

T.C.  
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANTARIN (*Agaricus Bisporus*) KONTROLLÜ  
ŞARTLAR ALTINDA KURUTMA  
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ramazan Çağatay ARICI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI  
KONYA, 2006

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

**MANTARIN (*Agaricus Bisporus*) KONTROLLÜ  
ŞARTLAR ALTINDA KURUTMA  
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Ramazan Çağatay ARICI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI**

**Bu tez 28.12.2006 tarihinde aşağıdaki juri tarafından kabul edilmiştir.**

**İmza  
Prof.Dr.Mustafa  
KONAK  
(Üye)**

**İmza  
Doç.Dr.Cevat  
AYDIN  
(Üye)**

**İmza  
Yrd.Doç.Dr.Hakan Okyay  
MENGEŞ  
(Danışman)**

**ÖZ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MANTARIN (*Agaricus Bisporus*) KONTROLLÜ ŞARTLAR ALTINDA KURUTMA  
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Ramazan Çağatay ARICI**  
**Selçuk Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Tarım Makinaları Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd.Doç.Dr. Hakan Okyay MENGEŞ**

**2006, Sayfa: 64**

**Jüri: Prof. Dr. Mustafa KONAK**

**Doç. Dr. Cevat AYDIN**

**Yrd.Doç.Dr. Hakan Okyay MENGEŞ**

Bu çalışmada, mantarın (*Agaricus bisporus*) farklı kurutma havası sıcaklığı ve hava hızı şartlarında gösterecekleri kurutma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 50 °C, 60 °C ve 70 °C, hava hızı olarak 1.0 , 2.0 ve 3.0 m/s alınmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak istatistiki değerlendirmeler yapılmıştır.

Mantarın (*Agaricus bisporus*) kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Papis, Logaritmik, iki terimli, iki terimli ve eksponansiyel, Wang ve Sign, Thompson, difüzyon yaklaşımı, Geliştirilmiş Henderson ve Papis, Verma ve ark. ve Midilli ve ark. modelleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Tahminin standart hatası (*RMSE*) ve khi-kare ( $\chi^2$ ) değerleri kullanılarak en uygun model belirlenmiş ve bunlara ilaveten modelin modelleme yeterliliği de (*EF*) belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, Midilli ve ark. modelinin mantarın (*Agaricus bisporus*) kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir. En düşük istatistiksel veriler Midilli ve ark. modeli ile farklı çalışma koşullarına ait özel a, k, n ve b katsayıları ile elde edilmiştir. Modelleme yeterliliği de 0,9981869 ile 0,9995829 arasında değişmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mantar(*Agaricus bisporus*), hava sıcaklığı, hava hızı kuruma hızı, modelleme yeterliliği

## ABSTRACT

## MS THESIS

### THE DETERMINATION OF DRYING CHARACTERISTICS UNDER CONTROLLED CONDITIONS OF MUSHROOM (*Agaricus Bisporus*)

**Ramazan Çağatay ARICI**

**Selçuk Universty**

**Graduate School of Naturel and Applied Sciences**

**Department of Agricultural Machinery**

**Supervisor: Asist. Prof. Hakan Okyay MENGES**

**2006, Pages: 64**

**Jury : Prof. Dr. Mustafa KONAK**

**Assoc.Prof. Dr. Cevat AYDIN**

**Assist.Prof.Hakan Okyay MENGES**

In this study the drying characteristics of mushroom (*Agaricus bisporus*) for different air temperature and air velocity were determined. In the trials, air temperatures as 50<sup>0</sup>C, 60<sup>0</sup>C , 70<sup>0</sup>C and air velocities as 1.0 m/s, 2.0 m/s, 3.0 m/s were taken. Statistical evaluations were done from data which taken trials.

To determining to dry process and moisture content of mushroom (*Agaricus bisporus*) at any drying time were compared by Newton, Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Logaritmik, two-term, two-term exponential, Wang and Singh, Thompson, difusion approximation, Modified Henderson and Pabis, Verma et al., Midilli et al. models. Root mean square error (*RMSE*) and khi squire ( $\chi^2$ ) were used for the determination of the best suitable drying model. In addition to these statistical parameter, the modeling efficiency was also investigated.

According to the results, Midilli *et al.* model is superior to the others for explaining drying behaviour of apple. The lowest *RMSE* ad  $\chi^2$  values obtained at specific a, k,n and b coefficients according to the working conditions. Modeling efficiency (EF) changed between 0,9981869 and 0,9995829

**Key Words :** Mushroom (*Agaricus bisporus*), air temperature, air velocity, drying velocity, modeling efficiency

## **TEŞEKKÜR**

Bu araştırmanın yüksek lisans tezi olarak planlanıp yürütülmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde destek ve yardımlarını gördüğüm danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr.Hakan Okyay MENGEŞ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma süresince yardımlarını gördüğüm Tarım Makinaları Bölümü Öğretim Üyesi hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

**KONYA, 2006**

**Ramazan Çağatay ARICI**

## ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa No</u>
1.1. Kurutulmuş Ürünlerin İhracat Miktarları ve Gelirleri.....	1
4.1. Üç Farklı Hız Kademesinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri .....	25
4.2. Kurutma Eğrilerine Uygulanmış Matematiksel Modeller .....	29
4.3. Denemelerin Gerçekleştiği Kurutma Havası Koşulları .....	31
5.1. Denemelerde Kullanılan Havanın Isıtma Öncesi ve Sonrası Belirlenen Psikometrik Özellikleri .....	32
5.2. Farklı Deneme Koşullarında Kullanılan Modellere Ait İstatistiksel Veriler .....	40
5.3. Farklı Çalışma Koşullarında Midilli ve ark. Modelinde Yer Alan Katsayılar ve İstatistiksel Veriler.....	41

## EK ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Ek Çizelge No</u>	<u>Sayfa No</u>
1. Mantar Örneklerinde 50 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri.....	51
2. Mantar Örneklerinde 60 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri .....	52
3. Mantar Örneklerinde 70 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri .....	53
4. Mantar Örneklerinde 50 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri .....	54
5. Mantar Örneklerinde 60 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri.....	55
6. Mantar Örneklerinde 70 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri .....	56
7. Mantar Örneklerinde 50 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O.) Değerleri .....	57
8. Mantar Örneklerinde 60 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O. Değerleri) .....	58
9. Mantar Örneklerinde 70 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O. Değerleri).....	59
10. Mantar Örneklerinde 50 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri	60
11. Mantar Örneklerinde 60 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri	61
12. Mantar Örneklerinde 70 <sup>0</sup> C Sıcaklık İçin Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri	62
13. Mantar Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama % Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler İçin Varyans Analiz Sonuçları.....	62
14. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları.....	63
15. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Hızlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları.....	63
16. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları.....	63
17. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Hız İntreaksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları .....	63

18. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları .....63
19. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları .....64
20. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları .....64

## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa No</u>
2.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statığı açısından anlamı.....	4
2.2. Tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri.....	5
3.1.Hava sıcaklığının ve bağıl nemin çeltiğinin kurutma süresine etkisi .....	9
3.2.Çeşitli faktörlerin sarımsak kurutmaya etkileri .....	11
3.3. Çeşitli faktörlerin soğanın kuruma karakteristiklerine etkileri.....	14
4.1. Deneme düzeninin şematik görünüşü.....	22
4.2. Deneme düzeninin genel görünüşü.....	22
4.3. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçüm noktaları.....	24
4.4. Bağıl Nem ve kontrol cihazı.....	26
4.5. Elektronik hava hızı ölçme cihazı .....	27
4.6. Nyb ve Nkb cinsinden nem oranlarını birbirine çevirme grafiği.....	28
5.1. 1.0 m/s hava hızında kurutulan mantar örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağılı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi .....	34
5.2. 2.0 m/s hava hızında kurutulan mantar örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağılı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi .....	34
5.3. 3.0 m/s hava hızında kurutulan mantar örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağılı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi .....	35
5.4. 50 ° C Kurutma havası hızında kurutulan mantar örneklerinin kurutma havası hızına bağılı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi .....	37
5.5. 60 ° C Kurutma havası hızında kurutulan mantar örneklerinin kurutma havası hızına bağılı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi .....	37
5.6. 70 ° C Kurutma havası hızında kurutulan mantar örneklerinin kurutma havası hızına bağılı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi .....	38
5.7. Farklı kurutma sıcaklıklarında (a, b ve c) elde edilen deneysel ve tahmini Alınabilir Nem Oranı değerlerinin zamana göre değişimi.....	42

## İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	iv
EK ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kuruma Mekanizması.....	3
1.1.1 Kurumanın statığı ve kinetiğı .....	3
1.1.1.1. Kurumanın statığı .....	3
1.1.1.2. Kurumanın kinetiğı.....	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	8
3. MATERYAL VE METOT.....	18
3.1. Materyal.....	18
3.1.1. Araştırmada kullanılan ürün .....	18
3.1.2. Araştırmada kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları .....	18
3.2. Metod.....	21
3.2.1. Mantar örneklerinin toplanması ve deneye hazırlanması.....	21
3.2.2. Deneme düzeni.....	21
3.2.3. Hava sıcaklığının, hızının ve bağıl nemin ölçülmesi .....	26
3.2.4. Ürün neminin belirlenmesi.....	27
3.2.5. Deneme materyali ürünlerin kuruma değışkenlerinin belirlenmesi.....	28
3.2.5.1. Kuruma hızının belirlenmesi.....	28
3.2.5.2. Kurutma eğırilerinin matematiksel modellemesi .....	29
3.2.6. Ürüne ait kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde dikkate alınan parametreler .....	31

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. Mantarların Kurutulmasında Ürün Neminin Kurutma Havası Sıcaklığı ve Kurutma Havası Hızına Bağlı Olarak Gösterdiği Değişim .....	32
4.1.1. Kurutma havası sıcaklığının deneme materyali mantar örneklerinin kuruması üzerine etkileri .....	33
4.1.2. Kurutma Havası Hızının Deneme Materyali Mantar Örneklerinin Kuruması Üzerine Etkisi.....	36
4.2. Farklı Koşullarda Kurutulan Mantar Örneklerinin Kuruma Davranışının Modellenmesi.....	39
5.SONUÇ.....	43
6. KAYNAKLAR.....	44

## 1.GİRİŞ

Meyve ve sebzelerin içerdikleri yüksek orandaki su ve bazı organik maddeler, mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalara neden olmaktadır. Ürünlerin hasat edildikten sonra, korunması ve depolanmasında büyük sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle tüketim fazlası ürünlerin bozularak atılması engellenememektedir.

Ülkemizde meyve ve sebze üretiminin artmasıyla ürün özelliklerinin korunması ve kolaylıkla depolanabilmesi için çeşitli işlemler (konserve, dondurma, kurutma vb.) yapılmaktadır. Bu şekilde hasat sonrası oluşan kalite kayıpları azaltılmakta ve insanların tüketimine yeterli miktarda ve yüksek kalitede ürün sunulabilmektedir.

Türkiye'nin 2004 yılında toplam sebze üretimi 23 215 577 ton olmuştur. Bunun içersinde mantar üretimi 15 000 ton'dur (Anonymous 2006).

Mantarlar, yumuşak bir dokuya sahip oldukları için hasatlarından kısa bir süre sonra bozulmaya başlarlar. Bu nedenle mantarların muhafaza edilmeleri büyük önem arz etmektedir. Mantarlar genel olarak, kurtularak, konserve olarak yada dondurularak muhafaza edilirler. Bu uygulamalar içerisinde en basit ve ekonomik olanı ise kurutmadır (Pal ve Chakraverty 1997).

Kuru ürün şeklinde ihraç edilen sebze ve meyvelerin ülke ekonomisine olan katkıları şüphesizdir. Bunlardan bazıları lahanaya, bamya, kabak, soğan, sarımsak, havuç, pırasa, patates, şeftali, üzüm, kayısı, incir ve defne yaprağıdır. Çeşitli kurutulmuş ürünlerin ihracat miktarları ve elde edilen gelirleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kurutulmuş Ürünlerin İhracat Miktarları ve Gelirleri (Ertekin 2002).

Ürün		1998	1999	2000
Sebzeler	Ton	3825	4196	4598
	1000\$	14344	14284	14835
Üzüm	Ton	193142	188943	201744
	1000\$	211937	202970	196995
Kayısı	Ton	49870	55402	70252
	1000\$	119190	126169	110379
Erik	Ton	554	936	1189
	1000\$	602	898	1109
İncir	Ton	37024	40238	43066
	1000\$	71168	70278	68038
Mantar	Ton	68	21	35
	1000\$	1972	2490	999

Ülkemizin iklim koşullarının uygun olması nedeniyle, her çeşit meyve ve sebzenin kurutulması işlemi büyük çapta doğal koşullar altında yapılmaktadır. Bu yolla kurutulmuş ürünlerimizden üzüm, incir ve kayısının ülke ekonomisine katkısı büyük orandadır. Bunun yanında Dünya sebze pazarında ticari önemi olan patlıcan, kabak, biber vb. sebzelerin ülkemiz koşullarında kurutma potansiyeli oldukça fazladır. Ancak ülkemizde, dünya kurutulmuş ürün piyasasındaki payını arttırabilmesi için daha hijyenik koşullarda daha kaliteli kuru ürün üretilmesine önem verilmesi gerekmektedir. Dünyada ticareti yapılan kurutulmuş sebzelerin %97-98'i kontrollü şartlarda sıcak hava ile kurutulmaktadır. Sıcak hava ile kurutulan ürünler üstün kalitededir ve tüketilmeye hazır durumdadır (Işık ve Alibaş 2000).

Kontrollü şartlar altında yapılan yapay kurutma ile, doğal koşullarda yapılan kurutmanın tüm olumsuz yönleri ortadan kaldırılmıştır. Yapay kurutmanın avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Daha temiz ve kalitede ürün alınabilmektedir,
- Yapay kurutma ile vitamin kayıpları en az düzeye inmektedir,
- Kurutma süresi büyük oranda kısalmaktadır. Doğal koşullarda 1-2 hafta süren kurutma, kurutucularda, 20-24 saate inebilmektedir (Winkler 1962).

Bu çalışmadaki temel amaç, farklı kurutma havası sıcaklıklarında ve hızlarında kurutulan mantar örneklerinin kuruma kinetiğini incelemek ve mantarların tüm kuruma periyodu boyunca göstereceği kuruma davranışını en iyi şekilde açıklayan matematiksel modeli belirleyerek, bu amaçla geliştirilmesi düşünülecek yapay kurutucuların tasarımı için temel verileri ortaya koymaktır. Ayrıca bu konuda yapılacak çalışmalar için bir katkı sağlayacağı düşüncesi hedeflenmiştir.

## **1.1. Kuruma Mekanizması**

### **1.1.1. Kurumunun statüğü ve kinetiğı**

Tarımsal ürünlerin korunmasında uygulanan yöntemlerin amacı, mikrobiyolojik ve enzimsel değışimleri önlemek veya sınırlamaktır. Bütün canlılar gibi mikroorganizmalar da suya kesinlikle ihtiyaç duymaktadırlar. Bu halde ortam, su açısından mikroorganizmalar için elverişsiz bir duruma getirilirse, diğere tüm faktörler yeterli bir düzeyde olsa bile mikroorganizmalar çalışmadığından tarımsal ürünlerin mikrobiyolojik yollarla bozulması önlenmektedir. Ortamın organizmalar açısından elverişsiz duruma getirilmesi için tarımsal ürünlerin ihtiva ettiği suyun kurutma yoluyla uzaklaştırılması en yaygın uygulama olmaktadır (Güner 1991).

Tarımsal ürünlerin içerdiği suyun, belirli bir sınıra kadar buharlaştırılarak alınması işlemine kurutma denilmektedir (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).

Kurutmayı etkileyen fiziksel faktörler havanın sıcaklığı, hızı, bağıl nemi ve atmosferik basınçtır. Bu parametrelerin kurutma ortamının şartlarını karşılayacak şekilde seçilmesi ve kurutmada kullanılması, ürün kalitesinde ve kurutucu performansında önemli rol oynamaktadır. Kurutma işlemlerinde uygun hava sıcaklığı, hızı ve diğere özelliklerin sağlanması ile kurutma işlemlerinde verim arttırılabilmektedir (Heybeli 2006).

Kuruma sırasında materyal neminde meydana gelen değışimler ve etkili unsurlar, statik ve kinetik açılarından incelenebilmektedir.

