^0$C | 49.03±0.95 | -0.63±0.26 | 20.16±0.45 |
| $50^0$C | 48.72±1.02 | -0.36±0.13 | 18.66±0.42 |
| $60^0$C | 47.64±1.25 | 0.84±0.36 | 18.90±0.65 |
| $70^0$C | 42.66±2.26 | 1.63±0.30 | 17.29±0.39 |
| Hava hızı 2 m/s | | | |
| Sıcaklık/ Renk özellikleri | L | a | b |
| $40^0$C | 50.68±0.74 | -1.04±0.45 | 20.64±0.38 |
| $50^0$C | 51.52±1.36 | -1.52±0.42 | 20.49±1.13 |
| $60^0$C | 50.97±1.28 | -0.52±0.11 | 17.70±0.36 |
| $70^0$C | 45.98±1.36 | 0.93±0.26 | 18.48±0.64 |

Çizelge 5.3'de görüldüğü gibi, aydınlık derecesi (parlaklık) olarak ifade edilen L değerlerinin kurutma havası hızına ve kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak değişimi 51.52 ile 42.66 değerleri arasında bulunmuştur. Bu değerler, taze bamyanın L değeri ile karşılaştırıldığında, kurutma sonrasında belirgin bir azalma olmuştur. Başka bir ifade ile kurutmayla daha koyu parlaklık değerleri elde edilmiştir. Kurutulan bamyanın L değerlerine yapılan varyans analiz sonucu Ek Çizelge 19'da verilmiştir. Bu Ek Çizelgenin incelenmesinden, aydınlık derecesi değerlerine, kurutma havası hızı ve kurutma havası sıcaklığının etkisinin önemli olduğu, kurutma havası hızı x kurutma havası sıcaklığı interaksiyonunun etkisinin

ise önemsiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kurutma havası hızının seviyelerine bakıldığında, 2 m/s hava hızında parlaklığın, 1 m/s hava hızına göre daha yüksek olduğunu belirtebiliriz. Kurutma havası sıcaklığının seviyelerine bakıldığında (Ek Çizelge 20) en düşük parlaklık değerinin $70^0$C kurutma havası sıcaklığında elde edildiğini ve diğer üç sıcaklık değerinde elde edilen değerler arasında da istatistiksel bir farklılık olmadığını belirtebiliriz (LSD=0,7380). Bu değişimin özellikle yüksek kurutma sıcaklığında gerçekleştiğini vurgulayabiliriz.

+a değeri kırmızılığı, -a değeri yeşil rengi ifade eden a değeri, taze bamyada -8.27 iken, kurutulan bamyalarda bu değer -1.04 ile 1.63 arasında bir değişim göstermiştir. Kurutulan bamya örneklerinde yeşil tonun azaldığını(renk kaybının artığını) belirtebiliriz. Yeşilliği ifade eden -a değerlerine uygulanan varyans analizinde, kurutma havası hızı ve kurutma havası sıcaklığının etkisinin önemli olduğu, kurutma havası hızı x kurutma havası sıcaklığı interaksiyonunun etkisinin ise önemsiz olduğu sonucuna, Ek Çizelge 21'de ulaşılmıştır. Kurutma havası hızının seviyelerine bakıldığında, 1 m/s hava hızında yeşil rengin daha düşük olduğunu (Ek Çizelge 21), kurutma havası sıcaklığının seviyelerine bakıldığında ise (LSD=07719) yeşil rengin değişiminde belirgin bir sıcaklık derecesi saptanamamıştır.

+b değeri sarılığı, -b değeri mavi rengi ifade eden, b değeri taze bamyada 31.69 olarak belirlenmiştir. Kurutulan bamyada ise bu değer 17.29 ile 20.64 arasında belirlenmiştir. Başka bir ifade ile kurutulan bamyada sarı rengin azaldığını belirtebiliriz. Ek Çizelge 23'de bu değişime kurutma havası sıcaklığının istatistiksel açıdan etki ettiği sonucu, kurutma havası hızı ile kurutma havası hızı x kurutma havası sıcaklığı interaksiyonunun ise etki etmediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Kurutma sıcaklığı değerlerine uygulanan LSD testi sonucunda (LSD=1.459), $60^0$ C ve $70^0$C sıcaklıklardaki değişimin istatistiksel olarak farklı olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

**Çalışmadan elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde;**

- Kurutmada kullanılan hava sıcaklığının artışı, bamya örneklerinin tümünde kuruma hızını artırmıştır. Başka bir ifade ile bamya örneklerinin kuruma süreleri, kurutma havası sıcaklığına paralel olarak azalma göstermiştir.

- Bamya örneklerinin kuruma sürelerine, seçilen kurutma havası hız değerleri etki etmiştir. En hızlı kuruma 2 m/s, en yavaş kuruma ise 1 m/s kuruma hızında gerçekleşmiştir.

- Kurutma da kullanılan hava sıcaklığını ve hava hızının artmasıyla kuruma sabiti değerleri artmıştır.

- Bamyanın kurutulmasında Newton modeli ile yapılan tahminin standart hatası (RMSE) 0.011318 ile 0.025491 arasında, uyumun iyilik derecesini gösteren $\chi^2$ değeri 0.000131 ile 0.000109 arasında ve modelleme yeterliliğini gösteren EF değeri ise 0.998841 ile 0.989590 arasında bir değişim göstermiştir.

- Bamyanın kurutulmasında Page modeli ile yapılan tahminin standart hatası (RMSE) 0.002414 ile 0.012642 arasında, uyumun iyilik derecesini gösteren $\chi^2$ değeri 0.000005 ile 0.000183 arasında ve modelleme yeterliliğini gösteren EF değeri ise 0.998127 ile 0.999929 arasında bir değişim göstermiştir.

- Page modelinin modelleme yeterliliği, Newton modelinin modelleme yeterliliğine göre daha yüksek, $\chi^2$ değerleri ise daha düşük bulunmuştur.

- Bamyanın nem içeriğindeki değişim Page modeli ile deneysel verilere yakın olacak şekilde tahmin edilebilir.

- Kurutma hızı ve kurutma sıcaklığın artışına bağlı olarak, kurutulan bamyaların parlaklık (L) değerlerinde, yeşil tonda ve sarı tonda azalma olduğu gözlenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR


Adam, E., Mühlbauer W., Esper A., Wolf W., Spies W., 2000. Qualitiy Changes Of Onion (Allium Cepa L.) As Affected By The Drying Process. Nährung, 44 (1): 32–37

Akpınar, E.K., Biçer, Y., 2002. Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Siklon Tipi Bir Kurutucunun Kullanılabilirliği, Mühendis ve Makine Dergisi, Aralık 2002, Sayı: 515, Ankara.

