

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

**MUZUN FARKLI KURUTMA  
ŞARTLARINDAKİ KURUMA  
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Tansu KARA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TARIM MAKİNELERİ ANABİLİM DALI  
KONYA, 2008**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### MUZUN FARKLI KURUTMA ŞARTLARINDAKİ KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

**Tansu KARA**

**Selçuk Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Tarım Makineleri Anabilim Dalı**

**Danışman:** Prof. Dr. Fikret DEMİR

**2008, Sayfa: 56**

**Jüri:** Prof. Dr. Fikret DEMİR

Doç. Dr. Cevat AYDIN

Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

Bu çalışmada, muzun farklı kurutma havası sıcaklığı ve ön işlem şartlarında gösterecekleri kurutma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 60 °C, 70 °C ve 80 °C, hava hızı olarak 2.0 m/s alınmıştır. Muz örnekleri, kurutma öncesi ön işlem olarak 6 mm ve 9 mm kalınlığında dilimlendikten sonra kurutulmuşlardır. Elde edilen verilerden yararlanılarak istatistiki değerlendirmeler yapılmıştır.

Denemeler sonucunda, hava sıcaklığının ve kurutma öncesi uygulanan ön işlemin muzun kuruma hızı üzerine etkisi belirlenmiştir. Muz örneklerine ait kuruma sabiti (k) değerleri, 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinde 1,0571.....1,6632 arasında, 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ise 0,7420.... 1,4129 arasında bulunmuştur.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Muz, hava sıcaklığı, hava hızı, ön işlem, kuruma hızı, kuruma sabiti

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

#### **THE DETERMINATION OF DRYING CHARACTERISTICS AT CONDITIONES DIFFERENT DRYING OF BANANA**

**Tansu KARA**

**Selçuk Üiversity**

**Graduate School of Naturel and Applied Sciences**

**Department of Agricultural Machinery**

**Supervisor:** Prof. Dr. Fikret DEMİR

**2008, Pages:** 56

**Jury:** Prof. Dr. Fikret DEMİR

Doç. Dr. Cevat AYDIN

Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

In this study the drying characteristics of banana for different air temperature and pretreatments were determined. In the trials, air temperatures as 60 °C, 70 °C, 80 °C and air velocities as 2.0 m/s were taken. Banana samples that cut at thickness 6 mm, 9 mm and were dried. Statistical evaluations were done from data which taken trials.

In the trials result, the effects on banana drying velocity of air temperature and applied pretreatment were determined. Drying coefficient (k) values for samples of banana were found 1,0571.....1,6632, 6 mm; 0,7420.....1,4129, 9 mm respectively.

**KEY WORDS:** Banana, air temperature, air velocity, pretreatment, drying velocity, drying cefficient.

## TEŞEKKÜR

Bu araŐtırmanın yüksek lisans tezi olarak planlanması ve yürütülmesinde destek ve yardımlarını esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Fikret DEMİR'e, denemelerin yürütülmesi ve sonuçların değerlendirilmesi aŐamasındaki tüm yardımları için Sayın Hocam Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ'e teşekkür ederim.

Ayrıca katkıları için Doç. Dr. Cevat AYDIN'a, istatistik analizlerin yapılmasında yardımlarını gördüğüm ArŐ. Gör. Dr. Tamer MARAKOğLU'na ve desteği için Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa TUNÇ'a sonsuz teŐekkürler.

**Konya, 2008**

**Tansu KARA**

## ÇİZELGE LİSTESİ

| <u>Cizelge No</u>   | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| 1.1. Türkiye’de yıllar itibarıyla meyve üretim değerleri.....   | 2               |
| 3.1. Çeşitli meyvelerin ilk ve son nem içeriği değerleri .....  | 8               |
| 3.2. Güvenilir kurutma havası sıcaklıkları .....  | 9               |
| 4.1. Direkt güneş altında ve yapay kurutucuda kurutulan meyvelerin çeşitlerine<br>ait kuruma zamanları.....   | 12              |
| 5.1. Muz meyvesine ait bazı fiziksel özellikler.....  | 18              |
| 5.2. Tek hız kademesinde dairesel kanalda ölçülen hız değerleri .....   | 24              |
| 5.3. Denemelerin gerçekleştiği kurutma havası koşullar .....  | 28              |
| 6.1. Farklı kuruma koşullarında muz örneklerinin sabit + azalan hızla kuruma<br>evrelerine ait alınabilir nem oranı (y) – kuruma süresi (t) ilişkisini belirleyen<br>regresyon denklemleri..... | 36              |

## EK ÇİZELGE LİSTESİ

### Cizelge No

### Sayfa No

1. 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutulması sonucunda elde edilen ortalama % ağırlık azalması değerlerinin çeşitli parametreler için varyans analiz sonuçları..... 41
2. 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kurutma havası sıcaklıklarına yapılan duncan testi sonuçları ..... 41
3. 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kuruma zamanlarına yapılan duncan testi sonuçları ..... 41
4. 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle sıcaklık x zaman interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları..... 41
5. 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutulması sonucunda elde edilen ortalama % ağırlık azalması değerlerinin çeşitli parametreler için varyans analiz sonuçları..... 42
6. 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kurutma havası sıcaklıklarına yapılan duncan testi sonuçları ..... 42
7. 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kuruma zamanlarına yapılan duncan testi sonuçları ..... 42
8. 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle sıcaklık x zaman interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları..... 42
9. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutulması sonucunda elde edilen ortalama % ağırlık azalması değerlerinin çeşitli parametreler için varyans analiz sonuçları..... 43
10. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kurutma havası sıcaklıklarına yapılan duncan testi sonuçları ..... 43
11. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle ön işlem değerlerine yapılan duncan testi sonuçları ..... 43

|  |    |
|--|----|
| 12. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kuruma zamanlarına yapılan duncan testi sonuçları .....                          | 43 |
| 13. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle ön işlem x sıcaklık interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları .....         | 44 |
| 14. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle sıcaklık x zaman interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları .....            | 44 |
| 15. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle ön işlem x zaman interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları .....            | 44 |
| 16. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle ön işlem x sıcaklık x zaman interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları ..... | 44 |
| 17. Muz örneklerinde 60 °C sıcaklık için yaş ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değişimi değerleri .....   | 45 |
| 18. Muz örneklerinde 70 °C sıcaklık için yaş ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değişimi değerleri .....   | 46 |
| 19. Muz örneklerinde 80 °C sıcaklık için yaş ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değişimi değerleri .....   | 47 |
| 20. Muz örneklerinde 60 °C sıcaklık için kuru ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değişimi değerleri .....  | 48 |
| 21. Muz örneklerinde 70 °C sıcaklık için kuru ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değişimi değerleri .....  | 49 |
| 22. Muz örneklerinde 80 °C sıcaklık için kuru ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değişimi değerleri .....  | 50 |
| 23. Muz örneklerinde 60 °C sıcaklık için ortalama alınabilir nem oranı (A.N.O) değerleri.....  | 51 |
| 24. Muz örneklerinde 70 °C sıcaklık için ortalama alınabilir nem oranı (A.N.O) değerleri.....  | 52 |
| 25. Muz örneklerinde 80 °C sıcaklık için ortalama alınabilir nem oranı (A.N.O) değerleri.....  | 53 |

26. Muz örneklerinde 60 °C sıcaklık için ortalama % ağırlık azalması değerleri..... 54
27. Muz örneklerinde 70 °C sıcaklık için ortalama % ağırlık azalması değerleri..... 55
28. Muz örneklerinde 80 °C sıcaklık için ortalama % ağırlık azalması değerleri..... 56



## ŞEKİL LİSTESİ

| <u>Sekil No</u>   | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| 2.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statüğü açısından anlamı .....  | 4               |
| 2.2. Tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri .....  | 5               |
| 3.1. Meyvelerde kurutma öncesi uygulanan ön işlemler.....   | 9               |
| 4.1. 1.0 m/s hava hızında sıcaklığın kayısı kurutulmasına etkileri .....  | 11              |
| 4.2. Sıcak hava ile kurutmanın muz dilimlerinin kurutulmasına etkileri.....   | 14              |
| 4.3. Mikrodalga kurutmada güç seviyesinin muz kurutmaya etkisi.....   | 14              |
| 4.4. Mikrodalga kurutmanın ardından sıcak hava ile kurutmada muz dilimlerinin kuruma hızının değişimi.....  | 14              |
| 5.1. Deneme düzeninin şematik görünüşü .....  | 22              |
| 5.2. Deneme düzeninin genel görünüşü .....  | 23              |
| 5.3. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçüm noktaları .....   | 24              |
| 6.1. 2.0 m/s hava hızında kurutulan 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi ..... | 31              |
| 6.2. 2.0 m/s hava hızında kurutulan 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi ..... | 31              |
| 6.3. 60 °C sıcaklıkta 2.0 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki muz örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi .....                     | 33              |
| 6.4. 70 °C sıcaklıkta 2.0 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki muz örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi .....                     | 33              |
| 6.5. 80 °C sıcaklıkta 2.0 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki muz örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi .....                     | 34              |

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖZET.....   | i    |
| ABSTRACT.....   | ii   |
| TEŞEKKÜR.....   | iii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....  | iv   |
| EK ÇİZELGE LİSTESİ.....   | v    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | viii |
| İÇİNDEKİLER.....  | ix   |
| 1. GİRİŞ.....   | 1    |
| 2. KURUTMAYLA İLGİLİ TEMEL TEORİK BİLGİLER.....   | 3    |
| 2.1. Kurumanın Statiği.....   | 3    |
| 2.2. Kurumanın Kinetiği.....  | 5    |
| 3. MEYVELERDE KURUTMA İŞLEMİ.....   | 8    |
| 4. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....  | 10   |
| 5. MATERYAL METOD.....  | 18   |
| 5.1. Materyal.....  | 18   |
| 5.1.1. Araştırmada kullanılan ürün.....   | 18   |
| 5.1.2. Araştırmada kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları.....   | 18   |
| 5.2. Metod.....   | 21   |
| 5.2.1. Örneklerin hazırlanması.....   | 21   |
| 5.2.2. Deneme düzeni ve çalışması.....  | 21   |
| 5.2.3. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçümü.....   | 23   |
| 5.2.4. Ürün neminin belirlenmesi.....   | 25   |
| 5.2.5. Deneme materyali ürünlerin kuruma değişkenlerinin belirlenmesi.....                            | 26   |
| 5.2.5.1. Kuruma hızının belirlenmesi.....   | 26   |
| 5.2.5.2. Deneysel kuruma sabitlerinin belirlenmesi.....   | 27   |
| 5.2.5.3. Ürünlere ait kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde dikkate<br>alınan parametreler..... | 27   |
| 6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....   | 29   |

|  |    |
|--|----|
| 6.1. Muz Örneklerinin Kurutulmasında Ürün Neminin Kurutma Hava Sıcaklığı ve Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşleme Bağlı Olarak Gösterdiği Değişim ..... | 29 |
| 6.2. Kurutmada Kullanılan Hava Sıcaklığının Muz Örneklerinin Kuruması Üzerine Etkisi.....  | 30 |
| 6.3. Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşlemin Muz Örneklerinin Kuruması Üzerine Etkisi.....   | 32 |
| 6.4. Farklı Koşullarda Kurutulan Muz Örneklerine Ait Kuruma Sabiti Değerleri.....  | 35 |
| 7. SONUÇ .....   | 37 |
| 8. KAYNAKLAR .....   | 38 |

## 1. GİRİŞ

Gıdaların kurutularak saklanması yöntemi insanların doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir. Genel olarak tarım ürünlerinin kurutulması nemin ürün bölgesinden uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Meyve ve sebzeler bünyelerindeki fazla sudan dolayı uzun süre saklanamazlar. Çünkü fazla su, besinleri bozan mikroorganizmaların üreyip yaşaması için elverişli bir ortamdır. Bu zararlı ortamın yok edilmesi ancak meyve ve sebzelerin bileşimlerindeki fazla suyun uzaklaştırılmasıyla yani o besinlerin kurutulmasıyla mümkündür. Kurutmanın yararlarını şöyle sıralayabiliriz;

- kurutulan meyve ve sebzelerin hacimleri küçüleceği ve ağırlıkları azalacağı için ambalaj masrafları düşer, taşınmaları kolay olur,
- kuru meyve ve sebzelerin kullanılma alanı daha genişler,
- kuru meyve ve sebzeler konserve meyve ve sebzelerden daha ucuza mal olur,
- kuru meyve ve sebzelerin besin ve kalori değeri aynı miktarlarda yenilen yaş meyve sebzelerden daha yüksektir.

Ülkemizde kurutulan meyve ve sebzelerimiz çok çeşitlidir. Meyvelerden; her cins üzüm, erik, kayısı, zerdali, şeftali, dut, vişne, kiraz, elma, armut, incir, sert kabuklu meyvelerden; ceviz, badem, fındık kurutulmaktadır. Sebzelerden; bamya, patlıcan, biber, fasulye, kabak, soğan, sarımsak, hemen her çeşit tat ve koku veren maydanoz, nane, kekik, defne, ıhlamur gibi bitkiler, tüm tahıllar, baklagiller, pirinç ve mısır kurutulmaktadır.

Kuru ürün şeklinde ihraç edilen ürünlerin ülke ekonomisine olan katkıları şüphesizdir. Bu nedenle sebze ve meyveler için uygulanacak kurutma yöntemleri son derece önemlidir. Uygun kurutma tekniklerinin kullanılmasıyla ihracat gelirlerini arttırmak mümkündür. Günümüzde çeşitli yöntemlerle kurutma yapabilen kurutma tesisleri çeşitli bölgelerde bulunmaktadır. Bu tür tesis ve sistemlerin yardımıyla çok çeşitli meyve ve sebzeler ticari nem oranlarına düşürülmekte ve istenilen kalitede kurutma yapılabilmektedir.

Ülkemizde ürünlerin büyük bir kısmı özellikle meyve ve sebzelerimiz halen güneş altında açık havada kurutulmaktadır. Ekonomik açıdan dış pazarda ve iç pazarda meyvelerin bu şekilde kurutulması sonucu kalite ve değer kaybı gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu durum da kurutma tesis ve sistemlerinin gerekliliğine ve arttırılmasına bir işaret olmaktadır.

İhraç ürünlerimizin başında gelen başlıca kurutulmuş meyveler, dünyaca ünlü sultaniye çekirdeksiz kuru üzümü, fındık, kayısı, incir ve eriktir.