#### **1.1.1.1. Kurumunun statüğü**

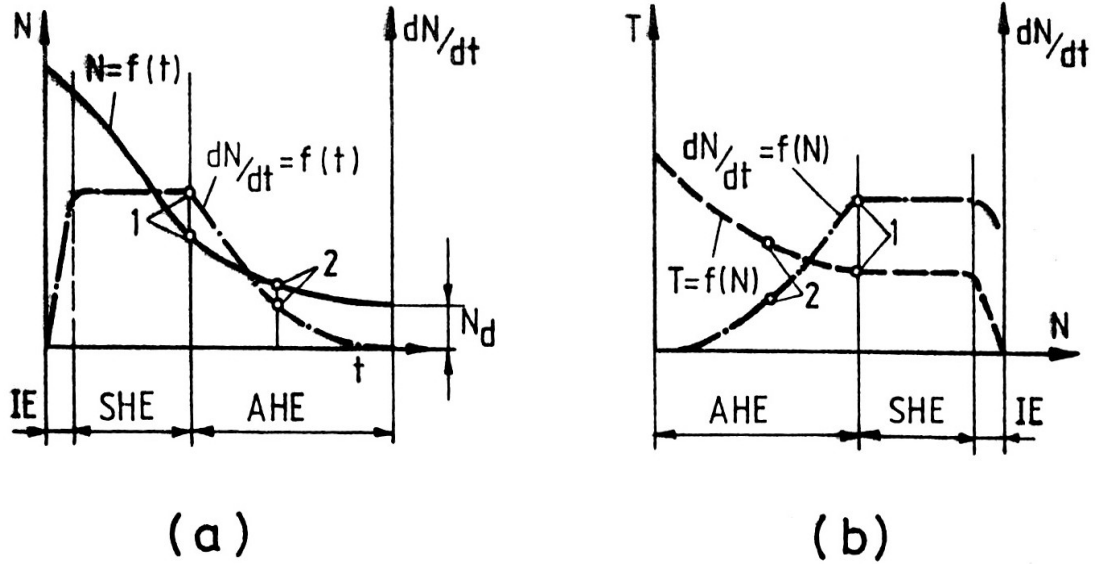
Hava ile materyal arasındaki nem dengesinin, zamanın dikkate alınmaksızın incelenmesidir. Nem dengesi iki olayla gerçekleşebilmektedir;

- Desorpsiyon (materyalin çevre havasına nem vermesi)
- Sorpsiyon (materyalin çevreden nem alması)



### 1.1.1.2. 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;

- 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 artarak bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşmaktadır. Isınma evresi (*IE*) süresi, toplam kurutma süresine göre çok kısa olduğundan kuruma eğrilerinde gösterilmemektedir (Güner 1991 ve Yağcıoğlu 1999).

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 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 birinci kritik nokta (*BKN*) adı verilmektedir.

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

Tarım ürünlerinin, özellikle tahılların, hasat sırasında sahip oldukları nem genellikle birinci kritik nokta (*BKN*) değerinden daha azdır. Bu nedenle, sebze ve meyvelerin dışında kalan çoğu tarım ürününün kurutulmasında sabit hızla kuruma evresine (*SHE*) rastlanmamaktadır.

Birinci kritik nokta (*BKN*) değerinden sonra, kuruma eğrisinin eğimi azalan yönde hızla değişim göstermektedir. Bu noktadan itibaren, kuruma hızının zaman içinde giderek

azaldığı, ardışık birim zaman aralıklarında buharlaşan nem miktarının bir önceki zaman dilimine göre azalma gösterdiği azalan hızla kuruma evresi (*AHE*) meydana gelmektedir.

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 Hızla Kuruma Evresi” denilmektedir. Bu evre sonunda, suyun materyalin iç kısımlarından yüzeye iletim hızı, yüzeyden meydana gelen buharlaşma hızından az olduğundan, materyalin yüzeyinin tamamen ince su tabakası ile kaplanması durumu ortadan kalkmaktadır. Bu andan itibaren kuruma hızı daha da yavaşlamakta ve bu noktadan sonra “2. Azalan Kuruma Evresi” başlamaktadır.

Azalan hızla kuruma evresi (*AHE*) sonunda, materyal ile çevrenin sıcaklığı eşit duruma gelerek,  $N=f(t)$  eğrisi  $N_d$  değerine,  $dN/dt=f(N)$  eğrisi sıfır değerine ulaşmakta ve birbirlerine asimptot olmaktadır.

Bu evre sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla;

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

Bu modellerin bazı yararlı ve sakıncalı yönlerinin olduğu kuşkusuzdur. Teorik modeller her türlü madde ve koşul için uygulanabilmektedirler. Ancak çözümü için gereken eşitliklerin birçok parametre ve karmaşık yapı içermesi, bu tür modellerin kullanımını 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

materyalin deneme koşulları için geçerlidir ve başka koşullarda kullanılamazlar (Yağcıoğlu 1999).

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Meyve ve sebzelerin değerlendirme şekilleri arasında kurutmanın yeri oldukça eski olmasına rağmen önemini hala sürdürmektedir. Son yıllarda meyve ve sebzelerin kurutulması konusunda yapılan araştırmaları üç ana başlık altında incelemek mümkündür. Bunlardan birincisi kurutma sırasında kurutmanın yapıldığı ortam koşulları ( hava sıcaklığı, hava hızı ve havanın bağıl nemi) ile kurutulan materyale ait özelliklerin ele alınarak (boyut vb.) kuruma hızına etkilerinin incelendiği araştırmalardır ( Saravacos ve Charn 1962 a ve b, Komanowsky ve ark.1970, Labuza ve Simon 1970, Ponting ve McBean 1970, Bowden ve ark.1983, Mazza 1983, Mulet ve ark.1987, Puiggali ve ark.1987, Mulet ve ark. 1989, Adar 1989, Weitz ve ark. 1989 ve Doğan 1991). İkincisi, kurutma sırasında nem taşınım mekanizmasının irdelenmesine dönük çalışmalardır. (Vaccarezza ve ark. 1974; Vaccarezza ve Chirife 1975). Üçüncüde ise kurutma sırasında kurutulan materyale ait kalite kayıplarının incelendiği araştırmalardır. (Schadle ve ark. 1983, Mishkin ve ark. 1984, Mudahar ve ark. 1989).

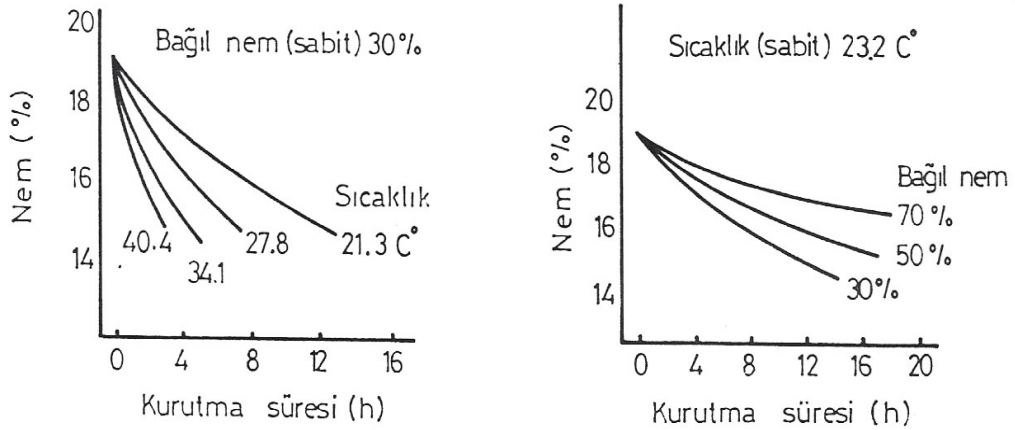
Ültanır (1972), levha tipi deney modeli güneş enerjili kurutucuyla çeşitli meyve ve sebzeler yanında biber de kurutmuştur. Bu kurutucuda, hava dolaşımı doğal konveksiyonla ve küçük bir elektrikli vantilatörle sağlanmıştır. Kurutucu genel olarak, bir güneş toplayıcısı ile kurutma odasından meydana gelmiştir.

Araştırmacı, biberlerin kurutma öncesi doğranması ve haşlanması kurutma süresini kısalttığını bildirmiştir.

Coleman ve ark. (1978), yaptıkları araştırmada yeşil biberi, klasik sıcak havalı ve doğrudan güneş ışınımı olan kurutucularla kurularak C vitamini düzeyini araştırmışlardır. Sıcak havalı kurutucularda kurutulan biberlerde C vitamini düzeyinin daha fazla olduğunu belirlemişlerdir.

Yamashita (1982), çeltik kurutulmasında yaygın olarak kullanılan kurutucuları ve çeltiğin kurutulmasında etkili olan faktörleri incelemiştir, bu faktörler arasında yer alan kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemin çeltiğin kuruma süresine etkisi, Şekil 3.1’de görülmektedir.

Araştırmacı, grafiklerden de görüleceği üzere, sabit bir bağıl nemde kurutma havası sıcaklığının artması ve sabit sıcaklıkta, kurutma bağıl neminin azalmasının, kuruma hızını arttırdığını bildirmiştir.



Şekil 3.1. Hava sıcaklığının ve bağıl nemin çeltiğin kurutma süresine etkisi

Doğantan ve Tuncer (1989), yaptıkları çalışmada kontrollü şartlar altında, laboratuvar tipi bir kurutucuda, kırmızı biberin kuruma karakteristiklerini belirlemeye çalışmışlardır.

Araştırma sonuçlarına göre, Kahramanmaraş kırmızı biberi için kurutma havası sıcaklığının en fazla 60°C olması gerektiği, 65°C hava sıcaklığında ise biberde yanma olacağını belirlemişlerdir. Ayrıca optimum hava akımı hızınının 0,5 m/s olması gerektiği ve kurutmadan önce biberlerin yarılmasıyla, kurutma zamanının azalacağı vurgulanmıştır.

Sittiphang ve ark. (1989), kabuklu ve kabuksuz soya fasulyeleri ile fındıkların kurutma karakteristikleri üzerine farklı kurutma havası sıcaklığı ve hava hızlarının etkilerini incelemişlerdir.

Deneme sonuçları, kurutma hava sıcaklığı artışının, hava hızı artışından daha fazla kurutma hızını artırdığını göstermiştir. 0,18 m/s hava hızında, fındıkların kuruma zamanı, 40°C kurutma hava sıcaklığında 17 saat iken, bu süre 60°C kurutma havası sıcaklığında 9 saate kadar inmiştir.

Ben-Mobrouk ve ark. (1990), hava ısıtmalı, fanlı laboratuvar tipi kurutucuda, tarımsal ürünlerin ince tabakalı formda kurutulması üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, tarımsal ürünlerin, hava bağıl nemi, hava sıcaklığı ve hava hızı gibi hava akış parametrelerinin değişik değerleri için, kurutma karakteristik eğrilerini belirlemişlerdir.

Tuncer (1990), Sebzelerin yüksek frekanslı mikrodalga manyetik alanlarının etkisine konulunca, ürünün gösterdiği davranış ve uğradığı değişikliklerin belirlenmesi ve en uygun kurutma yönteminin deneysel olarak bulunmasını amaçlamıştır.

Araştırmalar sonucunda, mikrodalga alanına verilen kırmızı ve yeşil biber, pırasa, patlıcan, soğan ve patatesin uygun mikrodalga güç kademesi seçilerek ve mikrodalga ile sebzelerin reaksiyona girmesini önleyen düzenlemelerle hiçbir kalite kaybı olmaksızın, konveksiyonlu kurutmaya kıyasla, 1/5 ile 1/12 arasında değişen daha kısa sürede kurutmanın mümkün olabileceği saptanmıştır.

Kachru ve Singh (1994), ön muameleye tutulmuş yeşil fasulyelerin farklı kurutma havası sıcaklığı ve hava hızlarında kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Kurutma havası sıcaklıkları olarak 20<sup>0</sup>C ... 55<sup>0</sup>C, hava hızları ise 0,8 m/s saptamışlardır.

Sonuçlar, yeşil fasulyelerin kurutma öncesi ön muameleye tutulmasının, kurutma zamanını önemli oranda kısalttığını ve ön muameleye tutulmuş fasulyelerin nem içeriğini % 55'den % 10'a indirmek için ortalama 6 saat süre gerektiğini göstermiştir.

Ergüneş ve Özgöz (1995), sera içinde ve dış ortamda fasulye, biber ve soğanın kuruma karakteristiklerini belirlemeye çalışmışlardır. Denemelerde fasulye ve biberler bütün ve kıyılmış halde, soğan ise sadece kıyılarak kurutulmuşlardır.

Sonuç olarak, sera içerisinde ve kıyılarak kurutulan ürünlerin kuruma sürelerinin normal olarak kurutulan ürünlere göre daha kısa olduğu belirlenmiştir. Her ürün için ayrı ayrı kuruma sabiti değerleri hesaplanmış ve exponential modelin daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Nehru ve ark. (1995), pleurotus Florida mantarlarını günlük 2,5 kg kurutma kapasiteli bir güneşli mantar kurutucuda test etmişlerdir.

Denemeler öncesi mantarlara sırasıyla aşağıda belirtilen ön işlemler uygulanmıştır.

-% 0,5 potasyum metabisülfad (15 dakika)

-% 0,5 sodyum benzota (15 dakika)

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

-Hiçbir ön işlem yok.

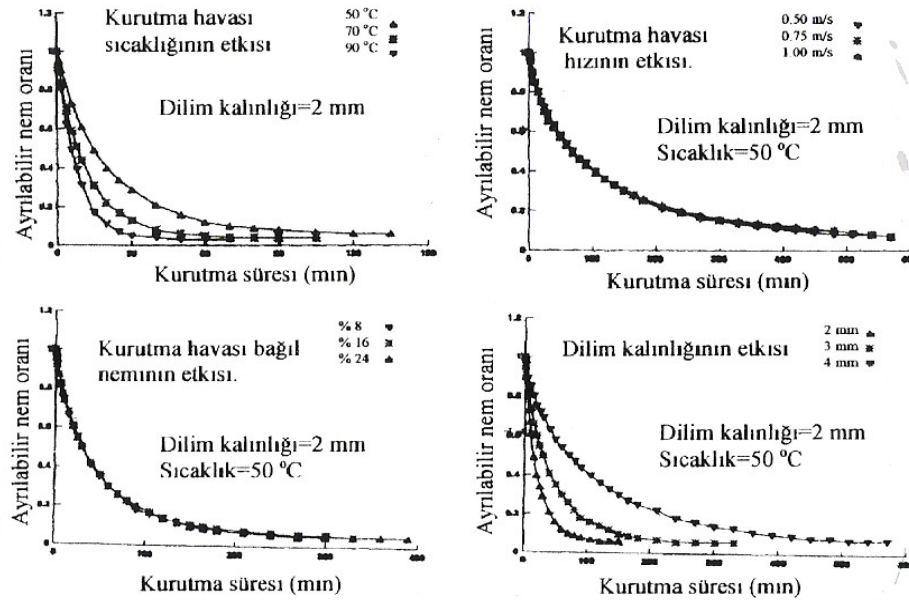
Araştırma sonuçlarına göre, mantarların nem içeriğini % 92,6'dan % 10'a indirmek için gerekli kurutma zamanı ortalama 5,5 – 6,5 saat olarak tespit edilmiştir. En iyi damak tadı

kalitesi ise, 15 dakika % 0,5'lik potasyum metabisülfad çözeltisine bandırılmış mantarlarda elde edilmiştir.

Elustondo ve ark. (1996), yaptıkları bu çalışmada çapları 55-70 mm arasında değişen beyaz soğanları 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1.0 m/s hava hızı ve % 10, % 15 ve % 20 bağıl nem koşullarında kurutarak bu parametrelerin kurumaya etkilerini incelemiştir. Kurutma havası sıcaklığının artması ile kurutma için gerekli süre azaltılmış ve kurumanın başlangıcında yüksek sıcaklıklarda kuruma hızının fazla, kuruma işleminin ilerlemesi ile kuruma hızının azaldığı, ayrıca kurutma havası hızının ve havanın mutlak neminin artması ile kurutma işlemi daha kısa sürede tamamlandığını görmüşlerdir.

Kemer (1996), kurutma havası hızı ve elmanın dilimleme şeklinin, kuruma hızı ve nem değişimine etkisini incelemiştir. Denemelerde Starking elma çeşidi kullanılmıştır. Elmalar aksel ve meridyenel olarak 3-5 mm kalınlığında dilimlenmiştir. Deneme laboratuvar kurutucusunda gerçekleştirilmiştir. Kurutucudaki fan 800 devir/dak ve 1200 devir/dak hızlarına ayarlanarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucunda elmanın aksel veya meridyenel şekilde dilimlenmesi kuruma hızını ve nem içeriğini önemli derecede etkilemediği belirlenmiştir. Sabit hızla kuruma evresinde 1200 devir/dak fan hızıyla yapılan kurutmada nem içeriği hızla düşerken, azalan hızla kuruma evresinde 800 devir/dak fan hızıyla yapılan denemenin nem içeriğindeki değişimin diğerinden daha hızlı olduğu saptanmıştır.

Madamba ve ark.(1996), yapmış oldukları çalışmada kurutma havası sıcaklığı 50-90 °C, bağıl nemi % 8-24, hava hızı 0.5-1.0 m/s ve dilim kalınlığı 2-4 mm arasında değiştirilerek sarımsağın kurutma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Sonuçlar özellikle düşük sınırlardaki bağıl nem değerlerinde, sıcaklık ve dilim kalınlığı kurutma için önemli faktörler olduğunu ve hava hızının kuruma hızına önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Şekil 3.2 'de çeşitli faktörlerin sarımsağın kuruma hızına olan etkileri verilmiştir.



Şekil 3.2 .Çeşitli faktörlerin sarımsak kurutmaya etkileri

Simal ve ark. (1996), taze fasulyenin kurutulmasına uygulanan ve ön işlemin ve kurutma havası sıcaklığının etkilerini araştırmışlardır. Örnekleri, ön işleme tabi tutulup tutulmadığı ve kurutma havası sıcaklığı gibi kriterlere bağlı olarak ayırmışlardır. Buna göre;

- Ön işlem uygulaması yok,
- 100 °C sıcaklıkta 15 saniye süreyle 40 g/l'lik NaOH daldırma,
- 1 dakika 85 °C sıcaklıktaki saf suda haşlama,
- 1 dakika süreyle buharda haşlama uygulamışlardır.

