T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNCE TABAKA HALİNDE KURUTULAN PATLICANIN KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ VE KURUMA DAVRANIŞININ MODELLENMESİ

Mustafa TUNÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNELERİ ANABİLİM DALI
KONYA, 2008

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNCE TABAKA HALİNDE KURUTULAN PATLICANIN KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ VE KURUMA DAVRANIŞININ MODELLENMESİ

Mustafa TUNÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNELERİ ANABİLİM DALI

Bu tez 07.10.2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT (Üye)	**Doç. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI (Üye)**	**Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ (Danışman)**

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNCE TABAKA HALİNDE KURUTULAN PATLICANIN KURUMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ VE KURUMA DAVRANIŞININ MODELLENMESİ

Mustafa TUNÇ

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makineleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

2008, Sayfa: 96

Jüri: Prof. Dr. Hüseyin ÖGÜT

Doç. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI

Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

Bu çalışmada, bir laboratuar kurutucusunda, patlıcanın farklı kurutma şartlarındaki (hava sıcaklığı: 45 °C, 55 °C, 65°C ve 75 °C; ön işlem: 6 mm ve 9 mm; hava hızı: 1.5 m/s ve 2.5 m/s) kuruma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca; patlıcanın 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 Sing, Thompson, difüzyon yaklaşımı, geliştirilmiş Henderson ve Papis, Verma ve ark. ve Midilli 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. Tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerleri kullanılarak en uygun model saptanmış ve bunlara ilaveten modelin modelleme yeterliliği de (EF) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; kuruma havası sıcaklığının (T) ve hızının (V) etkileri 6 mm dilim kalınlığındaki patlıcan örnekleri için; $a=[0.7889+0.050 \cdot \ln(T)]$, $k=\{(11.0023+3.1720 \cdot \ln(T)\}$, $n=[1.0204.\exp(1.0580/T)]$, $b=0.0005 \cdot \exp(0.0877/V)$; 9 mm dilim kalınlığı için $a=[0.9853+0.0264 \cdot \ln(T)]$, $k=-(0.7517+0.2964 \cdot \ln(T))$, $n=[0.6899.\exp(0.3403/T),]$ $b=0.0025 \cdot \exp(0.1738/V)$ sabit ve katsayıları ile nem değişimini en uygun biçimde açıklayan Midilli ve ark. ($ANO=a \cdot \exp(-k \cdot t^n)+b \cdot t$)) modeli ile tahmin edilmiştir. Modelleme yeterliliği de 6 mm için 0,998300…0,999123 arasında; 9 mm için 0,998684….0,999188 arasında değişmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Patlıcan, hava sıcaklığı, hava hızı, ön işlem, kuruma hızı, modelleme, modelleme yeterliliği

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF MODELLING OF DRYING BEHAVIOUR AND INVESTIGATION OF DRYING CHARACTERISTICKS FOR THICKNESS LAYER DRYING OF EGGPLANT

Mustafa TUNÇ

Selçuk Üniversity

Graduate School of Naturel and Applied Sciences

Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Asist Proffessor Hakan Okyay MENGEŞ

2008, Pages: 96

Jury: Proffessor Hüseyin ÖĞÜT

Asist Proffesor Haydar HACISEFEROĞULLARI

Asist Proffesor Hakan Okyay MENGEŞ

In this study, a laboratory dryer is used for the drying characteristics of eggplant for different pretreatments were determined. In the trials (air temperatures: 45 °C, 55, °C, 65 °C, 75 °C; air velocities: 1.5 m/s and 2.5 m/s; pretreatment: 6 mm, 9 mm). For sour eggplant drying process and moisture content at any drying time were compared by Newton, Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Logaritmic, two-term, two-term exponential, Wang and Singh, Thompson, difusion approximation, Modified Henderson and Pabis, Verma et al., Midilli et al. models. The effect of drying air temperature and velocity on the coefficients of the best suited model were determined by multiple regression method. Root mean square error (RMSE) and khi squre (χ^2) were used for the determination of the best suitable drying model. Modelling efficiency (EF) was determined. According to the results, The effects of drying air temperature (T) and velocity (V), could be predicted by the Midilli et al. ($MR=a\cdot exp(-k\cdot t)+b\cdot +t)$) with contants and coefficients $a=[0.7889+0.050\cdot ln(T)]$, $k=\{(11.0023+3.1720\cdot ln(T)\}$, $n=[1.0204.exp(1.0580/T)]$, $b=0.0005\cdot exp(0.0877/V)$ for 6 mm and $a=[0.9853+0.0264\cdot ln(T)]$, $k=-(0.7517+0.2964\cdot ln(T))$, $n=[0.6899.exp(0.3403/T)]$ $b=0.0025\cdot exp(0.1738/V)$ for 9 mm. Modeling efficiency (EF), changed between 0,998300…0,999123 for 6 mm and changed between 0,998684….0,999188 for 9 mm.

KEY WORDS: Eggplant, air temperature, air velocity, pretreatment, drying velocity, modeling, modeling efficiency

TEŞEKKÜR

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

Ayrıca istatistik analizlerin yapılmasında yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Osman ÖZBEK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bugüne kadar her türlü konuda desteklerini esirgemeyen, çalışmamın bu hale gelmesine kadar olan süreçte de hep yanımda olan aileme teşekkür mahiyetinde bu çalışmamı hediye etmek istiyorum.

Konya, 2008 **Mustafa TUNÇ**

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No **Sayfa No**

4.1. 1.5 m/s Hız Kademesinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri 24
4.2. 2.5 m/s Hız Kademesinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri 25
4.3. Denemelerin Gerçekleştiği Kurutma Havası Koşulları..... 37
4.4. Kuruma Eğrilerini Açıklamak İçin Kullanılan Modeller 38
5.1. Denemelerde Kullanılan Havanın Isıtma Öncesi ve Sonrası Belirlenen Bazı Psikrometrik Özellikleri 41
5.2. 6 mm Kalınlıkta Farklı Deneme Koşullarında Kullanılan Modellere Ait İstatistiksel Veriler 58
5.3. 9 mm Kalınlıkta Farklı Deneme Koşullarında Kullanılan Modellere Ait İstatistiksel Veriler 59
5.4. 6 mm Kalınlıkta Farklı Çalışma Koşullarında Midilli ve ark. Modelinde Yer Alan Katsayılar ve İstatistiksel Veriler 61
5.5. 9 mm Kalınlıkta Farklı Çalışma Koşullarında Midilli ve ark. Modelinde Yer Alan Katsayılar ve İstatistiksel Veriler 61
5.6. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T) ve Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (6 mm Ön İşlem için)..... 62
5.7. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T) ve Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (9 mm Ön İşlem için)..... 62
5.8. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (6 mm Ön İşlem için)..... 63
5.9. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (6 mm Ön İşlem için)..... 63
5.10. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (9 mm Ön İşlem için)..... 64

5.11. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (9 mm Ön İşlem için).....64

EK ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No **Sayfa No**

1. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama % Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler için Varyans Analiz Sonuçları 73
2. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları .. 73
3. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kuruma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları..... 73
4. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları .. 74
5. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları..... 74
6. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 74
7. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları..... 75
8. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama % Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler için Varyans Analiz Sonuçları 75
9. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları .. 76
10. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kuruma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları..... 76
11. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları .. 76

12. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 76
13. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 77
14. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 77
15. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama % Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler için Varyans Analiz Sonuçları 78
16. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları 78
17. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kuruma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları . 78
18. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Ön İşlem x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 79
19. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 79
20. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Ön İşlem x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 79
21. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Ön İşlem x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 80
22. Patlıcan Örneklerinde 45 °C Sıcaklık için Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri 81
23. Patlıcan Örneklerinde 55 °C Sıcaklık için Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri 82

24. Patlıcan Örneklerinde 65 °C Sıcaklık için Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri 83
25. Patlıcan Örneklerinde 75 °C Sıcaklık için Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri 84
26. Patlıcan Örneklerinde 45 °C Sıcaklık için Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri 85
27. Patlıcan Örneklerinde 55 °C Sıcaklık için Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri 86
28. Patlıcan Örneklerinde 65 °C Sıcaklık için Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri 87
29. Patlıcan Örneklerinde 75 °C Sıcaklık için Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri 88
30. Patlıcan Örneklerinde 45 °C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri 89
31. Patlıcan Örneklerinde 55 °C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri 90
32. Patlıcan Örneklerinde 65 °C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri 91
33. Patlıcan Örneklerinde 75 °C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri 92
34. Patlıcan Örneklerinde 45 °C Sıcaklık için Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri 93
35. Patlıcan Örneklerinde 55 °C Sıcaklık için Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri 94
36. Patlıcan Örneklerinde 65 °C Sıcaklık için Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri 95
37. Patlıcan Örneklerinde 75 °C Sıcaklık için Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri 96

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No **Sayfa No**

2.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statiği açısından anlamı 5
2.2. Tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri.....6
3.1. Çeşitli faktörlerin sarımsak kurutmaya etkileri 13
3.2. Çeşitli faktörlerin soğanın kuruma karakteristiklerine etkileri.....15
3.3. Sıcak hava ile kurutmanın muz dilimlerinin kurutulmasına etkileri.....16
3.4. Mikrodalga kurutmada güç seviyesinin muz kurutmaya etkisi 16
3.5. Mikrodalga kurutmanın ardından sıcak hava ile kurutmada muz dilimlerinin kuruma hızının değişimi 17
3.6. Siklon tipi kurutucunun şematik gösterimi 18
4.1. Deneme düzeninin şematik görünüşü 28
4.2. Deneme düzeninin genel görünüşü.....28
4.3. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçüm noktaları.....30
4.4. Sıcaklık ölçü ve kontrol cihazı 32
4.5. Nem ve kontrol cihazı 33
4.6. Elektronik hava hızı ölçme cihazı.....33
5.1. 1.5 m/s hava hızında kurutulan 6 mm boyutundaki patlıcan örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi.....45
5.2. 2.5 m/s hava hızında kurutulan 6 mm boyutundaki patlıcan örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi.....45
5.3. 1.5 m/s hava hızında kurutulan 9 mm boyutundaki patlıcan örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi.....46
5.4. 2.5 m/s hava hızında kurutulan 9 mm boyutundaki patlıcan örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri % nem değişimi.....46
5.5 45 °C sıcaklıkta ve 6 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 48

5.6. 55 °C sıcaklıkta ve 6 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 48
5.7. 65 °C sıcaklıkta ve 6 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 49
5.8. 75 °C sıcaklıkta ve 6 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 49
5.9. 45 °C sıcaklıkta ve 9 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 50
5.10. 55 °C sıcaklıkta ve 9 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 50
5.11. 65 °C sıcaklıkta ve 9 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 51
5.12. 75 °C sıcaklıkta ve 9 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 51
5.13. 45 °C sıcaklıkta 1.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 52
5.14. 55 °C sıcaklıkta 1.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 53
5.15. 65 °C sıcaklıkta 1.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 53
5.16. 75 °C sıcaklıkta 1.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 54
5.17. 45 °C sıcaklıkta 2.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 54
5.18. 55 °C sıcaklıkta 2.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 55
5.19. 65 °C sıcaklıkta 2.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 55
5.20. 75 °C sıcaklıkta 1.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi 56

5.21. 6 mm ön işlem ve 1.5 m/s kuruma havası hızı koşullarında elde edilen ve Midilli ve ark. modeli ile tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi.....65
5.22. 6 mm ön işlem ve 2.5 m/s kuruma havası hızı koşullarında elde edilen ve Midilli ve ark. modeli ile tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi.....65
5.23. 9 mm ön işlem ve 1.5 m/s kuruma havası hızı koşullarında elde edilen ve Midilli ve ark. modeli ile tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi.....66
5.24. 9 mm ön işlem ve 2.5 m/s kuruma havası hızı koşullarında elde edilen ve Midilli ve ark. modeli ile tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi.....66

SİMGELER

P_b	:Havada bulunan su buharının kısmi basıncı (N/m^2)
$P_ü$	:Ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı (N/m^2)
$P´_b$	:Havanın yaş termometre sıcaklığındaki su buharının kısmi buhar basıncı (N/m^2)
N_d	:Denge durumunda materyalin ulaştığı nem (%)
Φ	:Havanın bağıl nemi (%)
N_{ds}	:Higroskopik limit
IE	:Materyalin ısınma evresi
SHE	:Sabit hızla kuruma evresi
AHE	:Azalan hızla kuruma evresi
BKN	:Birinci kritik nokta
İKN	:İkinci kritik nokta
N_0	:Başlangıç nemi (%)
N_t	:Ürünün t anındaki nemi (%)
t	:Zaman, kuruma süresi (Saat)
ANO	:Alınabilir Nem Oranı
k	:Kuruma sabiti
T	:Kurutma havası sıcaklığı (°C)
Ny_b	:Yaş baz olarak nem miktarı (%)
Nk_b	:Ağırlık esasına göre nem miktarı (%)
W_s	:Ürünün içerdiği su ağırlığı (kg)
W_k	:Kuru madde ağırlığı (kg)
ΔW	:Üründe meydana gelen ağırlık azalması (kg)
W_1	:Ürünün kurumadan önceki ağırlığı (kg)
N_1	: y_b olarak ürünün kurumadan önceki nemi (%)
N_2	: y_b olarak Ürünün kurumadan sonraki nemi (%)
Z	:Kuruma zamanı (Saat)
V	:Kurutma havası hızı (m/s)
RMSE	:Tahminin standart hatası

χ^2	:İyilik derecesi
EF	:Modelin modelleme yeterliliği
a	:Midilli ve ark. modeline ait katsayı
b	:Midilli ve ark. modeline ait katsayı
n	:Midilli ve ark. modeline ait katsayı

İÇİNDEKİLER

ÖZET iii
ABSTRACT iv
TEŞEKKÜR v
ÇİZELGE LİSTESİ vi
EK ÇİZELGE LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ xi
SİMGELER xiv
İÇİNDEKİLER xvi
1. GİRİŞ 1
2. KURUTMAYLA İLGİLİ TEMEL TEORİK BİLGİLER 4
2.1. Kurumanın Statiği 4
2.2. Kurumanın Kinetiği 6
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI 10
4. MATERYAL VE METOD 23
4.1. Materyal 23
4.1.1. Araştırmada kullanılan ürün 23
4.1.2. Araştırmada kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları 23
4.1.3. Deneme düzeni 26
4.2. Metod 29
4.2.1. Örneklerin hazırlanması 29
4.2.2. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçümü 29
4.2.3. Hava sıcaklığının, hava hızının ve bağıl nemin ölçülmesi 31
4.2.4. Ürün neminin belirlenmesi 34
4.2.5. Deneme materyali ürünlerin kuruma değişkenlerinin belirlenmesi 35
4.2.5.1. Kuruma hızının belirlenmesi 35
4.2.5.2. Ürünlere ait kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde dikkate alınan parametreler 36
4.2.6. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellemesi 37

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 41
5.1. Patlıcan Örneklerinin Kurutulmasında Ürün Neminin Kurutma Havası Sıcaklığına, Hava Hızına ve Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşleme Bağlı Olarak Gösterdiği Değişim 41
5.1.1. Kurutmada kullanılan hava sıcaklığının deneme materyali örneklerinin kuruması üzerine etkisi 43
5.1.2. Hava hızının patlıcan örneklerinin kuruması üzerine etkisi 47
5.1.3. Kurutma öncesi uygulanan ön işlemin patlıcan örneklerinin kuruması üzerine etkisi 52
5.2. Patlıcan Örneklerinin Kurutulmasında Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması 57
6. SONUÇ 68
7. KAYNAKLAR 69
EK ÇİZELGELER 73

1. GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin uzun süre saklanabilmeleri için kurutma, soğutma, kimyasal maddelerle muamele gibi bazı işlemlerden geçirilmeleri gerekmektedir. Bunlar içerisinde uygulama alanı en geniş olan yöntem kurutmadır (Ergüneş 1990).

Çağlar boyunca insanların, doğayı kontrol etmedeki başarısı artınca, doğanın ürünler üzerindeki kötü etkisi de ortadan kalkmıştır. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kaydedilen ilerlemeler, insanların daha verimli üretim yapmada attıkları en önemli adımlardan birisidir (Toksoy 1983).

Sebze ve meyvelerin yaş olarak tüketiminin yanısıra, kurutularak değişik amaçlarla kullanımı, saklama koşullarının daha kolay sağlanması ve ekonomik kazanım nedeniyle tercih edilmekte ve uygulanmaktadır. Ülkemizde çok sayıda sebze uygun iklimi nedeniyle bol miktarda üretilmekte ve bir miktarı da kuru ürün olarak dış ülkelerde pazarlanmaktadır.

Kısaca tarım ürünlerinin kurutulması işlemi, nemin üründen uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Eski çağlardan beri insanlar doğal yollarla kurutma yapmaktadır ve bu işlem en eski muhafaza yöntemidir. Muhafaza süresinin kısalmasına besinlerin bozulmasını sağlayan çeşitli mikroorganizmalar sebep olur. Fazla su, bu mikroorganizmaların çoğalıp yaşamlarını sürdürmeleri için elverişli bir ortamdır. Bu zararlı ortamın yok edilmesi ancak meyve ve sebzelerin bileşimlerindeki fazla suyun uzaklaştırılmasıyla yani o besinlerin kurutulmasıyla mümkündür. Kurutmanın yararlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Kurutulan meyve ve sebzelerin hacimleri küçüleceği ve ağırlıkları azalacağı için ambalaj masrafları düşer, taşınmaları kolay olur,
- Kuru meyve ve sebzelerin kullanım alanları daha geniştir,
- Kuru meyve ve sebzeler konserve meyve ve sebzelerden daha ucuza mal olur,
- Kuru meyve ve sebzelerin besin ve kalori değeri aynı miktarlarda tüketilen yaş meyve sebzelerden daha yüksektir.

Tüm sebze, meyve ve baharat dış satımımızın büyük bir kısmını kuru ve kurutulmuş sebze, meyve ve baharat oluşturmaktadır. Bu kuru ve kurutulmuş sebze, meyve ve baharatlardan elde edilen gelir, toplam gelirin büyük kısmını oluşturmaktadır. Türkiye yurtdışına, kuru üzüm, incir ve kayısı dışında, pırasa, soğan, domates, patlıcan, havuç ve pek çok baharlı bitkiyi ihraç etmektedir (Yaldız ve Ertekin, 2001b).

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 payımızın arttırabilmesi için daha hijyenik koşullarda daha kaliteli kuru ürün üretilmesine önem verilmesi gerekmektedir.

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

Ülkemizde ürünlerin büyük bir kısmı halen güneş ışığı altına serilerek açık havada kurutulmaktadır. Ekonomik açıdan ürünlerin bu şekilde kurutulması sonucu kalite ve değer kaybı gibi sorunlarla karşılaşılmaktadır ve kurutma işlemi daha fazla zaman almaktadır. Ayrıca doğal kurutma işlemi sırasında çevresel zararlara karşı da önlem alınamamaktadır. Bu durumlar da kurutma tesis ve sistemlerinin gerekliliğine ve arttırılmasına bir işaret olmaktadır.

Kurutma sistemlerinin tasarlanması ve tasarımların geliştirilmesi amacıyla ürünlerin kuruma davranışlarının incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ihraç ürünlerimizden olan patlıcanın kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma süresinin belirli bir anında ürünün nem içeriğinin saptanması için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğinin araştırılması ve bu amaçla geliştirilmesi düşünülecek yapay kurutucuların tasarımı için temel verilerin ortaya konması amaçlanmıştır. Ayrıca bu konu hakkında yapılacak çalışmalar için bir katkı sağlayacağı düşüncesi de hedeflenmiştir.

2. KURUTMAYLA İLGİLİ TEMEL TEORİK BİLGİLER

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

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

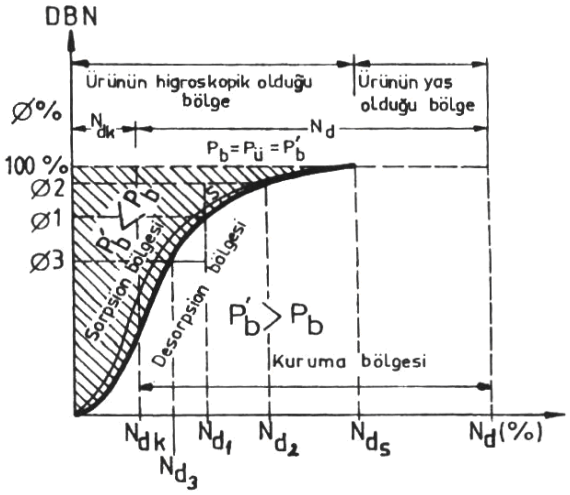
2.1. Kurumanın Statiği

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

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

Denge durumunda; havada bulunan su buharının kısmi basıncı (P_b) ile ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ($P_ü$) birbirine eşittir. Kuruyan materyalin yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak çevre havasının yaş termometre sıcaklığına eşit olduğundan ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ($P_ü$) ile havanın yaş termometre sıcaklığındaki su buharının kısmi buhar basıncı (P'_b) eşit alınabilir. Bu nedenle denge durumunda materyalin ulaştığı nem (N_d), havanın kısmi buhar basıncına ve sonuç olarak bağıl nemine (Φ) bağlıdır.