Ülkemizde yetiştirilen çeşitli meyvelerin üretim değerleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye’de yıllar itibarıyla meyve üretim değerleri (ton) (Anonymous 2002, 2003, 2004, 2005)

|                    | ÜRÜN       | 2002      | 2003      | 2004      | 2005      |
|--------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Yumuşak Çekirdekli | Armut      | 340.000   | 370.000   | 320.000   | 360.000   |
|                    | Ayva       | 110.000   | 110.000   | 80.000    | 100.000   |
|                    | Elma       | 2.200.000 | 2.600.000 | 2.100.000 | 2.570.000 |
|                    | Yeni Dünya | 11.800    | 12.000    | 9.250     | 12.000    |
| Taş Çekirdekli     | Erik       | 200.000   | 210.000   | 210.000   | 220.000   |
|                    | Kayısı     | 315.000   | 460.000   | 320.000   | 860.000   |
|                    | Kiraz      | 210.000   | 265.000   | 245.000   | 280.000   |
|                    | Şeftali    | 455.000   | 470.000   | 372.000   | 510.000   |
| Turunçgiller       | Limon      | 525.000   | 550.000   | 600.000   | 600.000   |
|                    | Mandalina  | 590.000   | 550.000   | 670.000   | 715.000   |
|                    | Portakal   | 1.250.000 | 1.250.000 | 1.300.000 | 1.445.000 |
| Üzümsü Meyveler    | Üzüm       | 3.500.000 | 3.600.000 | 3.500.000 | 3.850.000 |
|                    | Çilek      | 145.000   | 150.000   | 155.000   | 200.000   |
|                    | Muz        | 95.000    | 110.000   | 130.000   | 150.000   |
|                    | İncir      | 250.000   | 280.000   | 275.000   | 285.000   |
|                    | Nar        | 60.000    | 80.000    | 73.000    | 80.000    |

## 2. KURUTMAYLA İLGİLİ TEMEL TEORİK BİLGİLER

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 (Demir ve Günhan 2002).

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

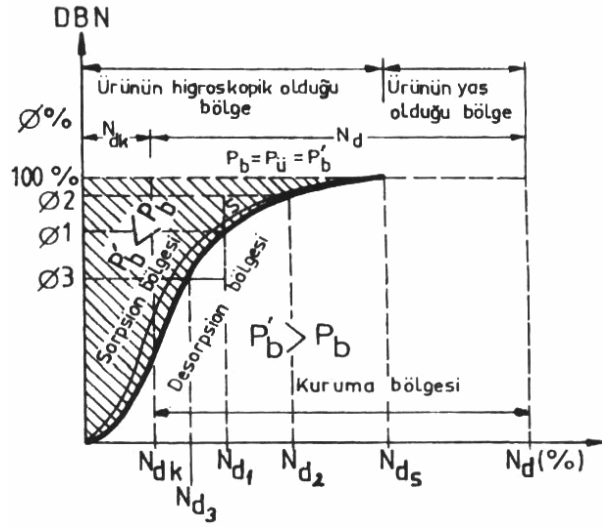
### 2.1. Kurumanın Statığı

Hava ile materyal arasındaki nem dengesinin, zamanın dikkate alınmaksızın incelenmesidir. 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 ( $P_{\bar{u}}$ ) birbirine eşittir. Kuruyan materyalin yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak çevre havasının yaş termometre sıcaklığına eşit olduğundan  $P_{\bar{u}}=P'_b$  alınabilir. Bu nedenle denge durumunda materyalin ulaştığı nem ( $N_d$ ), havanın kısmi buhar basıncına ve sonuç olarak bağıl nemine ( $\Phi$ ) bağlıdır.

Herhangi bir materyalin sorpsiyon izoterm eğrisi kurutma açısından incelendiğinde sorpsiyon ve desorpsiyon bölgeleri Şekil 2.1'de gösterildiği gibidir.



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

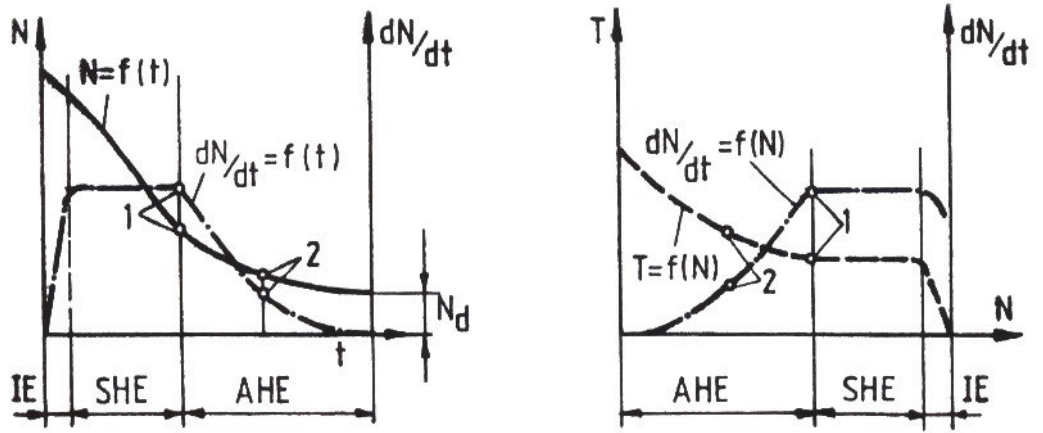
Şekil 2.1’de görüldüğü gibi izoterm eğrisinin DBN (Denge Bağlı Nemi) eksenini ile arasında kalan bölge içindeki her noktada ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ( $P'_b$ ), havada bulunan su buharının kısmi basıncından ( $P_b$ ) daha küçük olduğundan bu bölge materyalin bünyesine nem aldığı şartları belirtmektedir ( $P'_b < P_b$ ). İzoterm eğrisinin denge nemi ( $N_d$ ) eksenini ile arasında kalan bölge içinde ise durum tam tersi olduğundan bu bölge materyalin çevreye nem verdiği şartları belirtmektedir ( $P'_b > P_b$ ).

Tarım ürünlerinde bulunan suyun tümü, kurutma sırasında üründen tamamen alınmadığından gerçek kuruma bölgesi şekilde görülen alandan (eğri altında kalan) daha küçüktür. Bu nedenle kuruma bölgesi ürünün ulaşabileceği en küçük denge nemi  $N_{dk}$  değerinden geçen bir eksenden başlatılarak gösterilmiştir.

Kurumakta olan bir materyalin hava ile arasındaki nem alışverişi sonucunda ulaşabileceği üst nem sınırı, o materyalin higroskopik limiti olarak tanımlanır. Yani higroskopik limit, bağlı nemin %100 olduğu şartlarda, bir materyalin ulaşabileceği en yüksek denge nemi değeridir ( $N_{ds}$ ). Materyalin higroskopik limitinden fazla nem alması, ancak serbest suyla doğrudan doğruya temasa gelmesi sonucunda söz konusu olabilir.

## 2.2. Kurumanın Kinetiği

Materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişinin, kuruma sürecinde geçen zaman dikkate alınarak incelenmesidir. Şekil 2.2'de tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.2. Tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri (Yağcıoğlu 1999)

Şekil 2.2'nin 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 (Yağcıoğlu 1999):

- Materyalin ısınma evresi (IE)
- Sabit hızla kuruma evresi (SHE)
- Azalan hızla kuruma evresi (AHE)



Kuruma başlangıcında görülen ısınma evresi (IE), kurutulacak ürünün sıcaklığı, kurutma ortamının sıcaklığı ile dengeye gelinceye kadar devam etmektedir. Bu evrede kuruma hızı giderek artmakta ve 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 ve Yağcıoğlu 1999).

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 taşınmamaktadır. 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.

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 içerisinde, iki aşamada gerçekleşmektedir. Materyalin yüzeyindeki su filmi kaybolmaya başlayınca, kuruma hızı da ıslak alan miktarı ile orantılı olarak azalma göstermektedir. Bu evreye, 1. azalan kuruma evresi denilmektedir. Bu evre sonunda, suyun materyalin iç kısımlarından yüzeye iletim

hızı, yüzeyde meydana gelen buharlaşma hızından 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 sıfır değerine ulaşarak birbirlerine asimptot olmaktadır.

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.

Teorik modeller her türlü madde ve koşul için uygulanabilmektedir. Ancak çözüm için gereken eşitliklerin birçok parametre ve karmaşık yapı içermesi bu tür modellerin kullanılabilirliğini 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.

$$\frac{N_t - N_d}{N_0 - N_d} = \exp(-kt) \dots \dots \dots (1)$$

(Ayensu 1997, Tiris ve ark. 1994, Liu ve Bakker-Arkema 1997, Yağcıoğlu 1999).

Eşitlikte ( $N_0$ ) başlangıç nemini, ( $N_t$ ) t anındaki nemi,  $N_d$  ise denge nemini ifade etmektedir. Eşitliğin sol tarafında yer alan kısmı, 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. MEYVELERDE KURUTMA İŞLEMİ

Tarımsal ürünlerin hasatından sonra mümkün olabildiğince hızlı bir şekilde üründen nemin uzaklaştırılması ve güvenilir depolama için gerek duyulan son nem içeriğine kadar kurutulması gerekir. Tahıl ürünlerinin hasattaki yaklaşık % 30'luk ilk nem içeriğinden % 12'lik son nem içeriğine kadar kurutulması gerekirken, sebze ve meyvelerin % 60 – 80' lik ilk nem içeriğinden % 10 – 25'lik son nem içeriğine kadar kurutulmaları gerekmektedir. Çizelge 3.1'de çeşitli meyvelerin ilk ve son nem içerikleri değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çeşitli meyvelerin ilk ve son nem içeriği değerleri (Müller ve ark. 1989, Venskutonis 1997)

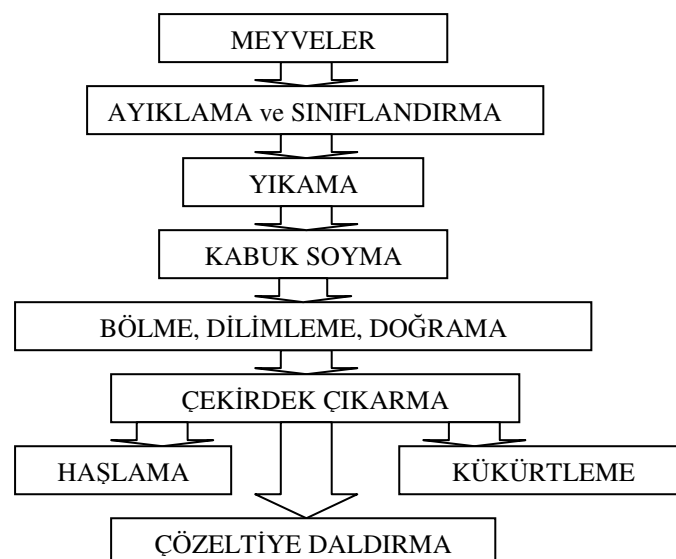
| Ürün             | İlk nem içeriği(%) | Son nem içeriği(%) |
|------------------|--------------------|--------------------|
| Armut            | 84                 | 25                 |
| Elma             | 84.8               | 24                 |
| Erik             | 78.7               | 35                 |
| Hindistan Cevizi | 45 - 50            | 5                  |
| Şeftali          | 75 - 80            | 20                 |
| Hurma            | 65                 | 40                 |
| İncir            | 77.5               | 26                 |
| Kayısı           | 85.3               | 25                 |
| Kiraz            | 81                 | 30                 |
| Muz              | 80                 | 15                 |
| Üzüm             | 74 - 81.6          | 15 - 18            |
| Vişne            | 83.7               | 25                 |

Ürünlerin kurutulması için gerekli olan hava sıcaklığı o ürünün çeşitli özelliklerine bağlı olarak çok farklı değerler almaktadır. Bu değerlerin belirlenen değerlerden fazla olması ürüne zarar verirken, düşük olması kurutma işleminin süresini artırmaktadır. Bu nedenle belirli bir ürün için belirlenen en uygun kurutma havası sıcaklığı, kurutma işleminde kullanılmalıdır. Bazı meyveler için güvenilir kurutma havası sıcaklık değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Güvenilir kurutma havası sıcaklıkları (Mahapatra ve ark. 1990, Yağcıoğlu 1996)

| ÜRÜN             | Sıcaklık (°C) |
|------------------|---------------|
| Elma             | 74            |
| İncir            | 71            |
| Üzüm             | 71            |
| Şeftali          | 66            |
| Muz              | 70            |
| Kayısı           | 71            |
| Vişne            | 71 - 77       |
| Armut            | 63            |
| Erik             | 74 - 77       |
| Hindistan Cevizi | 35 - 40       |

Kurutulacak olan ürünler kurutulmadan önce bazı işlemlere tabii tutulurlar. Şekil 3.1'de meyvelere kurutma öncesi yapılan ön işlemler görülmektedir. Meyvelerde bozuk, ezik, küflü ve çürümüş olanlar ayıklandıktan sonra aynı özellikte olanlar ayrılır. Mikroorganizmaların, çamur, toz – toprak uzaklaştırılması ve tarımsal ilaç vb. yabancı maddelerin temizlenmesi için yıkama işleminden geçirilir. Çeşitli yöntemlerle kabukları soyulan ürünler dilimlenir, doğranır veya bölünür. Son olarak çekirdekleri çıkarılan ürün ön işleme tabii tutulur.



Şekil 3.1. Meyvelerde kurutma öncesi uygulanan ön işlemler (Cemeroğlu ve Acar 1986)

#### 4. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kurutma konusunda yapılan çalışmalar daha çok;

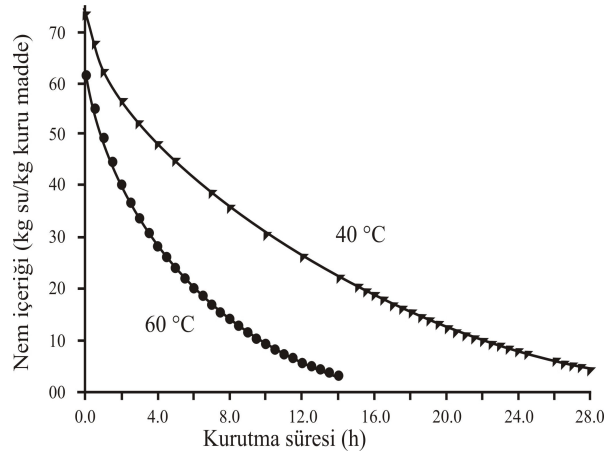
- Değişik ürünlerde en uygun kurutma koşullarının belirlenmesi,
- Kurutma süresinin kısaltılması,
- Kurutucu tiplerinin geliştirilmesi,
- Kurutucu tasarımında gerekli olan verilerin elde edilmesine yöneliktir.