Sonuç olarak, su ve buharda haşlama yönteminin birbirine çok yakın olduğu ve en kısa kurutma süresinin bu ön işlemlerde gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Pal ve Chakraverty (1997), 45, 50 ve 60 °C kurutma havası sıcaklığı ve 0,9 ve 1,6 m/s hava hızı koşullarını baz alarak ön işlemin mantarın kuruma karakteristiklerine ve bunların kaliteye etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmada yıkanan ve sınıflandırılan örnekleri 3 dakika süreyle buharda haşlamışlar ve ardından % 5'lik sodyum metabisülfid ve % 0,5'lik sitrik asit solüsyonuna 5 dakika süreyle daldırarak ön işlem uygulamışlardır.

Çalışma sonucunda, ürünün nem alma oranının ön işlem uygulanmayan örneklerde diğerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yeniden su alma işleminden sonraki mantarların yapı ve görünüşlerinin, ön işlem görmeyen mantarlarda daha iyi, buna karşın ön işlem uygulanan örneklerin renk ve tatlarının daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Funebo ve Ohlsson (1998), çalışmalarında mantar ve elmanın mikrodalga-ısıtılmış hava kombinasyonu ile kuruma parametrelerini belirlemişlerdir. Kuruma parametreleri olarak hacim ağırlığı, yeniden su alma kapasitesi, kuruma hızı ve renk değerlendirilmiştir. Denemelerde, *Agaricus Bisporus* mantar çeşidi ve *Golden Delicious* elma çeşidi kullanılmıştır. Kurutma işlemi laboratuvar kurutucusunda gerçekleştirilmiştir. Kurutma işleminden önce elma ve mantar 5 mm'lik kalınlıklarda dilimlenmiştir. Yeniden su alma denemeleri elma için 50 °C, mantar için 95 °C sıcaklığındaki damıtılmış suda 1, 2, 5, 10, 20 ve 40 dakikalık sürelerde bekletilerek belirlenmiştir. Yeniden su alma işleminde mantarın 5 dakika, elma dilimlerinin 20 dakikada denge durumuna geldiği saptanmıştır. Kuruma işleminin uzun sürmesi durumunda, üründe büzülmenin artmasıyla hacim ağırlığının yükseldiğini saptamışlardır. Ortalama büzülme mantarda % 87, elmada % 72 olarak belirlemişlerdir. Isıtılmış havayla kurutulan ürün ile mikrodalga ile kurutulmuş ürün karşılaştırıldığında ise, ısıtılmış havayla kurutulan ürünlerde esmerleşmenin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Elma ve mantar dilimlerinin kurutulmasında ısıtılmış hava-mikrodalga kombinasyonu ile kuruma hızının azaldığı belirlenmiştir.

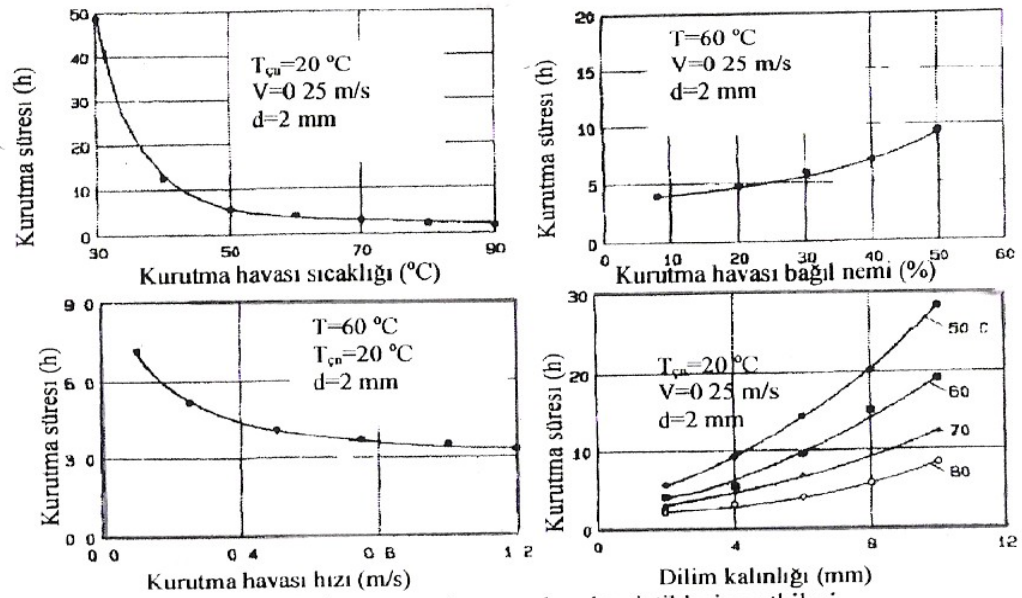
Lin ve ark.(1998), Taze fasulyenin kurutulmasına uygulanan ön işlemin ve kurutma havası sıcaklığın etkilerinin belirlendiği çalışmalarında, hiçbir ön işleme tabi tutmadan, 100 °C sıcaklıkta 15 saniye süreyle 40 g/l'lik NaOH çözeltisine daldırma, bir dakika 85 °C sıcaklıktaki saf suda haşlama ve bir dakika süreyle buharda haşlama ön işlemlerini uygulamışlardır. Sonuçlara göre su veya buharda haşlama yöntemi birbirine çok yakın ve en kısa kurutma süresi bu ön işlemlerde gerçekleştiğini görmüşler ve kurutma havası sıcaklığının kurutma süresine etkili önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuşlardır.

Pappas ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan mantarlarda ürün büyüklüğünün kurutma süresine ve farklı kurutma yöntemlerinin ürünün yeniden su alma kapasitesine etkilerini incelemişlerdir. Denemelerde 25, 36 ve 54 mm çapındaki mantarları kullanmışlardır.

Araştırma sonuçlarına göre, kurutmada 425 W güç seviyesinde kurutmada örnek büyüklüğünün küçülmesi ile kurutma süresinde azalma meydana geldiği bildirilmiştir. Yeniden su alma kapasitesi ise mikrodalga kurutma yönteminde geleneksel kurutmaya göre daha yüksek bulunmuş ve sürenin artması ürünün su alma oranını belirli seviyeye kadar arttırmış ve daha sonra değişmemiştir.

Sarsavadia ve ark (1999), yapmış oldukları çalışmada, soğanları elle soyup elektrikli dilimleme makinesi ile dilimlemişler ve kurutma havası sıcaklığı, bağıl nemi

ve hızının, ayrıca dilim kalınlığının soğanın kuruma karakteristiklerine ve kalite kriterlerine etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, kurutma havası sıcaklığının  $65^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkması kalitede azalmaya neden olmaktadır. Kurutma havası hızının hem kuruma davranışına hem de kaliteye önemli etkisi yoktur. Hava hızının  $0.5\text{ m/s}$ 'nin üzerinde olması, kurutma süresi ve renkte etkili olmadığından enerji tasarrufu açısından bu değer üzerinde çıkılmamıştır. Bununla beraber  $0.1\text{ m/s}$ 'nin altındaki hava hızları kurutma süresinin önemli düzeyde etkiler. Yeniden su alma kapasitesi  $75^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta  $25^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktakinden daha hızlıdır, ancak alınan su miktarında bir değişme yoktur. Kuru soğanlar ilk nem içeriklerinin yaklaşık %90'ına ulaşırlar. Kalite açısından  $60^{\circ}\text{C}$  en uygun sıcaklıktır. 2 ve 4 mm'lik dilim kalınlığı kalite kriterleri açısından en uygun değerlerdir. Şekil 3.3'de çeşitli faktörlerin soğanın kuruma karakteristiklerine olan etkileri görülmektedir.



Şekil 3.3. Çeşitli faktörlerin soğanın kuruma karakteristiklerine etkileri

Yaldız ve ark. (2000), bu çalışmada, sultani çekirdeksiz üzümün ince tabaka halinde güneş enerjili kurutucular ile kurutulması modellenmiştir. Güneş enerjili kurutucu, güneş enerjili hava ısıtıcı ve kurutma odasından meydana gelmektedir. Kurutma havası, güneş enerjili hava ısıtıcı yardımıyla ısıtılmış ve kurutma odasında bulunan rafın üzerindeki ürünün içersinden geçirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemine kurutma havası

hızının etkisini belirlemek amacıyla hava hızı, fanın giriş ağzında bulunan klape yardımıyla 0.5, 1.0, 1.5 m/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Kurutma havası sıcaklığının etkisi ise, denemelerin farklı zamanlarda tekrarlanması ile belirlenmiştir. Dış ortam ve kurutucuya giriş hava sıcaklığı ve bağıl nemi ile güneş ışınımı değerleri ölçülmüştür.

Ertekin ve Yıldız (2004), bu çalışmada bir laboratuvar kurutucusunda patlıcanın kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, İki Terimli, İki Terimli Eksponansiyel, Wang ve Singh, Thompson, Difüzyon Yaklaşımı, Geliştirilmiş Henderson ve Pabis ve Verma ve ark. modelleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Kuruma olayını en iyi açıklayan modelde bulunan katsayılara, kurutma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkileri çoklu regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Tahmini standart hatası (*RMSE*) ve khi-kare ( $\chi^2$ ) değerleri kullanılarak en uygun model saptanmış ve bunlara ilaveten modelin modelleme yeterliliği de (*EF*) belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, Page modelinin patlıcanın kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir. En düşük istatistiksel veriler Page modeli ile çalışma koşullarına ait özel k ve n katsayıları ile elde edilmiştir. Modelleme yeterliliği de 0.9964 ile 0.9999 arasında değişmiştir.

Ertekin ve ark.(2001), bu çalışmada incirin kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma davranışlarının modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Kurutucu ile kurutma havasının sıcaklığı, hızı ve oransal nemi istenilen seviyede sabit tutulmuş, ürün ağırlığındaki değişim kuruma işlemi süresinde bilgisayar yardımıyla kaydedilmiştir. Kurutma havası sıcaklığı 40, 50, 60, 70 ve 80 °C, oransal nemi % 15, 30, 45 ve 0.1, 0.5, ve hava hızı 1.0 m/s olarak düzenlenmiştir. Bu parametrelerin kuruma karakteristikleri ve kuruma süresine etkileri belirlenmiştir. Bunun yanında azalan kuruma hızı evresinde meydana gelen ürün nemindeki değişimi açıklamak için Newton ve Page modelleri karşılaştırılmış, kurutma havası parametrelerinin bu modellerde bulunan katsayılara etkileri incelenmiştir.

Yıldız (2001), yapmış olduğu çalışmasında havuç ve pırasanın kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma süresinin belirli bir anda ürünün nem içeriğinin saptanması için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğinin araştırılmasını amaçlamışlardır. Bu ürünler 30, 40, 50, 60 ve 70 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve 0.5, 1.0 ve 1.5 m/s kurutma havası hızlarında kurutularak kurutma süreleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, İki Terimli, İki Terimli Eksponansiyel, Wang ve Singh, Thompson, Difüzyon Yaklaşım, Verma ve ark.,

Geliştirilmiş Henderson ve Pabis matematiksel modellerine uygulayarak en uygun modeli belirlemişlerdir.

Akpınar ve Biçer (2003), kabağın kuruma davranışını siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel olarak, 60, 70 ve 80 °C 'lik üç değişik hava giriş sıcaklıkları kullanılırken, seçilen kurutma havası hızları 1.0 ve 1.5 m/s'dir. Araştırmacılar deneysel sonuçlardan elde edilen kuruma hızı-nem içeriği değişimi eğrilerini lineer olmayan regresyon analiz kullanılarak matematiksel olarak modellemişlerdir.

Krokida ve ark. (2003), çalışmalarında mantar pırasa, soğan, havuç, bezelye ve domatesin kurutulmasında , kurutma havasının sıcaklığı, hızı, bağıl nem ile örnek büyüklüğünün etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak hava sıcaklığının kurutma sırasında örnek üzerinde etkisinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer parametrelerin etkisinin de sıcaklığın etkisi kadar önemli olduğu belirlenmiştir.

Doymaz (2004), havucun kuruma kinetiğine kurutma havası sıcaklığı,hızı ve örnek kalınlığının etkisi incelenmiştir. Denemelerde ısıtıcı,fan,hava filtresi ve elektronik kontrol düzeninden oluşan dolap tipi kurutucu kullanılmıştır. Havuçlar 1x1x1 cm ve 2x2x2 cm'lik küpler halinde doğranmıştır. Denemelere başlamadan önce hazırlanan bu küpler 5 dakika 100 °C' de haşlanmış, daha sonra 5 dakika 15 °C de soğutulmuştur. Kurutma denemeleri için 200 g ve ilk nem içeriği % 87.5 (y.b.) olan örnekler tek tabaka halinde kurutucuya yerleştirilmiştir. Denemeler boyunca örneklerin ağırlıkları 0.5-1 saat'lik zaman aralıklarında tartılmıştır. Çalışma sıcaklığı 50, 60, 65 ve 70 °C olarak belirlenmiştir. Deneme % 6 (y.b.) nem içeriğine kadar devam ettirilmiştir.Kurutma havası sıcaklığı ve hızı artırıldığında nem difüzyonun da arttığı saptanmıştır.Örnek kalınlığının artması kuruma süresini arttırmıştır. Nem difüzyonu için gerekli enerji 28.36 kJ/mol olarak bulunmuştur. Kuruma süresinin bir fonksiyonu olarak nem içeriğini belirlemek için Page modelinin kullanılabileceği belirlenmiştir..

Doymaz (2005a), çalışmasında incirin güneşe sererek kurutulmasını incelemiştir. Çalışmada 5.42 cm çapında ve yaklaşık 50.2 g ağırlığındaki örnekler kullanılmıştır. Kurutmada yaklaşık 300 g örnek tek tabaka halinde tepsiye yerleştirilerek kurutma gerçekleştirilmiştir.Denemeler 35 ve 47 °C sıcaklıkta yapılmıştır.İncirin kuruma davranışını açıklamak için yedi farklı model kullanılmış ve bunlardan Verma ve ark. modelinin deneme verilerine uygun olduğu saptanmıştır. Model sonuçlarına göre;  $R^2$ : 0.9945,  $\chi^2$ : 0.00043 ve RMSE: 0.062857 olarak belirlenmiştir. Efektif nem difüzyon katsayısı  $2.47 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s olarak hesaplanmıştır.

Doymaz (2005b), kurutma havasının sıcaklığının bamyanın kuruma karakteristiğine etkisini incelemiştir. Denemelerde yaklaşık 100 g ortalama nem içeriği %89.53(y.b.) olan bamyalar, tek tabaka halinde 50, 60 ve 70 °C sıcaklık ve 1.0 m/s hava hızında kurutulmuştur. Kurutma havasının sıcaklığı yükseldikçe kuruma hızı artmış, kuruma süresi azalmıştır

Mwithiga ve Olwal (2005), çalışmalarında konvektif kurutucuda 1.0 m/s hava hızında kurutulan lahananın kuruma kinetiğine, örnek kalınlığı ve hava sıcaklığının etkisini incelemiştir. Denemede kullanılan kurutucu kurutma odası , 1.5 kW'lık elektrikli ısıtıcı ve fanndan oluşmaktadır. Kurutma için gerekli olan lahana yaprakları yaklaşık 3 mm'lik ince dilimler halinde doğranmıştır. Denemelerde 30, 40, 50, ve 60 °C hava sıcaklıkları ve 10, 20, 30, 40 ve 50 mm kalınlıkları kullanılmıştır. 10 mm tabaka kalınlığında kurutulan lahana yapraklarının kurutma sıcaklığı arttıkça kuruma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Tabaka kalınlığının artması ise kuruma süresini arttırmıştır.

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

Toğrul ve ark. (2005b), dört farklı kalınlıkta kestikleri muz dilimlerini infrared kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık değerlerinde kurularak muz dilimlerinin kuruma kinetiğini incelemiştir. Deneysel verilerden hareketle zamanla nem içeriğindeki değişim, nem içeriği ile kuruma hızının değişimi belirlenmiştir. Araştırmacılar sonuçta, artan kurutma havası sıcaklığı ile hem kuruma hızının hem de difüzyon katsayısının arttığını, muz dilim kalınlığının artmasıyla da kuruma hızının azaldığını tespit etmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Araştırmada kullanılan ürün

Bu çalışmada, dünyada ve ülkemizde en fazla tanınan ve yetiştiriciliği yapılan kültür mantarı olan *Agaricus bisporus* materyal olarak seçilmiştir. Kurutma için seçilen bu mantarlar Konya'da üretim yapan bir seradan temin edilmiştir. Getirilen bu ürünler yapısal dokusunun bozulmaması için gerekli görülen zamanlarda soğutucuda muhafaza edilmişlerdir.