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



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

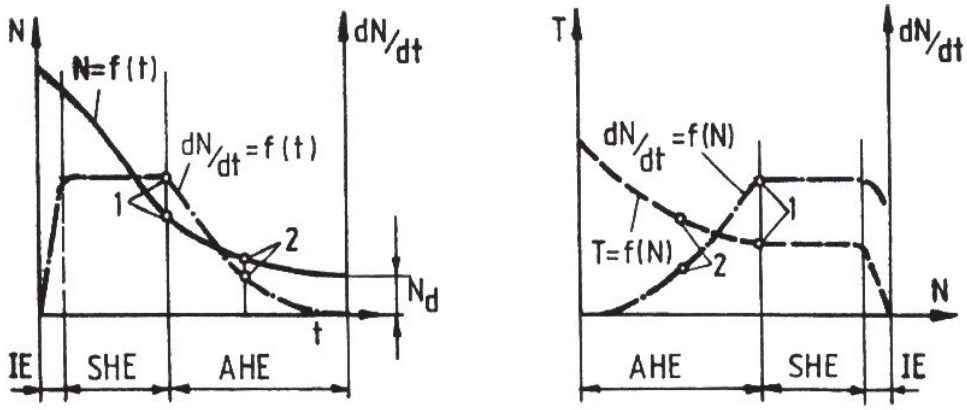
Şekil 2.1'de görüldüğü gibi izoterm eğrisinin DBN (Denge Bağıl Nemi) ekseni ile arasında kalan bölge içindeki her noktada ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı (P'_b), havada bulunan su buharının kısmi basıncından (P_b) daha küçük olduğundan bu bölge materyalin bünyesine nem aldığı şartları belirtmektedir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

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

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

2.2. Kurumanın Kinetiği

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



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

Şekil 2.2'nin incelenmesinden anlaşılacağı üzere kuruma olayının kinetik olarak incelenmesi sırasında aşağıdaki ilişkiler dikkate alınmaktadır:

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

Kuruma olayının gerçekleşmesi sırasında üç evre ile karşılaşılmaktadır (Yağcıoğlu 1999):

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

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

Sabit hızla kuruma evresinde (SHE), kurutulacak materyalin yüzeyi başlangıçta ince bir su tabakası ile kaplıdır. Öncelikle bu su tabakası buharlaşmaya başlar. Ürünün özelliklerine bağlı olmayan bu buharlaşma tamamen dış hava koşullarınca belirlenmekte ve nem materyalin yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakasının yüzeyinden buharlaşan su ile aynı davranışı göstererek buharlaşmaktadır. Yüzeydeki serbest su tabakası sabit bir kuruma hızı ile buharlaşırken devamlı olarak hücre aralarındaki hava boşluklarının meydana getirdiği kılcal borularla beslenmektedir, diğer bir ifadeyle, sabit hızla kuruma evresi (SHE) boyunca, suyun materyal yüzeyine iletim hızı ile yüzeyden buharlaşan suyun hızı birbirine eşit olmaktadır (Akyurt ve ark. 1971 ve Yağcıoğlu 1999).

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

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

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

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

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

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

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

Bu evre sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla; teorik, yarı teorik, deneysel yöntemlerle elde edilen çeşitli matematiksel modellerden yararlanmak mümkündür.

Bu modellerin bazı yararlı ve sakıncalı yönlerinin olduğu kuşkusuzdur. Teorik modeller her türlü madde ve koşul için uygulanabilmektedir. Ancak çözüm için gereken eşitliklerin birçok parametre ve karmaşık yapı içermesi bu tür modellerin kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Yarı teorik modeller daha az karmaşık olmakla birlikte içerdikleri parametrelerin yalnızca ele alınan ürünlerle ilgili olması kullanımını kısıtlamaktadır. Deneysel yollarla elde edilen verilere dayanarak kuruma hızının belirlenmesinde, karmaşık matematiksel eşitlikler yoktur. Ancak elde edilen eşitlikler deneme yapılan materyal ve deneme koşulları için geçerli olmaktadır. Yarı

teorik modeller içinde en yaygın kullanım alanı bulunan eşitlik “logaritmik kurutma” denklemi olarak bilinmektedir.

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

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

Eşitlikte (N_0) başlangıç nemini, (N_t) t anındaki nemi, N_d ise denge nemini ifade etmektedir. Eşitliğin sol tarafında yer alan kısmı, kurutmanın farklı t anlarındaki alınabilir nem oranı (ANO) değerlerini vermektedir. k ise kuruma sabiti olarak adlandırılmakta ve kurutulacak ürün ve kurutma şartlarına göre deneysel verilerden yararlanılarak belirlenmektedir.

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kurutma konusunda yapılan çalışmalar daha çok;

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

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

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

Ben-Mobrouk ve ark. (1990), hava ısıtmalı, fanlı laboratuar tipi kurutucuda, tarımsal ürünlerin ince tabakalı formda kurutulması üzerine çalışmışlardır. Çalışmaları 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 alanının etkisine konulunca, ürünün gösterdiği davranış ve uğradığı değişikliklerin belirlenmesi ve en uygun kurutma yönteminin deneysel olarak bulunmasını amaçlamışlardır. Araştırma sonuçlarına göre; mikrodalga alanına konulan pırasa, kırmızı ve yeşil biber, patlıcan, soğan ve patatesin uygun mikrodalga güç kademesi seçilerek, mikrodalga ile sebzelerin reaksiyona girmesini önleyen düzenlemelerle hiç bir kalite kaybı olmaksızın, konveksiyonlu kurutmaya kıyasla, 1/5 -1/12 arasında değişen daha kısa sürede kurutmanın mümkün olabileceğini belirlemişlerdir.

Kachru ve Singh (1994), yaptıkları çalışmalarında ön işleme tutulmuş (çizme ve ıslatma) yeşil fasulyelerin farklı kurutma havası sıcaklığı ve hava hızlarında kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Kurutma havası sıcaklıkları 20–55 °C, hava hızları ise 0.8–2 m/s arasında seçmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre; yeşil fasulyelerin kurutma öncesi ön işleme tutulmasının, kurutma zamanını önemli oranda kısalttığını ve ön işleme tutulmuş fasulyelerin nem içeriğinin %55'ten %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. Denemeler süresince fasulye ve biberler bütün ve kıyılmış halde, soğan ise sadece kıyılarak kurutmuşlardır. Sonuçta, 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 kurumayı daha iyi ifade ettiği belirlenmiştir. Ayrıca çalışmalarında kurutulan ürünlerin dehidrasyon özellikleri araştırılmış ve sera içerisinde kıyılarak kurutulan soğanın dehidrasyon yeteneği daha iyi bulunmuştur.

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

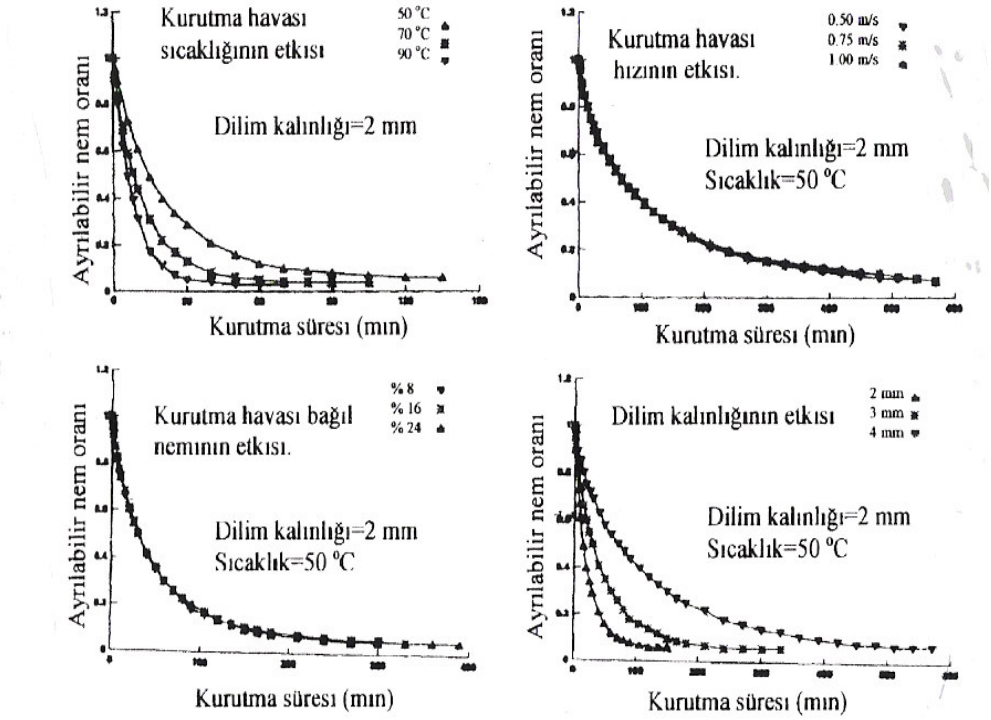
- %0.5 potasyum metabisülfat (15 dakika)
- %0.5 sodyum benzota (15 dakika)

- Buhara tutma ve sonra su ile soğutma (3 dakika)
- Hiçbir ön işlem yok.

Araştırma sonuçlarına göre; mantarların nem içeriğini %92.6'dan, %10'a indirmek için gerekli kurutma zamanı ortalama 5.5-6.5 saat olarak bulunmuştur. En iyi damak tadı kalitesi, 15 dakika %0.5'lik potasyum metabisülfat çözeltisine bandırılmış mantar örneklerinde 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 1,00 m/s hava hızı ve %10, %15 ve %20 bağıl nem koşullarında kurutarak bu parametrelerin kurumaya etkilerini incelemişlerdir. 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.

Madamba ve ark. (1996a), 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 3.1'de çeşitli faktörlerin sarımsağın kuruma hızına olan etkileri verilmiştir.



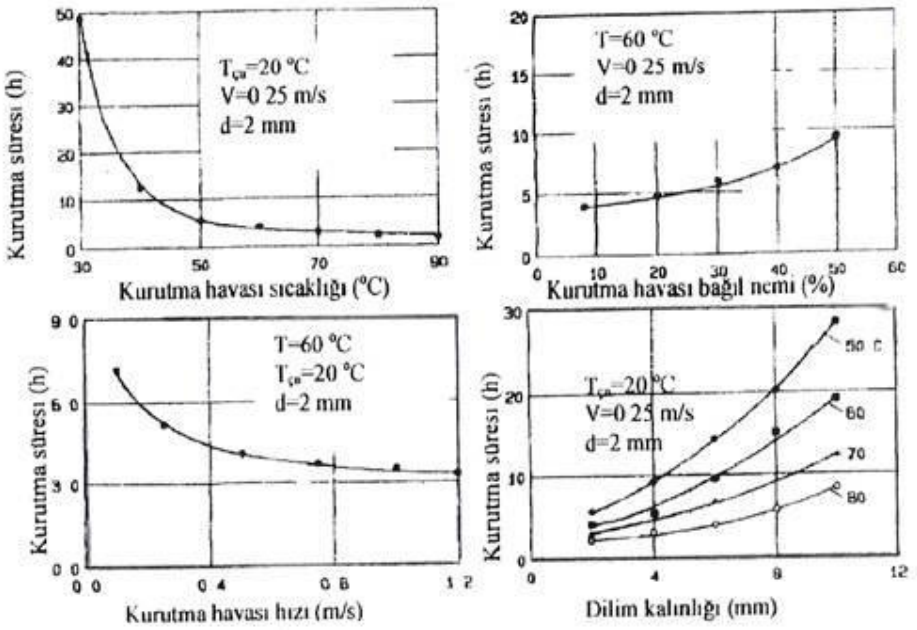
Şekil 3.1. Çeşitli faktörlerin sarımsak kurutmaya etkileri (Madamba ve ark. 1996)

Okuyan (1997), güneş enerjisiyle, meyve ve sebzelerin kurutulması üzerine geliştirilen farklı teknolojik sistemleri incelemiş ve bu sistemlerin önemini ortaya koymuştur.

Lin ve ark. (1998), taze fasulyenin kurutulmasında uygulanan ön işlemin ve kurutma havası sıcaklığın etkilerinin belirlendiği çalışmalarında, örnekleri 100 °C sıcaklıkta 15 saniye süreyle 40 g/l'lik NaOH çözeltisine daldırma, 1 dakika 85 °C sıcaklıktaki saf suda haşlama ve 1 dakika süreyle buharda haşlama 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.

Mengeş (1999), çalışmasında, Konya Bölgesi'nde yetiştirilen erik, vişne, elma ve kayısıların farklı hava sıcaklığı, hava hızı ve ön işlem şartlarında gösterecekleri kuruma karakteristikleri belirlemeye çalışmıştır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 60 °C, 70 °C ve 80 °C; hava hızı olarak 1.0 m/s, 2.0 m/s, 3.0 m/s olarak alınmıştır. Denemeler sonucunda, hava sıcaklığının ve hava hızının ürünlerin kuruma hızı üzerine olan etkisi belirlenmiştir. Deneme materyali ürünlere ait kuruma sabiti (k) değerleri ise, vişne örneklerinde 0.097…0.834, kayısı örneklerinde 0.273.…1.264 arasında bulmuştur.

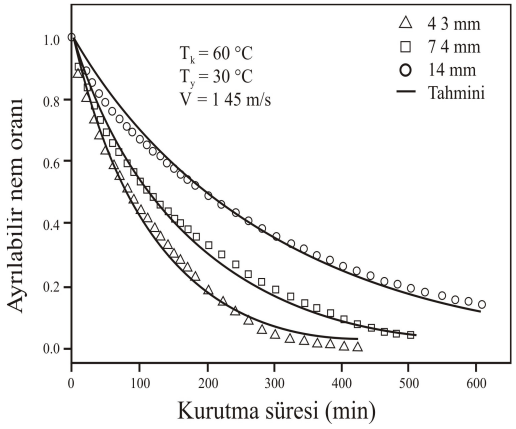
Sarsavadia ve ark. (1999), yapmış oldukları çalışmada, soğanları elle soyup elektrikli dilimleme makinesi ile dilimlemişler ve kurutma havası sıcaklığı, bağıl nemi ve hızının, ayrıca dilim kalınlığının soğanın kuruma karakteristiklerine ve kalite kriterlerine etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, kurutma havası sıcaklığının 65 °C'nin üzerine çıkması kalitede azalmaya neden olmaktadır. Kurutma havası hızının hem kuruma davranışına hem de kaliteye önemli etkisi yoktur. Hava hızının 0.5 m/s'nin üzerinde olması, kurutma süresi ve renkte etkili olmadığından enerji tasarrufu açısından bu değerin üzerine çıkılmamalıdır. Bununla beraber 0.1 m/s'nin altındaki hava hızları kurutma süresini önemli düzeyde etkiler. Yeniden su alma kapasitesi 75 °C sıcaklıkta 25 °C sıcaklıktakinden daha hızlıdır; ancak alınan su miktarında bir değişme yoktur. Kuru soğanlar ilk nem içeriklerinin yaklaşık %90'ına ulaşırlar. Kalite açısından 60 °C en uygun sıcaklık değeridir. 2 ve 4 mm'lik dilim kalınlığı kalite kriterleri açısından en uygun değerlerdir. Şekil 3.2'de çeşitli faktörlerin soğanın kuruma karakteristiklerine olan etkileri görülmektedir.



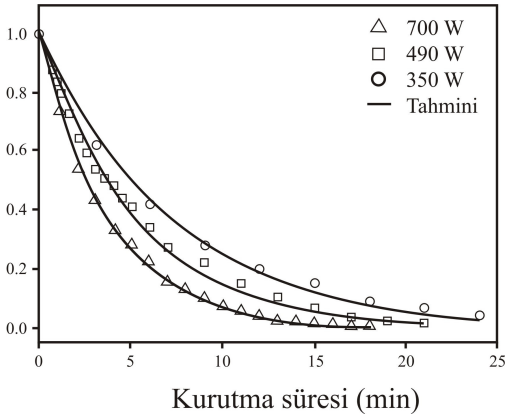
Şekil 3.2. Çeşitli faktörlerin soğanın kuruma karakteristiklerine etkileri (Sarsavadia ve ark. 1999)

Adam ve ark. (2000), soğan dilimlerinin kalınlıklarının kurumaya etkilerini incelemişler ve dilim kalınlıklarının azalması ile kurutma süresinin azalacağını belirlemişlerdir.

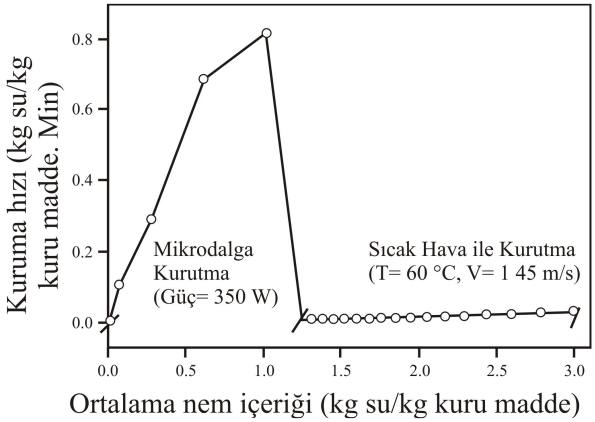
Maskan (2000), tarafından üç farklı yöntemle (sıcak hava ile kurutma, mikrodalga ile kurutma ve bunların kombinasyonu olarak) muz kurutulması konusunda çalışılmış ve bu yöntemler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre; sıcak hava ile kurutmada nem kaybı oranının ilk başlarda yüksek olduğu, fakat daha düşük nem içeriklerinde su hareketinin yavaşladığı (Şekil 3.3), mikrodalga ile kurutmada güç seviyesinin artması ile kuruma hızının arttığı (Şekil 3.4), mikrodalga ile kurutmadan sonra sıcak hava ile kurutma yapılmasının kuruma hızını artırarak kurutma süresini kısalttığı ve bu işlem sonucu elde edilen ürünlerin renk ve yeniden su alma kapasitesi açısından diğer yöntemlerden farklı olmadığı saptanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.3. Sıcak hava ile kurutmanın muz dilimlerinin kurutulmasına etkiler (Maskan 2000)



Şekil 3.4. Mikrodalga kurutmada güç seviyesinin muz kurutmaya etkisi (Maskan 2000)



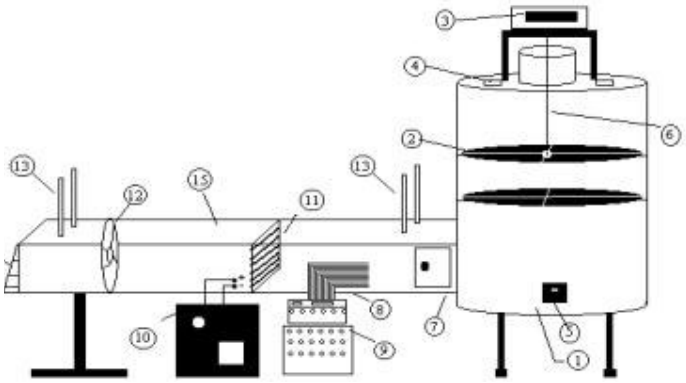
Şekil 3.5. Mikrodalga kurutmanın ardından sıcak hava ile kurutmada muz dilimlerinin kuruma hızının değişimi (Maskan 2000)

Yaldız (2001), yaptığı çalışmada ihraç ürünlerimizden olan havuç ve pırasanın kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma süresinin belirli bir anında ürünün nem içeriğinin saptanması için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğini araştırmayı amaçlamıştır. Bu ürünleri 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C ve 70 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve 0.5, 1.0 ve 1.5 m/s kurutma havası hızlarında kurutarak kuruma sürelerini belirlemiştir. Elde edilen verileri Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, iki terimli, iki terimli exponansiyel, Wang ve Sing, Thompson, Difüzyon Yaklaşımı, Verma ve ark. ile Geliştirilmiş Henderson ve Pabis matematiksel modellerine uygulayarak en uygun modeli belirlemiştir.

Akpınar ve Biçer (2002), tarımsal ürünlerin kurutulmasında, siklon tipi bir kurutucunun kullanılabilirliği araştırılmışlardır. Siklon tipi kurutucuda, geleneksel kurutma sistemlerinden farklı olarak, örneklerin ısıtılmış hava ile teması, eksenel akış ortamı yerine dönel akış ortamında gerçekleşmiştir. Dönel akış, havanın kurutma odasına alt taraftan açısal yönde verilerek sağlanmıştır. Deneylerde 12.5x12.5x25 mm ve 8x8x18 mm ebatlarında dikdörtgenler prizması şeklinde kesilmiş patates örnekleri kullanılmıştır. Örneklerin kuruma karakteristiği, kurutma havasının 60…70 °C giriş sıcaklığında ve 1m/s hız şartlarında dönel akış için incelenmiştir. Deney setinde gerekli düzenlemeler yapılarak, deneyler aynı fiziki

şartlarda eksenel akış için de tekrarlanmış ve her iki akış kurutma süresi açısından karşılaştırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre; kurutma havası giriş sıcaklığının artmasıyla, kuruma hızı küçük boyuttaki örneklerde büyük boyuttaki örneklere göre daha fazla artmaktadır. Örnek boyutu küçüldükçe kuruma hızı artmış ve dolayısıyla kurutma süresi azalmıştır. Dönel akış ortamında kurutulan ürünlerde daha kısa sürede daha düşük nem oranlarına inildiği deney sonuçlarından anlaşılmıştır. Farklı kurutma havası giriş sıcaklığına bağlı olarak dönel akış ortamında kurutma süresi patates örneklerinde 12.5x12.5x25 mm boyutunda 640–740 dakika, 8x8x18 mm boyutunda 400–520 dakika arasında değişim göstermiştir. Eksenel akışta yapılan deneylerde dönel akışa göre kurutma süresinin yaklaşık 30–40 dakika arttığı belirlenmiştir. Şekil 3.6'de siklon tipi kurutucunun şematik şekli görülmektedir.