Akpınar, E.K., Biçer Y., 2003. Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi, G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi 16(1): 159–169

Aktaş, M., Ceylan, İ., Doğan, H., 2004. Güneş Enerjili Kurutma Sistemlerinin Fındık Kurutulmasına Uygulanabilirliği, ANKARA

Akyurt,M., Sevilir, E., Söylemez, E., Selçuk, K., 1971. Güneş Enerjisi ve Bazı Yakıtlarla Meyve ve Sebze Kurutulması,. TUBİTAK, Proje No: TOAG–97, Yayın No:299, Ankara

Albayrak, S. , Karslıgil, M.Y. , 2001. Renkli Görüntülerde Ağırlıklı K-means Yöntemi ile Renk Topaklama 9. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı, KKTC

Alibaş, İ., 2001. Bazı Sebze Ve Meyvelerin Mikrodalga Işınlarla Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı Yüksek lisans tezi, Bursa

Anonymous, 1962. A.M.C. A. Standart Test Code for Air Moving Devices Air Moving and Conditioning Association Inc. Park Ridge, İllinois, USA

Anonymous, 2003. Bitkisel Üretim Verileri, Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr.

Anonymous, 2004. Bitkisel Üretim Verileri, Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr.

Anonymous, 2005. Bitkisel Üretim Verileri, Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr.

Anonymous, 2006. Bitkisel Üretim Verileri, Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr.

Anonymous, 2007. Bitkisel Üretim Verileri, Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr.

Anonymous, 2008. Bitkisel Üretim Verileri, Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr.

Arslan D., Özcan M.M., 2008. Evaluation Of Drying Methods With Respect To Drying Kinetics, Mineral Content And Colour Characteristics Of Rosemary Leaves Energy conversion and management., vol. 49, No. 5, pages 1258–1264

Ayensu, A. 1997. Dehydration of Food Crops Using A Solar Dryer with Convective Heat Flow. Solar Energy, 59 (4–6), 121–126

Ayık, M., 1985.Ürün İşleme Tekniği ve Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 957, Ders Kitabı: 227, Ankara

Cemeroğlu, B.ve Acar, J. 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojis*i*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Yayın No: 6. Ankara.

Coleman, N 1978. Preliminary Evaluations Of Sulfite Preatreaatments For Sundried And Hot-Dried, Qeqeenb, Qnoc,, Fya, Bkake Ponk, Boc, 91:146–148.

DeMan, J., M. 1990. Principles of Food Chemistry, Apsen Publication, 2nd Edition, New York, Amerika.

Demirtaş, C.,1996. Fındık Kurutma Şartlarının Belirlenmesi, Doktora tezi, K.T. U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon,

Doğantan, Z. S., Tuncer, K. 1988. Kahramanmaraş Kırmızı Biberinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Saptanarak Doğal Koşullarda ve Plastik Örtü Altı Güneş Toplayıcılarıyla Kurutulması Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Ve Mühendislik Fakültesi Dergisi, 1–18, Adana

Doğantan, Z. S., Tuncer, K. 1989. Kahramanmaraş Kırmızı Biberin Kurutulmasında Önemli Olan Karakteristik Parametrelerin Deneysel Saptanması,. Doğa, Tarım ve Ormancılık Dergisi, 42–48, Ankara.

Doymaz İ., 1998.“Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi ”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.T.Ü.

Doymaz İ., Tuğrul N., Pala M., 2003.“Maydanozun Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi”,Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 2003–3,1–8

Düzgüneş, O.,Kesici ,İ.,Gürbüz, F., 1983. İstatistik Metotları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 861, Ankara

Elustondo, M. P., Pelegrina A.H., Urbicain M.J. 1996. A Model For The Dehydration Rate Of Onions. J. Of Food Engng. (29): 375–386

Erdem T., 2007. “Ozonlu Su İle Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi İle Kurutulması” Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

Erdoğan, D., 1984. Doğal Akışlı Güneşli Kurutucular. 2.Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Sempozyumu, 224–231, Ankara

Ergüneş, G., 1990. Çekirdeksiz Üzümün Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir

Ergüneş, G., Özgöz, E., 1995. Bazı Sebzelerin Sera İçinde Kuruma Karakteristikleri. Tarımsal Mekanizasyon, 16. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 461–470, Bursa

Ertekin, C, Yaldız, O., Möhlbauer, W., 2001. İncirin Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Kuruma Davranışının Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 405 411, Şanlıurfa.

Ertekin, C., 2002. Bazı Sebze ve Meyvelerin Kurutulması, Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 33–57, İzmir.

Funebo, T. Ve Ohlsson, T., 1998. Microwave-Assisted Air Dehydration Of Apple and Mushroom. Journal Of Food Engineering, 38 (3), 353–367.

Gulyaev V.N., Bugrova L.N., 1981.“New Method of Manufacture of Fast-Cooking Dried Vegetables and Potatoes”,Konservnaya-i-Ovoshchesushil’naya-Promyshlennost’, 7, 29–31

Güner, M. 1991. Kurutmanın Bilimsel Temelleri, Kurutma Modelleri ve Güneşli Kurutucular. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınlar, Yayın No:1205, Derlemeler:48,Ankara.

Gögüs, F. ve Maskan, M. 1999. “Water adsorption and drying characteristics of Okra”, Drying Technology, 17:(4&5), 883–894.

Kachru, R., Singh, K., 1994. Drying Characteristics of Pretreated Gren Gram (*Phaseolus Aureus*) Drying 1994. Proceding of the 9th İnternational Drying Symposium, Vol. B, 1093–1104, Australia

Kamışlı F., 2003."Sert Buğdaydan Yapılmış Bulgurun Tepsili Kurutucuda Kurutulması", Gıda Teknolojisi Dergisi Sayı: 6

Karathanos, V.T., Belessiootis, V.G., 1999. Application of a Thin Layer Equation to Drying Data of Fresh and Semi – Dried Fruits. Journal of Agricultural Engineering, RES., 74, 355 – 361

Kocabıyık, H., B.S. Demirtürk, 2008. Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi,. Cilt:5(3)239–246

Koç, A.B., Toy, M., Hayoğlu, İ. ve Vardin, H. 2003. Kırmızı Biber Kurutmada Kullanılan Güneş Enerjili Bir Kurutucu Performansı HR. Ü. Z.F. Dergisi 8 (2) 57–65

Lin T. M., Durance T. D., Scaman C. H., 1998. Characterization Of Vacuum Microwave, Air And Freze Dried Carrot Slices. Food Research International, 31 (2), 11–117

Liu, Q. ve Bakker-Arkema, F.W., 1997. Stochastic Modelling of Grain Drying: Part 2. Model Development. Journal of Agricultural. Engineering Research, 66, 275–280

Loague,K., Green,R.E., 1991. Statistical and Graphical Methods for Evaluating Solute Transport Models.Overview and Application. J. Contam, Hydrol., Vol.7,pp. 51–73.