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

Denemelerde kullanılan araçlar ve ölçüm cihazlarının teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

##### Elektrik Motoru

Markası : Gamak

Tipi : AGM BO 40

Gücü : 0.55 KW

Devir :1365 min<sup>-1</sup>

Voltaj : 220-380V, (Akım) 2.8/1.6

Frekans :50 Hz

##### Aspiratör (Fan)

Markası : Çubuk

Tipi: :ÇTÖR-26

**Kurutma Fırını**

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

**Alternatif akım motoru devir kontrol cihazı (Elektronik Varyatör)**

Markası : Dinventer  
Tipi: : DIN 1220220B  
Giriş Gerilimi : 200V-240V ± %10  
Giriş Faz Sayısı : 1  
Motor Gücü : 2.2 KW  
Giriş Akımı : 26 A  
Çıkış Akımı : 10 A

**Tartımda Kullanılan Ölçüm Cihazı**

Markası : Shimadzu  
Ölçüm Hassasiyeti : 0.01g  
Ölçüm Aralığı : 0-1200gr  
Voltaj :16 V - 80 mA  
Frekansı : 50 Hz  
Yapım Hatası : +% 0.1

**Güç Kaynağı**

Markası : Elimko  
Tipi : E-7000-GK  
Çıkış Gerilimi : 2×24V  
Çalışma Gerilimi : 220V, 50Hz

**Hava Hızı Ölçer**

Markası : Testo-term  
Ölçüm Aralığı : 0.4-40m/sn  
Hata Sınırı : % 0.1

**Bağıl Nem Kontrol Cihazı**

Markası : Elimko  
Tipi : E-2000  
Skala : 0-100 %RH  
Gösterge : 3 1/2 Digit LED  
Çalışma Gerilimi :190-240V,50Hz  
Okuma Hassasiyeti :0.1

**Mikroişlemcili Sıcaklık Kontrol Cihazı**

Markası : Elimko  
Tipi : E-200  
Skala : 0-300 °C  
Çalışma Gerilimi : 220 V ± 10,50 Hz  
Okuma Hassasiyeti : 0.1

### **Sıcaklık ve Bağıl Nem Sensörü**

Markası	: Elimko
Tipi	: E-RH-T-101
Skala	: 1) 0-300 °C 2) 0-100 %RH
Çıkış	: 20 mA
Çalışma Gerilimi	: 24 V

### **3.2.Metot**

#### **3.2.1. Mantar Örneklerinin Toplanması ve Deneye Hazırlanması**

Denemelerde kullanılan mantar örneklerinin seçiminde, deneme sonuçlarının güvenilirliği bakımından bazı kriterler göz önüne alınmıştır (Ergüneş 1990).

-Denemeye alınan mantar örneklerinin boyutları kumpasla ölçülerek, ortalama 30 mm çapındaki örnekler seçilmiştir,

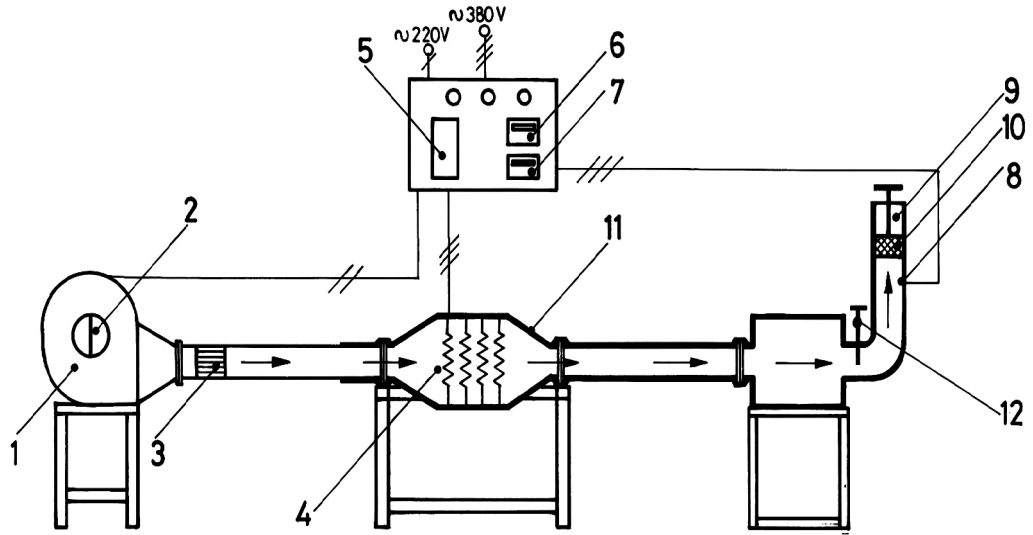
-Toplanan örnekler denemeye alınmadan önce tekrar gözden geçirilerek, ezilmiş ve zedelenmiş örnekler ayıklanmıştır.

#### **3.2.2.Deneme Düzeni**

Kurutulacak ürünün özellikleriyle, kurutucu arasındaki uygunluk iyi bir kurutma için önem arz etmektedir. Kurutulacak ürünün şekli, boyutları, kurutulacak materyalin kurutma ortamındaki konumu, fiziksel ve kimyasal yapısı gibi etmenler kuruma üzerinde etkilidir. Günümüze kadar yapılan çalışmalar hava şartlarının, kurutmaya ürün özelliklerinden daha fazla tesir ettiğini göstermiştir.

Bir materyalin kuruma süresi üzerine etki eden en önemli dış faktör kurutmada kullanılan hava şartlarıdır (Ergüneş 1990). Bu dış faktörlerden hava sıcaklığı, hava nemi ve hava hızının farklı değerleri için materyalin göstereceği değişimi izlemek bize o materyalin kuruma karakteristikleri hakkında bilgi verir (Ergüneş 1990). Bu çalışmada yukarıda belirtilen hava şartlarını kontrollü olarak düzenleyebilen ve farklı ürünlerin de kuruma mekanizmalarını

inceleyebileceğimiz bir düzenek oluşturulmuştur. Deneme düzeninin şematik görünüşü aşağıdaki şekil 4.1, genel görünüşü ise şekil 4.2 'de görülmektedir.



- |                       |                         |                                     |   |                    |                             |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------|---|--------------------|-----------------------------|
| 1. Fan                | 3. Difüzör              | 5. Varyatör                         | 7. Sıcaklık Ölçü ve Kontrol Cihazı            | 9. Kurutma Bölgesi | 11. İzolasyon               |
| 2. Damper Mekanizması | 4. Isıtıcı (4 × 1000 W) | 6. Bağıl Nem Ölçü ve Kontrol Cihazı | 8. Sıcaklık, Hız ve Bağıl Nem Ölçüm Noktaları | 10. Sepet          | 12. Hava hızı ayarlama kolu |

Şekil 4.1. Deneme düzeninin şematik görünüşü



Şekil 4.2. Deneme düzeninin genel görünüşü

Deneme düzeni 3 kısımdan oluşmuştur;

-Kurutma havasını sağlayan fan ve hava debisi ayar düzeni,

-Kurutma hava sıcaklığını düzenleyen elektriksiz ısıtıcı ve sıcaklık kontrol ünitesinin bulunduğu kısım,

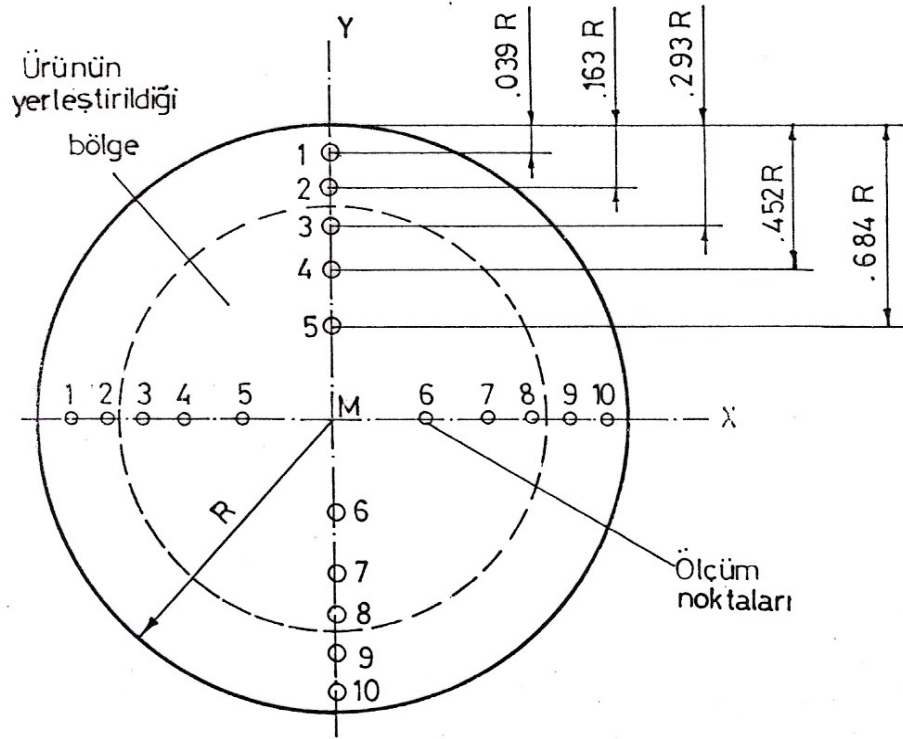
-Kurutma bölümü,

Denemelerde, kurutma için gerekli olan havanın sağlandığı fanın debisi fan devir sayısının kademesiz olarak ayarlanması ve elektrik motoru devir kontrol ünitesi ile istenilen değerlerde tutulmuştur. Fanın havaya kazandırdığı türbülansın azaltılması ve düzenli bir hava akışı sağlamak amacıyla bir difüzör oluşturulmuştur. Hava kanalı içerisinde bulunan ısıtıcılar sayesinde istenilen sıcaklıklar sağlanmaktadır.

Deneme düzenini son kısmı ise, ürünlerin kurutulduğu kurutma bölümünden oluşmaktadır. Kurutma bölümünün altı kısmında sıcak havanın giriş yaptığı üç kanallı bir hava bölmesi bulunmaktadır. Bu üç kanal, üç değişik ürünün kurutulmasına olanak sağlamaktadır. Hava bölümlerinden çıkan hava, 105 mm çapında ve 1060 mm uzunluğundaki borularla kurutulacak ürüne iletilmektedir.

Kanalların ve elektriksiz ısıtıcıların bulunduğu kısım dış etkenlerin oluşturabileceği ısı kayıplarına karşın cam yünü ile sarılarak izole edilmiş konumdadır.

Kanalların kurutma hacim kesitlerinde, hava kanallarında hız ölçümü ile ilgili standartlara (Anonymous 1962 ve Handerson ve Perry 1955) uygun olarak, kanal kesit alanlarının belirli noktalarında hava hızları elektronik hava hızı ölçme cihazıyla ölçülmüş ve kanal kesitindeki hava hızı değişimi incelenmiştir. Hız ölçümleri denemelerde kullanılan üç değişik hız kademesi için ayrı ayrı yapılmıştır. Kurutucu kanal kesitindeki hız ölçüm noktaları Şekil 4.3' de, farklı hız kademelerinde dairesel kanalda ölçülen hız değerleri ise Çizelge 4.1. de görülmektedir.



Şekil 4.3. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçüm noktaları (Anonymous 1962)

Çizelge 4.1. Üç Farklı Hız Kademesinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri

Ölçüm noktaları	Hız Kademesi			Ölçüm noktaları	Hız Kademesi		
	1 m/s				1 m/s		
X eksen				Y eksen			
1	0.80			1	0.80		
2	0.90			2	0.90		
3	0.90	}	Ort:0.985	3	0.90	}	Ort:1.986
4	1.00			4	1.00		
M	1.00			M	1.10		
5	1.10			5	1.00		
6	1.00			6	1.00		
7	1.00			7	1.00		
8	0.90			8	0.90		
9	0.80			9	0.80		
10	0.70			10	0.70		
Ölçüm noktaları	Hız Kademesi			Ölçüm noktaları	Hız Kademesi		
	2 m/s				2 m/s		
X eksen				Y eksen			
1	1.80			1	1.80		
2	1.90			2	1.90		
3	1.90	}	Ort:1.957	3	1.90	}	Ort:1.986
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	1.70			10	1.70		
Ölçüm noktaları	Hız Kademesi			Ölçüm noktaları	Hız Kademesi		
	3 m/s				3 m/s		
X eksen				Y eksen			
1	2.80			1	2.80		
2	2.90			2	2.90		
3	2.90	}	Ort:2.957	3	2.90	}	Ort:2.985
4	2.90			4	3.00		
M	3.00			M	3.10		
5	3.00			5	3.00		
6	3.00			6	3.00		
7	3.00			7	3.00		
8	2.90			8	2.90		
9	2.80			9	2.90		
10	2.80			10	2.80		

Çizelge 4.1.'de, kanal kesiti içerisinde hava akış hızlarında önemli bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Özellikle ürünlerin yerleştirildiği bölgede oldukça düzenli bir hava akışı gözlenmektedir.

### 3.2.3. Hava Sıcaklığının, Hızının ve Bağıl Nemin Ölçülmesi

Denemelerin yapıldığı laboratuarda ortam havasının sıcaklığı ve bağıl nemi, testo-term ve elimko marka elektronik sıcaklık ve bağıl nem ölçem cihazlarıyla ölçülmüştür.

Kurutma havasının sıcaklığının ve bağıl neminin ölçülmesinde kurutma bölgesinin altına monte edilen ve Elimko firmasınca imal edilen nem ve sıcaklık ölçüm ve kontrol cihazları kullanılmıştır. Kurutma havasının hızı ise, testo-term marka elektronik hava hızı ölçme cihazı ile denemeler süresince sürekli kontrol edilmiştir.

Denemelerde kullanılan bağıl nem ölçü ve kontrol cihazı Şekil 4.4'de ve hava hızlarının ölçülmesinde kullanılan elektronik hava hızı ölçme cihazı Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Bağıl nem ölçü ve kontrol cihazı.



Şekil 4.5. Elektronik hava hızı ölçme cihazı

### 3.2.4. Ürün Neminin Belirlenmesi

Kurutulacak ürünün ilk nemini belirlemek amacıyla kurutma fırını yöntemi kullanılmıştır (Ergüneş 1990). Mantar örnekleri vakumlu etüvde 100 mm Hg'yi aşmayan basınç altında ve 70 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmişlerdir. Bunun sonucu meydana gelen ağırlık değişiminden yararlanmak suretiyle ürünlerin sahip olduğu ilk nem değerleri hesaplanmıştır.

Denemeler sırasındaki nem değişimini belirlemek amacıyla kurutulmakta olan mantarlar, belirli zaman aralıklarında alınıp, kurutma ortamında bulunan dijital bir terazi ile tartılmışlardır. Böylece üründe meydana gelen değişiklikler izlenerek meydana gelebilecek olumsuzluklar asgariye indirilmiştir.

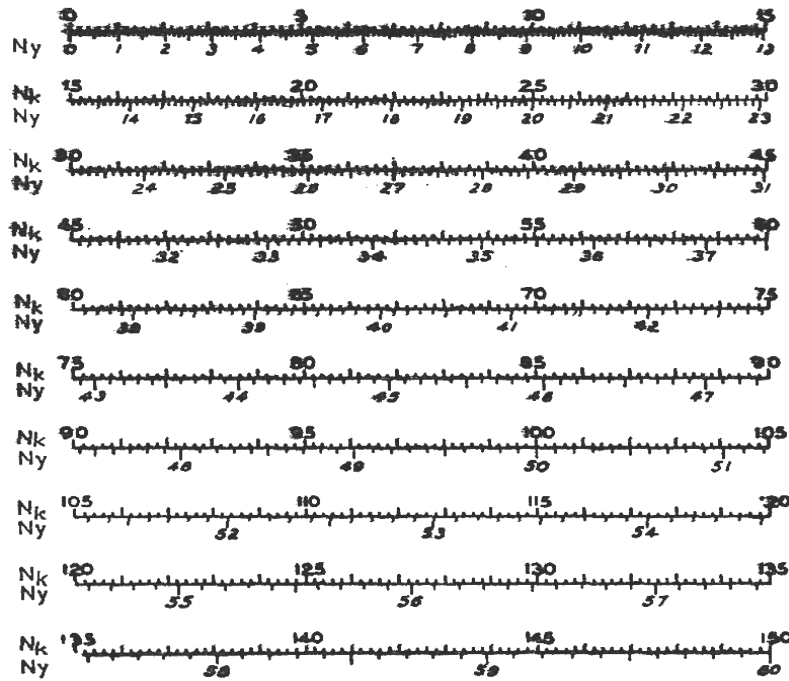
Kurutma işlemine ürünlerin her hangi bir ağırlık kaybının görülmediği denge nemi ( $N_d$ ) değerine ulaşıldıktan sonra son verilmiştir. Daha sonra örneklerin farklı zamanlardaki nem miktarları, yaş baz ( $\%N_{yb}$ ) ve kuru baz ( $\%N_{kb}$ ) ağırlık esasına göre aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır. (Ayık 1985, Erdoğan 1984 ve Yağcıoğlu 1999).

$$\% N_y = \frac{W_s}{W_s + W_k} \cdot 100 \qquad \% N_k = \frac{W_s}{W_k} \cdot 100$$

$W_s$ , ürünün içerdiği su ağırlığı

$W_k$ , kuru madde ağırlığı 'dır.

Çoğu zaman  $N_{yb}$  ve  $N_{kb}$  değerlerini birbirine dönüştürmek gerekir. Bu amaçla aşağıdaki şekilde görülen çevirme grafiğinden faydalanılır.