Şekil 3.6. Siklon tipi kurutucunun şematik gösterimi (Akpınar ve Biçer 2002): 1. Kurutma odası, 2. Tepsiler, 3. Terazi, 4. Gözetleme camları, 5. İç sıcaklığı gösteren termometre, 6. Tartım çubuğu, 7. Kumanda panosu, 8. Termo elemanlar, 9. Dijital termometre ve kanal seçici, 10. Voltaj transformatörü, 11. Isıtıcılar, 12. Fan, 13. Yaş ve Kuru Termometreler, 14. Klape, 15. Kanal

Wang ve Chao (2002), elmanın kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, farklı kalınlıklarda (3, 5 ve 7 mm) dilimlenmiş elma örneklerinin bir kısmını üç farklı dozda (2, 5 ve 6 KGY) radyoaktif madde ile ön

işleme tabi tutmuşlar bir kısmını da ön işlem uygulamadan dilimlenmiş olarak üç farklı sıcaklıkta (50, 60, 75 °C), sabit hava hızında (1.8 m/s) ve sabit nem (% 16.8) koşullarında kurutmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre; radyasyona tabii tutulmuş örneklerde kuruma süresinin azaldığı ve kuruma oranının arttığı, ayrıca kurutma sıcaklığı ve dilim kalınlığının ön işlem uygulanmış örneklerde kurutma oranını etkilediği, bu etkileşimde sıcaklık arttıkça ve dilim kalınlığı azaldıkça kuruma oranının arttığı belirlenmiştir.

Akpınar ve Biçer (2003), kabağın kuruma davranışını siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde, 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), patates, havuç, biber, sarımsak, mantar, soğan, pırasa, bezelye, mısır, kereviz, kabak ve domatesin kurutma karakteristiklerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada üç farklı sıcaklık (65, 75 ve 85 °C), üç farklı kurutma havası hızı (1.5, 2.0 ve 2.6 m/s) ve üç farklı hava nemi değeri (% 20, 30 ve 40) koşullarında deneme yapmışlardır. Denemede hava hızının, sıcaklığın ve nemin kontrol edilebildiği bir kurutucu kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; denemeye alınan sebzelerin tamamı için kurutma oranında en önemli faktörün kurutma sıcaklığı olduğu, kurutma havası hızı ve neminin sıcaklığa göre daha az etkili olduğu belirlenmiştir.

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

Toğrul ve ark. (2005a), 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 incelemişlerdir. 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 etkini araştırmışlar ve sonuçta sıcaklık ve kalınlıktaki artışın difüzyon katsayısı artışına sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Toğrul ve ark. (2005b), dört farklı kalınlıkta kestikleri muz dilimlerini infrared kurutucuda 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklık değerlerinde kurutarak muz dilimlerinin kuruma kinetiğini incelemişlerdir. 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.

Mengeş ve Ertekin (2006a), yaptıkları araştırmada bir laboratuar kurutucusunda tek tabaka halinde kükürtlü ve kükürtsüz olarak kurutulan Malatya Bölgesi Hacıhaliloğlu tipi kayısının kuruma periyodu boyunca göstereceği nem değişimini belirlemek amacıyla 14 farklı matematiksel model birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Ayrıca kuruma havası sıcaklığının ve kuruma havası hızının en uygun modeldeki sabite ve katsayılara olan etkilerini çoklu regresyon yöntemiyle incelenmiştir. Sonuç olarak; kuruma havası sıcaklığının ve hızının etkileri kükürtsüz kayısılar için k=4,578252+1,144643 ve n=0,888040, kükürtlü kayısılar için ise k=0,470893+0,078775V ve n=0,017786 exp (0,051935T) sabit ve katsayıyla nem değişimini en uygun biçimde açıklayan Page modeli ($MR=\exp(-kt^n)$) ile tahmin edilmiştir.

Mengeş ve Ertekin (2006b), yaptıkları çalışmada kurutma öncesi ön işlem uygulanmışlar ve uygulanmamış erik örneklerinin nem değişimi değerlerini 14 farklı model ile açıklanmaya çalışılmışlardır. Ayrıca kuruma olayını en iyi şekilde açıklayan modelde bulunan katsayılara, kurutma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkilerini çoklu regresyon yöntemiyle incelenmişlerdir. Tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerleri kullanılarak en uygun modeli saptamışlar ve bunlara ilaveten modelin modelleme yeterliliğini de (EF) belirlemişlerdir. Artı olarak farklı sıcaklıklar için ürünlere ait efektif difüzyon katsayılarını da hesaplanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre; gerek bandırılmış, gerekse bandırılmamış erik örneklerinin kuruma davranışını diğer modellere göre daha iyi

şekilde açıklayan model olarak Midilli ve ark. belirlenmiştir. Difüzyon katsayısı değerleri ise, bandırılmamış erik örneklerinde $1,179x10^{-9}$….$6,671\ x10^{-9}$ m^2/s ,bandırılmış erik örnekleri için ise $1,197x10^{-7}$….$4,551\ x10^{-7}$ m^2/s arasında belirlenmiştir.

Mengeş ve Ertekin (2006c), bir laboratuar kurutucusunda vişnenin 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 Sing, Thompson, difüzyon yaklaşımı, geliştirilmiş Henderson ve Papis, Verma ve ark. ile Midilli ve ark. modelleri birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Kuruma olayını en iyi açıklayan modelde bulunan katsayılara, kurutma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkilerini çoklu regresyon yöntemiyle incelenmişlerdir. Tahminin standart hatası (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerlerini kullanarak en uygun modeli saptamışlar ve bunlara ilaveten modelin modelleme yeterliliğini de (EF) belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, Midilli ve ark. modelinin vişnenin 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 0.9970 ile 0.9994 arasında değişmiştir. Ayrıca, Fick'in II. Yasasının çözümünden her bir sıcaklık için difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Artan sıcaklık ile hem difüzyon katsayısının hem de aktivasyon enerjisinin arttığı görülmüştür**.**

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

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

Wu ve ark. (2007), patlıcanın vakumla kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları bir çalışmada, 45x25x20 mm boyutlarında dikdörtgen şeklinde dilimlenmiş patlıcanları üç farklı vakum basıncında (2.5, 5.0 ve 10 kPa) ve üç farklı kurutma havası sıcaklığında (30 °C, 40 °C ve 50 °C) kurutmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre; vakum basıncının, kurutma işleminde önemli bir etkiye sahip olmadığını, kurutma sıcaklığının ise kurutma işleminde önemli derecede etkili olduğunu, sıcaklığın artmasıyla patlıcanların kuruma süresinin önemli ölçüde kısaldığını tespit etmişlerdir.

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

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

4.1.1. Araştırmada kullanılan ürün

Bu çalışmada, araştırma materyali olarak patlıcan seçilmiştir. Piyasadan günlük olarak alınan ve S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü deneme laboratuarına getirilen patlıcan örnekleri gerekli olduğu durumlarda denemeye alınmadan önce birkaç saat süreyle bir soğutucuda muhafaza edilmişlerdir.

4.1.2. Araştırmada kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları

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

Elektrik Motoru

Markası	: Gamak
Tipi	: AGM BO 40
Gücü	: 0,55 kW
Devir	: 1365 min^{-1}
Voltaj	: 220 – 380 V (Akım) 2,8 / 1,6
Frekans	: 50 Hz

Aspiratör (Fan)

Markası	: Çubuk
Tipi	: ÇTÖR – 26

Alternatif Akım Motoru Devir Kontrol Cihazı (Elektronik Varyatör)

Markası	: Dinverter
Tipi	: DIN 1220220B
Giriş Gerilimi	: 200 V – 240 V ± %10
Giriş Faz Sayısı	: 1
Motor Gücü	: 2,2 kW
Giriş Akımı	: 26 A
Çıkış Akımı	: 18 A

Tartımda Kullanılan Ölçüm Cihazı

Markası	: Shimadzu
Ölçüm Hassasiyeti	: 0,01 g
Ölçüm Aralığı	: 0 – 1200 g
Voltaj ve Akımı	: 16 V – 80 mA
Çalışma Frekansı	: 50 Hz
Hata Sınıfı	: ±%0,1

Mikro İşlemcili Sıcaklık Kontrol Cihazı

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

Sıcaklık Ölçer

Markası	: Elimko
Tipi	: E – RH – T – 101
Ölçüm Aralığı	: 0 – 300 °C
Çalışma Gerilimi	: 24 V

Hava Hızı Ölçer

Markası	: Testo – term
Ölçüm Aralığı	: 0,4 – 40 m/s
Hata Sınırı	: % 0,1

Güç Kaynağı

Markası	: Elimko
Tipi	: E – 7000 – GK
Çıkış Gerilimi	: 2x24 V
Çalışma Gerilimi	: 220 V
Çalışma Frekansı	: 50 Hz

Kurutma Fırını

Markası	: Nüve
Tipi	: FN 500
Sıcaklık Sınırı	: 0 – 250 °C
Hacim	: 120 dm^3
Çalışma Gerilimi	: 120 V
Çalışma Frekansı	: 50 Hz

4.1.3. Deneme düzeni

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

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

Kurutma çalışmalarında, kurutmada kullanılacak hava şartlarını kontrollü bir biçimde düzenleyebilen bir deneme düzenine ihtiyaç vardır. Bu amaçla bu çalışmada Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünün kurutma laboratuarında mevcut olan kurutma tesisi, denemelerin yürütülmesi için kullanılmıştır. Deneme düzeninin şematik görünüşü Şekil 4.1'de, genel görünüşü ise Şekil 4.2'de görülmektedir.

Deneme düzeni üç ana bölümden oluşmaktadır.

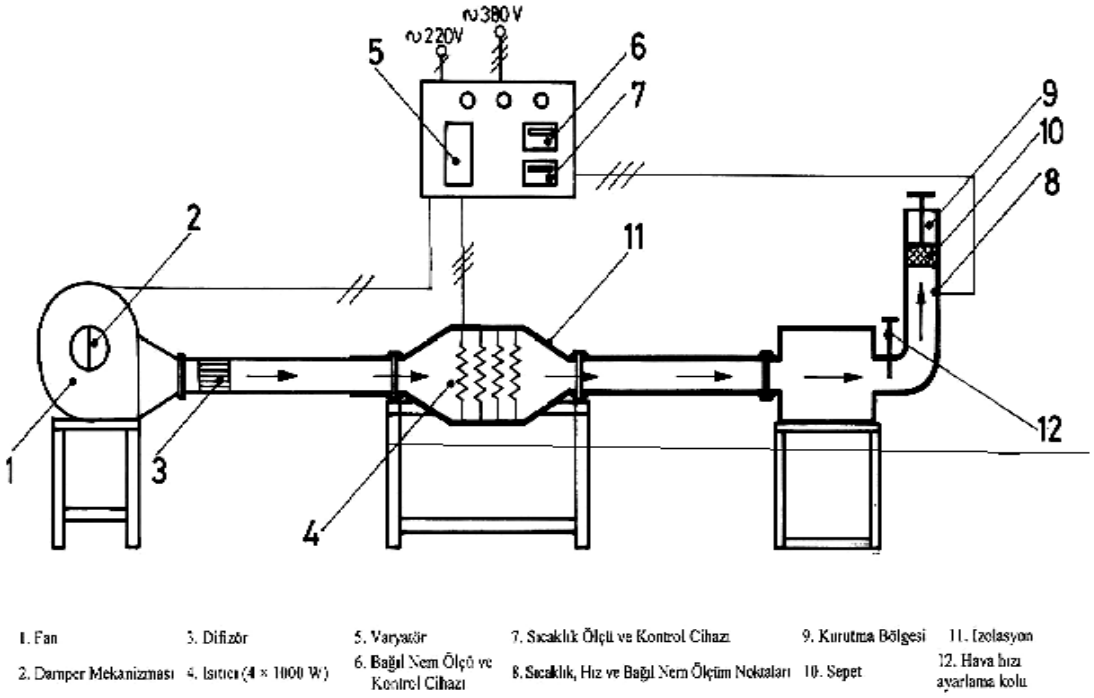
- Kurutma havasını sağlayan fan ve hava debisi ayar düzeni,
- Kurutma hava sıcaklığını düzenleyen elektriksel ısıtıcıların ve sıcaklık kontrol ünitesi ve
- Kurutma ünitesi

Denemeler sırasında, kurutma için gerekli olan havanın sağlandığı fanın devri, Dinverter A.C. elektrik motoru devir kontrol ünitesi ile kademesiz olarak ayarlanmak suretiyle istenilen değerler elde edilmiştir. Ayrıca fanın giriş kısmında hava emiş kesit alanını değiştirebilen bir damper mekanizması yer almaktadır. Fanın havaya kazandırdığı türbülansın azaltılması ve düzenli bir hava akımı sağlamak

amacı ile difüzör bulunmaktadır. Hava kanalı içerisinde yer alan ısıtıcılar, havayı istenilen kuru termometre sıcaklığına kadar ısıtılabilmektedir. Isıtıcı bölümünü oluşturan 4x1000 watt gücündeki devre elemanları birbirinden bağımsız olarak devreye girebilmektedir. Bu elemanlardan birisinin devresine seri olarak bağlanan sıcaklık kontrol ünitesi sayesinde bu direnç, sıcaklık değişimine bağlı olarak devreye girip çıkmakta ve ayarlanan sıcaklığın deneme süresince sabit değerlerde kalması sağlanabilmektedir.

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

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



Şekil 4.1. Deneme düzeninin şematik görünüşü (Mengeş 1999)



Şekil 4.2. Deneme düzeninin genel görünüşü

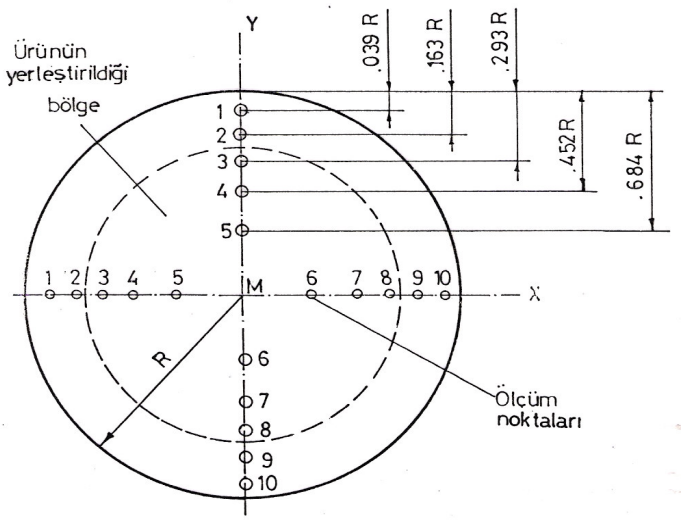
4.2. Metod

4.2.1. Örneklerin hazırlanması

Kurutma öncesi uygulanan ön işlemin kurutma hızına olan etkisini belirleyebilmek için deneme materyali patlıcan örnekleri kurutma öncesi ön işleme tabi tutulmuşlardır. Bu amaçla kurutulacak ürünler mekanik kesiciler yardımıyla 6 mm ve 9 mm kalınlıklarında kesildikten sonra denemeye alınmışlardır. Ön işleme tabi tutulmuş örneklerin kalınlıkları üçer tekerrürlü olarak dijital bir kumpas yardımıyla ölçülmüştür.

4.2.2. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçümü

Hava kanallarının kurutma hacmi kesitlerinde, hava kanallarında hız ölçümü ile ilgili standartlarda (Anonymous 1962 ve Henderson ve Perry 1955) belirtildiği şekilde, kanal kesit alanlarının belirli noktalarındaki hava hızları elektronik hava hızı ölçme cihazıyla ölçülmüş ve kanal kesitinin belirli noktalarındaki hız değişimi incelenmiştir. Hız ölçümleri denemelerde kullanılan iki hız kademesi için yapılmıştır. Şekil 4.3'de kurutucu kanal kesitindeki hız ölçüm noktaları, iki hız kademesi için dairesel kanalda ölçülen hız değerleri ise Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.



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

Çizelge 4.1. 1.5 m/s Hız Kademesinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri

Ölçüm Noktaları	Hız Kademesi 1.5 m/s		Ölçüm Noktaları	Hız Kademesi 1.5 m/s	
x ekseni			Y ekseni		
1	1.30		1	1.30	
2	1.40		2	1.40	
3	1.40		3	1.40	
4	1.50		4	1.50	
5	1.50		5	1.50	
M	1.50	Ort:1.4714	M	1.60	Ort:1.4857
6	1.50		6	1.50	
7	1.50		7	1.50	
8	1.40		8	1.40	
9	1.40		9	1.40	
10	1.30		10	1.30	

Çizelge 4.2. 2.5 m/s Hız Kademesinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri

Ölçüm Noktaları	Hız Kademesi 2.5 m/s		Ölçüm Noktaları	Hız Kademesi 2.5 m/s	
x ekseni			y ekseni		
1	2.20		1	2.20	
2	2.30		2	2.30	
3	2.40		3	2.40	
4	2.50		4	2.50	
5	2.50		5	2.50	
M	2.50	Ort:2.4714	M	2.60	Ort:2.4857
6	2.50		6	2.50	
7	2.50		7	2.50	
8	2.40		8	2.40	
9	2.30		9	2.40	
10	2.30		10	2.30	

Çizelge 4.1 ve 4.2'deki değerler incelenecek olursa, kanal kesiti içerisindeki hava akış hızında önemli bir değişiklik görülmemektedir. Özellikle ürünün yerleştirildiği bölgede oldukça düzenli bir hava akışı gözlenmektedir.

4.2.3. Hava sıcaklığının, hava hızının ve bağıl nemin ölçülmesi

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

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

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

Denemelerde kullanılan sıcaklık ölçü ve kontrol cihazı Şekil.4.4'de, nem ve kontrol cihazı Şekil 4.5'de ve hava hızlarının ölçülmesinde kullanılan elektronik hava hızı ölçme cihazı Şekil.4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.4. Sıcaklık ölçüm ve kontrol cihazı



Şekil 4.5. Nem ölçme ve kontrol cihazı



Şekil 4.6. Elektronik hava hızı ölçme cihazı

4.2.4. Ürün neminin belirlenmesi

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

Denemeler sırasındaki nem değişimini belirlemek amacıyla, denemelerin yapılmaya başlandığı andan itibaren kurutulmakta olan ürünler, belli zaman aralıklarında alınıp, kurutma ortamının hemen yanına yerleştirilen Shimadzu marka dijital bir terazi ile 0.01 gram hassasiyette sürekli olarak tartılmıştır. Kurutma işlemine üründe herhangi bir ağırlık kaybının görülmediği denge nemi (N_d) değerine ulaşıldıktan sonra son verilmiştir. Daha sonra örneklerin farklı zamanlardaki nem miktarları, yaş baz ($\%Ny_b$) ve ($\%Nk_b$) ağırlık esasına göre aşağıda verilen eşitliklerle hesaplanmıştır (Ayık 1985, Erdoğan 1984 ve Yağcıoğlu 1999).

$$\%N_y = \frac{W_S}{W_S + W_k} \cdot 100 \quad \text{.....(2)}$$

$$\%N_k = \frac{W_S}{W_k} \cdot 100 \quad \text{.....(3)}$$

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

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

$$\%N_k = \frac{N_{yb}}{100 - N_{yb}} .100 \quad \text{.....(4)}$$

$$\%\, N_y = \frac{N_k}{100 + N_{kb}}.100 \quad \text{.....(5)}$$

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

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

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

4.2.5. Deneme materyali ürünlerin kuruma değişkenlerinin belirlenmesi

4.2.5.1. Kuruma hızının belirlenmesi

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

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

Kuruma hızının belirlenmesinde yararlanılan ikinci yöntemde ise “Alınabilir Nem Oranı (ANO)” kavramı kullanılmaktadır. Boyutsuz bir terim olan Alınabilir Nem Oranı (ANO), 7 nolu eşitlikte verilmiş bulunan genel kurutma denkleminin sol

tarafında yer alan oransal bir büyüklüktür. Bu değer, kurutma sırasında, herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının (N_t-N_d), üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına (N_0-N_d) oranını ifade etmektedir. Bu çalışmada bu yöntem kullanılmıştır.

Denemeler sırasında ürünlere ait belirlenen başlangıç nemi (N_0), herhangi bir t anındaki nem miktarı (N_t), denge nemi (N_d) ve t değerlerinden yaralanılarak hesaplanan Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerleri Ek Çizelge 30…33'te verilmiştir.

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

4.2.5.2.Ürünlere ait kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde dikkate alınan parametreler

Farklı kuruma koşullarında enemeye alınan patlıcan örneklerinin kuruma karakteristiklerini belirlemek amacıyla düzenlenen kurutma denemeleri, faktöriyel deneme desenine uygun şekilde ve iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmada kuruma zamanı Z sembolüyle gösterilmiştir. Varyans analizleri, 6 mm ve 9 mm kalınlık için yarımşar saatlik zamanlar kullanılarak ve kuruma süreleri dikkate alınmak suretiyle; her iki dilim kalınlığı için kullanılan zaman dilimleri aşağıda verilmiştir:

- 6 mm için, Z_1=0, Z_2=0.5, Z_3=1, Z_4=1.5 saat ve
- 9 mm için, Z_1=0, Z_2=0.5, Z_3=1, Z_4=1.5, Z_5=2, Z_6=2.5 saat.