Tarım ürünlerinin kurutulması sırasında kullanılan kurutucular, ürünün özelliklerine uygun olmanın yanı sıra kurutma işleminden beklenen özellikleri sağlayacak yetenekte olmak zorundadır. Bu nedenle, birbirinden önemli farklar gösteren çok çeşitli tipte kurutucular geliştirilmiştir. Tarım ürünlerinin kurutulması için, bu işleme gerek duyulan ilk günlerden günümüze kadar geçen süre içinde, güneş ışınlarının altına sermekten, dielektrik kurutma tekniklerine kadar geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Çok uygulanan temel kurutma yöntemlerinden bazıları şunlardır; kontakt kurutma, konvektif kurutma, ışınım ile kurutma, dondurarak kurutma, ozmotik kurutma (Yağcıoğlu 1999).

Bu yöntemler içinde, günümüzde en yaygın kullanılanı, ürünlerin hava akımı yardımıyla konvektif kurutulmasıdır. Son yıllarda, ürünlerin dondurularak kurutulması, alım gücü yüksek toplumlarda giderek yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Dielektrik kurutma teknikleri (kızılötesi ışınlar, mikrodalga ışınlar, radyo dalgaları vb.) henüz ticari açıdan söz edilebilecek boyutta bir uygulama alanı bulamamışlardır. Şekerli şurup içinde ozmotik basınç farkından yararlanılarak kurutma tekniği ise özellikle meyvelerin kurutulmasına uygun gibi görülmekle birlikte, istenen nem değerlerine inememe, pahalılık gibi nedenlerle yaygınlaşmamıştır (Yağcıoğlu 1999).

Değişik meyve ve sebzelerin kurutulması üzerine ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılmış çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu bölümde, bu çalışmalarla ilgili örneklere yer verilmiştir.

Vagenas ve Marinos (1991), tarafından yapılan bir çalışmada, 40 ve 60 °C kurutma havası sıcaklığı, 0.5 ve 1.0 m/s hava hızı şartlarında; ön işlem, sıcaklık ve hızın kayısı kurutulmasına etkileri incelenmiştir. Örneklerin bir kısmı 80 °C sıcaklıkta % 0.5'lik NaOH solüsyonuna 30 saniye süreyle daldırılmış, bir kısmı da ön işlemsiz olarak uygulamaya alınmıştır.



Şekil 4.1. 1.0 m/s hava hızında sıcaklığın kayısı kurutulmasına etkileri (Vegenas ve Marinos 1991)

Araştırma sonuçlarına göre; kurutma havası sıcaklığının artması ile gerekli kurutma süresinin azaldığı ve kuruma hızının daha yüksek olduğu (Şekil 4.1), kayısıların ortadan ikiye bölünerek kurutulması durumunda ön işlemin kurutma süresine etkili olmadığı belirlenmiştir.

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. Sonuçta sera içerisinde ve kıyılarak kurutulan ürünlerin kuruma sürelerinin normal olarak kurutulan ürünlere göre daha kısa olduğunu belirlemişlerdir. Her ürün için ayrı ayrı kuruma sabiti değerleri hesaplanmış ve exponential modelin kurumayı daha iyi ifade ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında kurutulan ürünlerin dehidrasyon

özelliklerini araştırmışlar ve sera içerisinde kıyılarak kurutulan soğanın dehidrasyon yeteneğini daha iyi bulmuşlardır.

Karathanos ve Belessiotis (1996), yaptıkları çalışmada, direkt güneş altında ve hava ısıtmalı, tablalı yatay kurutucuda, erik, kayısı, incir, sultana ve frenk çeşidi üzümü kurutmuşlardır. % 78 ( $y_b$ ) neme sahip sultana çeşidi üzümleri 2 dk süre ile % 2  $KHCO_3$  + % 0.2 zeytinyağı çözeltisine bandırarak veya herhangi bir muameleye tabii tutmadan, % 70 ( $y_b$ ) nem içeriğine sahip frenk çeşidi üzümleri direkt güneş altında ve gölgede, % 55 – 65 ( $y_b$ ) neme sahip incirleri  $SO_2$  çözeltisine bandırarak ve % 85 ( $y_b$ ) nem içeriğine sahip kayısı ile % 75 ( $y_b$ ) neme sahip erikleri ise çekirdekleriyle birlikte herhangi bir ön işleme tabii tutmadan kurutmaya almışlardır.

Araştırma sonucunda; Çizelge 4.1’de görülen sonuçları elde etmişlerdir.

Çizelge 4.1. Direkt güneş altında ve yapay kurutucuda kurutulan meyve çeşitlerine ait kuruma zamanları (Karathanos ve Belessiotis 1996)

| ÜRÜN                | KURUTMA ŞARTLARI                  | KURUMA ZAMANI (saat) |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Sultana Çeşidi Üzüm | Direkt Güneşte (Bandırmasız)      | 740                  |
| Sultana Çeşidi Üzüm | Direkt Güneşte (Bandırılmış)      | 179                  |
| Frenk Çeşidi Üzüm   | Direkt Güneşte (Bandırmasız)      | 240                  |
| Frenk Çeşidi Üzüm   | Gölgede Kurutma                   | 380                  |
| İncir               | Direkt Güneşte                    | 160                  |
| Sultana Çeşidi Üzüm | 60 °C Hava Sıcaklığında           | 56                   |
| Frenk Çeşidi Üzüm   | 6 Saat 50 °C, Daha Sonra 60 °C'de | 45                   |
| İncir               | 4 Saat 45 °C, Daha Sonra 50 °C'de | 36                   |
| Kayısı              | 70 °C Hava Sıcaklığında           | 19                   |
| Erik                | 70 °C Hava Sıcaklığında           | 17                   |

Madamba ve ark. (1996), tarafından yapılan bir çalışmada kurutma havası sıcaklığı 50 – 90 °C, bağıl nemi % 8 – 24 ve hızı 0.5 – 1.0 m/s olarak alınmış, dilim kalınlığı 2 – 4 mm arasında değiştirilerek sarımsağın kurutma karakteristikleri

belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlara göre; özellikle düşük sınırlardaki bağıl nem değerlerinde, sıcaklık ve dilim kalınlığının kurutma için önemli faktörler olduğu, hava hızının ise önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

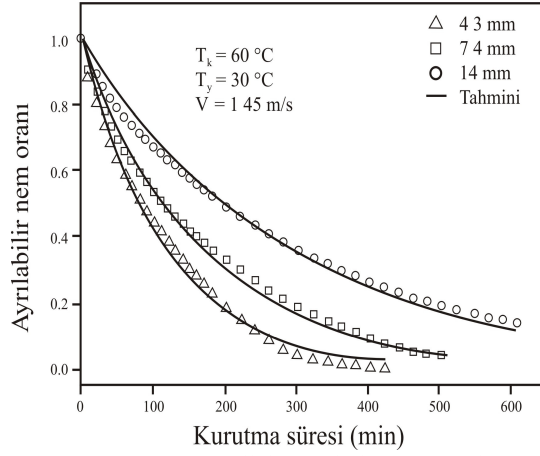
Newman ve ark. (1996), tarafından yapılan bir çalışmada kurutma havası sıcaklığının eriğin kurummasına etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre; yüksek sıcaklıklarda su kaybının daha yüksek olduğu ve kurutma süresinin ilerlemesi ile bu değerlerin arttığı belirlenmiştir.

Maskan ve Göğüş (1998), yaptıkları çalışmada dutların bütün halde kurutulmasında 1.2 m/s hava hızı ve % 6–12 bağıl nem koşullarında farklı kurutma havası sıcaklıklarının etkisini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre; kurutma havası sıcaklığının artmasıyla kurutma süresinin kısaldığını tespit etmişlerdir.

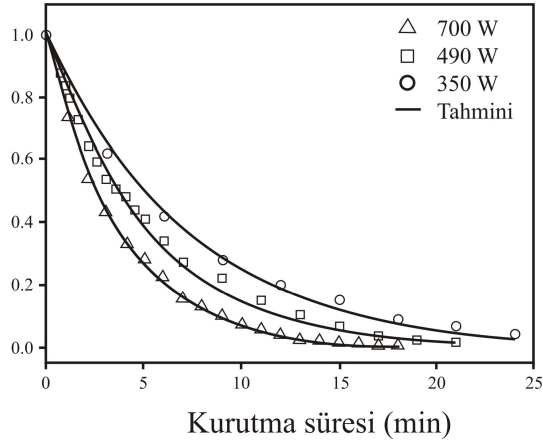
Sarsavadia ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada çapları 55 ile 70 mm arasında değişen beyaz soğanları 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık, 0.25, 0.5, 0.75 ve 1.0 m/s hava hızı ve % 10, 15 ve 20 bağıl nem koşullarında kurutmuş ve bu parametrelerin kurumaya etkilerini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre; kurutma havası sıcaklığının artması ile kurutma için gerekli sürenin azaldığı, kuruma hızının yüksek sıcaklıklarda ve kurumanın başlangıcında fazla olduğu, kuruma işleminin ilerlemesi ile azaldığı, kurutma havası hızının ve havanın mutlak neminin artması ile kurutma işleminin daha kısa sürede tamamlandığı tespit edilmiştir.

Maskan (2000), tarafından üç farklı yöntemle (sıcak hava ile kurutma, mikrodalga kurutma ve bunların kombinasyonu olarak) muz kurutulması konusunda çalışılmış ve bu yöntemler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre; sıcak hava ile kurutmada nem kaybı oranının ilk başlarda yüksek olduğu, fakat daha düşük nem içeriklerinde su hareketinin yavaşladığı (Şekil 4.2), mikrodalga kurutmada güç seviyesinin artması ile kuruma hızının arttığı (Şekil 4.3), mikrodalga kurutmadan sonra sıcak hava ile kurutma yapılmasının kuruma hızını artırarak kurutma süresini kısalttığı ve bu işlem sonucu elde edilen ürünlerin renk ve yeniden su alma kapasitesi açısından diğer yöntemlerden farklı olmadığı saptanmıştır (Şekil 4.4).

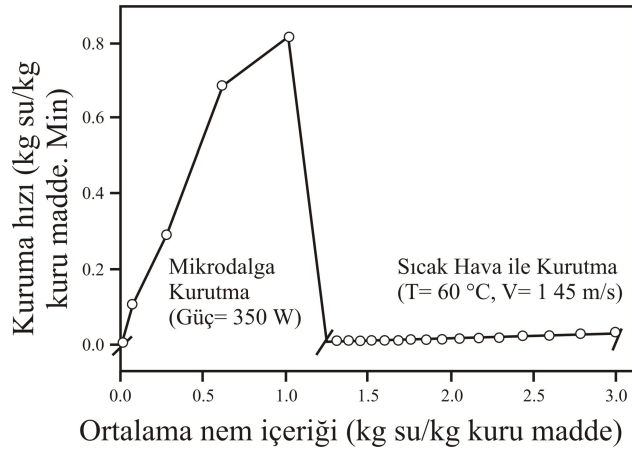




Şekil 4.2. Sıcak hava ile kurutmanın muz dilimlerinin kurutulmasına etkileri (Maskan 2000)



Şekil 4.3. Mikrodalga kurutmada güç seviyesinin muz kurutmaya etkisi (Maskan 2000)



Şekil 4.4. Mikrodalga kurutmanın ardından sıcak hava ile kurutmada muz dilimlerinin kuruma hızının değişimi (Maskan 2000)

Wang ve Chao (2002), elmanın kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları bir çalışmada, farklı kalınlıklarda (3, 5 ve 7 mm) dilimlenmiş elma örneklerinin bir kısmını üç farklı dozda (2, 5 ve 6 KGY) radyoaktif madde ile ön işleme tabii tutmuşlar bir kısmını da ön işlem uygulamadan dilimlenmiş olarak üç farklı sıcaklıkta (50, 60, 75 °C), sabit hava hızında (1.8 m/s) ve sabit nem (% 16.8) koşullarında kurutmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre; radyasyona tabii tutulmuş örneklerde kuruma süresinin azaldığı ve kuruma oranının arttığı, ayrıca kurutma sıcaklığı ve dilim kalınlığının ön işlem uygulanmış örneklerde kurutma oranını etkilediği, bu etkileşimde sıcaklık arttıkça ve dilim kalınlığı azaldıkça kuruma oranının arttığı belirlenmiştir.

Krokida ve ark. (2003), bazı sebzelerde (patates, havuç, biber, sarımsak, mantar, soğan, pırasa, bezelye, mısır, kereviz, kabak, domates) kurutma karakteristiklerini belirlemek amacıyla yürüttükleri bir çalışmada üç farklı sıcaklık (65, 75 ve 85 °C), üç farklı kurutma havası hızı (1.5, 2.0 ve 2.6 m/s) ve üç farklı hava nem değeri ( % 20, 30 ve 40) koşullarında deneme yapmışlardır. Denemede, hava hızının, sıcaklığın ve nemin kontrol edilebildiği bir kurutucu kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; denemeye alınan sebzelerin tamamı için kurutma oranında en önemli faktörün kurutma sıcaklığı olduğu, kurutma havası ve neminin sıcaklığa göre daha az etkili olduğu belirlenmiştir.

Lahsasni ve ark. (2004), tarafından, armutun kurutma karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan bir çalışmada, 5 mm kalınlıkta 20 mm uzunlukta kesilen meyveler, üç farklı kurutma havası sıcaklığı (50, 55 ve 60 °C) ve hızında (0.6, 1.1 ve 1.7 m/s) denemeye alınmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre; kurutma işleminde en önemli faktörün yüksek kurutma havası sıcaklığı ve hızı olduğu belirlenmiştir.

Toğrul ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, dört farklı kalınlıkta kesilen muz dilimlerini infrared kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 °C arasındaki dört farklı sıcaklıkta kurularak muz dilimlerinin kuruma kinetiğini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda; artan kurutma havası sıcaklığı ile hem kuruma hızının hem de difüzyon katsayısının

arttığı, muz dilimlerinin kalınlığının artmasıyla da kuruma hızının ve aktivasyon enerjisinin azaldığı, difüzyon katsayısının arttığı görülmüştür.