Şekil.4.6.  $N_{yb}$  ve  $N_{kb}$  cinsinden nem oranlarını birbirine çevirme grafiği (Yağcıoğlu 1999)

### 3.2.5. Deneme Materyali Ürünlerin Kuruma Değişkenlerinin Belirlenmesi

#### 3.2.5.1. Kuruma hızının belirlenmesi

Kurumakta olan bir materyalin, birim zamanda kaybettiği nem miktarı, kuruma hızı olarak tanımlanmaktadır. Kuruma hızının belirlenmesinde, "Alınabilir Nem Oranı (ANO)" kavramı kullanılmaktadır. Boyutsuz bir terim olan Alınabilir Nem Oranı ;

$$ANO = \frac{(N_t - N_d)}{(N_o - N_d)}, \text{ olarak bilinen oransal bir büyüklüktür. Bu değer, kurutma}$$

sırasında her hangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının ( $N_t - N_d$ ), üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına ( $N_o - N_d$ ) oranını ifade etmektedir.

Eşitlikte ;

( $N_0$ ) başlangıç nemini, ( $N_t$ ) t anındaki nemi, ( $N_d$ ) ise denge nemini ifade etmektedir.

### 3.2.5.2. Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

Yapılan denemeler sonucunda ürünün zamana bağlı olarak nem içeriğinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Ürünün belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin ( $M$ ) ürünün ilk nem içeriğine ( $M_0$ ) oranı olarak sadeleştirilebilen ayrılabilir nem oranı ( $ANO$ ) 14 farklı model ile açıklamaya çalışılacaktır (Çizelge 4.2).

$$ANO = M/M_0$$

Çizelge 4.2. Kurutma Eğrilerine Uygulanmış Matematiksel Modeller

Model	Model Adı	Literatürler
$MR = \exp(-kt)$	Newton	Ayensu, 1997; Tiris, Ozbalta, Tiris & Dincer, 1994; Liu & Bakker-Arkema, 1997
$MR = \exp(-kt^n)$	Page	Karathanos & Belessiotis, 1999; Sun & Woods, 1994; Park, Vohnikova & Brod, 2002
$MR = \exp[-(kt)^n]$	Geliştirilmiş Page	Overhults, White, Hamilton & Ross, 1973
$MR = \exp[-(kt)^n]$	Geliştirilmiş Page	Panchariya, Popovic & Sharma, 2002
$MR = a \exp(-kt)$	Henderson ve Papis	Rahman, Perera & Theboud, 1998
$MR = a \exp(-kt) + c$	Logaritmik	Lahsasni, Kouhila, Mahrouz & Jaouhari, 2004
$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-k_1t)$	İki terimli	Dandamrongrak, Young & Mason, 2002;
$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	İki terimli exponansiyel	Sharaf-Eldeen, Blaisdell & Hamdy, 1980;
$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Sing	Wang and Singh, 1978
$t = a \ln(MR) + b(\ln(MR))^2$	Thompson	Thompson, Peart & Foster, 1968;

$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$	Difüzyon yaklaşım	Ertekin & Yaldiz, 2004
$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$	Verma ve ark.	Verma, Bucklin, Endan & Wratten, 1985;
$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Geliştirilmiş Henderson ve Papis	Karathanos, 1999
$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark.	Midilli, Kucuk & Yapar, 2002

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

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (ANO_{i,tahmini} - ANO_{i,deneysel})^2}{N}$$

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

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (ANO_{i,deneysel} - ANO_{i,deneysel_{br}})^2 - \sum_{i=1}^n (ANO_{i,tahmini} - ANO_{i,deneysel})^2}{\sum_{i=1}^n (ANO_{i,deneysel} - ANO_{i,deneysel_{br}})^2}$$

Burada; ANO tahmini model ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranı, ANO deneme sonuçlarından elde edilen ayrılabilir nem oranı, N deneysel veri sayısı, n kullanılan modeldeki katsayı sayısı ve  $ANO_{ort.}$  deneme sonuçlarından elde edilen ayrılabilir nem oranı değerinin ortalaması olarak ifade edilmektedir.

Tahmini standart hatası ( $RMSE$ ), tahmini ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir. Bu değer in sıfıra yakın olması arzu edilmektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren khi-kare ( $\chi^2$ ) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir. Bunların yanında deneysel verileri açıklayan modelin modelleme yeterliliği değerinin ( $EF$ ) bire yakın olması modelin kullanılabilirliğinin göstergesidir (Pangavhane ve ark.1999).

### 3.2.6.Ürüne Ait Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesinde Dikkate Alınan Parametreler

Denemelerde kullanılan ürünlerin kurutulması sırasında, kurutma havasının farklı sıcaklık ve hız karakteristiklerinden faydalanılmıştır. Kurutma öncesi ürünlere ön işlem uygulanmamıştır. Elde edilen sonuçlar Mstat-C istatistik programında faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuştur (Düzgüneş ve ark. 1983).

Denemeler aşağıda belirtilen koşullarda gerçekleştirilmiştir;

Çizelge.4.3.Denemelerin gerçekleştirildiği kurutma havası koşulları

Hava Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	50 ( $T_1$ )-60 ( $T_2$ )-70 ( $T_3$ )
Hava Hızı (m/s)	1.0 ( $V_1$ )- 2.0 ( $V_2$ )-3.0 ( $V_3$ )

## 4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1.Mantarların Kurutulmasında Ürün Neminin Kurutma Havası

#### Sıcaklığı Ve Kurutma Havası Hızına Bağlı Olarak Gösterdiği Değişim

Kurutma işlemlerinde temel amaç, kurutulacak olan materyalden nemin uzaklaştırılması olduğuna göre, ele alınan ürünün kuruma periyodu boyunca göstereceği kuruma özellikleri bir anlamda kurutma sırasında göstereceği nem değişimine bağlı olarak düşünülebilir.

Kuruma hızı üzerine bazı iç ve dış faktörler etkili olmaktadır. Dış faktörler olarak, kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası hızı ve ortamın bağıl nemi gibi faktörler, iç faktörler olarakta ürünün yapısal özelliklerine bağlı olarak bazı fiziksel ve kimyasal özellikler sayılabilir.

Denemelerde mantar örnekleri için kullanılan havanın ısıtma öncesi ve sonrası belirlenen psikometrik özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Denemelerde Kullanılan Havanın Isıtma Öncesi Ve Sonrası Belirlenen Psikometrik Özellikleri

Ürün	Hava Sıcaklığı (°C)	Ortam Havası			Kurutma Havası	
		t <sub>k</sub>	t <sub>y</sub>	δ	t <sub>k</sub>	δ
Mantar	50	27.3	19.7	32.0	50	7.5
	60	28.1	20.0	31.3	60	5.8
	70	28.3	20.3	31.2	70	3.6

t<sub>k</sub>: Kuru termometre sıcaklığı (°C) t<sub>y</sub>: Yaş termometre sıcaklığı (°C) δ: Bağıl nem (%)

Denemeye alınan mantar örneklerinin farklı kurutma havası sıcaklığı (50, 60, 70 °C) ve farklı kurutma havası hızı (1.0, 2.0 ve 3.0 m/s) koşullarında, zamana bağlı olarak değişim gösteren % nem oranları değerleri yaş ağırlık esasına göre hazırlanan ek çizelgelerde verilmiştir.(Ek Çizelge 1...3). Bu çizelgelerde yer alan % nem değişimi değerleri 3 tekerrürün ortalaması olarak hesaplanmıştır. Nem içeriğinin yaş ağırlık esasına göre (yaş baz) belirtilmesi uygulamada çok kullanılmakla beraber, kurumakta olan materyaldeki değişmeyen kuru maddeye göre nemin % değerlerini veren kuru ağırlık esasına göre (kuru baz)

hesaplanmış nem değerleri de kurutma hesaplamalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla ,denemeye alınan mantar örneklerindeki nem miktarının kuru maddeye göre oransal değişimini veren çizelgeler oluşturulmuştur(Ek Çizelge 4...6).

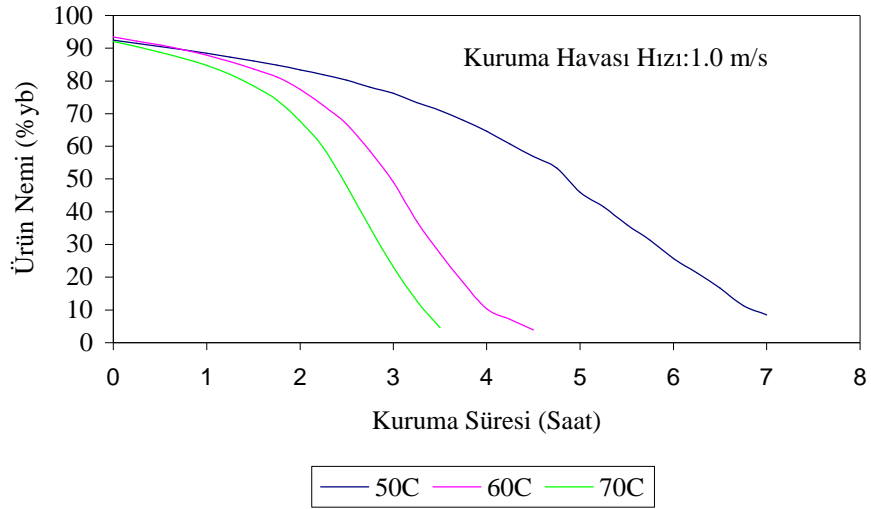
Farklı dış koşulların etkisiyle,kurutulmakta olan ürünlerde meydana gelen nem değişiminin incelenbilmesi için,daha öncede belirtildiği gibi Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerlerinden yararlanılmaktadır.Özellikle farklı hava koşullarında kurutulmuş materyallerin kuruma sabiti değerlerinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel eşitliklerde yer alması sebebiyle, kabul edilen kurutma koşullarında mantar örneklerine ait Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve Ek Çizelge 7....10 arasında verilmiştir.

Ayrıca, denemeler sırasında mantar için değişik zaman dilimlerinde ölçülen ve mantarların ilk ağırlıklarının yüzdesi olarak hesaplanan ‘Yüzde Ağırlık Azalması’ değerleri Ek Çizelge 11...13 arasında görülmektedir. Yüzde Ağırlık Azalması değerlerinden yararlanmak suretiyle deneme materyali mantar örneklerinin kurutulması sırasındaki 3 farklı kurutma havası sıcaklığı ,3 farklı kurutma hava hızı ve 6 farklı zaman dilimi için ayrı ayrı varyans analizi yapılmış ve bu kurutma değişkenlerinin kurutma hızına olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır(Ek Çizelge 13...20).

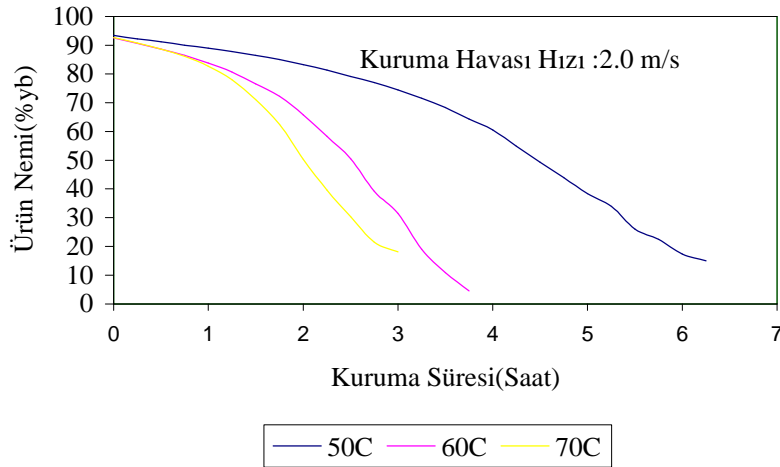
#### **4.1.1. Kurutma havası sıcaklığının deneme materyali mantar örneklerinin kuruması üzerine etkileri**

Araştırma sonuçlarına göre, kurutmada kullanılan havanın sıcaklığının artışı, kuruma hızı üzerinde gözle görülebilir bir oranda artışa neden olmakta ve mantarların kuruma süreleri kurutma havası sıcaklığı artışına paralel olarak azalma göstermektedir. Sıcaklığın artışıyla ortaya çıkan bu etkiyi, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin düşmesine bağlayabiliriz. (Çizelge 5.1 ‘de verilen kurutma havası koşulları ile ilgili değerler incelenecek olursa hava sıcaklığının artışına karşılık havanın bağıl nem değerlerinde azalma görülmektedir.) Örneğin 50 °C kurutma havası sıcaklığında havanın sahip olduğu bağıl nem ( $\delta$ ) değeri %7.5 İken, bu değer kurutma havası sıcaklığının 70 °C ye çıkarılması sonucunda % 3,6 değerine düşmektedir. Dolayısıyla sıcaklık artışıyla bağıl nemi düşen ve daha yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan kurutma havası kurutmada çok daha etkin bir rol üstlenmektedir.(Ergüneş 1990 ve Mengeş 1999).

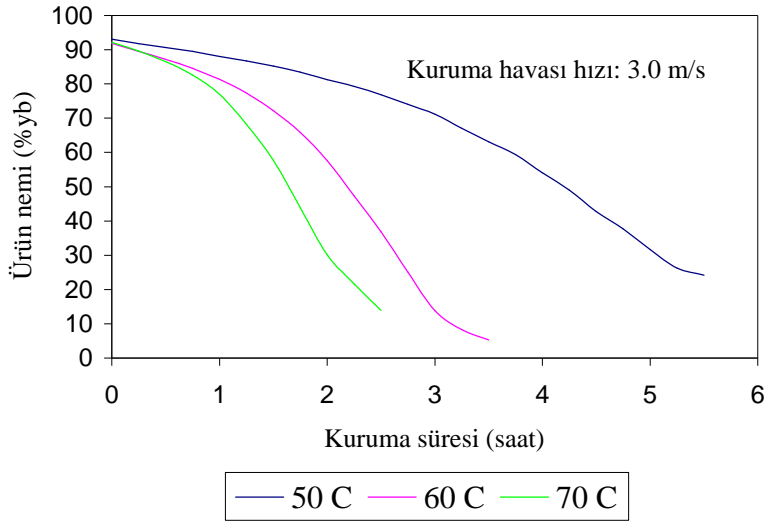
Farklı hava sıcaklıklarının mantar örneklerinin yüzde nem değişimi değerlerine etkileri farklı kurutma havası hızı koşulları için şekil 5.1...5.3 arasında görülmektedir.



Şekil 5.1. 1.0 m/s kurutma havası hızında kurutulan mantar örneklerinin farklı hava sıcaklıklarında kuruma süresine bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi



Şekil 5.2. 2.0 m/s kurutma havası hızında kurutulan mantar örneklerinin farklı hava sıcaklıklarında kuruma süresine bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi



Şekil 5.3. 3.0 m/s kurutma havası hızında kurutulan mantar örneklerinin farklı hava sıcaklıklarında kuruma süresine bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi

Şekil 5.1 , 5.2 ve 5.3 incelenecek olursa, her 3 kurutma havası hızı kademesi içinde mantar örneklerinde kurutma havası sıcaklığının artışı ve buna bağlı olarak havanın bağıl neminin düşmesi ürünün % nem değişimindeki azalmada belirgin bir hızlanmaya neden olmaktadır. Diğer bir ifade ile kurutma havası sıcaklığı artışına bağlı olarak kuruma süresi kısalmaktadır.

Örneğin mantar örneklerinde 1.0 m/s hava hızında yaklaşık olarak %11 nem düzeyine inilebilmesi için gerekli süre 50 °C sıcaklıkta 6,75 saat iken, bu değer aynı hız koşulunda 60 °C ve 70 °C sıcaklıklar için yaklaşık olarak 4 saat ve 3,25 saat olarak gerçekleşmiştir.

Bu durum mantar örneklerinin hepsine ayrı ayrı yapılan istatistiki analiz sonuçlarında da açık bir şekilde görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre (Ek Çizelge 13) kurutma havası sıcaklığının ,örneklerin kuruma hızı üzerine etkisi 0.01 seviyesinde önemli bulunmuş ve örneklerdeki % ağırlık kayıpları değerlerinde kurutma havası sıcaklığının artışına bağlı olarak bir artış gözlenmiştir (Ek Çizelge 14). Ayrıca mantar örneklerinde sıcaklık x zaman intreksiyonuna yapılan duncan testi sonuçlarına göre, mantar örnekleri kurutmanın ilk 2. saati sonunda 50 °C sıcaklıkta ortalama olarak %50.192 oranında ağırlık kaybına uğrarken, bu oran 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerleri için sırasıyla ortalama %66.227 ve % 73,157 değerine ulaşmaktadır (Ek Çizelge 19). Bu durum kurutma havası sıcaklığının kuruma hızı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

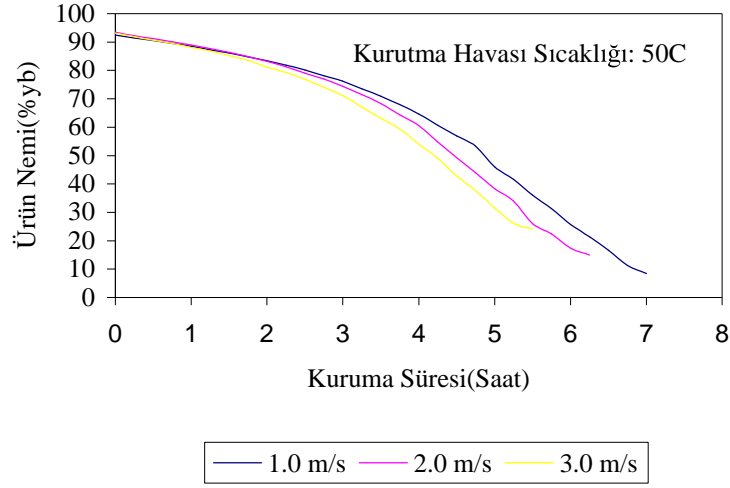
#### **4.1.2. Kurutma Havası Hızının Deneme Materyali Mantar Örneklerinin Kuruması Üzerine Etkisi**

Kuruma üzerine etkili olan diğer bir faktörde kurutmada kullanılan havanın hızıdır. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır.