Madamba P.S., Driscoll R.H., Buckle K.A. 1996. The Thin-Layer Drying Characteristics Of Garlic Slices. J. Of Food Engng., (29), 75-97

Marıupol, L.D., 1975."Chemical Characteristics of Dried Canned Vegetable Snacks", Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Pishchevaya Tekhnologiya, 1,38–40

Mazza, G. 1983. Dehydration of Carrots, Effects of Pre-Drying Treatments on Moisture Transport and Product Quality, J.Of Food Technol., 18, 113-123

Nehru,C., Kumar, V., Maheswari, C.,Gothandapani, L. 1995. Solar Drying Characteristics of Oyster Mushroom-Research, (4,1), 27–30, India

Olgun, H., Rzayev P., 2000.“Fındığın Üç Farklı Sistemde Güneş Enerjisi ile Kurutulması”, Tr J Engin Environ Sci, Tübitak, 24, 1–14

Özcan, M., Arslan, D. Ve Ünver, A., 2005. Effect of drying methods on the mineral content of basil (Ocimum basilicum L.). Journal of Food Engineering 69: 375–379.

Özen, G., 2008. Havuç Suyu Konsantresinin Türk Lokumunda Renklendirici Olarak Kullanılması ve Depolama Stabilitesinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya

Özler S., Ergüneş G., Tarhan S., 2006. “Mısırda Farklı Ön İşlemlerin Kuruma Hızına Etkisi” ,Dergi: OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 21(2):160–166

Pal ,U.S., Chakraverty, A., 1997. Thin-Layer Convection-Drying of Mushrooms. Energy Conversion and Management, 38 (2):107–113.

Pala, M., 1987. “Kurutma Tekniği ve Meyve - Sebzelerin Kurutulmaları”, TÜBİTAK- Marmara Araştırma Enstitüsü, Gebze

Pangavhane D R; Sawhney R L; Sarsavadia P N 1999. Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes.J.of Food Engng., 39:211-216.

Popescu, C, Marinescu, I., Flueraru, M., Ionescu, R., Novaceanu, M., Cretu, O., Tapangea, A., 1972. Manufacture of Dehydrated Vegetables with Improved Rehydration Properties, For Use in Soup Concentrates, Lucrari de Cercetare, 10, 103–117.

Sarsavadia, P., Sawhney, R., Pangavhane, D.R., ve Singh, S.P., 1999. Drying Behaviour of Brined Onion Slices. Journal Food Engineering, 40, 219–226

Sittiphong, N., Therdoon, P., Klongpanich, W., Sıratanapanta, T., 1989. Drying Characteristics of Soybean and Groundnut. Grain Postharvest Systems. Proceedings of the Tenth ASEAN Technical Seminar on Grain Postharvest Technology. 137–147, Thaıland

Soysal, Y. ve Öztekin, S. 2001. “Comparison of seven equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants”, Journal of Agricultural Engineering Research, 78:(1), 57–63.

Soysal, Y. 2004. “Microwave drying characteristics of parsley”, Biosystems Engineering, 89:(2), 167–173.

Tiris, C., Özbalta, N., Tiris, M., Dincer, I., 1994. Experimental Testing of A New Solar Dryer. Int. J. of Energy Research, 18, 483–490

Toğrul H., Toğrul İ., İspir A., 2005a. Mantarların İnce Tabaka Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya

Toğrul H., Toğrul İ., İspir A., 2005b. İnfrared Kurutucuda Muzun Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya

Tuğrul, N., İ. Doymaz, M. Pala. (2001). Dereotunun kuruma karakteristiklerinin İncelenmesi. Gıda, 6.403–407.

Tulasıdas, T. N., Raghavan, G. S. V. Ve Norrıs, E. R., 1993. Microwave And Convective Drying Of Grapes. Transactions Of The ASAE, (En, 20 ref.) Presented as ASAE Paper No. 92 – 3016.

Tuncer, K.T., 1990. Kurutmada Yeni Teknolojiler. Yüksek Frekanslı Mikrodalgayla Sebze Kurutma Üzerine Bir Araştırma. 4. Tarımsal Mekanizasyon Ve Enerji Kongresi, 472–480, Adana

Tunç M., 2008. “İnce Tabaka Halinde Kurutulan Patlıcanın Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi Ve Kuruma Davranışının Modellenmesi” Üzerine Bir Araştırma, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

Uz, E., 1978. Tarımsal Ürünleri Kurutma ve Soğutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:267,Bornova, İzmir

Winkler, A.J., 1962. General Viticulture. University of California Pres, USA

Yaldız O., 2001. Havuç Ve Pırasa Kurutulmasında Kurutma Havası Özelliklerinin Kuruma Karakteristiklerine Etkisi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi, 412–417, Şanlıurfa

Yamashita, R., 1982. Postharvesting. Laboratory Of Farm Processing Machinery. Faculty Of Agriculturell, Kyoto University, Kyoto-Japon

Yağcıoğlu, A., 1981. Tavuk gübresinin Değişik Hava Koşullarında Kuruma Özelliklerinin Saptanması Üzerinde Bir Araştırma. Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, Bornova, İzmir

Yağcıoğlu, A., 1986 .Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Notları, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, Bornova, İzmir