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

Denemeler Çizelge 4.3'te belirtilen kuruma koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3. Denemelerin Gerçekleştiği Kurutma Havası Koşulları

Hava sıcaklığı ($^{\circ}$C)	45, 55, 65, 75
Hava Hızı (m/s)	1.5, 2.5
Ön İşlem (Materyalin Kalınlığı) (mm)	6 ve 9

4.2.6. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellemesi

Yapılan denemeler sonucunda deneme materyalinin nem içeriklerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Ürünün belli bir t anında sahip olduğu nem içeriğinin (M), ürünün ilk nem içeriğine (M_o) oranı olarak sadeleştirilebilen ayrılabilir nem oranı (ANO) 14 farklı model ile açıklanmaya çalışılmıştır (Ertekin ve Yaldız, 2001b);

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

Çizelge 4.4.'te kuruma eğrilerini açıklamada kullanılan modeller verilmiştir.

Denemeler sırasında yapılan ölçümlerden elde edilen $N_{0,}$ $N_{t,}$ ve N_d değerleri kullanılarak, farklı t anları için Statistica istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda farklı sıcaklık ve ön işlem uygulamaları için ürünlere ait ayrı ayrı kuruma sabiti (k) değerleri ve varsa katsayılar her bir model için tek tek hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Kuruma Eğrilerini Açıklamak İçin Kullanılan Modeller

Model	Model Adı	Kaynak
$ANO=\exp(-kt)$	Newton	Ayensu 1999, Sarsavadia ve ark. 1999
$ANO=\exp(-kt^n)$	Page	Karathanos 1999b, Yağcıoğlu 1999
$ANO=\exp[(-kt)^n]$	Geliştirilmiş Page I	Yaldız, O., C. Ertekin, H.İ. Uzun. 2000
$ANO=\exp[-(kt)^n]$	Geliştirilmiş Page II	Yaldız ve Ertekin 2001a
$ANO=a\exp(-kt)$	Henderson ve Papis	Bengiston ve ark. 1998
$ANO=a\exp(-kt)+c$	Logaritmik	Yaldız ve Ertekin. 2001a, Yağcıoğlı ve ark. 1999
$ANO=a\exp(-k_o t)+b\exp(-k_1 t)$	İki terimli	Madamba ve ark. 1996
$ANO=a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-kat)$	İki terimli exponansiyel	Sharaf-eldeen ve ark. 1980, Yaldız, O., C. Ertekin, H.İ. Uzun. 2000
$ANO= 1+at+bt^2$	Wang ve Sing	Wang ve Singh, 1978
$t=a\ln(ANO)+b(\ln(ANO))^2$	Thompson	Paulsen 1973, Thompson, 1968
$ANO= a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-kbt)$	Difuzyon yaklaşım	Kassem, 1978
$ANO= a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-gt)$	Verma ve ark.	Verma ve ark. 1985
$ANO= a\exp(-kt)+b\exp(-gt)+c\exp(-ht)$	Geliştirilmiş Henderson ve Papis	Karathanes, 1999a Karathanes, 1999b
$ANO= a\exp(-kt^n)+bt$	Midilli ve ark.	Midilli, Kucuk ve Yapar, 2002

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

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

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

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

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

Tahminin standart hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca uyumun iyilik derecesini gösteren khi-kare (χ^2) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir. Bunların yanında deneysel verileri açıklayan modelin modelleme yeterliliği (EF) değerinin bire yakın olması modelin kullanılabilirliğinin bir göstergesidir (Pangavhane ve ark, 1999; Loague ve Green, 1991).

İstatistiksel olarak yapılan değerlendirme sonuçlarına göre en uygun modelde bulunan katsayılara kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızının etkileri çoklu regresyon yöntemi ile aşağıdaki fonksiyonlar yardımıyla belirlenmiştir (Ertekin ve Yaldız, 2001b).

$Y=a+bX$ (Lineer)

$Y=a+b\ \ln(X)$ (Logaritmik)

$Y=aX^b$ (Üssel)

$Y=a\ \exp(bX)$ (Eksponansiyel)

$Y=a\ \exp(b/X)$ (Arhenius)

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Patlıcan Örneklerinin Kurutulmasında Ürün Neminin Kurutma Havası Sıcaklığına, Hava Hızına ve Kurutma Öncesi Uygulanan Ön İşleme Bağlı Olarak Gösterdiği Değişim

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

Denemeye alınan patlıcan örneklerin için kullanılan havanın ısıtma öncesi ve sonrası belirlenen bazı psikrometrik özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Denemelerde Kullanılan Havanın Isıtma Öncesi ve Sonrası Belirlenen Bazı Psikrometrik Özellikleri

Ürün ve Hava Hızı	Kurutma Havası Sıcaklığı (°C)	Ortam Havası		Kurutma Havası		Ürün ve Hava Hızı	Ortam Havası		Kurutma Havası	
		t_k	δ	t_k	δ		t_k	δ	t_k	δ
6 mm 1.5 m/s	45	29.70	25.30	45	9.2	6 mm 2.5 m/s	27.12	25.45	45	9.2
	55	29.10	28.60	55	6.9		25.73	29.93	55	7.0
	65	29.30	25.40	65	4.9		25.10	34.42	65	5.2
	75	30.30	26.50	75	3.2		26.25	33.00	75	3.8
9 mm 1.5 m/s	45	27.60	27.31	45	9.6	9 mm 2.5 n/s	28.73	30.53	45	9.8
	55	27.35	27.00	55	6.9		27.88	34.16	55	7.2
	65	29.30	24.85	65	5.4		27.73	24.40	65	6.0
	75	28.75	26.82	75	3.4		28.03	20.60	75	4.0

t_k: Kuru termometre sıcaklığı (°C) δ : Bağıl nem (%)

Denemeye alınan patlıcan örneklerinin farklı kurutma havası sıcaklığı (45 °C, 55 °C, 65 °C ve 75 °C), iki ayrı hava hızı (1.5 m/s, 2.5 m/s) ve farklı ön işlem (6 mm, 9 mm) koşullarında zamana bağlı olarak değişen % nem oranları değerleri yaş ağırlık esasına göre hazırlanan ek çizelgelerde verilmiştir. Bu çizelgelerde yer alan % nem değişimi değerleri üç tekerrürün ortalaması olarak hesaplanmıştır (Ek Çizelge 22...25). Ürünlerdeki nem içeriği değerlerinin yaş ağırlık esasına göre belirtilmesi uygulamada çok kullanılmakla beraber; kurumakta olan materyaldeki, değişmeyen kuru maddeye göre nemin % nem değerleri de kurutma çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla, deneme materyali olan patlıcan örneklerinin zamana bağlı olarak farklı kurutma koşullarındaki nem değişimlerini inceleyebilmek için çizelgeler oluşturulmuştur (Ek Çizelge 26...29).

Farklı dış koşulların etkisiyle, kurutulmakta olan ürünlerde meydana gelen nem değişiminin incelenebilmesi için, daha önce de belirtildiği gibi Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerlerinden yaralanılmaktadır. Özellikle farklı hava koşullarında kurutulmuş materyallerin kuruma sabiti değerlerinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel eşitliklerde yer alması sebebiyle, kabul edilen kurutma koşullarında patlıcan örneklerine ait Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve Ek Çizelge 30....33 arasında verilmiştir.

Denemeler sırasında farklı boyuttaki her patlıcan örneği için farklı zaman dilimlerinde ölçülen ve örneklerin ilk ağırlıklarının yüzdesi olarak hesaplanan "% ağırlık azalması" değerleri farklı boyuttaki her patlıcan örneği için Ek Çizelge 34…37 arasında görülmektedir.

Ayrıca denemeler sırasında ürünlerin ilk ağırlıklarının yüzdesi olarak hesaplanan % ağırlık azalması değerlerinden yararlanmak suretiyle farklı kurutma koşulları için ayrı ayrı varyans analizleri yapılmış ve kurutma değişkenlerinin kuruma hızı üzerine olan etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Farklı ön işlem uygulanmış patlıcan örnekleri için yapılan varyans analizi sonuçları Ek Çizelge 1...21 arasında verilmiştir.

Verilen Ek Çizelgeler genel olarak incelenecek olursa, denemeye alınan patlıcan örneklerinin % nem değerlerinin kurutma havası sıcaklığı ve ürün boyutundaki değişime bağlı olarak azalan bir şekilde değişim gösterdiği açıkça

görülmektedir. Denemeler sonucunda patlıcan örneklerinde en kısa kuruma süresine 75 °C kurutma havası sıcaklığında, 2.5 m/s hava hızı kademesinde ve 6 mm ön işlem koşulunda; en uzun kuruma süresine ise 45 °C kurutma havası sıcaklığında, 1.5 m/s hava hızı kademesinde ve 9 mm ön işlem koşulunda ulaşılmıştır. Ön işlem olarak uygulanan örnek boyutundaki azalma, nem transferini önemli oranda arttırmakta ve dolayısıyla kuruma süresini kısaltmaktadır.

5.1.1. Kurutmada kullanılan hava sıcaklığının deneme materyali örneklerinin kuruması üzerine etkisi

Elde edilen sonuçlara göre; kurutmada kullanılan havanın sıcaklığının artışı, ön işlem uygulanmış patlıcan örneklerinin tümünün kuruma hızı üzerinde gözle görülebilir bir artışa neden olmakta ve örneklerin kuruma süreleri, kurutma havası sıcaklığına paralel olarak azalma göstermektedir. Kurutma havasındaki sıcaklık artışının materyallerin kuruma hızları üzerindeki bu etkisini, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin azalmasına bağlayabiliriz. Çizelge 5.1 de kurutma havasına ait değerler incelenecek olursa; kurutma havası sıcaklığındaki artışa karşılık, bağıl nem değerlerinde azalma görülmektedir. Dolayısıyla sıcaklığın artmasıyla birlikte bağıl nemi düşen ve yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan hava kurutmada daha etkin bir rol üstlenmektedir (Ergüneş 1990 ve Mengeş 1999).

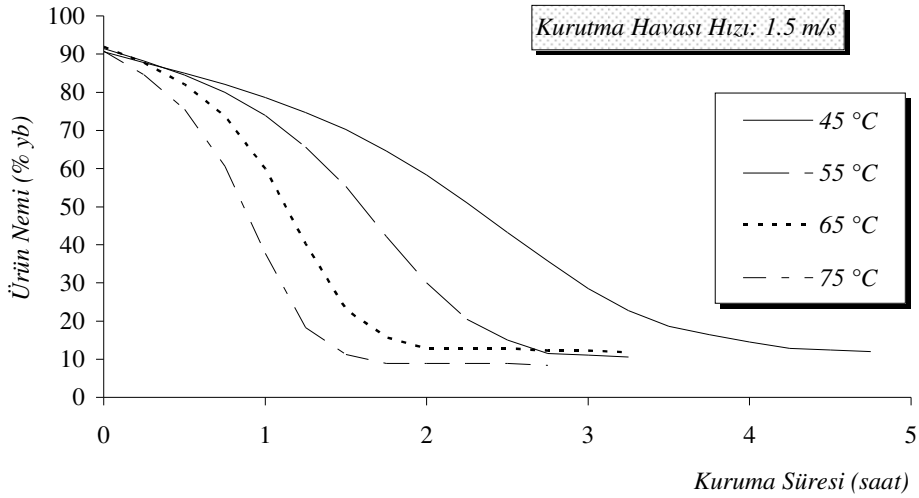
Seçilen hava sıcaklıklarının 6 mm ve 9 mm boyutundaki patlıcan örneklerinin % nem değişimi değerlerine etkileri, 1.5 m/s ve 2.5 m/s hava hızı koşulu için Şekil 5.1…5.4. arasında verilmiştir.

Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4 incelenecek olursa, 1.5 m/s ve 2.5 m/s hava hızı koşulunda ön işlem uygulanmış bütün patlıcan örneklerinde hava sıcaklığının artışı ve buna bağlı olarak havanın bağıl neminin düşmesi örneklerin % nem değişimindeki

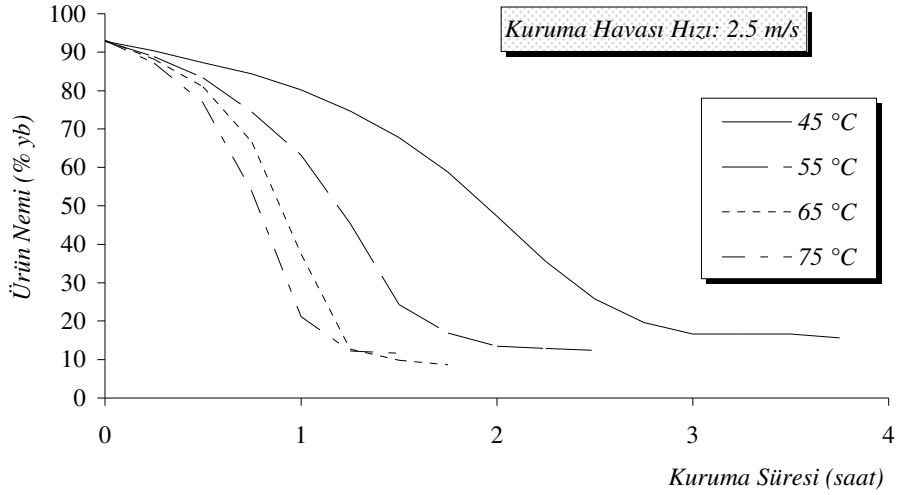
azalmada belirgin bir hızlanmaya neden olmaktadır. Başka bir ifadeyle, kurutma havası sıcaklığı artışına bağlı olarak kuruma süresi kısalmaktadır.

Ele alınan 1.5 m/s ve 2.5 m/s hava hızı değerlerinde ön işlem görmüş bütün örnekler için en hızlı kuruma 75 °C'de, en yavaş kuruma ise 45 °C'de gerçekleşmiştir. Örneğin 9 mm boyutundaki patlıcan örneklerinde 1,5 m/s hava hızında denge nemi değerine 75 °C kurutma havası sıcaklığında 3.5 saat sonunda ulaşılırken, bu değere 65 °C, 55 °C ve 45 °C sıcaklıklarda sırasıyla 5.5, 6.5 ve 8.5 saat sonunda ulaşılabilmiştir (Şekil 5.3.).

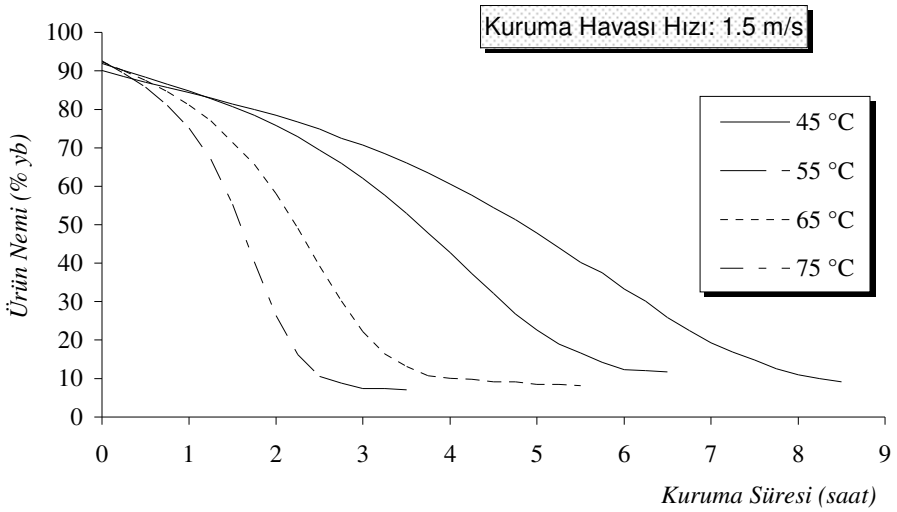
Bu durum ön işleme tabi tutulmuş patlıcan örneklerinin hepsine ayrı ayrı olarak yapılan istatistikî analiz sonuçlarında da açık bir şekilde görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre; kurutma havası sıcaklığının, bütün patlıcan örneklerinin kuruma hızı üzerine etkisi 0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Ek Çizelge 1 ve 8). Örneklerdeki % ağırlık kayıpları değerlerinde kurutma havası sıcaklığının artışına bağlı olarak bir artış gözlenmiştir. Örneğin 9 mm boyutundaki patlıcan örneklerinde sıcaklık x zaman intreksiyonuna yapılan duncan testi sonuçlarına göre; patlıcan örnekleri, kurutmanın ilk 2.5 saati sonunda 45 °C sıcaklıkta ortalama olarak %62,371 oranında ağırlık kaybına uğrarken; bu oran 55 °C, 65 °C ve 75 °C sıcaklık değerleri için sırasıyla ortalama %76.236, %89.362 ve %92.125 değerine ulaşmaktadır (Ek Çizelge 12). Bu durum kurutma havası sıcaklığının kuruma hızı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



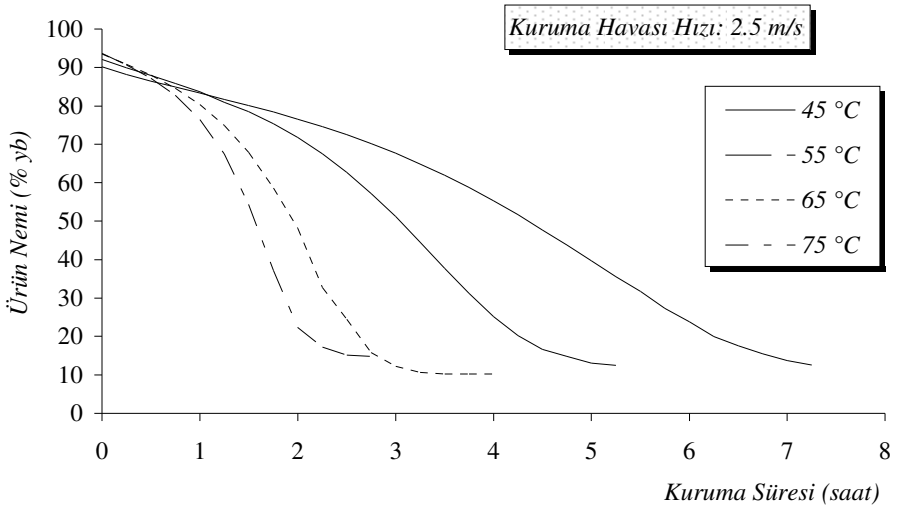
Şekil 5.1. 1.5 m/s hava hızında kurutulan 6 mm boyutundaki patlıcan örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi



Şekil 5.2. 2.5 m/s hava hızında kurutulan 6 mm boyutundaki patlıcan örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi



Şekil 5.3. 2.5 m/s hava hızında kurutulan 9 mm boyutundaki patlıcan örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi



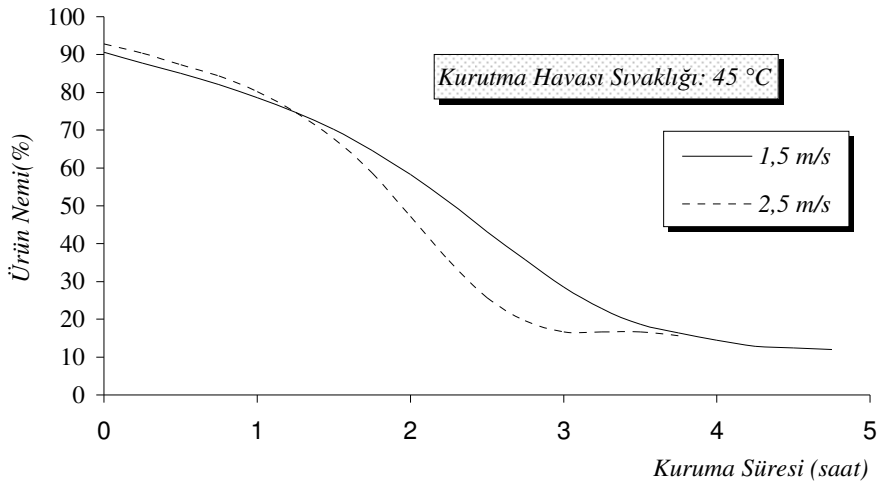
Şekil 5.4. 2.5 m/s hava hızında kurutulan 9 mm boyutundaki patlıcan örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi

5.1.2. Hava hızının patlıcan örneklerinin kuruması üzerine etkisi

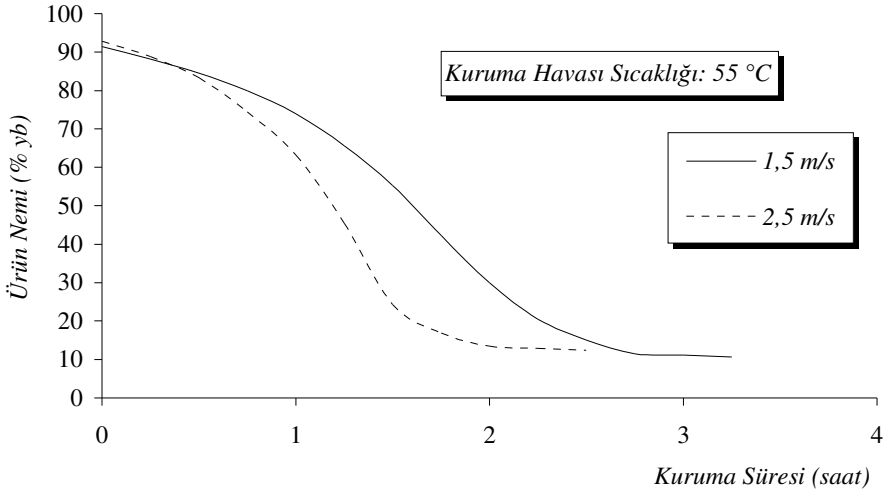
Kurutma denemelerinde deneme materyali olan patlıcanlar, daha önce de belirtildiği üzere 1.5 m/s ve 2.5 m/s hava hızlarında kurutulmuşlardır. Seçilen hava hızlarının, 6 mm ve 9 mm boyutlarında ve farklı hava sıcaklığı koşullarında kurutulan patlıcan örneklerinin % nem değişimi değerlerine etkileri ayrı ayrı ve her bir sıcaklık değeri için Şekil 5.5…5.12 arasında verilmiştir.