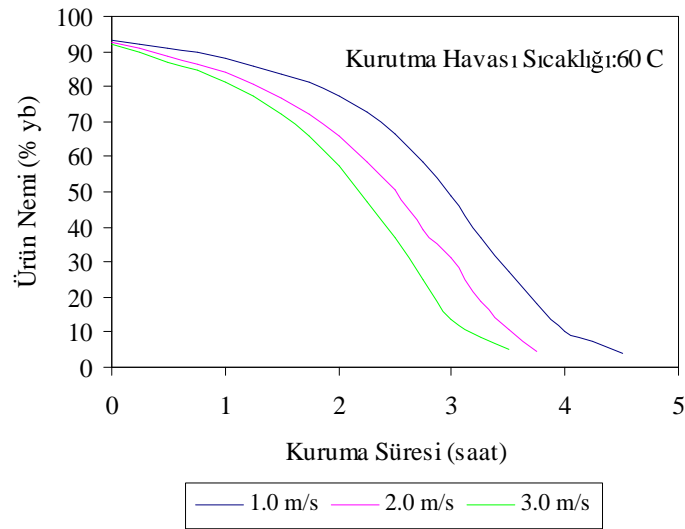
Kuruma işlemi sırasında kurutulmakta olan ürünün yakın çevresinde durgun bir su buharı tabakası oluşmaktadır. Oluşan bu su buharı tabakası çok ince bir yapıya sahip olmasına karşın su ile doymuş bir ortam olduğunda kuruma hızına azaltıcı bir etki yapmaktadır (Yağcıoğlu 1981). İşte bu tabakanın uzaklaştırılabilmesi için kurutma havasına bir hareket diğer bir ifade ile bir hız kazandırmak gerekmektedir. Ancak kurutma havası hızının kuruma üzerine etkisi belirli bir hız değerine kadar görülmektedir. Nitekim yapılan araştırmalar 5m/s 'den daha fazla bir hava hızının ürünlerin kuruma hızı üzerine ek bir etki yapmadığını göstermiştir (Ergüneş 1990).

Kurutma işlemlerinde hava hızının etkisi, kurutmanın bulunduğu aşamaya göre değişim göstermektedir. Kurutmanın başlarında hava hızı çok etkiliyse de kurumanın ileriki safhalarında kurutma hızı alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızıyla sınırlandırıldığından, kurutma havası hızının yüksek olmasının önemli bir etkisi bulunmamaktadır (Ergüneş 1990).

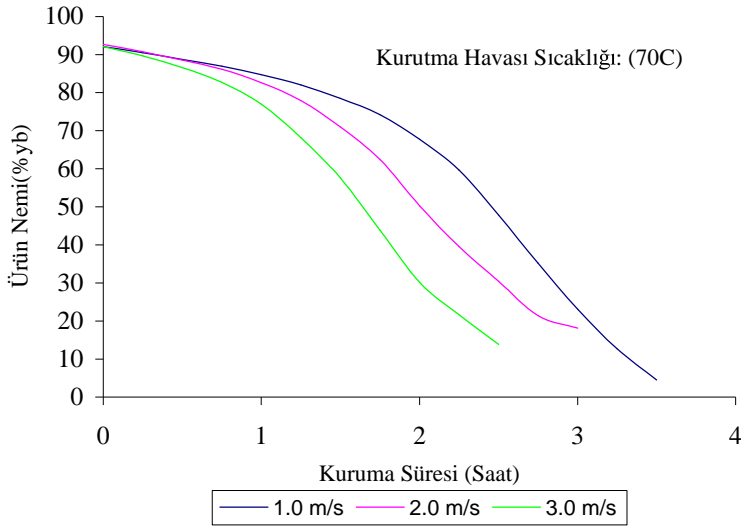
Mantar örneklerinin kurutulmasında kurutma havası hızının etkisini belirlemek amacıyla 3 farklı kurutma havası hızı kademesinde gerçekleştirilen deneme sonuçlarından yararlanılarak her sıcaklık için ayrı ayrı grafikler çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 5.4...5.6 arasında verilmiştir.



Şekil 5.4. 50 °C Kurutma havası sıcaklığında kurutulan mantar örneklerinin farklı hava hızlarında kuruma süresine bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi



Şekil 5.5. 60 °C Kurutma havası sıcaklığında kurutulan mantar örneklerinin farklı hava hızlarında kuruma süresine bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi



Şekil 5.6. 70 °C Kurutma havası sıcaklığında kurutulan mantar örneklerinin farklı hava hızlarında kuruma süresine bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi

Şekil 5.4 , 5.5 ve 5.6 ‘nın incelenmesinden de görüleceği gibi 3 farklı kurutma havası sıcaklığı koşulunda en yavaş kurumanın 1.0 m/s, en hızlı kurumanın ise 3.0 m/s hava hızı kademesinde gerçekleştiği söylenebilir. Örneğin mantar örneklerinde 50 °C sıcaklık derecesinde yapılan deneme sonuçlarına göre denge nemi düzeyine inebilmesi için gerekli süreler 1.0 m/s hava hızında 7 saat iken bu durum 3.0 m/s hava hızında 5,75 saat olarak gerçekleşmiştir.

Bu durum kurutma havası hızlarına yapılan duncan testi sonuçlarında da görülebilmektedir. Duncan testi sonuçlarına göre 1.0 m/s hava hızında % 44,668 oranında bir ağırlık kaybolurken bu değer 2.0 m/s ve 3.0 m/s kurutma havası hızlarında sırasıyla % 50,491 ve % 53,093 olarak gerçekleşmiştir (Ek çizelge 15).

Mantar örneklerinde ele alınan her sıcaklık kademesinde hava hızı artışına bağlı olarak ağırlık kayıplarında artış gözlenmiştir (Ek çizelge 17). Aynı durum hız x zaman intereksiyonuna yapılan duncan testi sonuçlarında da görülmektedir (Ek çizelge 18). Ek çizelge 18 incelenecek olursa ele alınan her yarım saatlik kuruma zamanına bağlı olarak  $V_2$  (2.0 m/s) kurutma havası hızı değerinde ve 1.5 saatlik kuruma zamanında % 50,722 ağırlık kaybı değeri, diğer ağırlık kaybı değerlerine göre istatistiki açıdan farklılık göstermektedir.

Üçlü interaksiyon sonuçlarına göre, en yüksek ağırlık kaybı değerleri 70 °C kurutma havası sıcaklığında ve 3.0 m/s kurutma havası hızında tespit edilmiştir (Ek çizelge 20).

#### 4.2. Farklı Koşullarda Kurutulan Mantar Örneklerinin Kuruma Davranışının Modellenmesi

Mantarda, azalan kuruma evresinde meydana gelen kuruma olayını açıklamak üzere kullanılan 14 modele ait istatistiksel veriler tek tek incelenmiş ve ayrılabilir nem oranının en düşük hata ile Midilli ve ark. modelinin kullanılması ile sağlanmıştır (Çizelge 5.2). Bu nedenle mantarın nem içeriğinde meydana gelen değişimi incelemek için bu model kullanılmıştır. Bu model;

$$ANO = a \exp(-k t^n) + b t \text{ şeklindedir.}$$

Çizelge 5.3' de farklı hava sıcaklığı ve hava hızı değerleri için modele ait a, k, n ve b katsayıları ile bu koşullardaki RMSE,  $\chi^2$  ve EF değerleri verilmiştir. Belirtilen katsayıların kullanılması ile belirtilen çalışma koşulları için mantarda en uygun ayrılabilir nem oranını (ANO) belirlemek mümkün olmaktadır. Mantarın kurutulmasında bu model ile yapılan tahminin standart hatası (RMSE) 0,0064830 ile 0,0127906 arasında değişmiştir. Bununla birlikte çizelgenin incelenmesinden de görüleceği üzere khi-kare ( $\chi^2$ ) değerleri de sifıra oldukça yakın çıkmıştır. Kullanılan modelin modelleme yeterliliği ise (EF) 0,9981869 ile 0,9995829 arasında değişmiştir. Görüldüğü gibi oldukça yüksek uyum gösteren istatistiksel veriler ile bu modelin kullanılabileceği açıktır.

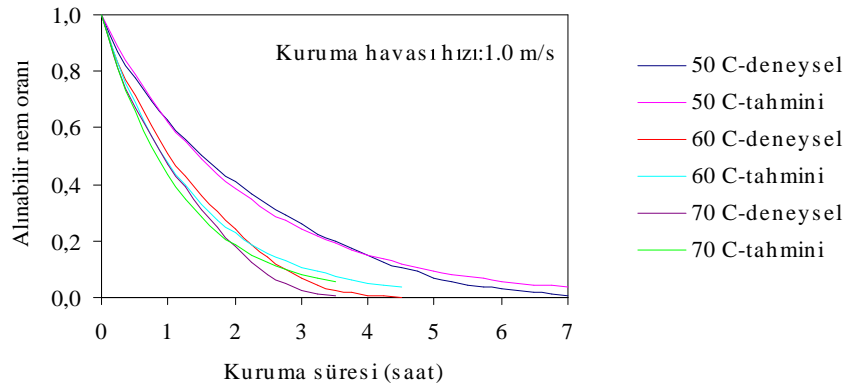
Deneme sonuçlarına göre hesaplanan ayrılabilir nem oranı ( $ANO_{\text{deneysel}}$ ) ile daha yüksek oranda bu değerleri açıklayan Midilli ve ark. modeli ile elde edilen ( $ANO_{\text{tahmini}}$ ) değerlerinin zamana göre değişimleri ise Şekil 5.7'de görülmektedir. Şekillerin incelenmesinden de görüleceği üzere deneysel değerler ile modelden elde edilen tahmini değerler oldukça birbirlerine yakındır.

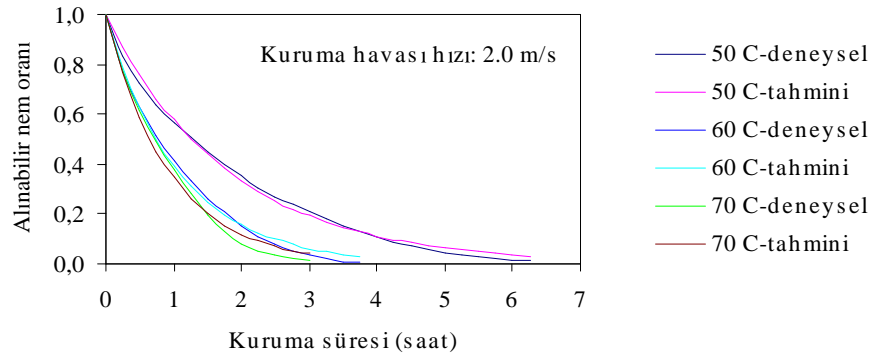
Çizelge 5.2 Farklı Deneme Koşullarında Kullanılan Modellere Ait İstatistiksel Veriler

Model	Hız m/s	60 °C			70 °C			80 °C		
		RMSE	$\chi^2$	EF	RMSE	$\chi^2$	EF	RMSE	$\chi^2$	EF
Newton	1	0,019682	0,000401	0,99502	0,032350	0,001104	0,98840	0,035811	0,001370	0,98618
	2	0,017467	0,000317	0,99590	0,019091	0,000388	0,99577	0,027710	0,000831	0,99188
	3	0,014980	0,000234	0,99702	0,020803	0,000463	0,99506	0,025873	0,000736	0,99323
Page	1	0,018231	0,000357	0,99573	0,022222	0,000551	0,99452	0,025910	0,000774	0,99277
	2	0,017321	0,000325	0,99597	0,017064	0,000332	0,99662	0,017173	0,000348	0,99680
	3	0,014820	0,014820	0,99708	0,018923	0,000413	0,99591	0,013389	0,000219	0,99818
Değiştirilmiş Page (1)	1	0,019682	0,000416	0,99502	0,032350	0,001169	0,98840	0,035811	0,001479	0,98618
	2	0,017467	0,000330	0,99590	0,019091	0,000416	0,99577	0,027710	0,000907	0,99188
	3	0,014980	0,000245	0,99702	0,020803	0,000499	0,99506	0,025873	0,000818	0,99323
Değiştirilmiş Page (2)	1	0,018231	0,000357	0,99573	0,022222	0,000551	0,99452	0,025910	0,000774	0,99277
	2	0,017320	0,000325	0,99597	0,019091	0,000388	0,99577	0,258714	0,079102	0,29258
	3	0,014820	0,000240	0,99708	0,261581	0,078951	0,21964	0,256451	0,080382	0,33507
Henderson ve Papis	1	0,018231	0,000357	0,99573	0,022222	0,000551	0,99452	0,025910	0,000774	0,99277
	2	0,017321	0,000325	0,99597	0,019091	0,000388	0,99577	0,258714	0,079102	0,29258
	3	0,014820	0,000240	0,99708	0,261581	0,078951	0,21964	0,256451	0,080382	0,33507
Logaritmik	1	0,008033	0,000071	0,99917	0,012198	0,000176	0,99835	0,011358	0,000161	0,99861
	2	0,011270	0,000143	0,99829	0,008098	0,000080	0,99923	0,012783	0,000212	0,99827
	3	0,010255	0,000120	0,99860	0,010340	0,000133	0,99878	0,010832	0,000161	0,99881
İki terimli	1	0,019682	0,000449	0,99502	0,031060	0,001222	0,98930	0,034675	0,001639	0,98705
	2	0,016335	0,000315	0,99642	0,019043	0,000483	0,99579	0,026479	0,001012	0,99258
	3	0,014013	0,000237	0,99739	0,020780	0,000588	0,99507	0,024439	0,000938	0,99396
İki terimli exponansiyel	1	0,017114	0,000314	0,99624	0,021925	0,000537	0,99467	0,025628	0,000757	0,99292
	2	0,017343	0,000325	0,99596	0,016007	0,000292	0,99702	0,016652	0,000327	0,99706
	3	0,014980	0,000245	0,99702	0,017870	0,000368	0,99635	0,025873	0,000818	0,99323
Wang ve Sing	1	0,037615	0,001519	0,98183	0,024063	0,000647	0,99358	0,021457	0,000531	0,99504
	2	0,046953	0,002388	0,97043	0,039415	0,001775	0,98198	0,021461	0,000544	0,99513
	3	0,042856	0,002011	0,97562	0,040400	0,001883	0,98138	0,022698	0,000629	0,99479
Thompson	1	0,071756	0,005530	0,99882	0,120913	0,016340	0,99220	0,087110	0,008755	0,99349
	2	0,082186	0,007317	0,99807	0,036097	0,001489	0,99901	0,064846	0,004969	0,99519
	3	0,068362	0,005118	0,99830	0,055228	0,003519	0,99738	0,041472	0,002102	0,99724
Difüzyon yaklaşım	1	0,010903	0,000132	0,99847	0,032350	0,001242	0,98840	0,035811	0,001603	0,98618
	2	0,015430	0,000269	0,99680	0,015585	0,000298	0,99718	0,027710	0,000998	0,99188
	3	0,014980	0,000258	0,99702	0,020803	0,000540	0,99506	0,025873	0,000920	0,99323
Verma ve ark.	1	0,010161	0,000115	0,99867	0,011033	0,000144	0,99865	0,011792	0,000173	0,99850
	2	0,014211	0,000228	0,99729	0,009085	0,000101	0,99904	0,011123	0,000160	0,99869
	3	0,012427	0,000177	0,99795	0,011406	0,000162	0,99851	0,008777	0,000105	0,99922
Geliştirilmiş Henderson ve Papis	1	0,019682	0,000488	0,99502	0,031060	0,001410	0,98930	0,034675	0,002003	0,98705
	2	0,016335	0,000346	0,99642	0,019043	0,000580	0,99579	0,026479	0,001302	0,99258
	3	0,014013	0,000265	0,99739	0,020780	0,000719	0,99507	0,024439	0,001314	0,99396
Midilli ve ark.	1	0,006755	0,000052	0,99941	0,012790	0,000207	0,99818	0,012116	0,000200	0,99841
	2	0,006480	0,000049	0,99943	0,007274	0,000705	0,99938	0,012519	0,000226	0,99834
	3	0,005606	0,000038	0,99958	0,009957	0,000135	0,99886	0,009414	0,000139	0,99910

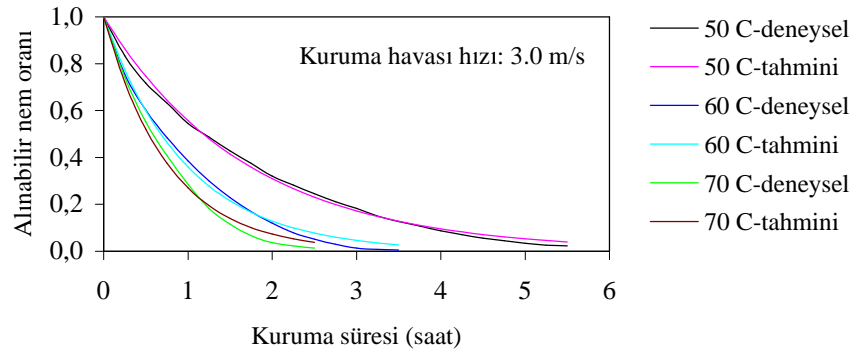
Çizelge 5.3 Farklı Çalışma Koşullarında Midilli ve ark. Modelinde Yer Alan Katsayılar ve İstatistiksel Veriler.

Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	a	K	n	b	RMSE	EF	$\chi^2$
<b><math>ANO = a \exp(-k t^n) + b t</math></b>								
60	1.0	0,990999	0,444337	0,942174	-0,00982	0,0067552	0,9994142	0,000052934
	2.0	0,992877	0,540833	0,882820	-0,01072	0,0064830	0,9994363	0,000049672
	3.0	0,995068	0,573614	0,891204	-0,01120	0,0056065	0,9995829	0,000038050
70	1.0	0,986467	0,637992	1,064444	-0,01360	0,0127906	0,9981869	0,000207227
	2.0	0,994863	0,854504	0,957363	-0,01527	0,0072741	0,9993864	0,000070550
	3.0	0,993584	0,938278	0,958830	-0,01624	0,0099579	0,9988691	0,000135218
80	1.0	0,992076	0,701730	1,000493	-0,02940	0,0121163	0,9984191	0,000200189
	2.0	0,991253	0,9763749	1,083037	-0,01332	0,0125192	0,9983435	0,000226391
	3.0	0,995365	1,241328	1,096008	-0,01264	0,0094148	0,9991038	0,000139290





b



c

Şekil.5.7.Farklı kurutma koşullarında elde edilen ve genel kurutma denklemi ile tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi

## 5. SONUÇ

- Kurutmada kullanılan kurutma havası sıcaklığı ve hızı arttıkça, deneme materyali ürünlerden uzaklaşan nem miktarı da artmakta ve bunun sonucu olarak ürünlerin kuruma süresi kısalmaktadır.
- Mantarın nem içeriğinde meydana gelen değişimi en iyi açıklayan model Midilli ve ark. Olarak belirlenmiştir. Bu model;  $ANO = a \exp(-k t^n) + b t$ , şeklindedir.
- Bu modele ait modelleme yeterliliği (EF) 0,9981869.... 09995829 arasında, standart hata (RMSE) 0,0056065....0,0127906 arasında ve khi-kare ( $\chi^2$ ) 0,000038050...0,000226391 arasında değişmiştir.
- Deneme materyali ürüne ait kuruma sabiti (k) değeri hava sıcaklığı ve hava hızı artışına bağlı olarak artış göstermiştir. Bu değer farklı kurutma koşulları için (hava sıcaklığı, hava hızı) 0,444337....1,241328 arasında değişmiştir.

## 6.KAYNAKLAR

- Adar, L., 1989. Effect of Air Temperature and Humidity on the Drying Rate of Macaroni. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Akpınar, E. K., Biçer, Y., 2002. Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Siklon Tipi Bir Kurutucunun Kullanılabilirliği. Mühendis ve Makine Dergisi. Aralık 2002, Sayı: 515, Ankara.
- Akyurt, M., Sevilir, E., Söylemez, E., Selçuk, K., 1971. Güneş Enerjisi ve Bazı Yakıtlarla Meyve ve Sebze Kurutulması. TUBİTAK, Proje No: TOAG - 97, Yayın No: 299, Ankara.
- Anonymous, 1962. A.M.C.A. Standart Test Code For Air Moving Devices Air Moving and Conditioning Association Inc. Park Ridge, Illinois, USA.
- Anonymous, 2006. Bitkisel Üretim Verileri, Türkiye İstatistik Kurumu, [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)
- Ayensu, A., 1997. Dehydration of Food Crops Using A Solar Dryer with Convective Heat Flow. Solar Energy, 59 (4-6), 121-126.
- Ayık, M., 1985. Ürün İşleme Tekniği ve Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 957, Ders Kitabı: 277, Ankara.
- Ben-Mabrouk, S., Azzous, S., Belghith, A., 1990. Development of Drying of Agricultural Products. Proceedings of The 1 st World Renewable Energy Congress, 958-963, Oxford, Pergamon.
- Bowden, P.J., Lamond, W.J., Smith, E.A., 1983. Simulation of Near Ambient Grain Drying, I.Comparison of Simulations with Experimental Results. Journal Agricultural Engineering. 279-300.
- Colemon ve Ark., 1978. Preliminary Evaluations of Sulfite Preatreatments For Sun-Dried and Hot-Dried. Peppers. Proc. Fla. State Hort. Soc. 91: 146-148.
- Dandamrongrak, R., Young, G., & Mason, R., 2002. Evaluation of Various Pre-treatments For The Dehydration of Banana and Selection of Suitable Drying Models. Journal of Food Engineering, 95, 139-146.

- Demir,V., Günhan, T., 2002. Tarım Ürünlerinin Kuruma Karakteristik Değerlerinin Belirlenmesi. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı,17-31,İzmir.
- Doğan, Z.,1991. Effect of Pretreatment and Air Temperature on The Drying Rate of Cultivated Mushroom. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Üniversitesi, Ankara.
- Doğantan ve Tuncer, 1989. Kahramanmaraş Kırmızı Biberinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Saptanarak Doğal Koşullarda ve Plastik Örtü Altı Güneş Toplayıcılarıyla Kurutulması Üzerine Bir Araştırma, Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Fakültesi Dergisi, 1-18, Adana.
- Doymaz, I., 2004. Convective Air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots. Journal of Food Eng. 61: 359-364.
- Doymaz, I., 2005a. Sun Drying of Figs: An Experimental Study. Journal of Food Eng. 71: 403-407.
- Doymaz, I., 2005b. Drying Characteristics and Kinetics of Okra. Journal of Food Eng. 69;275-279
- Düzgüneş, O., Kesici, İ., Gürbüz, F., 1983. İstatistik Metotları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 861, Ankara.
- Elustondo, MP., Pelegriana, AH., Urbicain, MJ., 1996. A Model For The Dehydration Rate of Onions. J. of Food Engng. 29: 375-386.
- Erdoğan, D., 1984. Doğal Akışlı Güneşli Kurutucular. 2. Uluslar Arası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Sempozyumu, 224-231, Ankara.
- Ergüneş, G., 1990. Çekirdeksiz Üzümün Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir.
- Ergüneş, G., Özgöz, E., 1995. Bazı Sebzelerin Sera İçinde Kuruma Karakteristikleri. Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı 461-470, Bursa.
- Ertekin, C, Yıldız, O., Möhlbauer, W., 2001 İncirin Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Kuruma Davranışının Belirlenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 405 – 411, Şanlıurfa.

- Ertekin, C., 2002. Bazı Sebze ve Meyvelerin Kurutulması. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 33-57, İzmir.
- Ertekin, C., & Yaldiz, O., 2004. Drying of Eggplant and Selection of A Suitable Thin Layer Drying Model. Journal of Food Engineering, 63, 349-359.
- Funebo, T., Ohlsson, T., 1998. Microwave-assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom, Journal of Food Eng., 63, 349-359.
- 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 Wiley and Sons, Inc., USA
- Heybeli, N., 2006. Sanayi Tipi Kurutucuda Elma Kurutulması. A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Antalya
- Işık, E., Alibaş, İ., 2000. Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Kullanılan Yöntemler ve Kurutma Sistemi. U.Ü.Ziraat Fakültesi Yardımcı Ders Notu, No:3
- Kachru, R., Singh, K., 1994. Drying Characteristics of Pretreated Green Gram (Phaseolus Aureus) Drying 1994. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Drying Symposium, Vol. B, 1093-1104, Australia.
- Karathanos, V.T., 1999. Determination of Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. Journal of Food Engineering, 39, 337-344.
- Karathanos, V.T., & Belessiotis, V.G., 1999. Application of A Thin Layer Equation to Drying Data of Fresh and Semi-Dried Fruits. Journal of Agricultural Engineering Research, 74, 355-361.
- Kemer, M., 1996. Elmanın Kuruma Özelliklerinin Araştırılması. S.D.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Komanowsky, M., Talley, F.B., Eskew, R.K., 1970. Air Drying of Cultivated Mushrooms. Food Technology, 24, 1020-1024.
- Krokida, M.K., Karathanos, V., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D., 2003. Drying Kinetics of Some Vegetables. Journal of Food Engineering Research, 50:391-403.

- Labuza, T.P., Simon, I.B., 1970. Surface Tension Effect During Dehydration, Air Drying of Apple Slices. *Food Technology*, 24,712-715.
- Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., & Jaouhari, J.T., 2004. Drying Kinetics of Prickly Pear Fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*, 61 (2), 173-179.
- Lin T. M., Durance T. D., Scaman C. H., 1998. Characterization of Vacuum Microwave, Air and Freze Dried Carrot Slices. *Food Research International*, 31 (2): 11-117.
- Liu, Q., & 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 Characteristics of Garlic Slices. *J. of Food Engng.*, 29:75-97.
- Mazza, G., 1983. Dehydration of Carrots, Effects of Pre-Drying Treatments on Moisture Transport and Product Quality. *J. of Food Technol.*, 18,113-123.
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z., 2002. A New Model For Single Layer Drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513.
- Mishkin, M., Saguy, I., Karel, M., 1984. A Dynamic Test For Kinetics Models of Chemical Changes During Processing. Ascorbic Acid Degradation In Dehydration of Potatoes: *J.Of Food Sci.*, 49, 1267-1270.
- Mudahar, G.S., Toledo, R.T., Flords, J.D., Jen, J.J., 1989. Optimization of Carrot Dehydration Process Using Response Surface Methodology. *J. of Food Sci.*, 54 (3), 714-719.
- Mulet, A., Berna, A., Borrás, M., Pinaga, F., 1987. Effect of Air Flow Rate on Carrot Drying. *Drying Technology*, 5(2),245-258.
- Mulet, A., Berna, A., Rosello, C., Pinaga, F., 1989. Drying of Carrots. II Evaluation of Drying Models. *Drying Technology*, 7 (4), 641-661.

- Mwithiga, G., Olwal, J.O., 2005. The Drying Kinetics of Kale in A Convective Hot Air Dryer, *J.Of Food Sci.* 71:373-378
- Nehru, C., Kumar, V., Maheswari, C., Gathandapani, L., 1995. Solar Drying Characteristics of Oyster Mushroom. *Mushroom-Research.* 1995, 4: 1, 27-30, India.
- Overhults, D.G., White, H.E., Hamilton, H.E. & Ross, I.J., 1973. Drying Soybeans with Heated Air. *Transactions of the ASAE*, 16: 112-113.
- Pal, US., Chacraverty. A., 1997. Thin-layer Convection-drying of Mushrooms. *Energy Conversion and Management*, 38 (2): 107-113.
- Panchariya, P.C., Popovic, D., & Sharma, A.L., 2002. Thin Layer Modeling of Black Tea Drying Process. *Journal of Food Engineering*, 52, 349-357.
- Pangavhane D R; Sawhney R L; Sarsavadia P N 1999. Effect of various dipping pretreatment on drying kinetics of Thompson seedless grapes.*J.of Food Engng.*, 39:211-216.
- Pappas, C., Tsami, E., Marinos-Kouris, D., 1999. The Effect of Process Contidions on The Drying Kinetics and Rhydration Characteristics of Some Microwave-vacuum Dehydrated. *Fruits Drying technoloigy*, 17 (1-2): 157-174.
- Park, K.S., Vohnikova, Z., & Brod, F.P.R., 2002. Evaluation of Drying Parameters and Desorption Isotherms of Garden Mint Leaves (*Mentha crispa L.*). *Journal of Food Engineering*, 51, 193-199.
- Ponthing, J.D., McBean, D.M., 1970. Temperature and Dipping Treatment Effects on Drying Rates and Drying Times of Grapes Prunes and Other Waxy Fruits. *Food Technology*, 24,1403-1406.
- Puiggali, J.R., Batsale, J.C., Nadeau, J.P., 1987. The Development and Use of An Equation Describe The Kinetics of Air Drying of Hazelnuts. *Lebensm.-Wiss.u.-Technology*, 20,174-179.
- Rahman, M.S., Perera, C.O., And Thebaud, C., 1998. Desorption Isotherm and Heat Pump Drying Kinetics of Peas. *Food Research International*, 30(7): 485-491.
- Saravacos, G.D., and Charn, S.E., 1962a. A Study of The Mechanism of Fruit and Vegetable Dehydration. *Food Technology*, 16, 78-81.

- Saravacos, G.D., and Charn, S.E., 1962b. Effect of Surface Active Agents on The Dehydration of Fruits and Vegetables. *Food Technology*, 16, 91-93.
- Sarsavadia, P., Sawhney, R., Pangavhane, D.R., ve Singh, S.P., 1999. Drying Behaviour of Brined Onion Slices. *Journal Food Engineering*, 40, 219-226.
- Schadle, E.R., Burns, E.E., Talley, L.J., 1983. Forced Air Drying of Partially Freze Dried Compressed Carrot Bars. *J.of Food Sci.* 48, 193-196.
- Sharaf-Eldeen, O., Blaisdell, Y.I., & Spagna, G., 1980. A Model For Ear Corn Drying. *Transactions of The ASAE*, 23, 1261-1271.
- Simal, S., Mulet, A., Tarrazo, J., Rossello, C., 1996. Drying Model For Gren Peas. *Food Chemistry*, 5 (2): 121-128.
- Sun, D.W., & Woods, J.L., 1994. Low Temperature Moisture Transfer Characteristics of Wheat in Thin Layers. *Transactions of the ASAE*, 37, 1919-1926.
- Thompson, T.L., Peart, R.M., & Foster, G.H., 1968. Mathematical Simulation of Corn Drying A New Model. *Transactions of The ASAE*, 11, 582-586.
- Tiris, C., Özbalta, N., Tiris, M., & Dincer, I., 1994. Experimental Testing of A New Solar Dryer. *Int. J. of Energy Research*, 18, 483-490.
- Toğrul, H., Toğrul İ., İspir, A., 2005a. Mantarların İnce Tabaka Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya.
- Toğrul, H., Toğrul, İ., İspir, A., 2005b. İnfrared Kurutucuda Muzun Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi. III.Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı, Antalya.
- Tuncer, K. T., 1990. Kurutmada Yeni Teknolojiler. Yüksek Frekanslı Mikrodalgayla Sebze Kurutma Üzerine Bir Araştırma. 4. Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, 472-480, Adana.
- Ültanır, M.Ö., 1972. Preheated Circulation Solar Dryer. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü 45, Ankara.
- Vaccarezza, L.M., Lombardi, L.J., and Cırife, J., 1974. Heat Transfer Effects on Drying Rate of Food Dehy Dration. *Can. J. of Food Engng.*, 52, Oct., 576-579.

- Vaccarezza, L.M., Chirife, J., 1975. On The Mechanism of Moisture Transport During Air Drying of Sugar Beet Root. *J. of Food Sci*, 40,1286-1289
- Verma, L.R., R.A., Bucklin, J.B., Endan, F.T., Wratten, 1985. Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models. *Transactions of the ASAE*,28:296-301.
- Wang, C.Y., & Singh, R.P., 1978. A Single Layer Drying Equation For Rough Rice. *ASAE Paper No: 78-3001*, ASAE, St. Joseph, MI.
- Weitz, D., Lara, M.A., Piacentini, R.D., 1989. Dipping Treatment Effects on Simulated Prune Solar Drying. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J*, 22(2), 133-136.
- Winkler, A.J., 1962. *General Viticulture*. University of California Pres 1962, USA
- Yağcıoğlu, A., 1999. *Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği*. EÜZF Yayınları, No: 536.
- Yağcıoğlu, A., 1981. *Tavuk Gübresinin Değişik Hava Koşullarında Kuruma Özelliklerinin Saptanması Üzerinde Bir Araştırma*, Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, Bornova-İzmir.
- Yaldız, O., Ertekin, C., Uzun, H.i., 2000 Çekirdeksiz Üzümün İnce Tabaka Halinde Güneş Enerjisiyle Kurutulmasının Matematiksel Modellenlenmesi Üzerine Bir araştırma. *Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*, 345 – 350 Erzurum.
- Yaldız, O., 2001 Havuç ve Pırasa Kurutulmasında Kurutma Havaşı Özelliklerinin Kuruma Karakteristiklerine Etkisi. *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*, 412 – 417 Şanlıurfa.
- Yamashita, R., 1982. *Postharvesting. Laboratory of Farm Processing Machinery*. Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto – Japon.
- Sitiphong, N., Therdoon, P., Klongpanich, W., Sıratapanta, T., 1989. Drying Characteristics of Soybean and Groundnut. *Grain Postharvest Systems. Proceedings of the Tenth ASEAN Tecnical Seminar on Grain Postharvest Technology*. 137 – 147, Thailand.