Yağcıoğlu A. 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 536, İzmir

Ek Çizelge 1. Bamya örneklerinde $40^0$ C Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri

| t | $N_1$ | $N_2$ | Ortalama ağırlık azalması |
|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 100 | 100 |
| 0,5 | 95,53 | 94,95 | 95,24 |
| 1 | 91,48 | 91 | 91,24 |
| 1,5 | 87,93 | 87,05 | 87,49 |
| 2 | 84,98 | 83,94 | 84,46 |
| 2,5 | 82,19 | 80,99 | 81,59 |
| 3 | 78,31 | 79,14 | 78,73 |
| 3,5 | 75,19 | 76,37 | 75,78 |
| 4 | 72,15 | 73,51 | 72,83 |
| 4,5 | 70,04 | 71,4 | 70,72 |
| 5 | 67,68 | 69,22 | 68,45 |
| 5,5 | 65,23 | 67,03 | 66,13 |
| 6 | 63,12 | 64,93 | 64,03 |
| 6,5 | 61,18 | 63,16 | 62,17 |
| 7 | 58,57 | 60,64 | 59,61 |
| 7,5 | 56,88 | 58,87 | 57,88 |
| 8 | 55,36 | 57,44 | 56,4 |
| 8,5 | 53,76 | 55,93 | 54,85 |
| 9 | 52,74 | 55 | 53,87 |
| 9,5 | 51,31 | 53,66 | 52,49 |
| 10 | 50,13 | 52,23 | 51,18 |
| 10,5 | 48,61 | 50,8 | 49,71 |
| 11 | 47,51 | 49,45 | 48,48 |
| 11,5 | 46,24 | 48,36 | 47,3 |
| 12 | 45,15 | 47,27 | 46,21 |
| 12,5 | 44,14 | 46,01 | 45,08 |
| 13 | 43,04 | 45,08 | 44,06 |
| 13,5 | 42,11 | 44,07 | 43,09 |
| 14 | 41,27 | 43,06 | 42,17 |
| 14,5 | 40,34 | 42,14 | 41,24 |
| 15 | 39,41 | 41,3 | 40,36 |
| 15,5 | 38,65 | 40,45 | 39,55 |
| 16 | 37,64 | 39,53 | 38,59 |
| 16,5 | 37,22 | 39,11 | 38,17 |
| 17 | 36,37 | 37,93 | 37,15 |
| 17,5 | 35,61 | 37,34 | 36,48 |
| 18 | 35,19 | 36,67 | 35,93 |
| 18,5 | 34,6 | 36,08 | 35,34 |
| 19 | 33,92 | 35,49 | 34,71 |
| 19,5 | 33,16 | 34,82 | 33,99 |
| 20 | 32,74 | 34,4 | 33,57 |
| 20,5 | 32,24 | 33,73 | 32,99 |
| 21 | 31,81 | 33,31 | 32,56 |
| 21,5 | 31,39 | 32,72 | 32,06 |
| 22 | 30,89 | 32,3 | 31,6 |
| 22,5 | 30,38 | 31,71 | 31,05 |
| 23 | 29,79 | 31,12 | 30,46 |
| 23,5 | 29,62 | 30,78 | 30,2 |
| 24 | 29,11 | 30,36 | 29,74 |
| 24,5 | 28,86 | 30,11 | 29,49 |
| 25 | 28,61 | 29,94 | 29,28 |

Ek Çizelge 2. Bamya örneklerinde $50^0$ C Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri

| t | $N_1$ | $N_2$ | Ortalama ağırlık azalması |
|---|---|---|---|
| 0,00 | 100 | 100 | 100,00 |
| 0,50 | 91,59 | 90,76 | 91,18 |
| 1,00 | 85,15 | 83,77 | 84,46 |
| 1,50 | 79,58 | 77,87 | 78,73 |
| 2,00 | 74,63 | 72,67 | 73,65 |
| 2,50 | 70,23 | 68,09 | 69,16 |
| 3,00 | 66,3 | 63,98 | 65,14 |
| 3,50 | 62,61 | 60,25 | 61,43 |
| 4,00 | 59,47 | 57,07 | 58,27 |
| 4,50 | 56,4 | 53,88 | 55,14 |
| 5,00 | 53,57 | 51,24 | 52,41 |
| 5,50 | 50,9 | 48,6 | 49,75 |
| 6,00 | 48,78 | 46,51 | 47,65 |
| 6,50 | 46,5 | 44,41 | 45,46 |
| 7,00 | 44,7 | 42,47 | 43,59 |
| 7,50 | 42,97 | 40,84 | 41,91 |
| 8,00 | 41,24 | 39,21 | 40,23 |
| 8,50 | 39,91 | 37,73 | 38,82 |
| 9,00 | 38,57 | 36,49 | 37,53 |
| 9,50 | 37,31 | 35,09 | 36,20 |
| 10,00 | 36,14 | 33,85 | 35,00 |
| 10,50 | 35,04 | 32,76 | 33,90 |
| 11,00 | 34,17 | 31,83 | 33,00 |
| 11,50 | 33,23 | 30,82 | 32,03 |
| 12,00 | 32,36 | 30,05 | 31,21 |
| 12,50 | 31,58 | 29,19 | 30,39 |
| 13,00 | 31,03 | 28,42 | 29,73 |

Ek Çizelge 3. Bamya örneklerinde $60^0$ C Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri

| t | $N_1$ | $N_2$ | Ortalama ağırlık azalması |
|---|---|---|---|
| 0,00 | 100 | 100 | 100,00 |
| 0,50 | 87,07 | 86,12 | 86,60 |
| 1,00 | 75,95 | 74,98 | 75,47 |
| 1,50 | 66,01 | 65,33 | 65,67 |
| 2,00 | 57,49 | 57,02 | 57,26 |
| 2,50 | 50,16 | 49,96 | 50,06 |
| 3,00 | 44,16 | 44 | 44,08 |
| 3,50 | 39,12 | 38,9 | 39,01 |
| 4,00 | 35,09 | 34,67 | 34,88 |
| 4,50 | 31,78 | 31,22 | 31,50 |
| 5,00 | 29,1 | 28,39 | 28,75 |
| 5,50 | 26,97 | 26,12 | 26,55 |
| 6,00 | 25,08 | 24,31 | 24,70 |
| 6,50 | 23,5 | 22,75 | 23,13 |
| 7,00 | 22,16 | 21,41 | 21,79 |
| 7,50 | 21,06 | 20,39 | 20,73 |
| 8,00 | 20,19 | 19,53 | 19,86 |
| 8,50 | 19,4 | 18,82 | 19,11 |
| 9,00 | 18,77 | 18,43 | 18,60 |
| 9,50 | 18,3 | 17,96 | 18,13 |
| 10,00 | 17,98 | 17,65 | 17,82 |