1.5 m/s ve 2.5 m/s hava hızı değerlerinde kurutulan ve ön işlem görmüş örnekler için ve her bir hava sıcaklığında en hızlı kuruma 2.5 m/s'de, en yavaş kuruma ise 1.5 m/s'de gerçekleşmiştir. Örneğin 9 mm boyutundaki patlıcan örneklerinde 1,5 m/s hava hızında denge nemi değerine 45 °C kurutma havası sıcaklığında 8.5 saat sonunda ulaşılırken, bu değere 2.5 m/s hava hızı ile kurutulan patlıcan örneklerinde 7 saat 15 dakika sonunda ulaşılabilmiştir (Ek Çizelge 26).

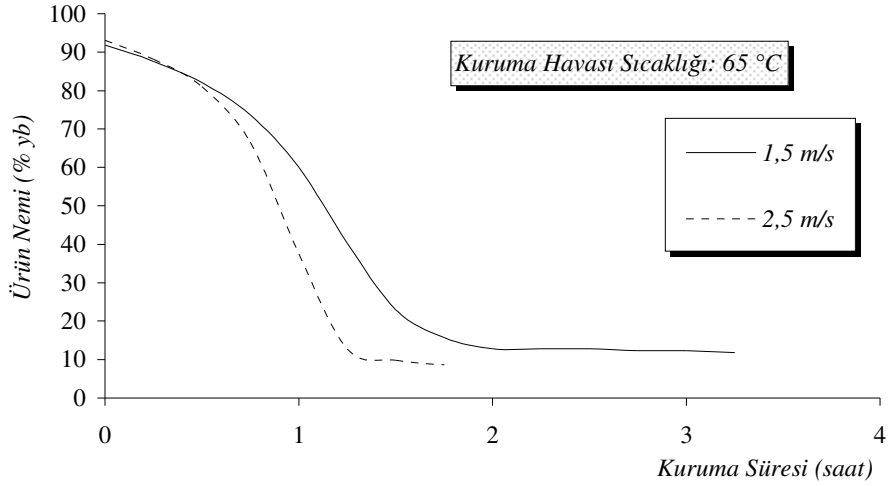
Bu durum ön işleme tabi tutulmuş patlıcan örneklerinin hepsine ayrı ayrı olarak yapılan istatistikî analiz sonuçlarında görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre; kurutma havası hızının, bütün patlıcan örneklerinin kuruma hızı üzerine etkisi 0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur (EK Çizelge 1 ve 8). Örneklerdeki % ağırlık kayıpları değerlerinde kurutma havası sıcaklığının artışına bağlı olarak bir artış gözlenmiştir. Örneğin 6 mm boyutundaki patlıcan örneklerinde hava hızı x hava sıcaklığı x zaman intreksiyonuna yapılan duncan testi sonuçlarına göre; patlıcan örnekleri, kurutmanın ilk 1.5 saati sonunda 1.5 m/s hava hızında ve 45 °C sıcaklıkta ortalama olarak %72,013 oranında ağırlık kaybına uğrarken; bu oran aynı sıcaklıkta 2.5 m/s hava hızı ile kurutulan patlıcan örnekleri için ortalama %77.902 değerine ulaşmaktadır (Ek Çizelge 7). Bu durum hava hızının kuruma hızı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



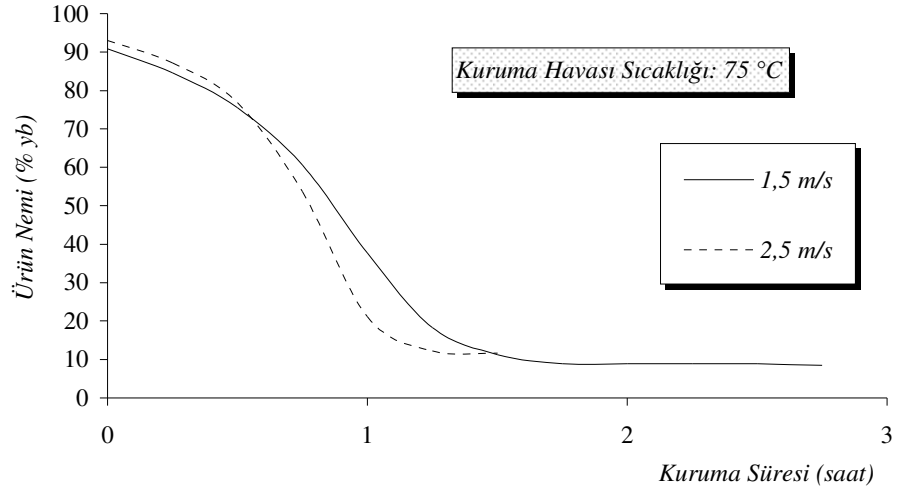
Şekil 5.5. 45 °C sıcaklıkta ve 6 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



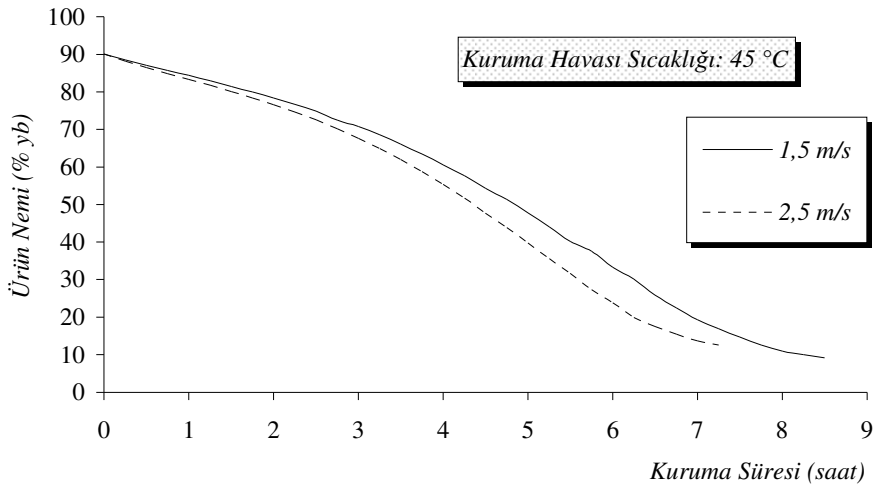
Şekil 5.6. 55 °C sıcaklıkta ve 6 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



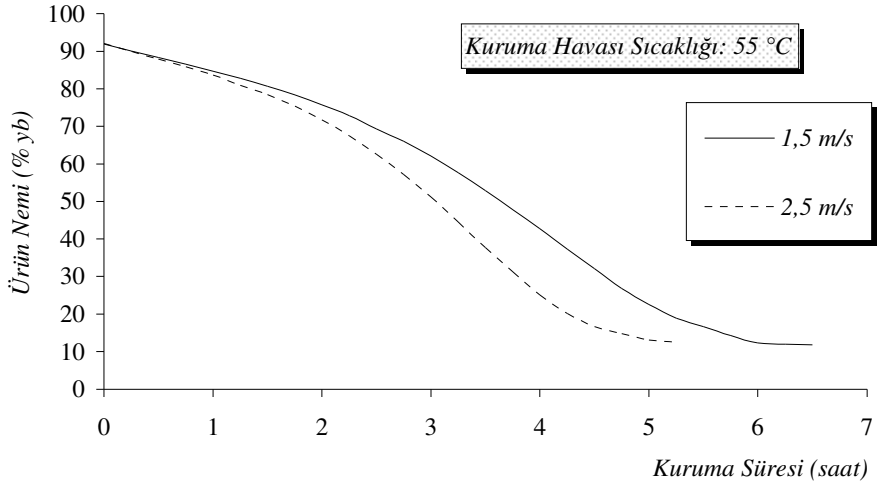
Şekil 5.7. 65 °C sıcaklıkta ve 6 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



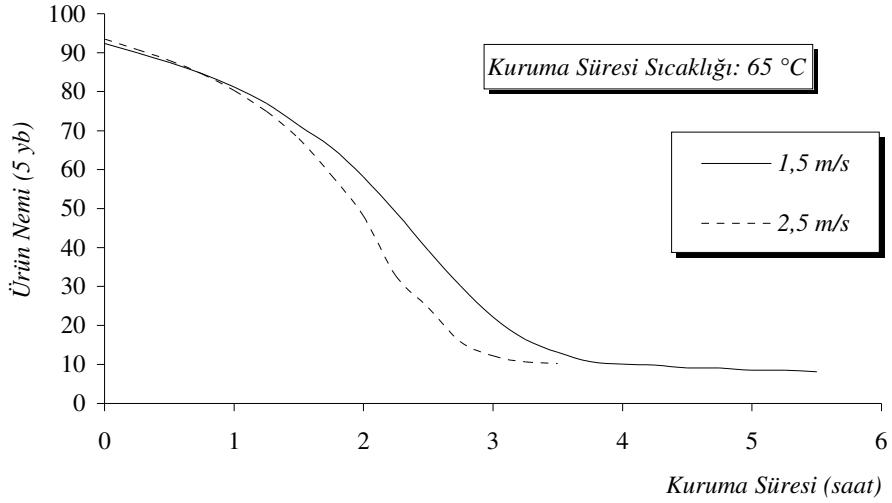
Şekil 5.8. 75 °C sıcaklıkta ve 6 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



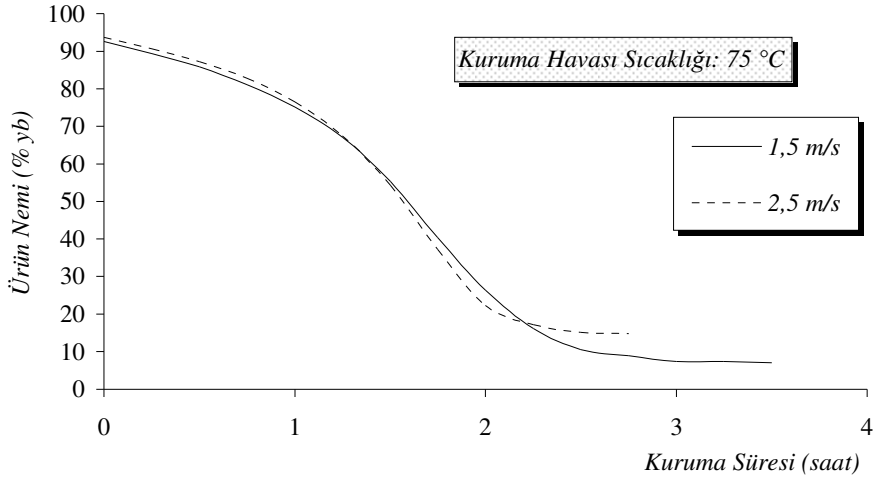
Şekil 5.9. 45 °C sıcaklıkta ve 9 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



Şekil 5.10. 55 °C sıcaklıkta ve 9 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



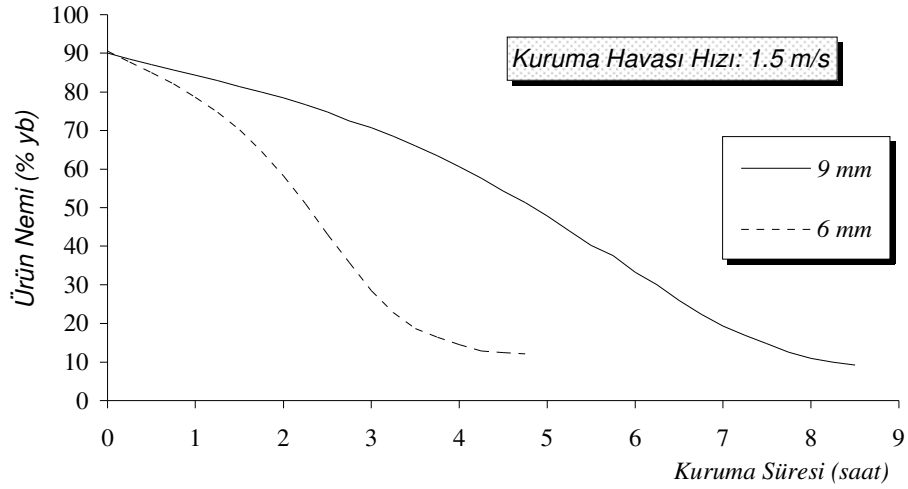
Şekil 5.11. 65 °C sıcaklıkta ve 9 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



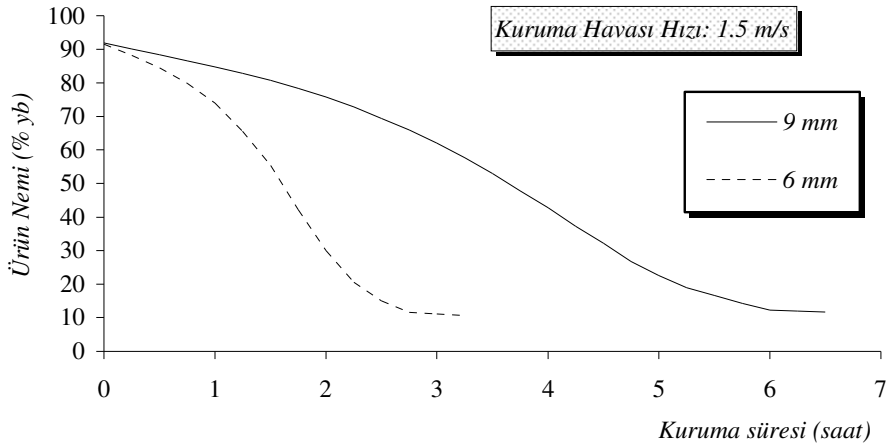
Şekil 5.12. 75 °C sıcaklıkta ve 9 mm kalınlığında farklı hava hızlarında kurutulan patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi

5.1.3. Kurutma öncesi uygulanan ön işlemin patlıcan örneklerinin kuruması üzerine etkisi

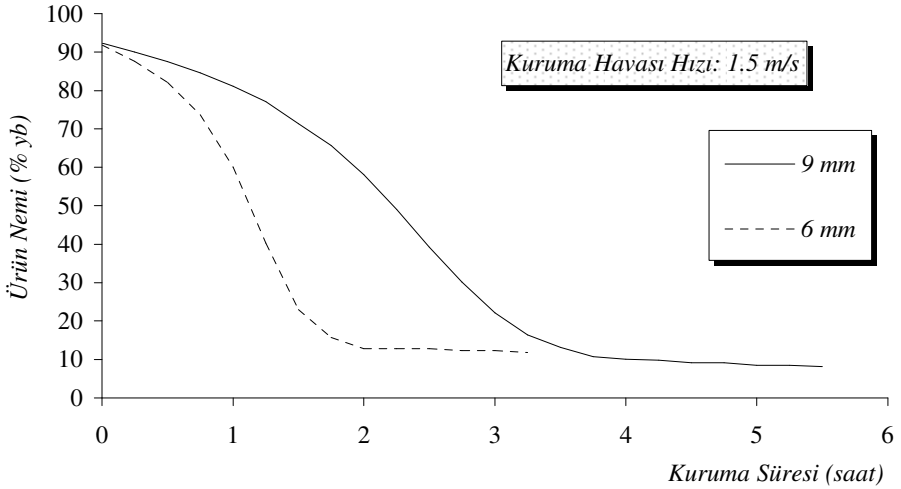
Kurutma denemelerinde deneme materyali olan patlıcanlar, kurutma öncesi 6 ve 9 mm kalınlıklarında hazırlandıktan sonra kurutulmuşlardır. 1.5 m/s ve 2,5 m/s hava hızı değerinde ve farklı hava sıcaklığı şartlarında, iki farklı kalınlığa sahip patlıcan örneklerinin zamana bağlı olarak göstermiş oldukları % nem değişimi değerleri Şekil 5.13…5.20'de görülmektedir.



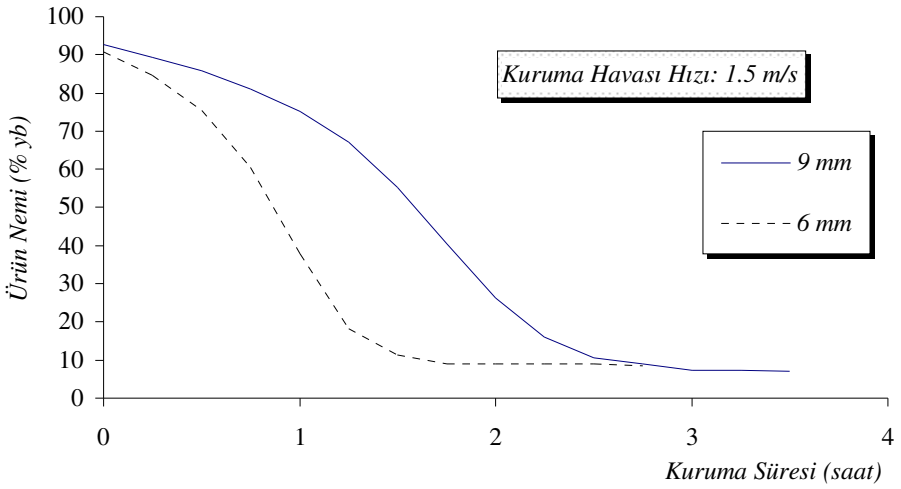
Şekil 5.13. 45 °C sıcaklıkta 1.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



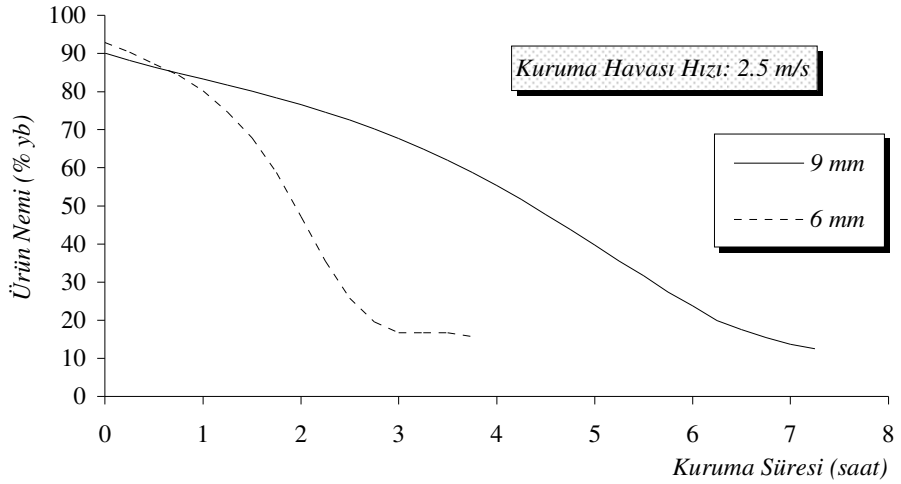
Şekil 5.14. 55 °C sıcaklıkta 1.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



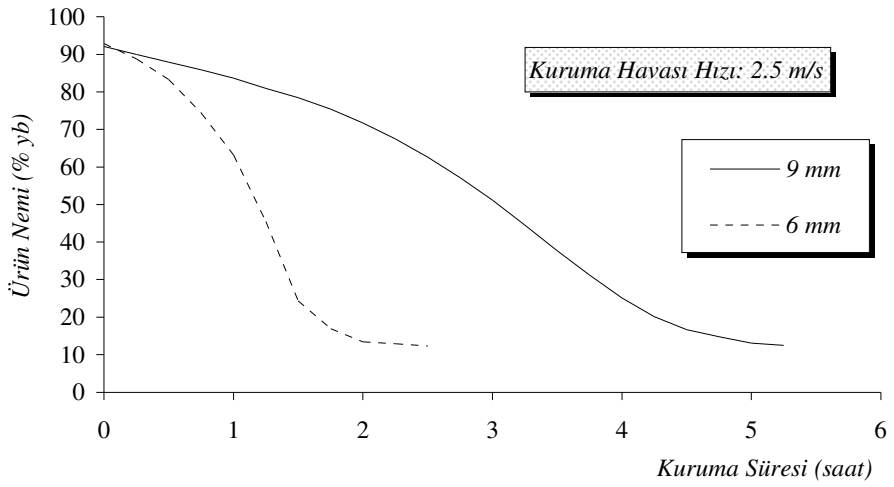
Şekil 5.15. 65 °C sıcaklıkta 1.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



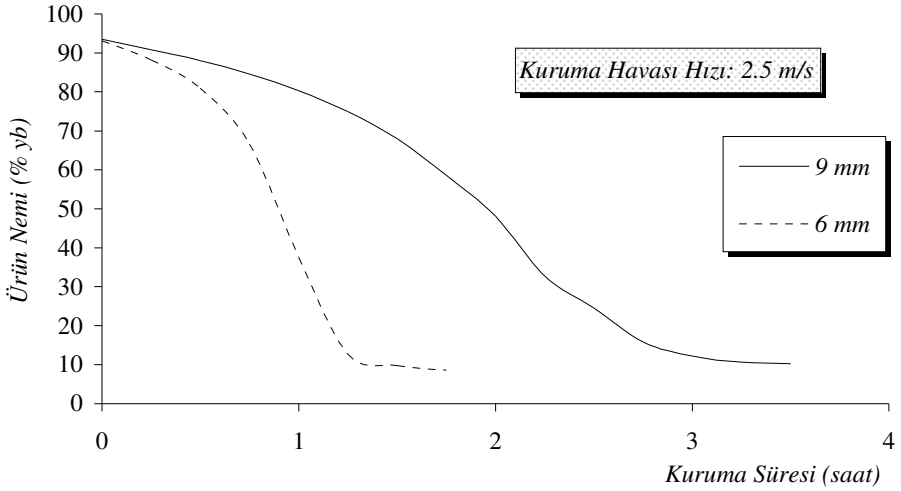
Şekil 5.16. 75 °C sıcaklıkta 1.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



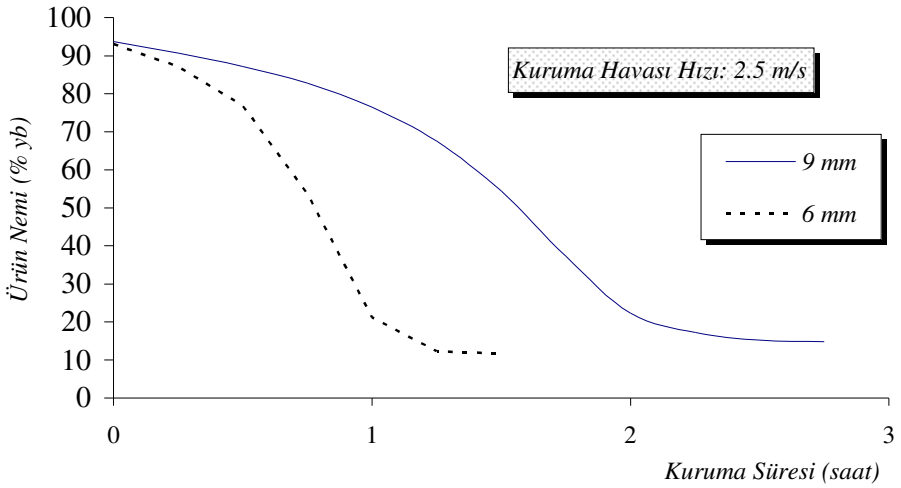
Şekil 5.17. 45 °C sıcaklıkta 2.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



Şekil 5.18. 55 °C sıcaklıkta 2.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



Şekil 5.19. 65 °C sıcaklıkta 2.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi



Şekil 5.20. 75 °C sıcaklıkta 2.5 m/s hava hızında kurutulan farklı kalınlıklardaki patlıcan örneklerinin gösterdikleri (%) nem değişimi

Şekillerdeki grafikler incelediğinde, tüm deneme şartlarında patlıcanlara kurutma öncesi uygulanan ön işlemin kuruma süresini kısalttığı görülmektedir. Örneğin Şekil 5.13'te de görüldüğü gibi 1.5 m/s hava hızı ve 45 °C kurutma havası sıcaklığında, 6 mm kalınlığındaki örneklerde %14 neme ulaşabilmek için gerekli süre 4 saat iken, 9 mm kalınlığındaki örneklerde 7.5 saattir (Ek Çizelge 22).