Leite ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada, sıcak hava ile kurutmanın, kurutulan muzun kalitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. 5 mm kalınlığında daire şeklinde dilimlenmiş muz örnekleri, sabit hava debisinde ( $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ), iki farklı kurutma sıcaklığında (60 ve 70 °C) ve tepsili bir kurutucuda kurutulmuşlardır. Kurutma işlemi sonrası, kurutulan örneklerde kimyasal ve biyolojik kalite analizleri yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; sıcak hava ile kurutma işleminin muzun kimyasal bileşimini etkilemediği ve sağlıklı bir şekilde kurutulduğu belirlenmiştir.

Özbek ve Dadali (2007), yerli malı bir digital mikrodalga kurutma fırınında, 5 farklı güç değerinde nane yapraklarının kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla bir kurutma çalışması yapmışlardır. Denemelerde 180, 360, 540, 720 ve 900 watt değerlerinde güç kullanılmış, diğer kurutma koşulları sabit tutulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre; mikrodalga güç seviyesinin artmasıyla ürünün kuruma süresinin kısaldığı görülmüştür. Ayrıca mikrodalga yöntemi ile kurutma tekniğinin, güneşte ve sıcak hava ile kurutma teknikleriyle karşılaştırıldığında nane yaprağı kurutulmasında başarılı bir şekilde kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Tarigan ve ark. (2007), kabuğu çıkarılmış ceviz içlerinin kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla bir deneme yapmışlardır. Denemede, kurutma havası sıcaklığının, hızın ve nem değerlerinin kontrol edilebildiği bir kurutucu kullanmışlardır. Ürün, üç farklı kurutma havası sıcaklığında (40, 50 ve 60 °C ) ve iki farklı hava hızında (0.67 ve 1.0 m/s) kurutulmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre; kurutma süresine en etkili faktörün kurutma hava sıcaklığı olduğunu, ceviz içlerinin kurutulması için de en uygun kurutma sıcaklığının 60 °C olduğunu belirlemişlerdir.

Wu ve ark. (2007), patlıcanın vakumla kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları bir çalışmada, 45x25x20 mm boyutlarında dikdörtgen şeklinde dilimlenmiş patlıcanları üç farklı vakum basıncında

( 2.5, 5.0 ve 10 kPa) ve üç farklı kurutma havası sıcaklığında (30, 40 ve 50 °C) kurutmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre; vakum basıncının, kurutma işleminde önemli bir etkiye sahip olmadığını, kurutma sıcaklığının ise kurutma işleminde önemli derecede etkili olduğunu, sıcaklığın artmasıyla patlıcanların kuruma süresinin önemli ölçüde kısaldığını tespit etmişlerdir.

Doymaz (2008), pırasayla ilgili yaptığı bir çalışmada haşlama işleminin ve dilim kalınlığının kurutma karakteristikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Denemede kabin tipi bir kurutucu kullanılmış, kurutma sıcaklığı 50 °C ve kurutma havası hızı 2.5 m/s olarak alınmıştır. Pırasa örnekleri farklı kalınlıklarda (1, 2 ve 3 cm) dilimlere ayrılmış, bunların bir kısmı ( 1 ve 2 cm olanlar) 70 °C sıcaklıktaki suda 3 dakika süreyle haşlanmışlar, bir kısmı da haşlanmadan işleme alınmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre; kurutma süresinin, haşlanmış dilimlerde, haşlanmayan dilimlere göre önemli ölçüde azaldığı, dilim kalınlığının artmasıyla da bu sürenin arttığı belirlenmiştir.

## 5. MATERYAL METOD

### 5.1. Materyal

#### 5.1.1. Araştırmada kullanılan ürün

Araştırmada kullanılan Anamur çeşidi muzun 10 tanesi yaklaşık olarak 1 kg gelmektedir.

Muz meyvesinin bazı fiziksel özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.1. Muz meyvesine ait bazı fiziksel özellikler

| Meyvenin Cinsi: Anamur Muzu   | Soyulmamış   | Soyulmuş      |
|-------------------------------|--------------|---------------|
| Ortalama Uzunluk (mm)         | 122,40 ± 0.6 | 119.40 ± 1.39 |
| Ortalama Kalınlık (mm)        | 33.40 ± 0.6  | 27.20 ± 0.63  |
| Ortalama Yükseklik (mm)       | 30.60 ± 0.52 | 25.70 ± 0.84  |
| Ortalama Tane Ağırlığı (g)    | 97.20 ± 2.96 | 70.01 ± 5.45  |
| Ortalama Kabuk Kalınlığı (mm) | 3,56 ± 0.06  |               |
| Ortalama Kabuk Ağırlığı (g)   | 32,91 ± 0.61 |               |

#### 5.1.2. Araştırmada kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları

Denemelerde kullanılan araçlar ve ölçüm cihazlarının bazı teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

**Elektrik Motoru**

|         |                                |
|---------|--------------------------------|
| Markası | : Gamak                        |
| Tipi    | : AGM BO 40                    |
| Gücü    | : 0,55 kw                      |
| Devir   | : 1365 min <sup>-1</sup>       |
| Voltaj  | : 220 – 380 V (Akım) 2,8 / 1,6 |
| Frekans | : 50 Hz                        |

**Aspiratör (Fan)**

|         |             |
|---------|-------------|
| Markası | : Çubuk     |
| Tipi    | : ÇTÖR – 26 |

**Alternatif Akım Motoru Devir Kontrol Cihazı (Elektronik Varyatör)**

|                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| Markası          | : Dinverter               |
| Tipi             | : DIN 1220220B            |
| Giriş Gerilimi   | : 200 V – 240 V $\pm$ %10 |
| Giriş Faz Sayısı | : 1                       |
| Motor Gücü       | : 2,2 KW                  |

**Tartımda Kullanılan Ölçüm Cihazı**

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| Markası           | : Shimadzu     |
| Ölçüm Hassasiyeti | : 0,01 g       |
| Ölçüm Aralığı     | : 0 – 1200 g   |
| Voltaj ve Akımı   | : 16 V – 80 mA |
| Frekansı          | : 50 Hz        |
| Yapım Hatası      | : $\pm$ %0,1   |

**Mikro İşlemcili Sıcaklık Kontrol Cihazı**

|                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| Markası           | : Elimko           |
| Tipi              | : E – 200          |
| Skala             | : 0 – 300 °C       |
| Çalışma Gerilimi  | : 220 V ± 10,50 Hz |
| Okuma Hassasiyeti | : 0,1              |

**Sıcaklık Ölçer**

|                  |                    |
|------------------|--------------------|
| Markası          | : Elimko           |
| Tipi             | : E – RH – T – 101 |
| Skala            | : 0 – 300 °C       |
| 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   | : 2x24 V        |
| Çalışma Gerilimi | : 220 V, 50 Hz  |

**Kurutma Fırını**

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| Markası          | : Nüve                |
| Tipi             | : FN 500              |
| Sıcaklık Sınırı  | : 0 – 250 °C          |
| Hacim            | : 120 dm <sup>3</sup> |
| Çalışma Gerilimi | : 120 V, 50 Hz        |

## 5.2. Metod

### 5.2.1. Örneklerin hazırlanması

Kurutma öncesi uygulanan ön işlemin kurutma hızına olan etkisini belirleyebilmek için deneme materyali muz örnekleri kurutma öncesi ön işleme tabii tutulmuşlardır. Bu amaçla kurutulacak ürünler mekanik kesiciler yardımıyla 6 mm ve 9 mm kalınlıklarında kesildikten sonra denemeye alınmışlardır.

### 5.2.2. Deneme düzeni ve çalışması

Kurutma çalışmalarında, kurutmada kullanılacak hava şartlarını kontrollü bir biçimde düzenleyebilen bir deneme düzenine ihtiyaç vardır. Bu amaçla bu çalışmada Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünün kurutma laboratuvarında mevcut olan kurutma tesisi, denemelerin yürütülmesi için kullanılmıştır. Deneme düzeninin şematik görünüşü Şekil 5.1’de, genel görünüşü ise Şekil 5.2’de görülmektedir.

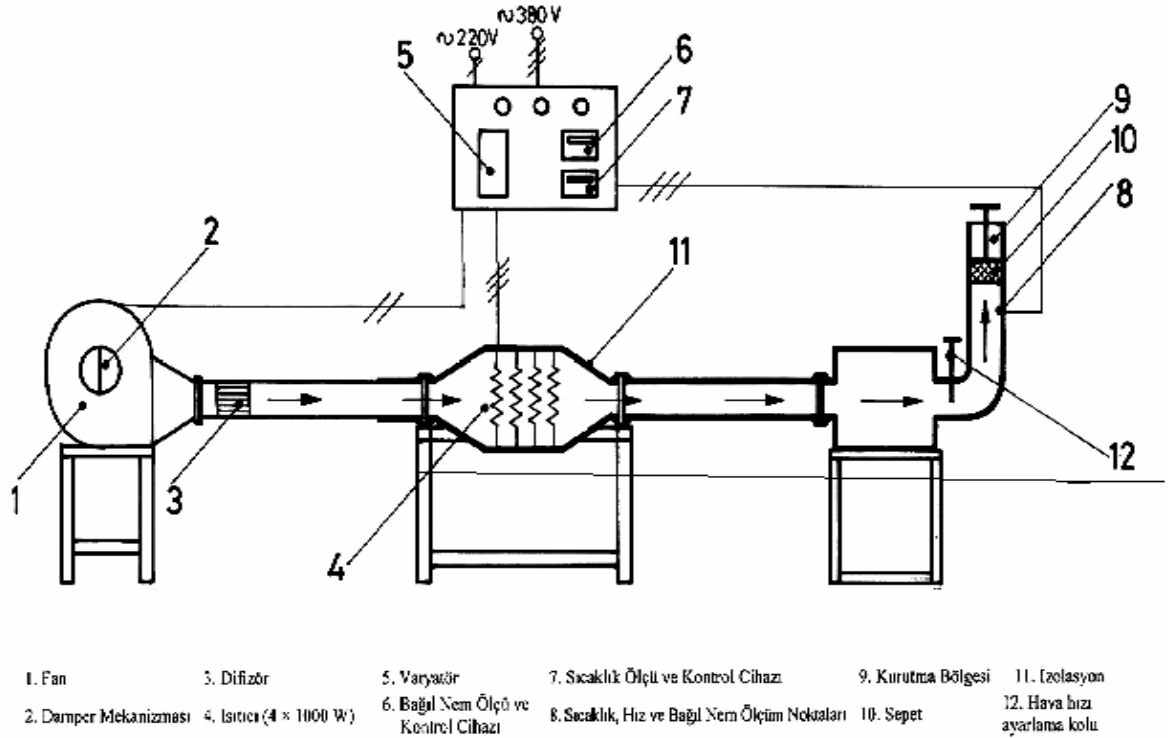
Deneme düzeni üç ana bölümden oluşmaktadır.

- Kurutma havasını sağlayan fan ve hava debisi ayar düzeni,
- Kurutma hava sıcaklığını düzenleyen elektriksiz ısıtıcıların ve sıcaklık kontrol ünitesi ve
- Kurutma ünitesi

Denemeler sırasında, kurutma için gerekli olan havanın sağlandığı fanın devri, Dinverter A.C. elektrik motoru devir kontrol ünitesi ile kademesiz olarak ayarlanmak suretiyle istenilen değerler elde edilmiştir. Ayrıca fanın giriş kısmında hava emiş kesit alanını 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 ısıtılabilir. Isıtıcı bölümünü oluşturan 4x1000 watt gücündeki devre elemanları birbirinden 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 değerlerde 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. 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 elektriksel ısıtıcıların bulunduğu bölümün dış yüzeyleri ısı kayıplarına karşı cam yünü ile sarılarak izole edilmişlerdir.



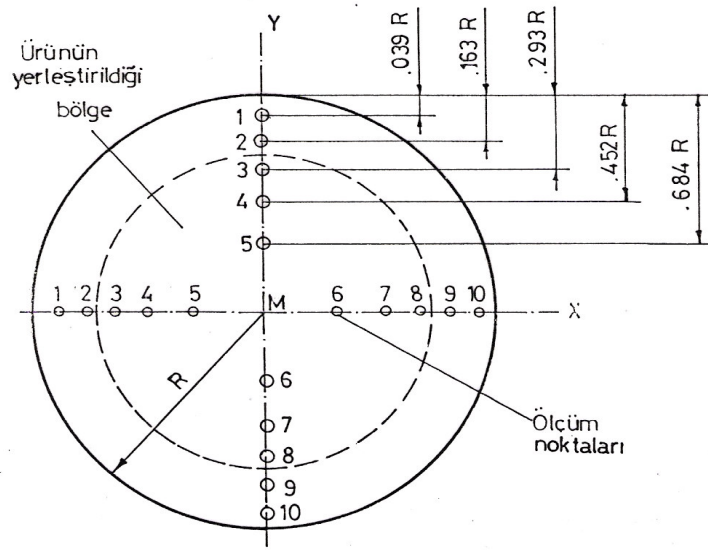
Şekil 5.1. Deneme düzeninin şematik görünüşü (Mengeş 1999)



Şekil 5.2. Deneme düzeninin genel görünüşü (Mengeş 2005)

### 5.2.3. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçümü

Hava kanallarının kurutma hacmi kesitlerinde, hava kanallarında hız ölçümü ile ilgili standartlarda (Anonymous 1962 ve Henderson 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 tek hız kademesi için yapılmıştır. Şekil 5.3’de kurutucu kanal kesitindeki hız ölçüm noktaları, tek hız kademesi için dairesel kanalda ölçülen hız değerleri ise Çizelge 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçüm noktaları (Anonymous 1962)

Çizelge 5.2. Tek hız kademesinde dairesel kanalda ölçülen hız değerleri

| ölçüm noktaları | hız kademesi |            | ölçüm noktaları | hız kademesi |           |
|-----------------|--------------|------------|-----------------|--------------|-----------|
|                 | 2 m/s        |            |                 | 2 m/s        |           |
| x eksenini      |              | y eksenini |                 |              |           |
| 1               | 1.70         | Ort:1.957  | 1               | 1.80         | Ort:1.985 |
| 2               | 1.80         |            | 2               | 1.90         |           |
| 3               | 1.90         |            | 3               | 1.90         |           |
| 4               | 1.90         |            | 4               | 2.00         |           |
| M               | 2.00         |            | M               | 2.10         |           |
| 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         |           |

Çizelge 5.2'deki değerler incelenecek olursa, kanal kesiti içerisindeki hava akış hızında önemli bir değişiklik görülmemektedir. Özellikle ürünün yerleştirildiği bölgede oldukça düzenli bir hava akışı gözlenmektedir.