Ek Çizelge1. Mantar Örneklerinde 50 °C Sıcaklık İçin Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri ( x )

Kurutma Süresi (saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x (%)	2.0 m/s x (%)	3.0 m /s x (%)
0.00	92.50	93.41	93.10
0.25	91.45	92.22	91.83
0.50	90.53	91.16	90.63
0.75	89.56	90.04	89.50
1.00	88.51	88.96	88.03
1.25	87.28	87.72	86.78
1.50	86.11	86.40	85.25
1.75	84.80	84.93	83.52
2.00	83.43	83.24	81.20
2.25	81.89	81.29	79.24
2.50	80.21	79.07	76.84
2.75	78.13	77.00	74.05
3.00	76.23	74.39	71.11
3.25	73.46	71.48	67.03
3.50	70.95	68.30	63.12
3.75	67.93	64.34	59.38
4.00	64.61	60.53	54.05
4.25	60.66	54.83	49.04
4.50	56.94	49.32	42.79
4.75	53.35	43.94	37.69
5.00	45.99	38.38	31.61
5.25	41.55	33.92	26.20
5.50	36.10	26.07	24.16
5.75	31.32	22.48	
6.00	25.70	17.37	
6.25	21.45	15.00	
6.50	16.70		
6.75	11.33		
7.00	8.48		

Ek Çizelge 2. Mantar Örneklerinde 60 °C Sıcaklık İçin Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri (x)

Kurutma Süresi (saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x (%)	2.0 m/s x (%)	3.0 m /s x (%)
0.00	93.41	92.56	91.89
0.25	92.16	90.63	89.53
0.50	90.98	88.68	87.21
0.75	89.58	86.44	84.57
1.00	87.83	83.81	81.32
1.25	85.92	80.64	77.29
1.50	83.70	76.57	72.16
1.75	81.19	72.17	65.79
2.00	77.40	65.74	57.61
2.25	72.54	58.24	47.35
2.50	66.75	50.50	36.87
2.75	58.53	39.20	25.09
3.00	49.09	31.46	13.86
3.25	37.14	18.99	8.35
3.50	27.25	10.92	5.36
3.75	18.42	4.58	
4.00	10.34		
4.25	7.14		
4.50	3.94		

Ek Çizelge 3. Mantar Örneklerinde 70 °C Sıcaklık İçin Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri (x)

Kurutma Süresi (saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x (%)	2.0 m/s x (%)	3.0 m /s x (%)
0.00	92.13	92.68	92.13
0.25	90.48	90.73	89.67
0.50	88.71	88.61	86.58
0.75	86.94	86.10	82.67
1.00	84.71	82.62	76.95
1.25	81.98	77.94	68.13
1.50	78.49	71.03	57.67
1.75	74.20	62.40	43.87
2.00	67.69	50.25	30.15
2.25	59.67	39.55	21.66
2.50	47.85	30.42	13.89
2.75	35.17	21.44	
3.00	23.13	18.17	
3.25	12.81		
3.50	4.55		

Ek Çizelge 4. Mantar Örneklerinde 50 °C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri (x)

Kurutma Süresi (Saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x (%)	2.0 m/s x (%)	3.0 m /s x (%)
0.00	12.3333	14.1745	13.4928
0.25	10.6927	11.8483	11.2435
0.50	9.5633	10.3103	9.6725
0.75	8.5787	9.0486	8.5239
1.00	7.7047	8.0630	7.3522
1.25	6.8667	7.1563	6.5667
1.50	6.2107	6.3672	5.7819
1.75	5.5920	5.6578	5.0674
2.00	5.0453	4.9879	4.3181
2.25	4.5353	4.3574	3.8181
2.50	4.0620	3.8050	3.3181
2.75	3.5880	3.3718	2.8543
3.00	3.2240	2.9385	2.4616
3.25	2.7867	2.5440	2.0333
3.50	2.4587	2.1889	1.7116
3.75	2.1313	1.8346	1.4623
4.00	1.8400	1.5592	1.1768
4.25	1.5487	1.2436	0.9630
4.50	1.3300	1.0068	0.7486
4.75	1.1480	0.8111	0.6058
5.00	0.8567	0.6533	0.4630
5.25	0.7113	0.5357	0.3551
5.50	0.5653	0.3778	0.3196
5.75	0.4560	0.2989	
6.00	0.3473	0.2200	
6.25	0.2747	0.1806	
6.50	0.2020		
6.75	0.1293		
7.00	0.0927		

Ek Çizelge 5. Mantar Örneklerinde 60 °C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişim Değerleri (x)

Kurutma Süresi (Saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x (%)	2.0 m/s x (%)	3.0 m /s x (%)
0.00	14.1745	12.4409	11.3305
0.25	11.7564	9.6700	8.5469
0.50	10.0819	7.8353	6.8200
0.75	8.5948	6.3757	5.4815
1.00	7.2193	5.1774	4.3545
1.25	6.1024	4.1667	3.4032
1.50	5.1358	3.2675	2.5925
1.75	4.3179	2.5934	1.9236
2.00	3.4256	1.9194	1.3594
2.25	2.6434	1.3952	0.9014
2.50	2.0114	1.0208	0.5845
2.75	1.4165	0.6458	0.3379
3.00	0.9704	0.4590	0.1615
3.25	0.5986	0.2345	0.0919
3.50	0.3756	0.1230	0.0567
3.75	0.2269	0.0484	
4.00	0.1153		
4.25	0.0781		
4.50	0.0410		

Ek Çizelge 6. Mantar Örneklerinde 70 °C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri (x)

Kurutma Süresi (saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x (%)	2.0 m/s x (%)	3.0 m/s x (%)
0.00	11.7065	12.6612	11.7065
0.25	9.5064	9.7923	8.6836
0.50	7.8634	7.7787	6.4536
0.75	6.6576	6.1967	4.7719
1.00	5.5426	4.7582	3.3380
1.25	4.5527	3.5369	2.1379
1.50	3.6537	2.4577	1.3628
1.75	2.8799	1.6667	0.7814
2.00	2.1036	1.0191	0.4327
2.25	1.4841	0.6571	0.2776
2.50	0.9238	0.4372	0.1614
2.75	0.5508	0.2732	
3.00	0.3030	0.2220	
3.25	0.1474		
3.50	0.0476		

Ek Çizelge 7. Mantar Örneklerinde 50 °C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O.) Değerleri (x)

Kurutma Süresi (saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x	2.0 m/s x	3.0 m /s x
0.00	1.0000	1.0000	1.0000
0.25	0.8670	0.8359	0.8333
0.50	0.7754	0.7274	0.7169
0.75	0.6956	0.6384	0.6317
1.00	0.6247	0.5688	0.5449
1.25	0.5568	0.5049	0.4867
1.50	0.5036	0.4492	0.4285
1.75	0.4534	0.3992	0.3756
2.00	0.4091	0.3519	0.3200
2.25	0.3677	0.3074	0.2830
2.50	0.3294	0.2684	0.2459
2.75	0.2909	0.2379	0.2115
3.00	0.2614	0.2073	0.1824
3.25	0.2259	0.1795	0.1507
3.50	0.1994	0.1544	0.1269
3.75	0.1728	0.1294	0.1084
4.00	0.1492	0.1100	0.0872
4.25	0.1256	0.0877	0.0714
4.50	0.1078	0.0710	0.0555
4.75	0.0931	0.0572	0.0449
5.00	0.0695	0.0461	0.0343
5.25	0.0577	0.0378	0.0263
5.50	0.0458	0.0267	0.0237
5.75	0.0370	0.0211	
6.00	0.0282	0.0155	
6.25	0.0223		
6.50	0.0164		
6.75	0.0105		
7.00	0.0075		

Ek Çizelge 8. Mantar Örneklerinde 60 °C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O. Değerleri) (x)

Kurutma Süresi (saat)	Hava hızı (m/s)		
	1.0 m/s x	2.0 m/s x	3.0 m /s x
0.00	1.0000	1.0000	1.0000
0.25	0.8294	0.7773	0.7543
0.50	0.7113	0.6298	0.6019
0.75	0.6064	0.5125	0.4838
1.00	0.5093	0.4162	0.3843
1.25	0.4305	0.3349	0.3004
1.50	0.3623	0.2626	0.2288
1.75	0.3046	0.2085	0.1698
2.00	0.2417	0.1543	0.1200
2.25	0.1865	0.1121	0.0796
2.50	0.1419	0.0821	0.0516
2.75	0.0999	0.0519	0.0298
3.00	0.0685	0.0369	0.0143
3.25	0.0422	0.0189	0.0081
3.50	0.0265	0.0099	0.0050
3.75	0.0160	0.0039	
4.00	0.0081		
4.25	0.0055		
4.50	0.0029		

Ek Çizelge 9. Mantar Örneklerinde 70 °C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O. Değerleri) (x)

Kurutma Süresi (saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x	2.0 m/s x	3.0 m /s x
0.00	1.0000	1.0000	1.0000
0.25	0.8121	0.7734	0.7418
0.50	0.6717	0.6144	0.5513
0.75	0.5687	0.4894	0.4076
1.00	0.4735	0.3758	0.2851
1.25	0.3889	0.2793	0.1826
1.50	0.3121	0.1941	0.1164
1.75	0.2460	0.1316	0.0668
2.00	0.1797	0.0805	0.0370
2.25	0.1268	0.0519	0.0237
2.50	0.0789	0.0345	0.0138
2.75	0.0471	0.0216	
3.00	0.0259	0.0175	
3.25	0.0126		
3.50	0.0041		

Ek Çizelge 10. Mantar Örneklerinde 50 °C Sıcaklık İçin Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri (x)

Kurutma Süresi (saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x (%)	2.0 m/s x (%)	3.0 m /s x (%)
0.00	100.0	100.0	100.0
0.25	86.81	85.05	84.48
0.50	78.02	75.25	73.64
0.75	70.32	67.52	65.72
1.00	63.73	61.34	57.63
1.25	57.14	55.67	52.21
1.50	52.19	50.51	46.80
1.75	47.25	46.39	41.87
2.00	43.40	41.75	36.70
2.25	39.56	37.11	33.25
2.50	36.26	34.02	29.80
2.75	32.41	30.92	26.60
3.00	29.67	28.35	23.64
3.25	26.37	25.77	20.93
3.50	24.17	23.19	18.71
3.75	21.97	20.61	16.99
4.00	19.78	18.55	15.02
4.25	18.13	16.49	13.55
4.50	16.48	14.94	12.07
4.75	15.38	13.40	11.08
5.00	13.18	12.37	10.10
5.25	12.63	11.34	9.35
5.50	11.53	10.31	9.11
5.75	10.98	9.27	
6.00	10.43	8.76	
6.25	9.89	8.24	
6.50	9.34		
6.75	8.79		
7.00	8.24		

Ek Çizelge 11. Mantar Örneklerinde 60 °C Sıcaklık İçin Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri (x)

Kurutma Süresi (saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x (%)	2.0 m/s x (%)	3.0 m /s x (%)
0.00	100.0	100.0	100.0
0.25	84.07	79.39	77.43
0.50	73.03	65.74	63.42
0.75	63.23	54.88	52.57
1.00	54.16	45.96	43.43
1.25	46.80	38.44	35.71
1.50	40.43	31.75	29.14
1.75	35.29	26.74	23.71
2.00	29.16	21.72	19.14
2.25	24.01	17.82	15.42
2.50	19.84	15.04	12.85
2.75	15.93	12.25	10.85
3.00	12.98	10.86	9.42
3.25	10.54	9.19	8.86
3.50	9.07	8.35	
3.75	8.09	7.80	
4.00	7.35		
4.25	7.10		
4.50	6.86		

Ek Çizelge 12. Mantar Örneklerinde 70 °C Sıcaklık İçin Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri (x)

Kurutma Süresi (saat)	Hava Hızları (m/s)		
	1.0 m/s x (%)	2.0 m/s x (%)	3.0 m/s x (%)
0.00	100.0	100.0	100.0
0.25	82.68	79.00	76.21
0.50	69.75	64.26	58.66
0.75	60.26	52.68	45.42
1.00	51.49	42.15	34.14
1.25	43.7	33.21	24.69
1.50	36.62	25.31	18.59
1.75	30.53	19.52	14.02
2.00	24.42	14.78	11.27
2.25	19.55	12.13	10.05
2.50	15.14	10.52	9.14
2.75	13.20	9.29	
3.00	10.25	8.94	
3.25	9.03		
3.50	8.24		

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

Varyans Kaynakları	SD	KT	KO	F
Sıcaklık (T)	2	5153,7	2576,8	1514,85**
Hız (V)	2	1339,8	669,9	393,80**
Zaman (Z)	5	80274,3	16054,9	9438,16**
TxV	4	69,8	17,5	10,26**
TxZ	10	1357,8	135,8	79,82**
VxZ	10	328,0	32,8	19,28**
TxVxZ	20	78,3	3,9	2,30**
Hata	54	91,9	1,7	
Toplam	107	88693,5		

\*\* 0,01 seviyesinde önemli

Ek Çizelge 14. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Sıcaklığı	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Ağırlık Azalması (%)	39,979 <sub>c</sub>	51,955 <sub>b</sub>	56,319 <sub>a</sub>

Ek Çizelge 15. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hava Hızlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Hızı	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
Ağırlık Azalması (%)	44,668 <sub>c</sub>	50,491 <sub>b</sub>	53,093 <sub>a</sub>

Ek Çizelge 16. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kuruma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları.

Hava Hızı	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>
Ağırlık Azalması (%)	0,000 <sub>f</sub>	30,860 <sub>e</sub>	49,559 <sub>d</sub>	63,192 <sub>c</sub>	73,112 <sub>b</sub>	79,783 <sub>a</sub>

Ek Çizelge 17. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Hız İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Sıcaklığı	Hava Hızı		
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
T <sub>1</sub>	36,351 <sub>i</sub>	41,011 <sub>h</sub>	42,574 <sub>g</sub>
T <sub>2</sub>	47,227 <sub>f</sub>	53,300 <sub>d</sub>	55,339 <sub>c</sub>
T <sub>3</sub>	50,428 <sub>e</sub>	57,163 <sub>b</sub>	61,365 <sub>a</sub>

Ek Çizelge 18. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Hızı	Kuruma Zamanları					
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>
V <sub>1</sub>	0,000 <sub>i</sub>	25,997 <sub>k</sub>	43,020 <sub>h</sub>	56,287 <sub>f</sub>	67,023 <sub>d</sub>	75,683 <sub>bc</sub>
V <sub>2</sub>	0,000 <sub>i</sub>	31,823 <sub>j</sub>	50,722 <sub>g</sub>	64,797 <sub>e</sub>	74,680 <sub>c</sub>	80,927 <sub>a</sub>
V <sub>3</sub>	0,000 <sub>i</sub>	34,760 <sub>i</sub>	54,935 <sub>f</sub>	68,492 <sub>d</sub>	77,632 <sub>b</sub>	82,738 <sub>a</sub>

Ek Çizelge 19. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Sıcaklığı	Kuruma Zamanları					
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>
T <sub>1</sub>	0,000 <sub>m</sub>	24,200 <sub>l</sub>	39,120 <sub>l</sub>	50,192 <sub>h</sub>	59,502 <sub>f</sub>	66,858 <sub>e</sub>
T <sub>2</sub>	0,000 <sub>m</sub>	32,605 <sub>k</sub>	52,150 <sub>h</sub>	66,227 <sub>e</sub>	76,660 <sub>c</sub>	84,090 <sub>b</sub>
T <sub>3</sub>	0,000 <sub>m</sub>	35,775 <sub>j</sub>	57,407 <sub>g</sub>	73,157 <sub>d</sub>	83,173 <sub>b</sub>	88,400 <sub>a</sub>

Ek Çizelge 20. Mantar Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

		Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>
T <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	0.000 <sub>y</sub>	20,775 <sub>x</sub>	34,715 <sub>u</sub>	45,920 <sub>rs</sub>	54,660 <sub>nop</sub>	62,035 <sub>jk</sub>
	V <sub>2</sub>	0.000 <sub>y</sub>	25,465 <sub>w</sub>	40,275 <sub>t</sub>	51,450 <sub>pq</sub>	60,540 <sub>jkl</sub>	68,335 <sub>gh</sub>
	V <sub>3</sub>	0.000 <sub>y</sub>	26,360 <sub>w</sub>	42,370 <sub>st</sub>	53,205 <sub>op</sub>	63,305 <sub>ij</sub>	70,205 <sub>g</sub>
T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	0.000 <sub>y</sub>	26,970 <sub>vw</sub>	45,835 <sub>rs</sub>	59,565 <sub>klm</sub>	70,835 <sub>g</sub>	80,155 <sub>e</sub>
	V <sub>2</sub>	0.000 <sub>y</sub>	34,265 <sub>u</sub>	54,040 <sub>op</sub>	68,250 <sub>gh</sub>	78,280 <sub>ef</sub>	84,965 <sub>cd</sub>
	V <sub>3</sub>	0.000 <sub>y</sub>	36,580 <sub>u</sub>	56,575 <sub>mno</sub>	70,865 <sub>g</sub>	80,865 <sub>e</sub>	87,150 <sub>abc</sub>
T <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>	0.000 <sub>y</sub>	30,245 <sub>v</sub>	48,510 <sub>qr</sub>	63,375 <sub>ij</sub>	75,575 <sub>f</sub>	84,860 <sub>cd</sub>
	V <sub>2</sub>	0.000 <sub>y</sub>	35,740 <sub>u</sub>	57,850 <sub>lmn</sub>	74,690 <sub>f</sub>	85,220 <sub>bc</sub>	89,480 <sub>a</sub>
	V <sub>3</sub>	0.000 <sub>y</sub>	41,340 <sub>t</sub>	65,860 <sub>hi</sub>	81,405 <sub>de</sub>	88,725 <sub>ab</sub>	90,860 <sub>a</sub>

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.