Ek Çizelge 4. Bamya örneklerinde $70^0$ C Sıcaklık ve 1 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri

| t | $N_1$ | $N_2$ | Ortalama ağırlık azalması |
|---|---|---|---|
| 0,00 | 100 | 100 | 100,00 |
| 0,50 | 81,11 | 80,87 | 80,99 |
| 1,00 | 65,8 | 64,45 | 65,13 |
| 1,50 | 51,95 | 51,72 | 51,84 |
| 2,00 | 41,21 | 41,38 | 41,30 |
| 2,50 | 33,55 | 34,15 | 33,85 |
| 3,00 | 28,42 | 29,15 | 28,79 |
| 3,50 | 24,92 | 25,37 | 25,15 |
| 4,00 | 22,56 | 22,82 | 22,69 |
| 4,50 | 20,85 | 21,26 | 21,06 |
| 5,00 | 19,54 | 19,87 | 19,71 |
| 5,50 | 18,73 | 19,29 | 19,01 |
| 6,00 | 18,16 | 18,64 | 18,40 |
| 6,50 | 17,35 | 17,82 | 17,59 |

Ek Çizelge 5. Bamya örneklerinde $40^0$ C Sıcaklık ve 2 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri

| t | $N_1$ | $N_2$ | Ortalama ağırlık azalması |
|---|---|---|---|
| 0,00 | 100 | 100 | 100,00 |
| 0,50 | 93,91 | 93,28 | 93,60 |
| 1,00 | 89,04 | 88,36 | 88,70 |
| 1,50 | 85,03 | 84,22 | 84,63 |
| 2,00 | 80,95 | 80,02 | 80,49 |
| 2,50 | 77,3 | 76,30 | 76,80 |
| 3,00 | 73,77 | 72,65 | 73,21 |
| 3,50 | 70,3 | 69,11 | 69,71 |
| 4,00 | 67,26 | 66,05 | 66,66 |
| 4,50 | 64,27 | 62,99 | 63,63 |
| 5,00 | 61,47 | 60,35 | 60,91 |
| 5,50 | 59,16 | 57,89 | 58,53 |
| 6,00 | 56,73 | 55,67 | 56,20 |
| 6,50 | 54,96 | 53,75 | 54,36 |
| 7,00 | 53,07 | 51,89 | 52,48 |
| 7,50 | 51,43 | 50,21 | 50,82 |
| 8,00 | 49,97 | 48,71 | 49,34 |
| 8,50 | 48,57 | 47,33 | 47,95 |
| 9,00 | 47,29 | 46,01 | 46,65 |
| 9,50 | 46,14 | 44,87 | 45,51 |
| 10,00 | 44,98 | 43,73 | 44,36 |
| 10,50 | 44 | 42,65 | 43,33 |
| 11,00 | 42,97 | 41,63 | 42,30 |
| 11,50 | 42,12 | 40,67 | 41,40 |
| 12,00 | 41,33 | 39,83 | 40,58 |
| 12,50 | 40,47 | 38,99 | 39,73 |
| 13,00 | 39,62 | 38,15 | 38,89 |
| 13,50 | 38,89 | 37,37 | 38,13 |
| 14,00 | 38,16 | 36,65 | 37,41 |
| 14,50 | 37,55 | 35,99 | 36,77 |
| 15,00 | 36,88 | 35,33 | 36,11 |
| 15,50 | 36,28 | 34,73 | 35,51 |
| 16,00 | 35,67 | 34,13 | 34,90 |
| 16,50 | 35,12 | 33,59 | 34,36 |
| 17,00 | 34,57 | 32,99 | 33,78 |
| 17,50 | 34,27 | 32,57 | 33,42 |
| 18,00 | 34,21 | 32,09 | 33,15 |
| 18,50 | 33,23 | 31,61 | 32,42 |
| 19,00 | 32,81 | 31,13 | 31,97 |
| 19,50 | 32,44 | 30,71 | 31,58 |
| 20,00 | 32,01 | 30,35 | 31,18 |
| 20,50 | 31,65 | 29,93 | 30,79 |
| 21,00 | 31,28 | 29,57 | 30,43 |
| 21,50 | 31,04 | 29,87 | 30,46 |

Ek Çizelge 6. Bamya örneklerinde $50^0$ C Sıcaklık ve 2 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri

| t | $N_1$ | $N_2$ | Ortalama ağırlık azalması |
|---|---|---|---|
| 0,00 | 100 | 100 | 100,00 |
| 0,50 | 89,04 | 88,76 | 88,90 |
| 1,00 | 80,9 | 80,25 | 80,58 |
| 1,50 | 73,75 | 72,81 | 73,28 |
| 2,00 | 68,36 | 67,11 | 67,74 |
| 2,50 | 63,46 | 61,98 | 62,72 |
| 3,00 | 59,3 | 57,52 | 58,41 |
| 3,50 | 55,56 | 53,72 | 54,64 |
| 4,00 | 51,99 | 50,41 | 51,20 |
| 4,50 | 49,42 | 47,52 | 48,47 |
| 5,00 | 46,93 | 44,79 | 45,86 |
| 5,50 | 44,68 | 42,48 | 43,58 |
| 6,00 | 42,69 | 40,5 | 41,60 |
| 6,50 | 40,78 | 38,51 | 39,65 |
| 7,00 | 39,04 | 36,86 | 37,95 |
| 7,50 | 37,54 | 35,21 | 36,38 |
| 8,00 | 36,05 | 33,8 | 34,93 |
| 8,50 | 34,8 | 32,56 | 33,68 |
| 9,00 | 33,39 | 31,24 | 32,32 |
| 9,50 | 32,31 | 30,08 | 31,20 |
| 10,00 | 31,31 | 29,01 | 30,16 |
| 10,50 | 30,65 | 28,43 | 29,54 |
| 11,00 | 30,23 | 28,02 | 29,13 |