### 5.2.4. Ürün neminin belirlenmesi

Ürünün ilk nemini belirlemek amacıyla kurutma fırını yöntemi kullanılmıştır. (Ergüneş 1990 ve Yağcıoğlu 1999). Örnekler vakumlu etüvde 100 mmHg'yi aşmayan basınç altında ve 70 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelene kadar bekletilerek meydana gelen ağırlık değişiminden yararlanmak suretiyle muz örneklerinin sahip oldukları ilk nem değerleri belirlenmiştir.

Denemeler sırasındaki nem değişimini belirlemek amacıyla, denemelerin yapılmaya başlandığı andan itibaren kurutulmakta olan ürünler, belli zaman aralıklarında alınıp, kurutma ortamının hemen yanına yerleştirilen Shimadzu marka digital bir 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 ( $\%N_{yb}$ ) ve ( $\%N_{kb}$ ) ağırlık esasına göre aşağıda verilen eşitliklerle hesaplanmıştır (Ayık 1985, Erdoğan 1984 ve Yağcıoğlu 1999).

$$\%N_y = \frac{W_s}{W_s + W_k} \cdot 100 \dots\dots\dots(2)$$

$$\%N_k = \frac{W_s}{W_k} \cdot 100 \dots\dots\dots(3)$$

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

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

$$\%N_k = \frac{N_{yb}}{100 - N_{yb}} \cdot 100 \dots\dots\dots(4)$$

$$\%N_y = \frac{N_k}{100 + N_{kb}} \cdot 100 \dots\dots\dots(5)$$

Kuruyarak nem oranı azalan ürünün yeni ağırlığı aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmaktadır.

$$\Delta W = W_1 \frac{N_1 - N_2}{100 - N_2} \dots\dots\dots(6)$$

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

### 5.2.5. Deneme materyali ürünlerin kuruma değişkenlerinin belirlenmesi

#### 5.2.5.1. Kuruma hızının belirlenmesi

Kurumakta olan bir materyalin, birim zamanda kaybettiği nem miktarı, kuruma hızı olarak tanımlanmaktadır. 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 ( $N_0 - N_d$ ) oranını ifade etmektedir. Bu çalışmada bu yöntem kullanılmıştır.

Denemeler sırasında ürünlere ait belirlenen başlangıç nemi ( $N_0$ ), herhangi bir t anındaki nem miktarı ( $N_t$ ), denge nemi ( $N_d$ ) ve t değerlerinden yararlanılarak hesaplanan Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerleri Ek Çizelge 23, 24 ve 25'te verilmiştir.

### 5.2.5.2. Deneysel kuruma sabitlerinin belirlenmesi

Deneme materyali ürüne ait kuruma sabiti (k) değerlerinin hesaplanmasında aşağıda verilen kurutma denkleminde yararlanılmıştır. Yarı teorik modeller içinde en yaygın kullanım alanı bulan 7 no'lu eşitlik logaritmik kurutma denklemi olarak bilinmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

$$\frac{N_t - N_d}{N_0 - N_d} = \exp(-kt) \dots\dots\dots(7)$$

Eşitlikte;  $N_0$  başlangıç nemini,  $N_t$  herhangi bir t anındaki nem miktarını,  $N_d$  denge nemini, k kuruma sabitini, t ise kuruma zamanını ifade etmektedir.

Denemeler sırasında yapılan ölçümlerden elde edilen  $N_0$ ,  $N_t$  ve  $N_d$  değerleri kullanılarak, farklı t anları için STATİSTİCA istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda farklı sıcaklık ve ön işlem uygulamaları için ürünlere ait ayrı ayrı kuruma sabiti (k) değerleri hesaplanmıştır.

### 5.2.5.3. Ürünlere ait kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde dikkate alınan parametreler

Denemeye alınan 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutulması sırasında, kurutma havasının farklı sıcaklık (60, 70 ve 80 °C) ve tek hız

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 ( $Z_1=0$ ,  $Z_2=0.5$ ,  $Z_3=1$ ,  $Z_4=1.5$ ,  $Z_5=2$ ,  $Z_6=2.5$  saat ).

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

Denemeler aşağıda belirtilen kuruma koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.3. Denemelerin gerçekleştirildiği kurutma havası koşulları

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Hava sıcaklığı (°C)                  | 60 (T <sub>1</sub> ), 70 (T <sub>2</sub> ), 80 (T <sub>3</sub> ) |
| Hava Hızı (m/s)                      | 2.0  |
| Ön İşlem (Materyalin Kalınlığı) (mm) | 6 ve 9   |

## 6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 6.1. Muz Örneklerinin Kurutulmasında Ürün Neminin Kurutma Havası Sıcaklığı ve Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşleme Bağlı Olarak Gösterdiği Değişim

Kuruma hızı üzerine bazı iç ve dış faktörler etkili olmaktadır. Dış faktörler olarak, kurutma havasının sıcaklığı, hızı ve bağıl nemi, iç faktörler olarak ise ürünün yapısal özelliklerine bağlı fiziksel ve kimyasal faktörler sayılabilmektedir. Ürünlere kurutma öncesi uygulanan ön işlem ise kısmen de olsa ürünün yapısı üzerine etkili olduğundan iç faktör olarak kabul edilebilmektedir.

Denemeye alınan muz örneklerinin, 60, 70 ve 80 °C kurutma havası sıcaklığı, 2.0 m/s hava hızı ve 6 ve 9 mm ön işlem koşullarında zamana bağlı olarak değişen % nem oranları değerleri, yaş ağırlık esasına göre hazırlanan ek çizelgelerde verilmiştir. Bu çizelgelerde yer alan % nem değişimi değerleri 2 tekerrürün ortalaması olarak hesaplanmıştır. (Ek Çizelge 17, 18 ve 19). Ürünlerdeki nem içeriği değerlerinin yaş ağırlık esasına göre belirtilmesi uygulamada çok kullanılmakla beraber, kurumakta olan materyaldeki, değişmeyen kuru maddeye göre nemin, % nem değerleri de kurutma çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla, deneme materyali muz örneklerinin zamana bağlı olarak farklı kurutma koşullarındaki nem değişimlerini inceleyebilmek için çizelgeler oluşturulmuştur (Ek Çizelge 20, 21 ve 22).

Farklı dış koşulların etkisiyle, kurutulmakta olan ürünlerde meydana gelen nem değişiminin incelenebilmesi için, daha öncede belirtildiği gibi Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerlerinden yararlanılmaktadır. Kurutma koşullarında muz örneklerine ait Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve Ek Çizelge 23, 24 ve 25'te verilmiştir.

Denemeler sırasında farklı kalınlıktaki her muz örneği için farklı zaman dilimlerinde ölçülen ve örneklerin ilk ağırlıklarının yüzdesi olarak hesaplanan %



ağırlık azalması değerleri farklı kalınlıktaki her muz örneği için Ek Çizelge 26, 27 ve 28'de görülmektedir.

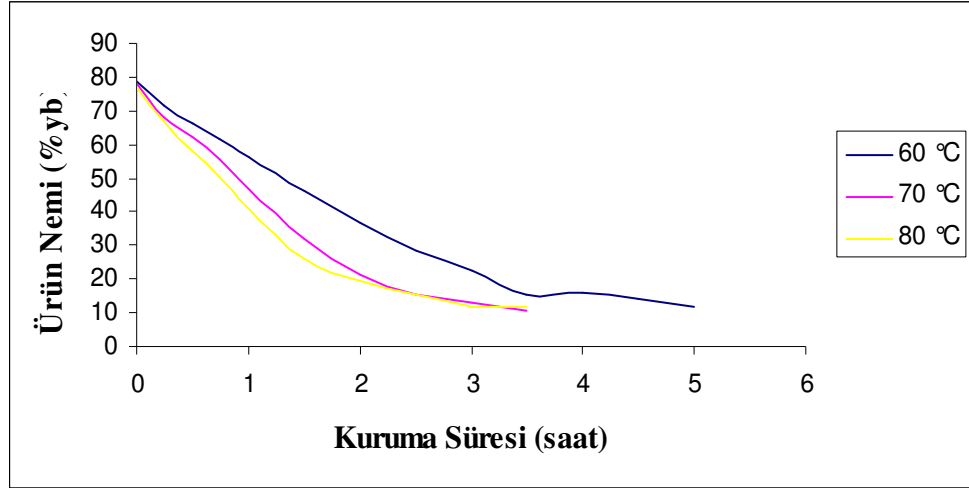
Ayrıca denemeler sırasında ürünlerin ilk ağırlıklarının yüzdesi olarak hesaplanan % ağırlık azalması değerlerinden yararlanmak suretiyle farklı kurutma koşulları için ayrı ayrı varyans analizleri yapılmış ve kurutma değişkenlerinin kuruma hızı üzerine olan etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Farklı ön işlem uygulanmış muz örnekleri için yapılan varyans analizi sonuçları Ek Çizelge 1...16 arasında verilmiştir.

Verilen ek çizelgeler incelenecek olursa, denemeye alınan muz örneklerinin % nem değerlerinin kurutma havası sıcaklığı ve ürün kalınlığındaki değişime bağlı olarak azalan bir şekilde değişim gösterdiği açıkça görülmektedir. Denemeler sonucunda muz örneklerinde en kısa kuruma süresine 2.0 m/s hava hızı kademesinde 80 °C kurutma havası sıcaklığı ve 6 mm ön işlem koşulunda, en uzun kuruma süresine ise yine aynı hız kademesinde 60 °C kurutma havası sıcaklığı ve 9 mm ön işlem koşulunda ulaşılmıştır. Ön işlem olarak uygulanan örnek kalınlığındaki azalma nem transferini önemli oranda arttırmakta ve dolayısıyla kuruma süresini kısaltmaktadır.

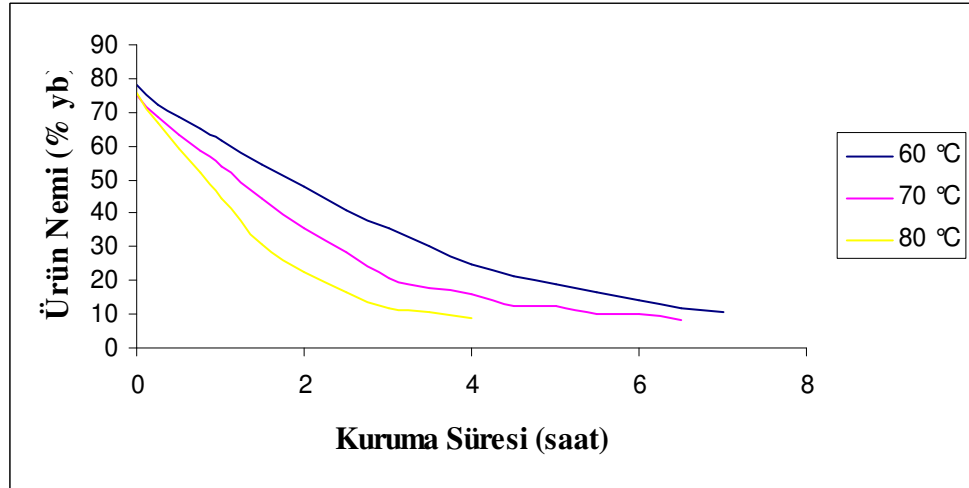
## **6.2. Kurutmada Kullanılan Hava Sıcaklığının Muz Örneklerinin Kuruması Üzerine Etkisi**

Elde edilen sonuçlara göre, kurutmada kullanılan hava sıcaklığının artışı, ön işlem uygulanmış diğer bir ifade ile farklı kalınlıklara sahip muz 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 (Ergüneş 1990).

Seçilen hava sıcaklıklarının 6 ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinin % nem değişimi değerlerine etkileri 2.0 m/s hava hızı koşulu için Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1. 2.0 m/s hava hızında kurutulmuş 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi



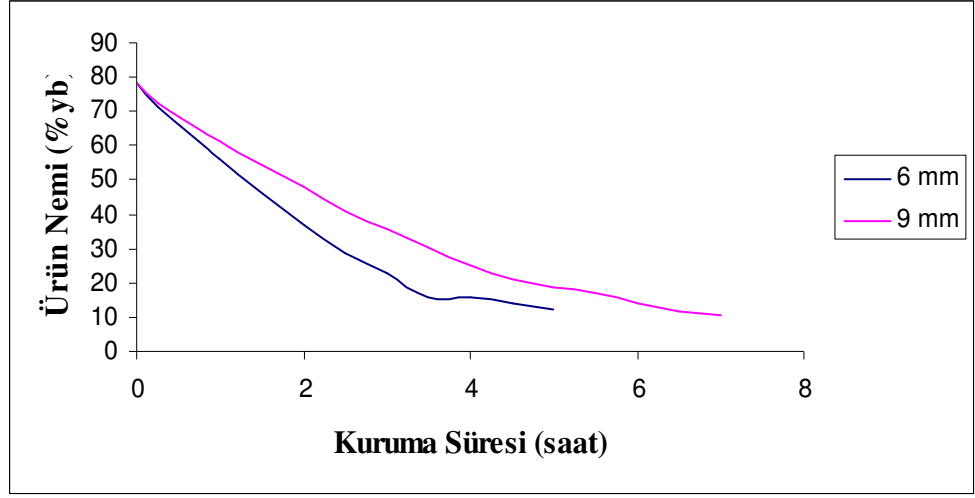
Şekil 6.2. 2.0 m/s hava hızında kurutulmuş 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 incelenecek olursa, 2.0 m/s hava hızı koşulunda ön işlem uygulanmış tüm muz örneklerinde, hava sıcaklığının artışı ve buna bağlı olarak havanın bağıl neminin düşmesi, örneklerin % nem değişimindeki azalmada belirgin bir hızlanmaya neden olmaktadır. Başka bir ifadeyle, kurutma havası sıcaklığı artışına bağlı olarak kuruma süresi kısalmaktadır. Ele alınan 2.0 m/s hava hızı değerinde ön işlem görmüş bütün örnekler için en hızlı kuruma 80 °C'de, en yavaş kuruma ise 60 °C'de gerçekleşmiştir. Örneğin 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde denge nemi değerine 80 °C kurutma havası sıcaklığında 4. saat sonunda ulaşırken, bu değere 70 °C'de 6.5 saatte, 60 °C'de 7 saatte ulaşabilmiştir (Ek Çizelge 17, 18 ve 19).