Ön işlem uygulanmış patlıcan örneklerinin farklı sıcaklık şartlarında kurutulmaları sonucunda değişik zaman dilimleri için elde edilen ortalama % ağırlık kayıpları incelendiğinde; 1.5 saat sonunda, 9 mm boyutundaki örneklerde %67.653 oranında bir ağırlık kaybı söz konusu iken, bu oran 9 mm boyutundaki patates örneklerinde %85.165 olarak gerçekleşmiştir (Ek Çizelge 20).

Bu durumu örneklerdeki kalınlık azalmasının nem transferini önemli oranda arttırıcı özelliğine bağlayabiliriz.

5.2. Patlıcan Örneklerinin Kurutulmasında Kurumanın Çeşitli Modellerle Açıklanması

Patlıcanda, azalan hızda kuruma evresinde meydana gelen kuruma olayını açıklamak üzere kullanılan 14 modele ait istatistiksel veriler tek tek incelenmiş ve ayrılabilir nem oranı, en düşük hata ile Midilli ve ark. modelinin (8) kullanılması ile sağlanmıştır (Çizelge 5.2. ve Çizelge 5.3.). Bu nedenle patlıcanın nem içeriğinde zamana bağlı olarak meydana gelen değişimi incelemek için bu model kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. 6 mm Kalınlıkta Farklı Deneme Koşullarında Kullanılan Modellere Ait İstatistiksel Veriler

Model	Hız (m/s)	45 ^{0}C			55 ^{0}C			65 ^{0}C			75 ^{0}C		
		RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF
Newton	1,5	0,011902	0,000149	0,998112	0,013260	0,000189	0,997980	0,015359	0,000254	0,997157	0,013113	0,000188	0,998022
	2,5	0,012768	0,000174	0,998014	0,011419	0,000143	0,998602	0,021639	0,000535	0,995760	0,020175	0,000475	0,996526
Page	1,5	0,010912	0,000132	0,998413	0,011837	0,000163	0,998390	0,011532	0,000155	0,998397	0,009287	0,000104	0,999007
	2,5	0,012656	0,000183	0,998048	0,009290	0,000105	0,999075	0,014888	0,000296	0,997993	0,011138	0,000174	0,998941
Geliştirilmiş Page I	1,5	0,011902	0,000157	0,998112	0,013260	0,000205	0,997980	0,015359	0,000275	0,997157	0,013113	0,000206	0,997964
	2,5	0,012768	0,000186	0,998014	0,011419	0,000159	0,998602	0,021639	0,000624	0,995760	0,020175	0,000570	0,996526
Geliştirilmiş Page II	1,5	0,010912	0,000132	0,998413	0,011837	0,000163	0,998390	0,011532	0,000155	0,998397	0,009287	0,000104	0,999007
	2,5	0,012656	0,000183	0,998048	0,009290	0,000105	0,999075	0,014888	0,000296	0,997993	0,011138	0,000174	0,998941
Henderson ve Papis	1,5	0,010846	0,000131	0,998432	0,013219	0,000204	0,997992	0,015079	0,000265	0,997259	0,012917	0,000200	0,998080
	2,5	0,012743	0,000186	0,998021	0,011306	0,000156	0,998629	0,021336	0,000607	0,995878	0,019870	0,000553	0,996630
Logaritmik	1,5	0,010569	0,000131	0,998512	0,010668	0,000145	0,998692	0,066863	0,005690	0,946116	0,012976	0,000224	0,998063
	2,5	0,011535	0,000164	0,998379	0,014107	0,000274	0,997866	0,021065	0,000710	0,995982	0,019837	0,000689	0,996641
İki terimli	1,5	0,010846	0,000147	0,998432	0,013219	0,000245	0,997992	0,015079	0,000318	0,997259	0,012917	0,000250	0,998080
	2,5	0,012743	0,000216	0,998021	0,011306	0,000201	0,998629	0,021336	0,000910	0,995878	0,019870	0,000921	0,996630
İki terimli exponansiyel	1,5	0,011879	0,000157	0,998119	0,011049	0,000142	0,998597	0,011161	0,000145	0,998499	0,009066	0,000099	0,999054
	2,5	0,012264	0,000172	0,998167	0,008781	0,000094	0,999173	0,014964	0,000299	0,997972	0,011499	0,000185	0,998871
Wang ve Sing	1,5	0,068553	0,005222	0,937378	0,057622	0,003874	0,961848	0,096324	0,010825	0,888171	0,105896	0,013457	0,870965
	2,5	0,062860	0,004516	0,951851	0,069797	0,005954	0,947767	0,048113	0,003087	0,979038	0,047568	0,003168	0,980687
Thompson	1,5	0,160496	0,028621	0,996155	0,130959	0,020009	0,994166	0,339491	0,134463	0,962697	0,292946	0,102981	0,960470
	2,5	0,195808	0,043818	0,990494	0,154850	0,029307	0,985679	0,105521	0,014846	0,984230	0,092543	0,011990	0,982224
Difuzyon yaklaşım	1,5	0,008874	0,000093	0,998951	0,013260	0,000224	0,997980	0,015359	0,000300	0,997157	0,013113	0,000229	0,998022
	2,5	0,012172	0,000182	0,998195	0,011419	0,000179	0,998602	0,014328	0,000328	0,998141	0,010897	0,000208	0,998986
Verma ve ark.	1,5	0,011902	0,000167	0,998112	0,009320	0,000111	0,999002	0,012714	0,000206	0,998052	0,010393	0,000144	0,998757
	2,5	0,011503	0,000163	0,998388	0,008212	0,000093	0,999277	0,012394	0,000246	0,998609	0,011621	0,000236	0,998847
Geliştirilmiş Henderson Papis	1,5	0,010846	0,000168	0,998432	0,013219	0,000306	0,997992	0,015079	0,000398	0,997259	0,012917	0,000334	0,998080
	2,5	0,012743	0,000260	0,998021	0,011306	0,000281	0,998629	0,021336	0,001821	0,995878	0,019870	0,002764	0,996630
Midilli ve ark.	1,5	0,009144	0,000105	0,998886	0,010199	0,000146	0,998805	0,010873	0,000166	0,998575	0,008731	0,000114	0,999123
	2,5	0,011812	0,000186	0,998300	0,009165	0,000132	0,999099	0,012899	0,000333	0,998493	0,010150	0,000240	0,999121

Çizelge 5.3. 9 mm Kalınlıkta Farklı Deneme Koşullarında Kullanılan Modellere Ait İstatistiksel Veriler

Model	Hız (m/s)	45 ^{0}C			55 ^{0}C			65 ^{0}C			75 ^{0}C		
		RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF	RMSE	χ^2	EF
Newton	1,5	0,018479	0,000352	0,994976	0,017725	0,000326	0,995439	0,010165	0,000108	0,998541	0,013138	0,000185	0,997929
	2,5	0,025613	0,000679	0,990073	0,017924	0,000337	0,995566	0,012878	0,000178	0,997987	0,013987	0,000213	0,997830
Page	1,5	0,015233	0,000246	0,996586	0,013013	0,000183	0,997542	0,010146	0,000113	0,998546	0,012499	0,000180	0,998126
	2,5	0,017477	0,000327	0,995378	0,014293	0,000225	0,997181	0,012642	0,000184	0,998060	0,013824	0,000229	0,997880
Geliştirilmiş Page I	1,5	0,018479	0,000362	0,994976	0,017725	0,000339	0,995439	0,010165	0,000113	0,998541	0,013138	0,000199	0,997929
	2,5	0,025613	0,000703	0,990073	0,017924	0,000353	0,995566	0,012878	0,000191	0,997987	0,013987	0,000235	0,997830
Geliştirilmiş Page II	1,5	0,015233	0,000246	0,996586	0,013013	0,000183	0,997542	0,010146	0,000113	0,998546	0,012499	0,000180	0,998126
	2,5	0,017477	0,000327	0,995378	0,014293	0,000225	0,997181	0,012642	0,000184	0,998060	0,013824	0,000229	0,997880
Henderson ve Papis	1,5	0,014412	0,000220	0,996944	0,013961	0,000210	0,997171	0,010042	0,000110	0,998576	0,013138	0,000199	0,997929
	2,5	0,018788	0,000378	0,994658	0,014987	0,000247	0,996900	0,012472	0,000179	0,998111	0,013963	0,000234	0,997837
Logaritmik	1,5	0,013014	0,000185	0,997508	0,013699	0,000211	0,997276	0,009761	0,000110	0,998655	0,022840	0,000652	0,993743
	2,5	0,018513	0,000381	0,994814	0,014532	0,000245	0,997085	0,010964	0,000150	0,998541	0,037275	0,001853	0,984585
İki terimli	1,5	0,014412	0,000235	0,996944	0,013961	0,000229	0,997171	0,010042	0,000122	0,998576	0,013138	0,000235	0,997929
	2,5	0,018788	0,000407	0,994658	0,014987	0,000275	0,996900	0,012472	0,000212	0,998111	0,013963	0,000292	0,997837
İki terimli exponansiyel	1,5	0,018039	0,000345	0,995212	0,016399	0,000290	0,996096	0,009834	0,000106	0,998634	0,011868	0,000163	0,998310
	2,5	0,012600	0,000170	0,997598	0,017218	0,000326	0,995909	0,012852	0,000191	0,997995	0,013341	0,000214	0,998025
Wang ve Sing	1,5	0,061515	0,004013	0,944325	0,070307	0,005338	0,928246	0,089936	0,008859	0,885789	0,073147	0,006174	0,935820
	2,5	0,066935	0,004800	0,932204	0,066495	0,004864	0,938976	0,066628	0,005122	0,946102	0,057910	0,004024	0,962794
Thompson	1,5	0,119994	0,015271	0,999356	0,124636	0,016777	0,998796	0,346796	0,131721	0,987114	0,184362	0,039218	0,990394
	2,5	0,132853	0,018911	0,998898	0,106068	0,012375	0,998628	0,110441	0,014074	0,996486	0,120707	0,017484	0,992774
Difuzyon yaklaşım	1,5	0,011356	0,000141	0,998103	0,009051	0,000092	0,998811	0,009822	0,000111	0,998638	0,011664	0,000170	0,998368
	2,5	0,011819	0,000155	0,997886	0,010419	0,000126	0,998502	0,011343	0,000161	0,998438	0,013987	0,000261	0,997830
Verma ve ark.	1,5	0,018479	0,000373	0,994976	0,017725	0,000353	0,995439	0,009304	0,000100	0,998778	0,013064	0,000213	0,997953
	2,5	0,025613	0,000729	0,990073	0,017924	0,000372	0,995566	0,011858	0,000176	0,998293	0,011714	0,000183	0,998478
Geliştirilmiş Henderson Papis	1,5	0,014412	0,000251	0,996944	0,013961	0,000251	0,997171	0,010042	0,000136	0,998576	0,013138	0,000288	0,997929
	2,5	0,018788	0,000441	0,994658	0,014987	0,000309	0,996900	0,012472	0,000259	0,998111	0,013963	0,000390	0,997837
Midilli ve ark.	1,5	0,007731	0,000067	0,999121	0,007650	0,000069	0,999151	0,009593	0,000111	0,998701	0,010473	0,000150	0,998684
	2,5	0,007328	0,000062	0,999188	0,008348	0,000085	0,999038	0,009010	0,000111	0,999014	0,010800	0,000175	0,998706

Çizelge 5.4. ve Çizelge 5.5'te 6 mm ve 9 mm ön işlem için ayrı ayrı farklı kurutma havası sıcaklığı ve hızı için modele ait a, k, n ve b katsayıları ile bu koşullardaki RMSE, χ^2 ve EF değerleri verilmiştir. Belirtilen katsayıların kullanılması ile belirtilen çalışma koşulları için patlıcanın en uygun ayrılabilir nem oranını (ANO) belirlemek mümkün olmaktadır. Patlıcanın kurutulmasında bu model ile yapılan tahminin standart hatası 6 mm kalınlıktaki örneklerde (RMSE) 0,008731…0,012899 arasında değişmiştir. 9 mm'de ise 0,007328…0,010800 arasında değişmiştir. Bununla birlikte çizelgenin incelenmesinden de görüleceği üzere khi-kare (χ^2) değerleri de sıfıra oldukça yakın çıkmıştır. Kullanılan modelin modelleme yeterliliği (EF) ise 6 mm ön işlem için 0,998493…0,999123 arasında değişmiş, 9 mm için ise 0,998684…0,999188 arasında değişmiştir. Görüldüğü gibi oldukça yüksek uyum gösteren istatistiksel veriler ile bu modelin kullanılabileceği açıktır.

Ayrılabilir nem oranının tahmin edilmesinde kullanılabilecek Midilli ve ark. modelinde yer alan a, k, n ve b katsayılarına kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızı etkileri de çoklu regresyon yöntemi ile incelenmiş ve en uyumlu sonuçları veren değerler ile bu modelin uygulanması ile elde edilen sonuçlara ait istatistiksel değerler Çizelge 5.6….5.11'de verilmiştir. Çizelgelerin incelenmesinden de görüleceği üzere modelleme yeterliliği (EF) değerleri bir miktar azalmıştır; ancak modelin bu hali bile oldukça yüksek bir uyuma sahiptir.

Deneme sonuçlarına göre hesaplanan ayrılabilir nem oranı ($ANO_{deneysel}$) ile bu değerleri açıklayan Midilli ve ark. modelinden elde edilen ayrılabilir nem oranı ($ANO_{tahmini}$) değerlerinin zamana göre değişimleri ise Şekil 5.21…5.24 arasında görülmektedir. Görüldüğü gibi deneysel değerler ile modelden elde edilen tahmini değerler birbirlerine oldukça yakındır.

Çizelge 5.4. 6 mm Kalınlıkta Farklı Çalışma Koşullarında Midilli ve ark. Modelinde Yer Alan Katsayılar ve İstatistiksel Veriler.

Kurutma havası sıcaklığı (^oC)	Kurutma havası hızı (m/s)	a	k	n	b	RMSE	χ^2	EF
ANO= a exp(-k t^n)+b t								
45	1.5	0,992272	0,973891	0,948893	-0,002707	0,009144	0,000105	0,998886
	2.5	0,994339	1,355679	1,023283	-0,003939	0,011812	0,000186	0,998300
55	1.5	0,995430	2,037778	1,115660	0,002209	0,010199	0,000146	0,998805
	2.5	0,997451	2,633216	1,109322	0,002134	0,009165	0,000132	0,999099
65	1.5	0,994556	1,212542	0,995806	-0,002873	0,010873	0,000166	0,998575
	2.5	0,997306	2,0559	1,052782	-0,000950	0,012899	0,000333	0,998493
75	1.5	0,997845	2,611745	1,101081	-0,007994	0,008731	0,000114	0,999123
	2.5	0,998681	3,217632	1,138076	-0,004168	0,010150	0,000240	0,999121

Çizelge 5.5. 9 mm Kalınlıkta Farklı Çalışma Koşullarında Midilli ve ark. Modelinde Yer Alan Katsayılar ve İstatistiksel Veriler.

Kurutma havası sıcaklığı (^oC)	Kurutma havası hızı (m/s)	a	k	n	b	RMSE	χ^2	EF
ANO= a exp(-k t^n)+b t								
45	1.5	0,980650	0,480940	0,896809	-0,004272	0,007731	0,000067	0,999121
	2.5	0,992643	0,703065	0,870422	-0,004877	0,007328	0,000062	0,999188
55	1.5	0,990396	1,057085	1,007732	-0,000767	0,007650	0,000069	0,999151
	2.5	0,994149	1,455734	1,013459	-0,003343	0,008348	0,000085	0,999038
65	1.5	0,994531	0,581204	0,787992	-0,008849	0,009593	0,000111	0,998701
	2.5	0,993510	0,814017	0,869024	-0,006938	0,009010	0,000111	0,999014
75	1.5	0,995229	1,274572	0,945106	-0,005891	0,010473	0,000150	0,998684
	2.5	0,996100	1,527169	0,971726	-0,008079	0,010800	0,000175	0,998706

Çizelge 5.6. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T) ve Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (6 mm ön İşlem için)

$ANO=[0.7889+0.050\cdot\ln(T)]\cdot[\exp\{(11.0023+3.1720\cdot\ln(T))\cdot t^{[1.0204.\exp(1.0580/T)]}\}]+[0.0005\cdot\exp(0.0877/V)]\cdot t$				
Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	RMSE	χ^2	EF
45	1.5	0,026596	0,000884	0,990574
	2.5	0,031400	0,001315	0,987986
55	1.5	0,046408	0,003015	0,975252
	2.5	0,040236	0,002544	0,982642
65	1.5	0,027193	0,001035	0,991087
	2.5	0,036972	0,002734	0,987622
75	1.5	0,016113	0,000389	0,997013
	2.5	0,031149	0,002264	0,991718

Çizelge 5.7. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T) ve Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (9 mm Ön İşlem için)

$ANO=[0.9853+0.0264\cdot\ln(T)]\cdot[\exp\{-(0.7517+0.2964\cdot\ln(T))\cdot t^{[0.6899.\exp(0.3403/T)]}\}]+[0.0025\cdot\exp(0.1738/V)]\cdot t$				
Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	RMSE	χ^2	EF
45	1.5	0,012265	0,000155	0,997787
	2.5	0,026331	0,000717	0,989509
55	1.5	0,045534	0,002153	0,969902
	2.5	0,011978	0,000150	0,998020
65	1.5	0,019812	0,000410	0,994457
	2.5	0,036694	0,001443	0,983653
75	1.5	0,022800	0,000557	0,993764
	2.5	0,035434	0,001370	0,986070

Çizelge 5.8. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (6 mm ön İşlem için)

$ANO=[(0,9400.\exp(3,2621/T)].\exp[(-0,0006+T^{1,9702}).t^{(0,1722.T\hat{}0,4471)}] -0,0005.t$				
Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	RMSE	χ^2	EF
45	1.5	0,026006	0,000845	0,990988
	2.5	0,031286	0,001305	0,988073
55	1.5	0,040587	0,002306	0,981071
	2.5	0,046834	0,003447	0,976482
65	1.5	0,027479	0,001057	0,990899
	2.5	0,035339	0,002498	0,988692
75	1.5	0,022980	0,000792	0,993923
	2.5	0,021737	0,001102	0,995967

Çizelge 5.9. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (6 mm Ön İşlem için)