Ek Çizelge 7. Bamya örneklerinde $60^0$ C Sıcaklık ve 2 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri

| t | $N_1$ | $N_2$ | Ortalama ağırlık azalması |
|---|---|---|---|
| 0,00 | 100 | 100 | 100,00 |
| 0,50 | 84,25 | 84,78 | 84,52 |
| 1,00 | 71,78 | 72,66 | 72,22 |
| 1,50 | 61,47 | 62,12 | 61,80 |
| 2,00 | 53,77 | 54,01 | 53,89 |
| 2,50 | 47,65 | 47,99 | 47,82 |
| 3,00 | 42,04 | 42,31 | 42,18 |
| 3,50 | 37,27 | 37,54 | 37,41 |
| 4,00 | 33,17 | 33,44 | 33,31 |
| 4,50 | 29,31 | 29,52 | 29,42 |
| 5,00 | 26,55 | 26,76 | 26,66 |
| 5,50 | 24,04 | 24,25 | 24,15 |
| 6,00 | 22,11 | 22,24 | 22,18 |
| 6,50 | 20,35 | 20,32 | 20,34 |
| 7,00 | 18,84 | 18,81 | 18,83 |
| 7,50 | 18,09 | 18,06 | 18,08 |

Ek Çizelge 8. Bamya örneklerinde $70^0$ C Sıcaklık ve 2 m/s Hava Hızı Değerlerinde Yüzde Ağırlık Azalması Değerleri

| t | $N_1$ | $N_2$ | Ortalama ağırlık azalması |
|---|---|---|---|
| 0,00 | 100 | 100 | 100,00 |
| 0,50 | 81,45 | 79,5 | 80,48 |
| 1,00 | 65,06 | 62,16 | 63,61 |
| 1,50 | 50,58 | 48,22 | 49,40 |
| 2,00 | 40,1 | 38,09 | 39,10 |
| 2,50 | 32,11 | 31,04 | 31,58 |
| 3,00 | 27,04 | 26,72 | 26,88 |
| 3,50 | 23,71 | 23,98 | 23,85 |
| 4,00 | 21,8 | 22,24 | 22,02 |
| 4,50 | 20,8 | 21,41 | 21,11 |
| 5,00 | 20,13 | 20,83 | 20,48 |
| 5,50 | 19,8 | 20,58 | 20,19 |

Ek Çizelge 9. Bamya Örneklerinde 40°C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri

| t (süre) saat | Hava hızları (m/s) | |
|---|---|---|
| | 1.0 m/s | 2.0 m/s |
| 0,00 | 1,0000 | 1,0000 |
| 0,50 | 0,9389 | 0,9169 |
| 1,00 | 0,8875 | 0,8535 |
| 1,50 | 0,8393 | 0,8006 |
| 2,00 | 0,8004 | 0,7470 |
| 2,50 | 0,7636 | 0,6992 |
| 3,00 | 0,7268 | 0,6526 |
| 3,50 | 0,6889 | 0,6072 |
| 4,00 | 0,6511 | 0,5676 |
| 4,50 | 0,6240 | 0,5284 |
| 5,00 | 0,5948 | 0,4931 |
| 5,50 | 0,5650 | 0,4622 |
| 6,00 | 0,5380 | 0,4321 |
| 6,50 | 0,5141 | 0,4081 |
| 7,00 | 0,4812 | 0,3838 |
| 7,50 | 0,4590 | 0,3623 |
| 8,00 | 0,4400 | 0,3431 |
| 8,50 | 0,4201 | 0,3251 |
| 9,00 | 0,4075 | 0,3082 |
| 9,50 | 0,3898 | 0,2934 |
| 10,00 | 0,3730 | 0,2785 |
| 10,50 | 0,3541 | 0,2651 |
| 11,00 | 0,3383 | 0,2518 |
| 11,50 | 0,3232 | 0,2401 |
| 12,00 | 0,3092 | 0,2295 |
| 12,50 | 0,2946 | 0,2185 |
| 13,00 | 0,2816 | 0,2075 |
| 13,50 | 0,2691 | 0,1977 |
| 14,00 | 0,2572 | 0,1883 |
| 14,50 | 0,2453 | 0,1801 |
| 15,00 | 0,2340 | 0,1715 |
| 15,50 | 0,2236 | 0,1637 |
| 16,00 | 0,2112 | 0,1559 |
| 16,50 | 0,2058 | 0,1488 |
| 17,00 | 0,1928 | 0,1413 |
| 17,50 | 0,1841 | 0,1367 |
| 18,00 | 0,1771 | 0,1332 |
| 18,50 | 0,1696 | 0,1237 |
| 19,00 | 0,1614 | 0,1179 |
| 19,50 | 0,1522 | 0,1127 |
| 20,00 | 0,1468 | 0,1076 |
| 20,50 | 0,1393 | 0,1026 |
| 21,00 | 0,1339 | 0,0978 |
| 21,50 | 0,1274 | 0,0982 |
| 22,00 | 0,1215 | |
| 22,50 | 0,1144 | |
| 23,00 | 0,1068 | |
| 23,50 | 0,1036 | |
| 24,00 | 0,0976 | |
| 24,50 | 0,0944 | |
| 25,00 | 0,0917 | |

Ek Çizelge 10. Bamya Örneklerinde 50°C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri

| t (süre) saat | Hava hızları (m/s) | |
|---|---|---|
| | 1.0 m/s | 2.0 m/s |
| 0,00 | 1,0000 | 1,0000 |
| 0,50 | 0,8866 | 0,8560 |
| 1,00 | 0,8004 | 0,7481 |
| 1,50 | 0,7267 | 0,6534 |
| 2,00 | 0,6615 | 0,5815 |
| 2,50 | 0,6039 | 0,5165 |
| 3,00 | 0,5522 | 0,4606 |
| 3,50 | 0,5046 | 0,4117 |
| 4,00 | 0,4640 | 0,3671 |
| 4,50 | 0,4238 | 0,3316 |
| 5,00 | 0,3886 | 0,2978 |
| 5,50 | 0,3545 | 0,2682 |
| 6,00 | 0,3275 | 0,2425 |
| 6,50 | 0,2994 | 0,2172 |
| 7,00 | 0,2753 | 0,1952 |
| 7,50 | 0,2538 | 0,1748 |
| 8,00 | 0,2322 | 0,1560 |
| 8,50 | 0,2141 | 0,1398 |
| 9,00 | 0,1976 | 0,1221 |
| 9,50 | 0,1805 | 0,1076 |
| 10,00 | 0,1650 | 0,0942 |
| 10,50 | 0,1509 | 0,0861 |
| 11,00 | 0,1394 | 0,0807 |
| 11,50 | 0,1268 | |
| 12,00 | 0,1163 | |
| 12,50 | 0,1058 | |
| 13,00 | 0,0973 | |