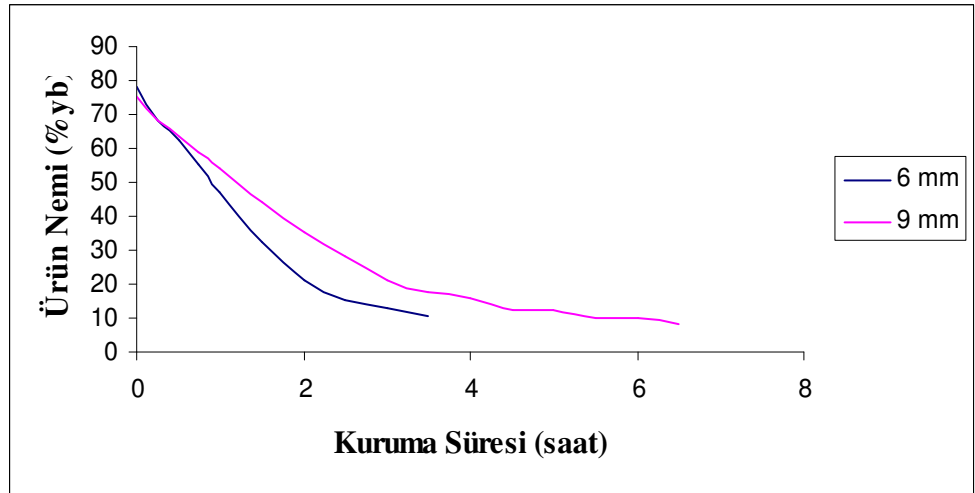
Bu durum ön işleme tabii tutulmuş muz örneklerinin (6 ve 9 mm) hepsine ayrı ayrı olarak yapılan istatistiki analiz sonuçlarında da açık bir şekilde görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre (Ek Çizelge 1 ve 5) kurutma havası sıcaklığı, kuruma zamanı ve sıcaklık x zaman interaksyonu istatistiki açıdan 0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur. Örneklerdeki % ağırlık kayıpları değerleri, kurutma havası sıcaklığının artışına bağlı olarak artmıştır (Ek Çizelge 2 ve 6). Sıcaklık x zaman interaksyonuna yapılan duncan testi sonuçlarına göre, ön işleme tabii tutulmuş tüm muz örneklerinde sıcaklık artışına bağlı olarak % ağırlık kayıp oranlarında bir artış gözlenmiştir (Ek Çizelge 4 ve 8). Örneğin 9 mm kalınlığındaki muz örnekleri kurutmanın ilk 2. saati sonunda, 80 °C sıcaklıkta ortalama olarak % 68,72 oranında ağırlık kaybına uğrarken, bu oran 70 °C'de % 61,88, 60 °C'de % 58,46 değerine düşmüştür (Ek Çizelge 8). Bu durum kurutma havası sıcaklığının kuruma hızı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

### **6.3. Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşlemin Muz Örneklerinin Kuruması Üzerine Etkisi**

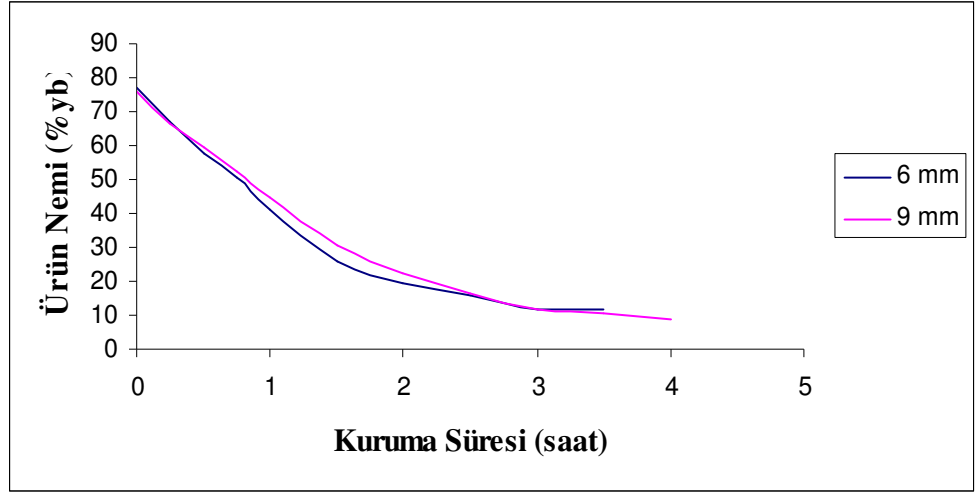
Kurutma denemelerinde deneme materyali muzlar, kurutma öncesi 6 ve 9 mm kalınlıklarında hazırlandıktan sonra kurutulmuşlardır. 2.0 m/s hava hızı değerinde ve farklı hava sıcaklığı şartlarında, iki farklı kalınlığa sahip muz örneklerinin zamana bağlı olarak göstermiş oldukları % nem değişimi değerleri Şekil 6.3, 6.4 ve 6.5'te görülmektedir.



Şekil 6.3. 60 °C sıcaklıkta 2.0 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki muz örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



Şekil 6.4. 70 °C sıcaklıkta 2.0 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki muz örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



Şekil 6.5. 80 °C sıcaklıkta 2.0 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki muz örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi

Şekil 6.3, 6.4 ve 6.5'in incelenmesiyle, tüm deneme şartlarında muzlara kurutma öncesi uygulanan ön işlemin kuruma süresini kısalttığı görülmektedir. Örneğin Şekil 6.4'de görüldüğü gibi 2.0 m/s hava hızı ve 70 °C kurutma havası sıcaklığında, 6 mm kalınlığındaki örneklerde %15 neme ulaşabilmek için gerekli süre 2.5 saat iken, 9 mm kalınlığındaki örneklerde 4 saattir (Ek Çizelge 18).

Ön işlem uygulanmış muz örneklerine uygulanan varyans analiz sonuçlarına göre, kurutma sıcaklığı, ön işlem, zaman, sıcaklık x ön işlem, sıcaklık x zaman, ön işlem x zaman, ve sıcaklık x ön işlem x zaman interaksiyonları istatistiksel açıdan 0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Ek Çizelge 9).

Ön işlem uygulanmış muz örneklerinde kurutma sıcaklığının artmasıyla (Ek Çizelge 10) ve ön işlem x sıcaklık interaksiyonuna göre, ağırlık kaybı değerlerinde artış gözlenmiştir (Ek Çizelge 13).

Ek Çizelge 12'de görüldüğü gibi, ön işlem uygulanmış muz örneklerinde 2 saatlik kurutma süresinde ortalama olarak % 66.34 ağırlık kaybı görülürken 2.5 saatlik kurutma süresi sonunda ise ortalama olarak % 69.34 ağırlık kaybı görülmüştür.

Ek Çizelge 14'te görüldüğü gibi ele alınan her yarım saatlik kuruma zamanına bağlı olarak 80 °C kurutma sıcaklığı değerinde ve 2.5 saatlik kuruma zamanında % 72.14 ağırlık kaybı değeri, diğer ağırlık kaybı değerlerine göre istatistiksel açıdan farklılık göstermiştir.

Ön işlem x zaman interaksiyonuna uygulanan duncan testi sonuçlarına göre, değişik zaman dilimleri için elde edilen ortalama % ağırlık kayıpları incelendiğinde, 1.5 saat sonunda 9 mm kalınlığındaki örneklerde % 57,71 oranında bir ağırlık kaybı söz konusuken bu oran 6 mm boyutundaki muz örneklerinde % 65.09 olduğu gözlenmiştir ( Ek Çizelge 15).

Üçlü interaksiyon sonuçlarına göre en yüksek ağırlık kaybı değerleri % 73.30 ve % 72.59 olarak 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinde 80 °C kurutma havası sıcaklığında tespit edilmiştir (Ek Çizelge 16). Bu durumu örneklerdeki kalınlık azalmasının nem transferini önemli oranda artırıcı özelliğine bağlayabiliriz.

#### **6.4. Farklı Koşullarda Kurutulan Muz Örneklerine Ait Kuruma Sabiti Değerleri**

Materyalden, kuruma koşullarına bağlı olarak meydana gelen % nem azalması veya Alınabilir Nem Oranı (ANO)'nın kuruma zamanına bağlı olarak gösterdiği eğilimin belirlenmesi, deneme koşullarına benzer ortamlarda aynı materyalin belirli zamanlarda ulaşabileceği nemi ya da istenilen nem değerine ulaşması için gerekli zamanı belirlemede yardımcı olacaktır. Ancak bunun belirlenmesi için nem değişim eğrilerine ait eğilimlerin bilinmesi gereklidir. Bu eğim değerleri, birim zaman içinde nem ya da ANO değerindeki değişme eğilimini belirlemekte ve bu nedenle de kuruma sabiti olarak tanımlanmaktadır (Yağcıoğlu 1981).

Deneme materyali muz örneklerinin kurutulmasında, her iki evreyi (sabit + azalan) kapsayacak şekilde ortak bir kuruma sabiti (k) değeri elde etmek için 7 no'lu eşitlikte yer alan genel logaritmik kurutma denklemi, farklı boyuttaki örneklerin tüm kuruma periyodu için uygulanmış ve deneysel değerlere yapılan regrasyon analizi

sonucunda farklı kurutma koşullarında deneme materyali muz örnekleri için elde edilen kuruma sabiti k değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Farklı kuruma koşullarında muz örneklerinin sabit + azalan hızla kuruma evrelerine ait alınabilir nem oranı (y) – kuruma süresi (t) ilişkisini belirleyen regresyon denklemleri

| Ürün | Hava Hızı (m/s) | Model        | 60 °C     |         | 70 °C     |         | 80 °C     |         |
|------|-----------------|--------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
|      |                 |              | K         | r       | k         | r       | k         | r       |
| 6 mm | 2 m/s           | ANO=exp(-kt) | 1.0571525 | 0.99063 | 1.5078263 | 0.99243 | 1.6632608 | 0.99243 |
| 9 mm |                 |              | 0.742026  | 0.98514 | 0.9462783 | 0.99175 | 1.4129669 | 0.99491 |

k: kuruma Sabiti

r: Korelasyon katsayısı

Değişim azalan bir karakter gösterdiği için kuruma sabiti (k) değerleri negatif bulunmuştur. Kuruma sabiti değerleri genel olarak incelenecek olursa, bu değerlerin sıcaklık artışına ve ürün kalınlığındaki azalmaya bağlı olarak arttıkları görülmektedir. En yüksek kuruma sabiti k değeri 1.6632, 80 °C sıcaklık ve 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinde görülmüştür. En düşük kuruma sabiti k değeri 0.7420 ise 60 °C sıcaklık ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde görülmüştür. Ayrıca Alınabilir Nem Oranı – Kuruma Zamanı ilişkisini veren denklemlere ait korelasyon katsayıları r incelenecek olursa çoğunlukla % 99’un üzerinde olduğu görülmektedir. Burada ele alınan regresyon modellerinin deneysel sonuçlarla iyi bir uyum gösterdiği anlaşılmaktadır.

## 7. SONUÇ

Araştırma sonuçlarını şu başlıklar altında özetleyebiliriz:

- Kurutmada kullanılan kurutma havası sıcaklığı arttıkça farklı kalınlıktaki muz örneklerinde, uzaklaşan nem miktarı artmakta ve bunun sonucu olarak kuruma süresi kısalmaktadır.
- Muz örneklerinin kurutma öncesi ön işleme tabi tutulması, kuruma hızına büyük oranda etki etmektedir. Başka bir ifadeyle muz örneklerinde kalınlık azaldıkça kuruma hızı daha fazla olmaktadır.
- Deneme örneklerinin tümünde kuruma sabiti değerleri hava sıcaklığı artışına bağlı olarak artış göstermiştir.
- Kuruma sabiti değerleri örneklerdeki kalınlığın azalmasıyla birlikte kuruma hızının artmasına bağlı olarak daha büyük değerler göstermiştir.
- Muz örneklerine ait kuruma sabiti (k) değerleri, farklı sıcaklıklarda, 6 mm kalınlığındaki örneklerde 1.0571 ile 1.6632 arasında; 9 mm kalınlığındaki örneklerde ise 0.7420 ile 1.4129 arasında bulunmuştur.