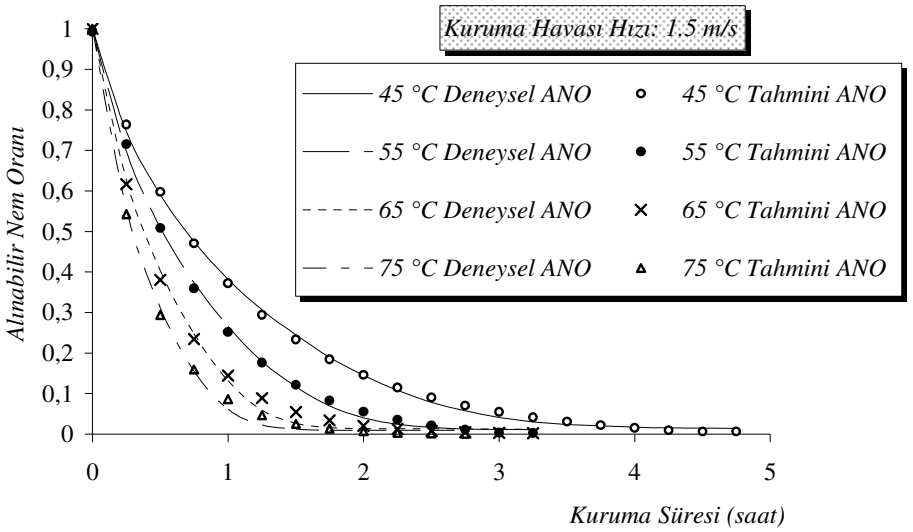
$ANO=[0.9969+0.0031\cdot\ln(V)]\cdot[\exp\{(-1.2056+0.9153\cdot\ln(V))\cdot t^{0.9572+0.0404\ln(V)}\}]+[0.0038\cdot\exp(0.2237\cdot V)]\cdot t$				
Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	RMSE	χ^2	EF
45	1.5	0,090033	0,010132	0,891984
	2.5	0,097448	0,012661	0,884288
55	1.5	0,032489	0,001478	0,987871
	2.5	0,014761	0,000342	0,997664
65	1.5	0,048054	0,003233	0,972168
	2.5	0,056361	0,006353	0,971236
75	1.5	0,093910	0,013229	0,898522
	2.5	0,091450	0,019514	0,928616

Çizelge 5.10. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Sıcaklığının (T), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (9 mm ön İşlem için)

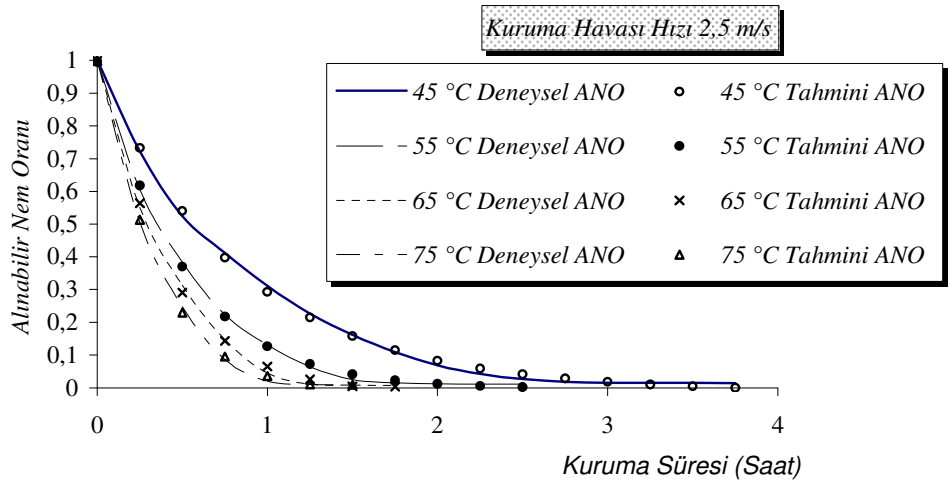
$ANO=[0,7179+0,0676\ln(T)].\exp[(-0,0001.T^{2,1437}).t^{0,9048}]-0,0035.t$				
Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	RMSE	χ^2	EF
45	1.5	0,015703	0,000254	0,996372
	2.5	0,023166	0,000555	0,991879
55	1.5	0,028304	0,000832	0,988371
	2.5	0,016682	0,000292	0,996159
65	1.5	0,016478	0,000284	0,996166
	2.5	0,040859	0,001789	0,979731
75	1.5	0,018887	0,000382	0,995721
	2.5	0,019054	0,000396	0,995972

Çizelge 5.11. Midilli ve ark. Modelinde Kurutma Havası Hızının (V), Modelde Yer Alan Katsayılara Etkisi ve İstatistiksel Veriler (9 mm ön işlem için)

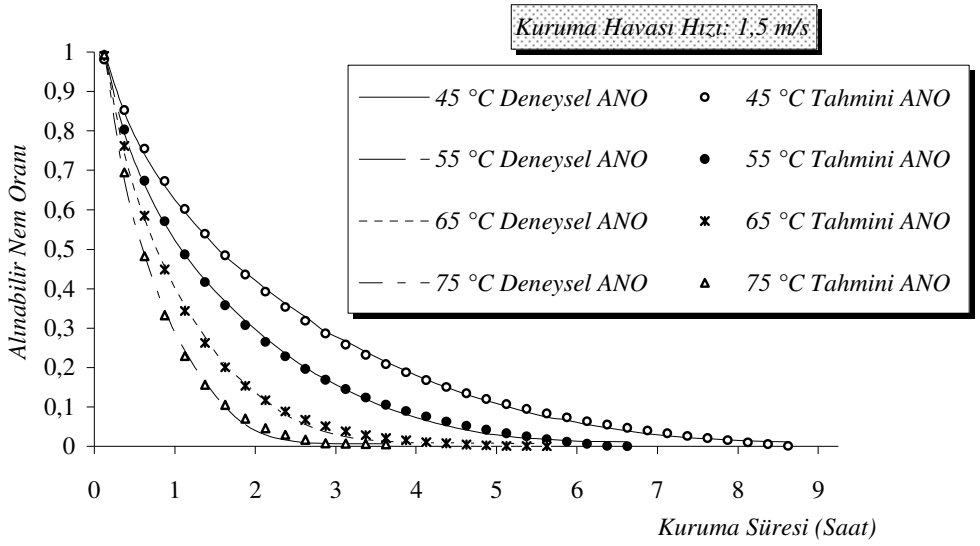
$ANO=[0,9799.\exp(1,1570/V)].\exp[(-1,2409.\exp(-0,5220/V)).t^{(0,8963.V\text{^-}0,093)}]+0,0028.V^{0,0806}.t$				
Kurutma havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası hızı (m/s)	RMSE	χ^2	EF
45	1.5	0,109049	0,012242	0,825034
	2.5	0,109852	0,012484	0,817396
55	1.5	0,039707	0,001637	0,977113
	2.5	0,039093	0,001601	0,978908
65	1.5	0,066397	0,004609	0,937746
	2.5	0,084552	0,113073	0,913203
75	1.5	0,142984	0,021905	0,824760
	2.5	0,129116	0,018186	0,815046



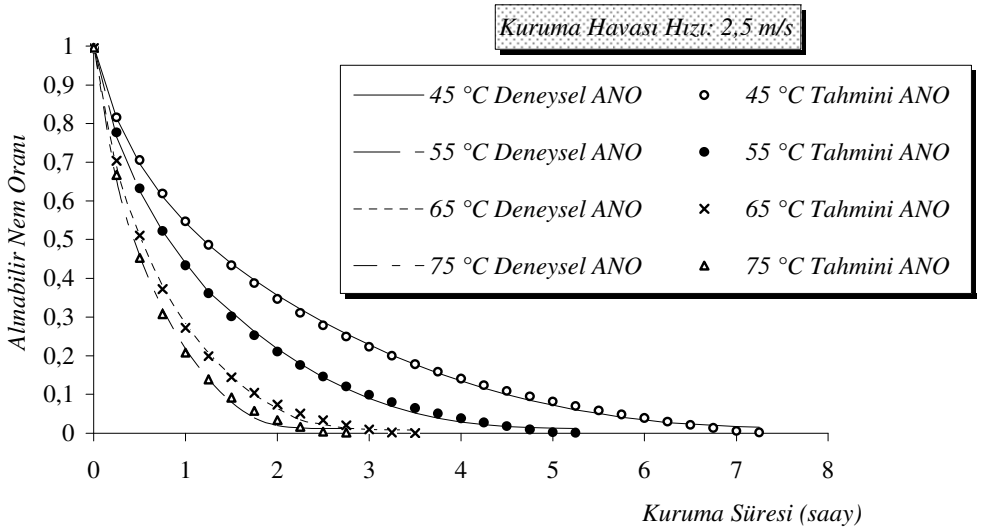
Şekil 5.21. 6 mm ön işlem ve 1.5 m/s kuruma havası hızı koşullarında elde edilen ve Midilli ve ark. modeli ile tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi



Şekil 5.22. 6 mm ön işlem ve 2.5 m/s kuruma havası hızı koşullarında elde edilen ve Midilli ve ark. modeli ile tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi



Şekil 5.23. 9 mm ön işlem ve 1.5 m/s kuruma havası hızı koşullarında elde edilen ve Midilli ve ark. modeli ile tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi



Şekil 5.24. 9 mm ön işlem ve 2.5 m/s kuruma havası hızı koşullarında elde edilen ve Midilli ve ark. modeli ile tahmin edilen alınabilir nem oranı değerlerinin zamana göre değişimi

Şekil 5.17…5.20'nin de incelemesiyle gerek deneysel olarak hesaplanan, gerekse tahmini olarak hesaplanan ANO değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu açıkça görülmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışma şu başlıklar altında özetlenebilir:

- Kurutmada kullanılan kurutma havası sıcaklığı arttıkça, farklı ön işlem uygulanmış patlıcan örneklerinden uzaklaşan nem miktarı artmakta; dolayısıyla kuruma süresi kısalmaktadır.

- Yapılan işlemlerde kurutma havası hızının arttırılması ile kuruma süresinin kısaldığı görülmüştür.

- Kurutmadan önce patlıcan örneklerinin ön işleme tabi tutulması, kurutma işlemini büyük oranda etkilemektedir; yani kuruma süresini kısaltmaktadır.

- 14 model arasından patlıcanın kurutulması işleminde, ANO değerlerini en iyi tahmine imkân sağlayan model Midilli ve ark. modelidir. Farklı boyut ve işlemlerde modelin kullanılabilirliği (EF) 6 mm patlıcan örnekleri için 0,998300…0,999123 arasında; 9 mm'lik örnekler için ise 0,998684….0,999188 arasında değişmiştir.

- Kuruma havası sıcaklığının (T) ve kurutma havası hızının (V) etkileri 6 mm dilim kalınlığındaki patlıcan örnekleri için; $a=[0.7889+0.050 \cdot \ln(T)]$, $k=\{(11.0023+3.1720 \cdot \ln(T)\}$, $n=[1.0204.\exp(1.0580/T)]$, $b=0.0005 \cdot \exp(0.0877/V)$; 9 mm dilim kalınlığında kurutulan patlıcan örnekleri için $a=[0.9853+0.0264 \cdot \ln(T)]$, $k=-(0.7517+0.2964 \cdot \ln(T))$, $n=[0.6899.\exp(0.3403/T)]$, $b=0.0025 \cdot \exp(0.1738/V)$ sabit ve katsayıları ile nem değişimini en uygun biçimde açıklayan Midilli ve ark. ($ANO=a \cdot \exp(-k \cdot t^n)+b \cdot t$) modeliyle tahmin edilmiştir.

- Kuruma havası sıcaklığının (T) ve kurutma havası hızının (V) etkileri incelendikten sonra modelleme yeterliliği de 6 mm patlıcan örnekleri için 0,982642…0,9970130 arasında; 9 mm'lik örnekler için ise 0,969902…0,998020 arasında değişmiştir.

7. KAYNAKLAR

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

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

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

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, İllinois, USA

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

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

Bengtston,G.; M.S., Rahman; R.Stanley and C.O.,Perera., 1998. Effect Specific Pretreatment on the Drying Behaviour of Apple Rings.New Zeland Inst.of Food Science and Technology and The Nutrition Society of New Zeland Conference, Nelson

Ben-Mobrouk, S., Azzous, S., Belghith, A., 1990. Development of Drying of Agricultural Pnoructs. Proceedings Of Th 1 St World Renewable Energy Congress, 958-963, Oxford, Pergamon

Demir, V., ve Günhan. T., 2002. Tarım Ürünlerinin Kuruma KarakterisitkDeğerlerinin Belirlenmesi. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 17 – 31, İzmir.

Doymaz, İ., 2008. İnfluence Of Blanching and Slice Thickness On Drying Characteristics Of Leek Slices. Chemical Engineering and Processing, 47, 41– 47

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

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

Ergüneş, C., 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., 2002. Bazı Sebze ve Meyvelerin Kurutulması.Tarım Ürünleri kurutma Tekniği Çalıştayı, 33-57, İzmir.

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

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

Hendersen, S.M., Perry, R.L.,1955. Agricultural Process Engineering. John Willey and Sons, Inc., USA

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

Karathanos, V.T, 1999a. Determination of Water Content of Dried Fruits by Drying Kinetics. Journal Food Engineering, 39: 337-344

Karathanos, V.T.;V.G.Belesssiotis, 1999b. Aplication of a Thin Layer Equation to Drying Data of Fresh and Semi-Dried Fruits. Journal of Agricultural Engineering,Res.,74:355-361

Kassem, A.S., 1998. Comparative Studies on Thin Layer Drying Models for Wheat. 13th Int. Int. Congress on Agricultural Mechanization and Enerdy,Morocco.

Krokida, M. K., Karathanos V. T., Maroulis Z. B., Marinos – Kouris D., 2003. Drying Kinetics Of Some Vegetables. Journal Of Food Engineering, 59, 391-403

Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., Jaouhari, J. T., 2004. Drying Kinetics Of Prickly Pear Fruit (Opuntia Ficus İndica). Journal of Food Engineering, 61, 173 – 179

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

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

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

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

Maskan, M., 2000. Microwave / Air And Microwave Finish Drying Of Banana. J. Of Food Engineering, 44, 71 – 78

Mengeş, H.O., 1999. Konya Bölgesi'nde Yetiştirilen Bazı Meyvelerin Kontrollü Şartlar altında Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, Konya

Mengeş, H.O., Ertekin, C., 2006a. Modelling of Air Drying of Hacıhaliloglu–Type Apricots. Journal of the Science of Food and Agriculture. Volume 86, Issue 2, 279 – 291

Menges, H.O., Ertekin, C., 2006b. Thin Layer Drying Model For Treated And Untreated Stanley Plums. Energy Conversion and Management, Volume 47, Issues 15-16, 2337 – 2348

Mengeş, H.O., Ertekin, C., 2006c. Explain Of Drying Process Process By Various Models In Sour Cherry Drying. Society of Chemical Industry, Journal of the Science of Food and Agriculture

Midilli, A., Küçük, H., Yapar, Z., 2002. A New Model for Single-Layer Drying. Drying Technology, 20 (7), 1503–1513

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

Okuyan, C., 1997. Güneş Enerjisiyle Tarımsal Ürün Kurutulması. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Sayı:3, Şanlıurfa.

Ozbek B., Dadali G., 2007. Thin – Layer Drying Characteristics and Modelling Of Mint Leaves Undergoing Microwave Treatment. Journal Of Food Engineering, 83, 541 – 549

Pangavhane, D.R., Sawhney, P.N., Sarsavadia,P.N.,1999. Effect of Various Dipping Pretreatments on Drying Kinetics of Thompson Seedless Grapes. Journal Food Engineering, 39:211-216

Paulsen, M.R., Thompson, T.L., 1973. Drying Endysus of Grain Sorghum. Transaction of the ASAE, 16: 537-540.

Sarsavadia P.N., Sawhney R.L., Pangavhane D.R., Singh S.P., 1999. Drying Behaviour Of Brined Onion Slices. J. Of Food Engng., 40: 219-226

Sharaf-Eldeen,Y.I., Blaisdell., J.L., Hamdy, M.Y., 1980. A Model for Ear Corn Drying.T.of the ASAE, 23: 1261-1271.

Tarigan, E., Prateepchaikul, G., Yamsaengsung, R., Sirichote, A., Tekasakul, P., 2007. Drying Characteristics Of Unshelled Kernels Of Candle Nuts. Journal Of Food Engineering, 79, 828–833.

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., ve 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.

Toksoy, M., 1983.Tahılların Düşük Sıcaklıkta Kurutulması. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.

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

Verma, L.R., Bucklin, J.B., Endan, F.T., Wratten, 1985. Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models.T.of the ASAE; 28: 296-301

Wang, C.Y., Singh, R.P., 1978. A Single Layer Drying Equation for Rough Rice. Paper no: 78-3001. Am.Soc.Agr.Eng.:St. Joseph, MI.

Wang, J., Chao, Y., 2002. Drying Characteristics Of İrradiated Apple Slices. Journal of Food Engineering 52, 83 – 88.

Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., Tagawa A., 2007. Vacuum Drying Characteristics Of Eggplants. Journal Of Food Engineering, 83, 422 – 429

Yaldız, O., Ertekin, C., Uzun, H.İ., 2000.Çekirdeksiz Üzümün İnce Tabaka Halinde Güneş Enerjisi ile Kurutulmasının Matematiksel Modellenmesi Üzerinde Bir Araştırma. 19. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi Bildiri Kitabı, 345-350, Erzurum

Yaldız, O., Ertekin, C., 2001a. Thin Layer solar Drying of Some Different Vegetables. Dry. Tech., Vol.19, No.3, pp.583-56

Yaldız, O., Ertekin, C., 2001b. Patlıcan Kurutmada Kurumanın Çeşitli Modeller ile Açıklanması. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı; 399-403. Şanlıurfa, 399–404, Şanlıurfa

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

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

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

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

Yağcıoğlu,A., Değirmencioğlu, A., Çağatay, F., 1999. Drying Characteristics of Laurel Leaves Under Different Drying Conditions.7th Int. Congress on Agricultural Mechanization and Enerdy,pp. 565-569,Adana.

Ek Çizelge 1. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama % Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler için Varyans Analiz Sonuçları

Varyans Kaynakları	SD	KT	KO	F
Hız (V)	1	596,8	596,8	1135,34**
Sıcaklık (T)	3	3022,0	1007,3	1916,21**
Zaman (Z)	3	70377,7	23459,2	4,5E+04**
VXT	3	52,5	17,5	33,30**
TXZ	9	1197,3	133,0	253,06**
VXZ	3	222,2	74,1	140,86**
VXTXZ	9	43,9	4,9	9,28**
Hata	32	16,8	0,5	
Toplam	63	75529,3		

**0,01 Seviyesinde önemli

Ek Çizelge 2. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Sıcaklığı	T_{45}	T_{55}	T_{65}	T_{75}
Ağırlık Azalması (%)	$43,441_{d}$	$52,658_{c}$	$58,668_{b}$	$61,335_{a}$

Ek Çizelge 3. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kuruma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Kuruma Zamanı	Z_0	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$
Ağırlık Azalması (%)	$0,000_{f}$	$54,327_{e}$	$76,611_{d}$	$85,165_{c}$

Ek Çizelge 4. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Hızı	Hava Sıcaklığı			
	T_{45}	T_{55}	T_{65}	T_{75}
$V_{1.5}$	$40,363_{h}$	$48,183_{f}$	$56,010_{e}$	$59,332_{c}$
$V_{2.5}$	$46,520_{g}$	$57,134_{d}$	$61,327_{b}$	$63,337_{a}$

Ek Çizelge 5. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Sıcaklığı	Kuruma Zamanı			
	$Z_{0.0}$	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$T_{1.5}$
T_{45}	$0,000_{j}$	$40,630_{i}$	$59,966_{g}$	$73,169_{e}$
T_{55}	$0,000_{j}$	$51,063_{h}$	$73,903_{e}$	$85,668_{c}$
T_{65}	$0,000_{j}$	$59,381_{g}$	$84,364_{a}$	$90,929_{d}$
T_{75}	$0,000_{j}$	$66,233_{f}$	$88,211_{b}$	$90,894_{a}$

Ek Çizelge 6. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Hızı	Kuruma Zamanı			
	$Z_{0.0}$	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$
$V_{1.5}$	$0,000_{g}$	$49,799_{f}$	$72,013_{d}$	$82,076_{b}$
$V_{2.5}$	$0,000_{g}$	$58,854_{e}$	$81,209_{c}$	$88,254_{a}$

Ek Çizelge 7. 6 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Tapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Hızı	Hava Sıcaklığı	Kuruma Zamanı			
		$Z_{0.0}$	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$
$V_{1.5}$	T_{45}	$0,000_{p}$	$37,073_{o}$	$55,942_{lm}$	$72,013_{i}$
	T_{55}	$0,000_{p}$	$44,855_{n}$	$67,128_{i}$	$68,435_{f}$
	T_{65}	$0,000_{p}$	$54,808_{m}$	$79,754_{f}$	$89,477_{cd}$
	T_{75}	$0,000_{p}$	$62,461_{k}$	$85,225_{e}$	$89,642_{cd}$
$V_{2.5}$	T_{45}	$0,000_{p}$	$44,188_{n}$	$63,989_{j}$	$77,902_{g}$
	T_{55}	$0,000_{p}$	$57,271_{l}$	$80,677_{f}$	$90,587_{bc}$
	T_{65}	$0,000_{p}$	$63,953_{j}$	$88,973_{d}$	$92,382_{a}$
	T_{75}	$0,000_{p}$	$70,006_{h}$	$91,197_{a}$	$92,146_{ba}$