Ek Çizelge 11. Bamya Örneklerinde 60°C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri

| t Süre (saat) | Hava hızları (m/s) | |
|---|---|---|
| | 1.0 m/s | 2.0 m/s |
| 0,00 | 1,0000 | 1,0000 |
| 0,50 | 0,8395 | 0,8146 |
| 1,00 | 0,7062 | 0,6673 |
| 1,50 | 0,5889 | 0,5425 |
| 2,00 | 0,4882 | 0,4478 |
| 2,50 | 0,4020 | 0,3751 |
| 3,00 | 0,3304 | 0,3075 |
| 3,50 | 0,2697 | 0,2504 |
| 4,00 | 0,2203 | 0,2013 |
| 4,50 | 0,1798 | 0,1547 |
| 5,00 | 0,1468 | 0,1216 |
| 5,50 | 0,1205 | 0,0916 |
| 6,00 | 0,0983 | 0,0680 |
| 6,50 | 0,0795 | 0,0459 |
| 7,00 | 0,0635 | 0,0278 |
| 7,50 | 0,0508 | 0,0189 |
| 8,00 | 0,0404 | |
| 8,50 | 0,0315 | |
| 9,00 | 0,0253 | |
| 9,50 | 0,0197 | |
| 10,00 | 0,0159 | |

Ek Çizelge 12. Bamya Örneklerinde 70°C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri

| t (süre) saat | Hava hızları (m/s) | |
|---|---|---|
| | 1.0 m/s | 2.0 m/s |
| 0,00 | 1,0000 | 1,0000 |
| 0,50 | 0,7725 | 0,7603 |
| 1,00 | 0,5826 | 0,5532 |
| 1,50 | 0,4235 | 0,3787 |
| 2,00 | 0,2974 | 0,2522 |
| 2,50 | 0,2083 | 0,1599 |
| 3,00 | 0,1476 | 0,1022 |
| 3,50 | 0,1041 | 0,0649 |
| 4,00 | 0,0747 | 0,0425 |
| 4,50 | 0,0551 | 0,0313 |
| 5,00 | 0,0390 | 0,0236 |
| 5,50 | 0,0306 | 0,0201 |
| 6,00 | 0,0233 | |
| 6,50 | 0,0136 | |

Ek Çizelge 13. Bamya Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama % Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler İçin Varyans Analiz Sonuçları

| Varyans Kaynakları | SD | KT | KO | F | |
|---|---|---|---|---|---|
| Hız (V) | 1 | 520.2 | 520.2 | 713.70** | |
| Sıcaklık (T) | 3 | 37860.9 | 12620.3 | 17000** | |
| Zaman (Z) | 11 | 6951 | 6319.5 | 8670.53** | |
| VxT | 3 | 152.6 | 50.9 | 69.77** | |
| VxZ | 11 | 69.2 | 6.3 | 8.63** | |
| TxZ | 33 | 6781.8 | 205.5 | 281.96** | |
| VxTxZ | 33 | 77.4 | 2.3 | 3.22** | Hız |
| Hata | 96 | 70 | 0.7 | | $V_1=38.31_a$ |
| Toplam | 191 | 115048.5 | | | $V_2=41.58_b$ |

Ek Çizelge 14. Bamya Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değeriyle Kurutma Sıcaklıklarına Yapılan LSD Testi Sonuçları

| Hava sıcaklığı | $T_{40}$ | $T_{50}$ | $T_{60}$ | $T_{70}$ |
|---|---|---|---|---|
| Ağırlık azalması (%) | $21.27_{d}$ | $32.72_{c}$ | $47.79_{b}$ | $57.99_{a}$ |

LSD=0.4443

Ek Çizelge 15. Bamya Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değeriyle Kurutma Zamanlarına Yapılan LSD Testi Sonuçları

| Kuruma zamanı | Ağırlık azalması (%) |
|---|---|
| $Z_0$ | $0.0_{l}$ |
| $Z_{0.5}$ | $12.31_{k}$ |
| $Z_{1.5}$ | $22.33_{j}$ |
| $Z_2$ | $30.90_{ı}$ |
| $Z_{2.5}$ | $37.77_{h}$ |
| $Z_3$ | $43.30_{g}$ |
| $Z_{3.5}$ | $47.82_{f}$ |
| $Z_4$ | $51.63_{e}$ |
| $Z_{4.5}$ | $54.77_{d}$ |
| $Z_5$ | $57.37_{c}$ |
| $Z_{5.5}$ | $59.60_{b}$ |
| $Z_6$ | $61.52_{a}$ |

LSD=0.7696

Ek Çizelge 16. Bamya Örneklerinde % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan LSD Testi Sonuçları

| Hava hızı | Hava sıcaklığı | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $T_{40}$ | $T_{50}$ | $T_{60}$ | $T_{70}$ |
| $V_1$ | $18.95_{h}$ | $30.06_{f}$ | $46.68_{d}$ | $57.54_{b}$ |
| $V_2$ | $23.60_{g}$ | $35.38_{e}$ | $48.89_{c}$ | $58.44_{a}$ |

LSD=0.6284

Ek Çizelge 17. Bamya Örneklerinde % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan LSD Testi Sonuçları

| Hava hızı | Kuruma zamanı | Ağırlık azalması (%) |
|---|---|---|
| $V_1$ | $Z_0$ | $0.00_s$ |
| | $Z_{0.5}$ | $11.50_r$ |
| | $Z_{1.5}$ | $20.93_p$ |
| | $Z_2$ | $29.07_n$ |
| | $Z_{2.5}$ | $35.84_l$ |
| | $Z_3$ | $41.34_j$ |
| | $Z_{3.5}$ | $45.82_ı$ |
| | $Z_4$ | $49.66_h$ |
| | $Z_{4.5}$ | $52.83_g$ |
| | $Z_5$ | $55.39_e$ |
| | $Z_{5.5}$ | $57.67_d$ |
| | $Z_6$ | $59.64_c$ |
| $V_2$ | $Z_0$ | $0.00_s$ |
| | $Z_{0.5}$ | $13.13_q$ |
| | $Z_{1.5}$ | $23.72_o$ |
| | $Z_2$ | $32.73_m$ |
| | $Z_{2.5}$ | $39.70_k$ |
| | $Z_3$ | $45.27_ı$ |
| | $Z_{3.5}$ | $49.83_h$ |
| | $Z_4$ | $53.60_f$ |
| | $Z_{4.5}$ | $56.71_d$ |
| | $Z_5$ | $59.35_c$ |
| | $Z_{5.5}$ | $61.52_b$ |
| | $Z_6$ | $63.39_a$ |