## 8. KAYNAKLAR

- 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
- Anonymous, 1962. A. M. C. A. Standart Test Code for Air Moving Devices Air Moving and Conditioning Association Inc. Park Ridge, Illinois, USA
- Anonymous, 2002. Tarım İstatikleri. Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara
- Anonymous, 2003. Tarım İstatikleri. Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara
- Anonymous, 2004. Tarım İstatikleri. Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara
- Anonymous, 2005. Tarım İstatikleri. Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara
- 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 Makineleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 957, Ders Kitabı: 227, Ankara
- Cemeroğlu, B., Acar, J., 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No: 6, Ankara
- Demir, V., Günhan, T., 2002. Tarım Ürünlerinin Kuruma Karakteristik Değerlerinin Belirlenmesi. *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı*, 17 – 31, İzmir
- Doymaz, İ., 2008. Influence Of Blanching and Slice Thickness On Drying Characteristics Of Leek Slices. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 41– 47
- Düzgüneş, O., Kesici, İ., Gürbüz, F., 1983. İstatistik Metotları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 861, Ankara
- Erdoğan, D., 1984. Doğal Akışlı Güneşli Kurutucular. 2. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Sempozyumu, 224 – 231, Ankara
- Ergüneş, C., 1990. Çekirdeksiz Üzümün Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yayımlanmamış Doktora Tezi, İzmir
- Ergüneş, G., Özgöz, E., 1995. Bazı Sebzelerin Sera İçerisinde Kuruma Karakteristikleri. *Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*, 461– 470, Bursa
- Ertekin, C., 2002. Bazı Sebze ve Meyvelerin Kurutulması. *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı*, 33 – 57, İzmir
- Güner, M., 1991. Kurutmanın Bilimsel Temelleri, Kurutma Modelleri ve Güneşli Kurutucular. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1205, Derlemeler: 48, Ankara
- Henderson, S.M., Perry R. L., 1955. *Agricultural Process Engineering*. John Willey and Sons, Inc., USA
- Karathanos, V.T., Belessiootis, V.G., 1996. Sun and Artificial Air Drying Kinetics of Some Agricultural Products *Journal of Food Engineering*, 31, 35 – 46, England
- Krokida, M. K., Karathanos V. T., Maroulis Z. B., Marinos – Kouris D., 2003. Drying Kinetics Of Some Vegetables. *Journal Of Food Engineering*, 59, 391-403
- Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Jaouhari, J. T., 2004. Drying Kinetics Of Prickly Pear Fruit (*Opuntia Ficus İndica*). *Journal of Food Engineering*, 61, 173 – 179

- Leite, J. B., Mancini, M. C., Borges, S. V., 2007. Effect Of Drying Temperature On The Quality Of Dried Bananas Cv. Prata And D'água. *LWT*, 40, 319 – 323.
- Liu, Q., Bakker-Arkema., F.W., 1997. Stochastic Modelling Of Grain Drying: Part 2. Model Development. *Journal Of Agricultural. Engineering Research*, 66, 275-280
- Madamba, P. S., Driscoll R. H., Buckle K. A., 1996. The Thin-Layer Drying Charecteristics Of Garlic Slices. *J. Of Food Engineering*, 29, 75 – 97
- Mahapatra, A.K., Imre, L., 1990. Role Of Solar Agricultural Drying İn Developing Countries. *Int. Journal Of Ambient Energy*, Vol. 11, No. 4
- Maskan, M., 2000. Microwave / Air And Microwave Finish Drying Of Banana. *J. Of Food Engineering*, 44, 71 – 78
- Maskan, M., Göğüş F., 1998. Sorption İsotherms And Drying Characteristics Of Mulbery (Mors Alba). *J. Of Food Engineering*, 37, 437–449
- Mengeş, G., 2005. Patatesin Farklı Kurutma Şartlarındaki Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Konya
- Mengeş, H.O., 1999. Konya Bölgesinde Yetiştirilen Bazı Meyvelerin Kontrollü Şartlar Altında Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktor Tezi, Konya
- Müller, J., Reisinger G., Kisgeci, J., Kotta, E., Tesic, M., Mühlbauer, W., 1989. Development Of A Greenhouse-Type Solar Dryer For Medicinal Plants And Herbs. *Solar and Wind Technology*, Vol. 6, No. 5, PP. 523-530
- Newman, G. M., Price W. E., Woolf L. A., 1996. Factors İnfluencing The Drying Of Prunes, 1. Effects Of Temperature Upon The Kinetics Of Moisture Loss During Drying. *Food Chemistry*, 57(2), 241 – 244
- Özbek B., Dadalı G., 2007. Thin – Layer Drying Characteristics and Modelling Of Mint Leaves Undergoing Microwave Treatment. *Journal Of Food Engineering*, 83, 541 – 549
- Sarsavadia, P. N., Sawhney R. L., Pangavhane D. R., Singh S. P., 1999. Drying Behaviour Of Brined Onion Slices. *J. Of Food Engineering*. 40, 219 – 226
- Tarigan, E., Prateepchaikul, G., Yamsaengsung, R., Sirichote, A., Tekasakul, P., 2007. Drying Characteristics Of Unshelled Kernels Of Candle Nuts. *Journal Of Food Engineering*, 79, 828–833.
- Tiris, C., Özbalta, N., Tiris, M., Dinçer, I., 1994. Experimental Testing of A New Solar Dryer *Int. J. Of Energy Research*, 18, 483-490
- Toğrul, H., Toğrul İ., İspir A., 2005. İnfrared Kurutucuda Muzun Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya
- Vagenas, G., Marinos–Kouris, D., 1991. Drying Kinetics Of Apricots. *Drying Technology*, 9(3): 735 – 752
- Venskutonis, P.R., 1997. Effect Of Drying On The Volatile Constituents Of Thyme And Sage. *Food Chemistry*, 59 (2): 219-227
- Wang, J., Chao, Y., 2002. Drying Characteristics Of İrradiated Apple Slices. *Journal of Food Engineering* 52, 83 – 88.
- Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., Tagawa A., 2007. Vacuum Drying Characteristics Of Eggplants. *Journal Of Food Engineering*, 83, 422 – 429
- Yağcıoğlu, A., 1981. Tavuk Gübresinin Değişik Hava Koşullarında Kuruma Özelliklerinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, İzmir

- Yağcıoğlu, A., 1986. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği. Yayınlanmış Yüksek Lisans Notları. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü, İzmir
- Yağcıoğlu, A., 1996. Ürün İşleme Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 517, İzmir
- Yağcıoğlu, A., 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536, İzmir

Ek Çizelge 1. 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutulması sonucunda elde edilen ortalama % ağırlık azalması değerlerinin çeşitli parametreler için varyans analiz sonuçları

| Varyans Kaynakları | SD | KT      | KO     | F                      |
|--------------------|----|---------|--------|------------------------|
| Sıcaklık (T)       | 2  | 264,2   | 132,1  | 902,74 <sup>**</sup>   |
| Zaman (Z)          | 5  | 22293,9 | 4458,8 | 30470,05 <sup>**</sup> |
| TXZ                | 10 | 89,7    | 9,0    | 61,30 <sup>**</sup>    |
| Hata               | 18 | 2,6     | 0,1    |                        |
| Toplam             | 35 | 22650,5 |        |                        |

<sup>\*\*</sup>0,01 Seviyesinde önemli

Ek Çizelge 2. 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kurutma havası sıcaklıklarına yapılan duncan testi sonuçları

| Hava Sıcaklığı       | T <sub>60</sub>     | T <sub>70</sub>     | T <sub>80</sub>     |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ağırlık Azalması (%) | 47,172 <sub>c</sub> | 51,377 <sub>b</sub> | 53,721 <sub>a</sub> |

Ek Çizelge 3. 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kuruma zamanlarına yapılan duncan testi sonuçları

| Kuruma Zamanı        | Z <sub>0</sub>     | Z <sub>0,5</sub>    | Z <sub>1,0</sub>    | Z <sub>1,5</sub>    | Z <sub>2,0</sub>    | Z <sub>2,5</sub>   |
|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Ağırlık Azalması (%) | 0,000 <sub>f</sub> | 41,143 <sub>e</sub> | 56,700 <sub>d</sub> | 65,098 <sub>c</sub> | 69,662 <sub>b</sub> | 71,93 <sub>a</sub> |

Ek Çizelge 4. 6 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle sıcaklık x zaman interaksyonuna yapılan duncan testi sonuçları

| Hava Sıcaklığı  | Kuruma Zamanları   |                     |                     |                     |                     |                      |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
|                 | Z <sub>0</sub>     | Z <sub>0,5</sub>    | Z <sub>1,0</sub>    | Z <sub>1,5</sub>    | Z <sub>2,0</sub>    | Z <sub>2,5</sub>     |
| T <sub>60</sub> | 0,000 <sub>i</sub> | 36,605 <sub>k</sub> | 50,730 <sub>h</sub> | 59,955 <sub>f</sub> | 65,710 <sub>d</sub> | 70,035 <sub>bc</sub> |
| T <sub>70</sub> | 0,000 <sub>i</sub> | 41,145 <sub>j</sub> | 57,765 <sub>g</sub> | 66,220 <sub>d</sub> | 70,685 <sub>b</sub> | 72,445 <sub>a</sub>  |
| T <sub>80</sub> | 0,000 <sub>i</sub> | 45,680 <sub>i</sub> | 61,605 <sub>e</sub> | 69,120 <sub>c</sub> | 72,590 <sub>a</sub> | 73,330 <sub>a</sub>  |

Ek Çizelge 5. 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutulması sonucunda elde edilen ortalama % ağırlık azalması değerlerinin çeşitli parametreler için varyans analiz sonuçları

| Varyans Kaynakları | SD | KT      | KO     | F                      |
|--------------------|----|---------|--------|------------------------|
| Sıcaklık (T)       | 2  | 485,3   | 242,7  | 2279,61 <sup>**</sup>  |
| Zaman (Z)          | 5  | 18623,0 | 3724,6 | 34988,23 <sup>**</sup> |
| TXZ                | 10 | 121,0   | 12,1   | 113,69 <sup>**</sup>   |
| Hata               | 18 | 1,9     | 0,1    |                        |
| Toplam             | 35 | 19231,3 |        |                        |

<sup>\*\*</sup>0,01seviyesinde önemli

Ek Çizelge 6. 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kurutma havası sıcaklıklarına yapılan duncan testi sonuçları

| Hava Sıcaklığı       | T <sub>60</sub>     | T <sub>70</sub>     | T <sub>80</sub>     |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ağırlık Azalması (%) | 41,575 <sub>c</sub> | 43,648 <sub>b</sub> | 50,191 <sub>a</sub> |

Ek Çizelge 7. 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kuruma zamanlarına yapılan duncan testi sonuçları

| Kurutma Zamanı       | Z <sub>0</sub>     | Z <sub>0.5</sub>    | Z <sub>1.0</sub>    | Z <sub>1.5</sub>    | Z <sub>2.0</sub>    | Z <sub>2.5</sub>    |
|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ağırlık Azalması (%) | 0,000 <sub>f</sub> | 34,698 <sub>e</sub> | 48,642 <sub>d</sub> | 57,717 <sub>c</sub> | 63,022 <sub>b</sub> | 66,750 <sub>a</sub> |

Ek Çizelge 8. 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle sıcaklık x zaman interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları

| Hava Sıcaklığı  | Kurutma Zamanları  |                     |                     |                     |                     |                     |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                 | Z <sub>0</sub>     | Z <sub>0.5</sub>    | Z <sub>1.0</sub>    | Z <sub>1.5</sub>    | Z <sub>2.0</sub>    | Z <sub>2.5</sub>    |
| T <sub>60</sub> | 0,000 <sub>n</sub> | 31,180 <sub>m</sub> | 43,615 <sub>j</sub> | 52,525 <sub>h</sub> | 58,465 <sub>f</sub> | 63,665 <sub>d</sub> |
| T <sub>70</sub> | 0,000 <sub>n</sub> | 32,500 <sub>l</sub> | 46,250 <sub>i</sub> | 55,630 <sub>g</sub> | 61,880 <sub>e</sub> | 65,630 <sub>c</sub> |
| T <sub>80</sub> | 0,000 <sub>n</sub> | 40,415 <sub>k</sub> | 56,060 <sub>g</sub> | 64,995 <sub>c</sub> | 68,720 <sub>b</sub> | 70,955 <sub>a</sub> |

Ek Çizelge 9. 6mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinin kurutulması sonucunda elde edilen ortalama % ağırlık azalması değerlerinin çeşitli parametreler için varyans analiz sonuçları

| Varyans Kaynakları | SD | KT      | KO     | F                      |
|--------------------|----|---------|--------|------------------------|
| Sıcaklık (T)       | 2  | 697,6   | 348,8  | 3092,52 <sup>**</sup>  |
| Ön İşlem (Ö)       | 1  | 562,6   | 562,6  | 4988,68 <sup>**</sup>  |
| Zaman (Z)          | 5  | 40779,9 | 8156,0 | 72316,34 <sup>**</sup> |
| TxÖ                | 2  | 50,8    | 25,4   | 225,21 <sup>**</sup>   |
| TxZ                | 10 | 192,2   | 19,2   | 170,41 <sup>**</sup>   |
| ÖxZ                | 5  | 125,3   | 25,1   | 222,12 <sup>**</sup>   |
| TxÖxZ              | 10 | 17,9    | 1,8    | 15,89 <sup>**</sup>    |
| Hata               | 36 | 4,1     | 0,1    |                        |
| Toplam             | 71 | 42430,3 |        |                        |

<sup>\*\*</sup>0,01seviyesinde önemli

Ek Çizelge 10. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kurutma havası sıcaklıklarına yapılan duncan testi sonuçları

| Hava Sıcaklığı       | T <sub>60</sub>     | T <sub>70</sub>     | T <sub>80</sub>     |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ağırlık Azalması (%) | 44,374 <sub>c</sub> | 47,471 <sub>b</sub> | 51,956 <sub>a</sub> |

Ek Çizelge 11. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle ön işlem değerlerine yapılan duncan testi sonuçları

| Ön İşlem             | 6 mm                | 9 mm                |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| Ağırlık Azalması (%) | 50,729 <sub>a</sub> | 45,138 <sub>b</sub> |

Ek Çizelge 12. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle kuruma zamanlarına yapılan duncan testi sonuçları

| Kuruma Zamanı        | Z <sub>0</sub>     | Z <sub>0.5</sub>    | Z <sub>1.0</sub>    | Z <sub>1.5</sub>    | Z <sub>2.0</sub>    | Z <sub>2.5</sub>    |
|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ağırlık Azalması (%) | 0,000 <sub>f</sub> | 37,921 <sub>e</sub> | 52,587 <sub>d</sub> | 61,407 <sub>c</sub> | 66,342 <sub>b</sub> | 69,343 <sub>a</sub> |

Ek Çizelge 13. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle ön işlem x sıcaklık interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları

| Ön İşlem | Hava Sıcaklığı      |                     |                     |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
|          | T <sub>60</sub>     | T <sub>70</sub>     | T <sub>80</sub>     |
| 6 mm     | 47,172 <sub>c</sub> | 51,293 <sub>b</sub> | 53,721 <sub>a</sub> |
| 9 mm     | 41,575 <sub>e</sub> | 43,648 <sub>d</sub> | 50,191 <sub>b</sub> |

Ek Çizelge 14. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle sıcaklık x zaman interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları

| Hava Sıcaklığı  | Zaman              |                     |                     |                     |                     |                      |
|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
|                 | Z <sub>0</sub>     | Z <sub>0.5</sub>    | Z <sub>1.0</sub>    | Z <sub>1.5</sub>    | Z <sub>2.0</sub>    | Z <sub>2.5</sub>     |
| T <sub>60</sub> | 0,000 <sub>o</sub> | 33,892 <sub>n</sub> | 47,172 <sub>k</sub> | 56,240 <sub>i</sub> | 62,087 <sub>f</sub> | 66,850 <sub>de</sub> |
| T <sub>70</sub> | 0,000 <sub>o</sub> | 36,823 <sub>m</sub> | 51,758 <sub>j</sub> | 60,925 <sub>g</sub> | 66,282 <sub>e</sub> | 69,037 <sub>c</sub>  |
| T <sub>80</sub> | 0,000 <sub>o</sub> | 43,047 <sub>l</sub> | 58,832 <sub>h</sub> | 67,058 <sub>d</sub> | 70,655 <sub>b</sub> | 72,142 <sub>a</sub>  |