LSD=1.088

Ek Çizelge 18. Bamya Örneklerinde % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan LSD Testi Sonuçları

| Hava sıcaklığı | Kuruma zamanı | Ağırlık azalması (%) |
|---|---|---|
| $T_{40}$ | $Z_0$ | 0.00^ |
| | $Z_{0.5}$ | 5.58] |
| | $Z_{1.5}$ | 10.03\ |
| | $Z_2$ | 13.94[ |
| | $Z_{2.5}$ | $17.53_{z}$ |
| | $Z_3$ | $20.81_{x}$ |
| | $Z_{3.5}$ | $24.03_{w}$ |
| | $Z_4$ | $27.26_{v}$ |
| | $Z_{4.5}$ | $30.26_{u}$ |
| | $Z_5$ | $32.83_{t}$ |
| | $Z_{5.5}$ | $35.32_{rs}$ |
| | $Z_6$ | $37.67_{pq}$ |
| $T_{50}$ | $Z_0$ | 0.00^ |
| | $Z_{0.5}$ | 9.96\ |
| | $Z_{1.5}$ | $17.48_{z}$ |
| | $Z_2$ | $23.99_{w}$ |
| | $Z_{2.5}$ | $29.31_{u}$ |
| | $Z_3$ | $34.06_{st}$ |
| | $Z_{3.5}$ | $38.23_{p}$ |
| | $Z_4$ | $41.96_{o}$ |
| | $Z_{4.5}$ | $45.27_{n}$ |
| | $Z_5$ | $48.19_{m}$ |
| | $Z_{5.5}$ | $50.87_{k}$l |
| | $Z_6$ | $53.34_{j}$ |
| $T_{60}$ | $Z_0$ | 0.00^ |
| | $Z_{0.5}$ | 14.45[ |
| | $Z_{1.5}$ | $26.16_{v}$ |
| | $Z_2$ | $36.27_{qr}$ |
| | $Z_{2.5}$ | $44.43_{n}$ |
| | $Z_3$ | $51.06_{k}$ |
| | $Z_{3.5}$ | $56.87_{ı}$ |
| | $Z_4$ | $61.79_{g}$ |
| | $Z_{4.5}$ | $66.41_{f}$ |
| | $Z_5$ | $69.54_{e}$ |
| | $Z_{5.5}$ | $72.30_{d}$ |
| | $Z_6$ | $74.66_{c}$ |
| $T_{70}$ | $Z_0$ | 0.00^ |
| | $Z_{0.5}$ | $19.27_{y}$ |
| | $Z_{1.5}$ | $35.63_{r}$ |
| | $Z_2$ | 49.38l$_{m}$ |
| | $Z_{2.5}$ | $59.81_{h}$ |
| | $Z_3$ | $67.29_{f}$ |
| | $Z_{3.5}$ | $72.17_{d}$ |
| | $Z_4$ | $75.51_{c}$ |
| | $Z_{4.5}$ | $77.65_{b}$ |
| | $Z_5$ | $78.92_{ab}$ |
| | $Z_{5.5}$ | $79.91_{a}$ |
| | $Z_6$ | $80.40_{a}$ |

LSD=1.539

Ek Çizelge 19. Kurutulan Bamya Örneklerine Ait Parlaklık Değerlerine (L) Yapılan Varyans Analiz Sonuçları

| Varyans kaynakları | S.D. | K.T. | K.O. | F |
|---|---|---|---|---|
| Hız (V) | 1 | 74.447 | 74.447 | 13.67** |
| Sıcaklık (T) | 3 | 221.772 | 73.924 | 13.57** |
| VxT | 3 | 4.713 | 1.571 | 0.29 |
| Hata | 32 | 174.3 | 5.447 | |
| Toplam | 39 | 475.233 | | |

| Hız |
|---|
| $V_1$=47.01a |
| $V_2$=49.74b |

Ek Çizelge 20. Kurutulan Bamya Örneklerinin Parlaklık Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan LSD Testi Sonuçları

| Hava sıcaklığı | $T_{40}$ | $T_{50}$ | $T_{60}$ | $T_{70}$ |
|---|---|---|---|---|
| Ağırlık azalması (%) | $49.85_a$ | $50.02_a$ | $49.31_a$ | $44.32_b$ |

LSD=2.826

Ek Çizelge 21. Kurutulan Bamya Örneklerine Ait (a) Değerlerine Yapılan Varyans Analiz Sonuçları

| Varyans kaynakları | S.D. | K.T. | K.O. | F |
|---|---|---|---|---|
| Hız (V) | 1 | 7.9121 | 7.9121 | 19.47** |
| Sıcaklık (T) | 3 | 31.5372 | 10.5124 | 25.87** |
| VxT | 3 | 1.6234 | 0.5411 | 1.33 |
| Hata | 32 | 13.0012 | 0.4063 | |
| Toplam | 39 | 54.0740 | | |

| Hız |
|---|
| $V_1$= 0.369a |
| $V_2$= -0.521b |

Ek Çizelge 22. Kurutulan Bamya Örneklerinin (a) Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan LSD Testi Sonuçları

| Hava sıcaklığı | $T_{40}$ | $T_{50}$ | $T_{60}$ | $T_{70}$ |
|---|---|---|---|---|
| Ağırlık azalması (%) | $-0.796_{ab}$ | $-0.942_a$ | $0.158_b$ | $1.277_a$ |

LSD=0.7719

Ek Çizelge 23. Kurutulan Bamya Örneklerine Ait (b) Değerlerine Yapılan Varyans Analiz Sonuçları

| Varyans kaynakları | S.D. | K.T. | K.O. | F |
|---|---|---|---|---|
| Hız (V) | 1 | 3.324 | 3.324 | 2.29 |
| Sıcaklık (T) | 3 | 40.136 | 13.379 | 9.21** |
| VxT | 3 | 12.790 | 4.263 | 2.94 |
| Hata | 32 | 46.471 | 1.452 | |
| Toplam | 39 | 102.720 | | |

Ek Çizelge 24. Kurutulan Bamya Örneklerinin (b) Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan LSD Testi Sonuçları

| Hava sıcaklığı | $T_{40}$ | $T_{50}$ | $T_{60}$ | $T_{70}$ |
|---|---|---|---|---|
| Ağırlık azalması (%) | $20.39_{a}$ | $19.58_{ab}$ | $18.30_{bc}$ | $17.88_{c}$ |

LSD=1.4590