Ek Çizelge 15. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle ön işlem x zaman interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları

| Ön İşlem | Zaman              |                     |                     |                     |                     |                     |
|----------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|          | Z <sub>0</sub>     | Z <sub>0.5</sub>    | Z <sub>1.0</sub>    | Z <sub>1.5</sub>    | Z <sub>2.0</sub>    | Z <sub>2.5</sub>    |
| 6 mm     | 0,000 <sub>k</sub> | 41,143 <sub>i</sub> | 56,533 <sub>g</sub> | 65,098 <sub>d</sub> | 69,662 <sub>b</sub> | 71,937 <sub>a</sub> |
| 9 mm     | 0,000 <sub>k</sub> | 34,698 <sub>i</sub> | 48,642 <sub>h</sub> | 57,717 <sub>f</sub> | 63,022 <sub>e</sub> | 66,750 <sub>c</sub> |

Ek Çizelge 16. 6 mm ve 9 mm kalınlığındaki muz örneklerinde ortalama % ağırlık azalması değerleriyle ön işlem x sıcaklık x zaman interaksiyonuna yapılan duncan testi sonuçları

| Ön İşlem | Hava Sıcaklığı  | Zaman              |                     |                     |                      |                      |                      |
|----------|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|          |                 | Z <sub>0</sub>     | Z <sub>0.5</sub>    | Z <sub>1.0</sub>    | Z <sub>1.5</sub>     | Z <sub>2.0</sub>     | Z <sub>2.5</sub>     |
| 6 mm     | T <sub>60</sub> | 0,000 <sub>u</sub> | 36,605 <sub>r</sub> | 50,730 <sub>n</sub> | 59,955 <sub>i</sub>  | 65,710 <sub>ef</sub> | 70,035 <sub>bc</sub> |
|          | T <sub>70</sub> | 0,000 <sub>u</sub> | 41,145 <sub>q</sub> | 57,265 <sub>k</sub> | 66,220 <sub>e</sub>  | 70,685 <sub>b</sub>  | 72,445 <sub>a</sub>  |
|          | T <sub>80</sub> | 0,000 <sub>u</sub> | 45,680 <sub>o</sub> | 61,605 <sub>h</sub> | 69,120 <sub>cd</sub> | 72,590 <sub>a</sub>  | 73,330 <sub>a</sub>  |
| 9 mm     | T <sub>60</sub> | 0,000 <sub>u</sub> | 31,180 <sub>i</sub> | 43,615 <sub>p</sub> | 52,525 <sub>m</sub>  | 58,465 <sub>j</sub>  | 63,665 <sub>g</sub>  |
|          | T <sub>70</sub> | 0,000 <sub>u</sub> | 32,500 <sub>s</sub> | 46,250 <sub>o</sub> | 55,630 <sub>l</sub>  | 61,880 <sub>h</sub>  | 65,630 <sub>ef</sub> |
|          | T <sub>80</sub> | 0,000 <sub>u</sub> | 40,415 <sub>q</sub> | 56,060 <sub>i</sub> | 64,995 <sub>f</sub>  | 68,720 <sub>d</sub>  | 70,955 <sub>b</sub>  |

Ek Çizelge 17. Muz örneklerinde 60 °C sıcaklık için yaş ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değışimi değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |       |
|-------------|---------------|-------|
|             | 9 mm          | 6 mm  |
| 0.00        | 78.21         | 78.52 |
| 0.25        | 72.27         | 71.41 |
| 0.50        | 68.42         | 66.21 |
| 0.75        | 65.05         | 61.29 |
| 1.00        | 61.64         | 56.27 |
| 1.50        | 54.54         | 46.13 |
| 2.00        | 48.15         | 37.00 |
| 2.50        | 40.88         | 28.53 |
| 3.00        | 35.71         | 22.56 |
| 3.50        | 30.45         | 15.53 |
| 4.00        | 25.16         | 16.03 |
| 4.50        | 21.16         | 14.02 |
| 5.00        | 18.98         | 12.00 |
| 5.50        | 16.70         |       |
| 6.00        | 14.27         |       |
| 6.50        | 11.72         |       |
| 7.00        | 10.46         |       |



Ek Çizelge 18. Muz örneklerinde 70 °C sıcaklık için yağ ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değışimi değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |       |
|-------------|---------------|-------|
|             | 9 mm          | 6 mm  |
| 0.00        | 75.31         | 78.41 |
| 0.25        | 68.39         | 68.32 |
| 0.50        | 63.42         | 62.32 |
| 0.75        | 58.85         | 55.37 |
| 1.00        | 54.07         | 46.99 |
| 1.50        | 44.35         | 32.10 |
| 2.00        | 35.23         | 21.12 |
| 2.50        | 28.16         | 15.25 |
| 3.00        | 20.99         | 13.02 |
| 3.50        | 17.70         | 10.78 |
| 4.00        | 15.93         |       |
| 4.50        | 12.20         |       |
| 5.00        | 12.20         |       |
| 5.50        | 10.22         |       |
| 6.00        | 10.22         |       |
| 6.50        | 8.11          |       |

Ek Çizelge 19. Muz örneklerinde 80 °C sıcaklık için yağ ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değışimi değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |       |
|-------------|---------------|-------|
|             | 9 mm          | 6 mm  |
| 0.00        | 75.74         | 77.10 |
| 0.25        | 66.71         | 67.17 |
| 0.50        | 59.21         | 57.84 |
| 0.75        | 52.36         | 50.54 |
| 1.00        | 44.69         | 41.12 |
| 1.50        | 30.57         | 25.80 |
| 2.00        | 22.30         | 19.35 |
| 2.50        | 16.31         | 15.66 |
| 3.00        | 11.80         | 11.67 |
| 3.50        | 10.57         | 11.67 |
| 4.00        | 8.66          |       |

Ek Çizelge 20. Muz örneklerinde 60 °C sıcaklık için kuru ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değişimi değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |        |
|-------------|---------------|--------|
|             | 9 mm          | 6 mm   |
| 0.00        | 3.5893        | 3.6555 |
| 0.25        | 2.6067        | 2.4984 |
| 0.50        | 2.1664        | 1.9600 |
| 0.75        | 1.8616        | 1.5833 |
| 1.00        | 1.6074        | 1.2870 |
| 1.50        | 1.2008        | 0.8564 |
| 2.00        | 0.9298        | 0.5875 |
| 2.50        | 0.6927        | 0.3992 |
| 3.00        | 0.5571        | 0.2914 |
| 3.50        | 0.4387        | 0.1839 |
| 4.00        | 0.3371        | 0.1909 |
| 4.50        | 0.2694        | 0.1636 |
| 5.00        | 0.2354        | 0.1364 |
| 5.50        | 0.2017        |        |
| 6.00        | 0.1677        |        |
| 6.50        | 0.1340        |        |
| 7.00        | 0.1173        |        |

Ek Çizelge 21. Muz örneklerinde 70 °C sıcaklık için kuru ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değişimi değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |        |
|-------------|---------------|--------|
|             | 9 mm          | 6 mm   |
| 0.00        | 3.0502        | 3.6318 |
| 0.25        | 2.1640        | 2.1563 |
| 0.50        | 1.7339        | 1.6547 |
| 0.75        | 1.4301        | 1.2415 |
| 1.00        | 1.1770        | 0.8877 |
| 1.50        | 0.7971        | 0.4745 |
| 2.00        | 0.5439        | 0.2682 |
| 2.50        | 0.3921        | 0.1799 |
| 3.00        | 0.2657        | 0.1501 |
| 3.50        | 0.2151        | 0.1209 |
| 4.00        | 0.1896        |        |
| 4.50        | 0.1389        |        |
| 5.00        | 0.1389        |        |
| 5.50        | 0.1138        |        |
| 6.00        | 0.1138        |        |
| 6.50        | 0.0883        |        |

Ek Çizelge 22. Muz örneklerinde 80 °C sıcaklık için kuru ağırlık esasına göre hesaplanan ortalama % nem değişimi değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |        |
|-------------|---------------|--------|
|             | 9 mm          | 6 mm   |
| 0.00        | 3.1220        | 3.3668 |
| 0.25        | 2.0041        | 2.0456 |
| 0.50        | 1.4516        | 1.3721 |
| 0.75        | 1.0993        | 1.0221 |
| 1.00        | 0.8079        | 0.6985 |
| 1.50        | 0.4402        | 0.3485 |
| 2.00        | 0.2871        | 0.2406 |
| 2.50        | 0.1950        | 0.1865 |
| 3.00        | 0.1338        | 0.1328 |
| 3.50        | 0.1183        | 0.1328 |
| 4.00        | 0.0950        |        |
| 4.50        |               |        |
| 5.00        |               |        |
| 5.50        |               |        |
| 6.00        |               |        |
| 6.50        |               |        |

Ek Çizelge 23. Muz örneklerinde 60 °C sıcaklık için ortalama alınabilir nem oranı (A.N.O) değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |        |
|-------------|---------------|--------|
|             | 9 mm          | 6 mm   |
| 0.00        | 1.0000        | 1.0000 |
| 0.25        | 0.7262        | 0.6835 |
| 0.50        | 0.6036        | 0.5362 |
| 0.75        | 0.5187        | 0.4331 |
| 1.00        | 0.4478        | 0.3521 |
| 1.50        | 0.3345        | 0.2343 |
| 2.00        | 0.2590        | 0.1607 |
| 2.50        | 0.1930        | 0.1092 |
| 3.00        | 0.1552        | 0.0797 |
| 3.50        | 0.1222        | 0.0503 |
| 4.00        | 0.0939        | 0.0522 |
| 4.50        | 0.0751        | 0.0448 |
| 5.00        | 0.0656        | 0.0373 |
| 5.50        | 0.0562        |        |
| 6.00        | 0.0467        |        |
| 6.50        | 0.0373        |        |
| 7.00        | 0.0327        |        |

Ek Çizelge 24. Muz örneklerinde 70 °C sıcaklık için ortalama alınabilir nem oranı (A.N.O) değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |        |
|-------------|---------------|--------|
|             | 9 mm          | 6 mm   |
| 0.00        | 1.0000        | 1.0000 |
| 0.25        | 0.7095        | 0.5937 |
| 0.50        | 0.5685        | 0.4556 |
| 0.75        | 0.4689        | 0.3419 |
| 1.00        | 0.3859        | 0.2444 |
| 1.50        | 0.2613        | 0.1307 |
| 2.00        | 0.1783        | 0.0738 |
| 2.50        | 0.1285        | 0.0495 |
| 3.00        | 0.0871        | 0.0413 |
| 3.50        | 0.0705        | 0.0333 |
| 4.00        | 0.0621        |        |
| 4.50        | 0.0455        |        |
| 5.00        | 0.0455        |        |
| 5.50        | 0.0373        |        |
| 6.00        | 0.0373        |        |
| 6.50        | 0.0289        |        |

Ek Çizelge 25. Muz örneklerinde 80 °C sıcaklık için ortalama alınabilir nem oranı (A.N.O) değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |        |
|-------------|---------------|--------|
|             | 9 mm          | 6 mm   |
| 0.00        | 1.0000        | 1.0000 |
| 0.25        | 0.6419        | 0.6076 |
| 0.50        | 0.4649        | 0.4075 |
| 0.75        | 0.3521        | 0.3036 |
| 1.00        | 0.2588        | 0.2075 |
| 1.50        | 0.1410        | 0.1035 |
| 2.00        | 0.0920        | 0.0715 |
| 2.50        | 0.0625        | 0.0554 |
| 3.00        | 0.0428        | 0.0394 |
| 3.50        | 0.0379        | 0.0394 |
| 4.00        | 0.0304        |        |



Ek Çizelge 26. Muz örneklerinde 60 °C sıcaklık için ortalama % ağırlık azalması değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |        |
|-------------|---------------|--------|
|             | 9 mm          | 6 mm   |
| 0.00        | 100.00        | 100.00 |
| 0.25        | 78.59         | 75.15  |
| 0.50        | 69.00         | 63.58  |
| 0.75        | 62.36         | 55.49  |
| 1.00        | 56.82         | 49.13  |
| 1.50        | 47.96         | 39.88  |
| 2.00        | 42.05         | 34.10  |
| 2.50        | 36.89         | 30.06  |
| 3.00        | 33.93         | 27.74  |
| 3.50        | 31.35         | 25.43  |
| 4.00        | 29.14         | 25.58  |
| 4.50        | 27.66         | 25.00  |
| 5.00        | 26.92         | 24.41  |
| 5.50        | 26.19         |        |
| 6.00        | 25.45         |        |
| 6.50        | 24.71         |        |
| 7.00        | 24.35         |        |

Ek Çizelge 27. Muz örneklerinde 70 °C sıcaklık için ortalama % ağırlık azalması değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |        |
|-------------|---------------|--------|
|             | 9 mm          | 6 mm   |
| 0.00        | 100.00        | 100.00 |
| 0.25        | 78.12         | 68.15  |
| 0.50        | 67.50         | 57.32  |
| 0.75        | 60.00         | 48.40  |
| 1.00        | 53.75         | 40.76  |
| 1.50        | 44.37         | 31.84  |
| 2.00        | 38.12         | 27.38  |
| 2.50        | 34.37         | 25.48  |
| 3.00        | 31.25         | 24.83  |
| 3.50        | 30.00         | 24.20  |
| 4.00        | 29.37         |        |
| 4.50        | 28.12         |        |
| 5.00        | 28.12         |        |
| 5.50        | 27.50         |        |
| 6.00        | 27.50         |        |
| 6.50        | 26.87         |        |

Ek Çizelge 28. Muz örneklerinde 80 °C sıcaklık için ortalama % ağırlık azalması değerleri

| Süre (saat) | Muz Örnekleri |        |
|-------------|---------------|--------|
|             | 9 mm          | 6 mm   |
| 0.00        | 100.00        | 100.00 |
| 0.25        | 72.88         | 69.75  |
| 0.50        | 59.48         | 54.32  |
| 0.75        | 50.93         | 46.31  |
| 1.00        | 43.86         | 38.90  |
| 1.50        | 34.94         | 30.88  |
| 2.00        | 31.23         | 28.41  |
| 2.50        | 28.99         | 27.17  |
| 3.00        | 27.51         | 25.94  |
| 3.50        | 27.13         | 25.94  |
| 4.00        | 26.07         |        |
| 4.50        | 26.07         |        |