Ek Çizelge 8. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama % Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler için Varyans Analiz Sonuçları

Varyans Kaynakları	SD	KT	KO	F
Hız (V)	1	311,7	311,7	477,04**
Sıcaklık (T)	3	9868,6	3289,5	5035,07**
Zaman (Z)	5	71963,9	14392,8	2,2E+04**
VXT	3	29,1	9,7	14,87**
TXZ	15	2284,6	152,3	233,12**
VXZ	5	67,0	13,4	20,50**
VXTXZ	15	14,1	0,9	1,44***
Hata	48	31,4	0,7	
Toplam	95	84570,4		

**0,01 Seviyesinde önemli ***0,05 Seviyesinde Önemli

Ek Çizelge 9. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Sıcaklığı	T_{45}	T_{55}	T_{65}	T_{75}
Ağırlık Azalması (%)	$38,556_{d}$	$48,064_{c}$	$59,332_{b}$	$64,769_{a}$

Ek Çizelge 10. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kuruma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Kuruma Zamanı	Z_0	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$	$Z_{2.0}$	$Z_{2.5}$
Ağırlık Azalması (%)	$0,000_{f}$	$37,412_{e}$	$55,774_{d}$	$67,653_{c}$	$75,220_{b}$	$80,023_{a}$

Ek Çizelge 11. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Hızı	Hava Sıcaklığı			
	T_{45}	T_{55}	T_{65}	T_{75}
$V_{1.5}$	$36,856_{h}$	$46,108_{f}$	$56,789_{d}$	$63,761_{b}$
$V_{2.5}$	$40,256_{g}$	$50,020_{e}$	$61,876_{c}$	$65,777_{a}$

Ek Çizelge 12. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Sıcaklığı	Kuruma Zamanı					
	$Z_{0.0}$	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$	$Z_{2.0}$	$Z_{2.5}$
T_{45}	$0,000_{o}$	$25,393_{n}$	$38,845_{l}$	$48,652_{j}$	$56,074_{i}$	$62,371_{g}$
T_{55}	$0,000_{o}$	$32,719_{m}$	$49,369_{j}$	$60,708_{h}$	$69,355_{f}$	$76,236_{d}$
T_{65}	$0,000_{o}$	$42,350_{k}$	$63,206_{g}$	$76,502_{d}$	$84,572_{c}$	$89,362_{b}$
T_{75}	$0,000_{o}$	$49,187_{j}$	$71,674_{e}$	$84,749_{c}$	$90,880_{a}$	$92,125_{a}$

Ek Çizelge 13. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Hızı	Kuruma Zamanı					
	$Z_{0.0}$	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$	$Z_{2.0}$	$Z_{2.5}$
$V_{1.5}$	$0{,}000_{k}$	$35{,}236_{j}$	$53{,}316_{h}$	$65{,}357_{f}$	$73{,}072_{d}$	$78{,}291_{b}$
$V_{2.5}$	$0{,}000_{k}$	$39{,}589_{i}$	$58{,}231_{g}$	$69{,}949_{e}$	$77{,}368_{c}$	$81{,}755_{a}$

Ek Çizelge 14. 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Hızı	Hava Sıcaklığı	Kuruma Zamanı					
		$Z_{0.0}$	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$	$Z_{2.0}$	$Z_{2.5}$
$V_{1.5}$	T_{45}	$0{,}000_{w}$	$23{,}363_{v}$	$36{,}570_{r}$	$46{,}667_{o}$	$54{,}041_{m}$	$60{,}496_{k}$
	T_{55}	$0{,}000_{w}$	$30{,}935_{t}$	$47{,}179_{o}$	$58{,}167_{l}$	$66{,}707_{i}$	$73{,}664_{fg}$
	T_{65}	$0{,}000_{w}$	$39{,}035_{q}$	$59{,}428_{kl}$	$73{,}273_{fg}$	$81{,}668_{d}$	$87{,}327_{c}$
	T_{75}	$0{,}000_{w}$	$47{,}610_{f}$	$70{,}088_{h}$	$83{,}320_{d}$	$89{,}872_{b}$	$91{,}675_{a}$
$V_{2.5}$	T_{45}	$0{,}000_{w}$	$27{,}423_{u}$	$41{,}120_{p}$	$50{,}637_{n}$	$58{,}108_{l}$	$64{,}245_{j}$
	T_{55}	$0{,}000_{w}$	$34{,}502_{s}$	$51{,}559_{n}$	$63{,}249_{j}$	$72{,}002_{g}$	$78{,}807_{e}$
	T_{65}	$0{,}000_{w}$	$45{,}666_{o}$	$66{,}985_{i}$	$79{,}732_{e}$	$87{,}476_{c}$	$91{,}396_{ab}$
	T_{75}	$0{,}000_{w}$	$50{,}764_{n}$	$73{,}260_{fg}$	$86{,}178_{c}$	$91{,}888_{a}$	$92{,}574_{a}$

Ek Çizelge 15. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama % Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler için Varyans Analiz Sonuçları

Varyans Kaynakları	SD	KT	KO	F
Ön İşlem (Ö)	1	6108,2	6108,2	475,11**
Sıcaklık (T)	3	7882,5	2627,5	204,37**
Zaman (Z)	3	110190,3	36730,1	2856,99**
ÖxT	3	219,0	73,0	5,68**
TxZ	9	2756,1	306,2	23,82**
ÖxZ	3	2107,5	702,5	54,64**
ÖxTxZ	9	342,0	38,0	2,96**
Hata	96	1234,2	12,9	
Toplam	127	130839,8		

**0,01seviyesinde önemli

Ek Çizelge 16. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Sıcaklığı	T_{45}	T_{55}	T_{65}	T_{75}
Ağırlık Azalması (%)	$35,832_{d}$	$44,179_{c}$	$52,092_{b}$	$56,369_{a}$

Ek Çizelge 17. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Kuruma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Kuruma Zamanı	Z_0	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$
Ağırlık Azalması (%)	$0,000_{d}$	$45,870_{c}$	$66,192_{b}$	$76,409_{a}$

Ek Çizelge 18. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Ön İşlem x Sıcaklık İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Ön İşlem	Hava Sıcaklığı			
	T_{45}	T_{55}	T_{65}	T_{75}
6 mm	$43,441_{d}$	$52,658_{c}$	$58,668_{b}$	$61,335_{a}$
9 mm	$28,223_{f}$	$35,699_{e}$	$45,515_{d}$	$51,403_{c}$

Ek Çizelge 19. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Hava Sıcaklığı	Kuruma Zamanı			
	Z_0	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$
T_{45}	$0,000_{j}$	$33,012_{i}$	$49,405_{g}$	$60,910_{ef}$
T_{55}	$0,000_{j}$	$41,891_{h}$	$61,636_{e}$	$73,188_{d}$
T_{65}	$0,000_{j}$	$50,865_{g}$	$73,785_{d}$	$83,716_{b}$
T_{75}	$0,000_{j}$	$57,710_{f}$	$79,943_{c}$	$87,822_{a}$

Ek Çizelge 20. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Ön İşlem x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Ön İşlem	Kuruma Zaman			
	Z_0	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$
6 mm	$0,000_{f}$	$54,327_{d}$	$76,611_{b}$	$85,165_{a}$
9 mm	$0,000_{f}$	$37,412_{e}$	$55,774_{d}$	$67,653_{c}$

Ek Çizelge 21. 6 mm ve 9 mm Kalınlığındaki Patlıcan Örneklerinde Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleriyle Ön İşlem x Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları

Ön İşlem	Hava Sıcaklığı	Kuruma Zaman			
		Z_0	$Z_{0.5}$	$Z_{1.0}$	$Z_{1.5}$
6 mm	T_{45}	$0,000_{j}$	$40,630_{g}$	$59,966_{e}$	$73,169_{c}$
	T_{55}	$0,000_{j}$	$51,063_{f}$	$73,903_{c}$	$85,668_{ab}$
	T_{65}	$0,000_{j}$	$59,381_{e}$	$84,364_{b}$	$90,929_{e}$
	T_{75}	$0,000_{j}$	$66,233_{d}$	$88,211_{ab}$	$90,894_{a}$
9 mm	T_{45}	$0,000_{j}$	$25,393_{i}$	$38,845_{g}$	$48,652_{f}$
	T_{55}	$0,000_{j}$	$32,719_{h}$	$49,369_{f}$	$60,708_{e}$
	T_{65}	$0,000_{j}$	$42,350_{g}$	$63,206_{de}$	$76,502_{c}$
	T_{75}	$0,000_{j}$	$49,187_{f}$	$71,674_{c}$	$84,749_{b}$

Ek Çizelge 22. Patlıcan Örneklerinde 45 °C Sıcaklık için Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	90,077200	90,177500	90,593600	92,884300
0.25	88,488757	88,188469	87,793283	90,410891
0.50	87,052044	86,465884	85,049139	87,250271
0.75	85,704165	84,885244	82,056712	84,340540
1.00	84,355900	83,317429	78,641328	80,237762
1.25	82,955255	81,705399	74,713952	74,710200
1.50	81,393527	80,101000	70,181252	67,785173
1.75	80,017362	78,401741	64,651833	58,732445
2.00	78,407584	76,552036	58,293794	47,250948
2.25	76,695017	74,611752	51,052562	35,558082
2.50	74,877791	72,527442	43,166847	25,787757
2.75	72,488226	70,204999	35,801214	19,670853
3.00	70,754201	67,676268	28,531304	16,701372
3.25	68,499458	64,902919	22,800573	16,701372
3.50	66,039726	61,960971	18,683204	16,701372
3.75	63,484236	58,740412	16,455495	15,672172
4.00	60,560782	55,347908	14,495836	
4.25	57,618842	51,702742	12,878442	
4.50	54,386970	47,741502	12,466170	
4.75	51,330059	43,844081	12,041404	
5.00	47,831513	39,759843		
5.25	43,997310	35,536985		
5.50	40,202590	31,684385		
5.75	37,547095	27,336330		
6.00	33,285847	23,823670		
6.25	30,070299	19,953426		
6.50	25,895721	17,562619		
6.75	22,459565	15,458754		
7.00	19,288770	13,709221		
7.25	16,881906	12,574876		
7.50	14,763333			
7.75	12,558836			
8.00	10,958969			
8.25	10,001328			
8.50	9,168164			

Ek Çizelge 23. Patlıcan Örneklerinde 55 °C Sıcaklık için Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	91,935400	92,086300	91,444600	92,889000
0.25	90,051483	89,892708	88,173372	88,774302
0.50	88,321909	87,917541	84,480132	83,357905
0.75	86,567655	85,859602	79,971920	74,377304
1.00	84,729431	83,663245	73,924954	63,193917
1.25	82,794472	80,938289	65,632036	45,485823
1.50	80,717826	78,465929	55,349933	24,340713
1.75	78,387865	75,348290	42,223174	16,875623
2.00	75,768784	71,731072	29,988920	13,428870
2.25	72,874416	67,521531	20,512247	12,876897
2.50	69,365650	62,649857	15,078486	12,365907
2.75	65,967175	57,193026	11,533114	
3.00	62,047955	51,180874	11,084097	
3.25	57,640688	44,512974	10,626075	
3.50	52,919412	37,700551		
3.75	47,832546	31,202831		
4.00	42,742138	25,138873		
4.25	37,319138	20,181861		
4.50	32,124468	16,651328		
4.75	26,823298	14,781022		
5.00	22,606336	13,097284		
5.25	18,892720	12,520499		
5.50	16,640646			
5.75	14,251012			
6.00	12,306482			
6.25	12,023533			
6.50	11,736886			

Ek Çizelge 24. Patlıcan Örneklerinde 65 °C Sıcaklık için Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	92,369200	93,507800	91,897600	93,135700
0.25	89,987731	90,839666	87,668537	88,192678
0.50	87,478946	88,051032	82,071261	80,956765
0.75	84,607194	84,576257	73,712834	66,611565
1.00	81,166229	80,329002	59,979541	37,499479
1.25	77,042897	74,927071	40,281713	12,744865
1.50	71,350732	67,940894	23,005209	9,756612
1.75	65,721502	58,625247	15,734352	8,569254
2.00	58,105439	48,102353	12,815293	
2.25	49,085838	32,720003	12,815293	
2.50	39,215677	24,506216	12,815293	
2.75	30,148155	15,790217	12,320902	
3.00	22,168430	12,178871	12,320902	
3.25	16,448467	10,646382	11,801106	
3.50	13,153982	10,251614		
3.75	10,744663			
4.00	10,111580			
4.25	9,788157			
4.50	9,127042			
4.75	9,127042			
5.00	8,456580			
5.25	8,456580			
5.50	8,113634			

Ek Çizelge 25. Patlıcan Örneklerinde 45 °C Sıcaklık için Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	92,557200	93,699300	90,807100	93,064490
0.25	89,361219	90,659379	84,581034	87,151684
0.50	85,793397	87,201587	75,510987	76,876485
0.75	81,112700	82,751402	60,619552	53,641582
1.00	75,112058	76,427249	37,752773	21,155425
1.25	67,092482	67,495475	18,285274	12,234557
1.50	55,334977	54,347920	11,240156	11,670104
1.75	40,378023	37,198124	8,932043	
2.00	26,358868	22,289484	8,932043	
2.25	16,166415	17,215597	8,932043	
2.50	10,577191	15,151792	8,932043	
2.75	8,868684	14,791926	8,454179	
3.00	7,403335			
3.25	7,403335			
3.50	7,048557			

Ek Çizelge 26. Patlıcan Örneklerinde 45 °C Sıcaklık için Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	9,077801	9,180708	9,631060	13,053431
0.25	7,687180	7,466353	7,192932	9,428566
0.50	6,723309	6,388837	5,689770	6,843571
0.75	5,995163	5,616152	4,574715	5,386209
1.00	5,392354	4,994380	3,683790	4,060781
1.25	4,867144	4,466170	2,956843	2,954959
1.50	4,374748	4,025508	2,355641	2,105520
1.75	4,004716	3,630104	1,830954	1,424371
2.00	3,631692	3,264897	1,399223	0,897059
2.25	3,291505	2,938906	1,044007	0,552806
2.50	2,981139	2,640102	0,759882	0,347548
2.75	2,634846	2,356376	0,557716	0,244909
3.00	2,420113	2,093780	0,399228	0,200873
3.25	2,175404	1,849290	0,295448	0,200873
3.50	1,945620	1,628959	0,229859	0,200873
3.75	1,739716	1,423706	0,197068	0,186229
4.00	1,536784	1,239588	0,169762	
4.25	1,360705	1,070562	0,147846	
4.50	1,193584	0,913617	0,142515	
4.75	1,055690	0,780809	0,137125	
5.00	0,918264	0,660076		
5.25	0,786789	0,551428		
5.50	0,673237	0,463894		
5.75	0,601488	0,376365		
6.00	0,499945	0,312985		
6.25	0,431229	0,249616		
6.50	0,350556	0,213393		
6.75	0,290800	0,183212		
7.00	0,239998	0,159053		
7.25	0,204146	0,143950		
7.50	0,174265			
7.75	0,144375			
8.00	0,123443			
8.25	0,111496			
8.50	0,101247			

Ek Çizelge 27. Patlıcan Örneklerinde 55 °C Sıcaklık için Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	11,399871	11,636314	10,688524	13,062720
0.25	9,052420	8,893899	7,456618	7,908199
0.50	7,563990	7,276476	5,445678	5,008860
0.75	6,445813	6,071939	3,997317	2,914028
1.00	5,549798	5,121176	2,842222	1,717353
1.25	4,812985	4,246187	1,920541	0,834932
1.50	4,187257	3,643915	1,250240	0,323731
1.75	3,628171	3,056800	0,741538	0,204655
2.00	3,128326	2,537858	0,436315	0,155590
2.25	2,687722	2,079527	0,262770	0,148601
2.50	2,265630	1,678014	0,179004	0,141583
2.75	1,939811	1,337105	0,131128	
3.00	1,636200	1,049225	0,125143	
3.25	1,362206	0,803019	0,119165	
3.50	1,125251	0,606044		
3.75	0,917907	0,454535		
4.00	0,747588	0,337105		
4.25	0,595789	0,253775		
4.50	0,473607	0,200747		
4.75	0,366646	0,174230		
5.00	0,292184	0,151509		
5.25	0,232944	0,143928		
5.50	0,199626			
5.75	0,166307			
6.00	0,140379			
6.25	0,136678			
6.50	0,132976			

Ek Çizelge 28. Patlıcan Örneklerinde 65 °C Sıcaklık için Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	12,104786	14,403099	11,342022	13,568128
0.25	8,988782	9,916685	7,109375	7,469866
0.50	6,989392	7,369166	4,577637	4,251329
0.75	5,501946	5,484312	2,804138	1,997159
1.00	4,316828	4,085395	1,498723	0,606362
1.25	3,365506	2,990789	0,674584	0,148376
1.50	2,502477	2,121969	0,298800	0,109851
1.75	1,930473	1,420027	0,186729	0,094467
2.00	1,402409	0,929146	0,147203	
2.25	0,979163	0,491844	0,147203	
2.50	0,660717	0,325344	0,147203	
2.75	0,443053	0,187887	0,140594	
3.00	0,293914	0,138790	0,140594	
3.25	0,201204	0,119151	0,134016	
3.50	0,152848	0,114237		
3.75	0,120603			
4.00	0,112544			
4.25	0,108514			
4.50	0,100455			
4.75	0,100455			
5.00	0,092395			
5.25	0,092395			
5.50	0,088366			

Ek Çizelge 29. Patlıcan Örneklerinde 75 °C Sıcaklık için Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama % Nem Değişimi Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	12,435804	14,871252	9,877960	13,418550
0.25	8,399655	9,706295	5,485549	6,783227
0.50	6,038984	6,814322	3,083488	3,324714
0.75	4,294983	4,798848	1,539356	1,158399
1.00	3,018958	3,243909	0,607202	0,269193
1.25	2,040663	2,079769	0,223961	0,140003
1.50	1,241085	1,193764	0,126712	0,132426
1.75	0,679697	0,594561	0,098092	
2.00	0,360724	0,287532	0,098092	
2.25	0,194900	0,208294	0,098092	
2.50	0,118511	0,178575	0,098092	
2.75	0,097342	0,173616	0,092354	
3.00	0,080407			
3.25	0,080407			
3.50	0,076127			

Ek Çizelge 30. Patlıcan Örneklerinde 45 °C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
0.25	0,846811	0,813266	0,746847	0,722306
0.50	0,740632	0,695898	0,590773	0,524274
0.75	0,660420	0,611734	0,474996	0,412628
1.00	0,594015	0,544008	0,382491	0,311089
1.25	0,536159	0,486473	0,307011	0,226374
1.50	0,481917	0,438475	0,244588	0,161300
1.75	0,441155	0,395406	0,190109	0,109119
2.00	0,400063	0,355626	0,145282	0,068722
2.25	0,362588	0,320118	0,108400	0,042349
2.50	0,328399	0,287571	0,078899	0,026625
2.75	0,290252	0,256666	0,057908	0,018762
3.00	0,266597	0,228063	0,041452	0,015388
3.25	0,239640	0,201432	0,030677	0,015388
3.50	0,214327	0,177433	0,023866	0,015388
3.75	0,191645	0,155076	0,020462	0,014267
4.00	0,169290	0,135021	0,017627	
4.25	0,149894	0,116610	0,015351	
4.50	0,131484	0,099515	0,014797	
4.75	0,116294	0,085049	0,014238	
5.00	0,101155	0,071898		
5.25	0,086672	0,060064		
5.50	0,074163	0,050529		
5.75	0,066259	0,040995		
6.00	0,055073	0,034092		
6.25	0,047504	0,027189		
6.50	0,038617	0,023244		
6.75	0,032034	0,019956		
7.00	0,026438	0,017325		
7.25	0,022488	0,015680		
7.50	0,019197			
7.75	0,015904			
8.00	0,013598			
8.25	0,012282			
8.50	0,011153			

Ek Çizelge 31. Patlıcan Örneklerinde 55 °C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
0.25	0,794081	0,764323	0,697628	0,605402
0.50	0,663515	0,625325	0,509488	0,383447
0.75	0,565429	0,521809	0,373982	0,223080
1.00	0,486830	0,440103	0,265913	0,131470
1.25	0,422196	0,364908	0,179683	0,063917
1.50	0,367307	0,313150	0,116970	0,024783
1.75	0,318264	0,262695	0,069377	0,015667
2.00	0,274418	0,218098	0,040821	0,011911
2.25	0,235768	0,178710	0,024584	0,011376
2.50	0,198742	0,144205	0,016747	0,010839
2.75	0,170161	0,114908	0,012268	
3.00	0,143528	0,090168	0,011708	
3.25	0,119493	0,069010	0,011149	
3.50	0,098707	0,052082		
3.75	0,080519	0,039062		
4.00	0,065579	0,028970		
4.25	0,052263	0,021809		
4.50	0,041545	0,017252		
4.75	0,032162	0,014973		
5.00	0,025630	0,013020		
5.25	0,020434	0,012369		
5.50	0,017511			
5.75	0,014589			
6.00	0,012314			
6.25	0,011989			
6.50	0,011665			

Ek Çizelge 32. Patlıcan Örneklerinde 65 °C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
0.25	0,742581	0,688510	0,626817	0,550545
0.50	0,577407	0,511638	0,403600	0,313332
0.75	0,454527	0,380773	0,247234	0,147195
1.00	0,356622	0,283647	0,132139	0,044690
1.25	0,278031	0,207649	0,059477	0,010936
1.50	0,206734	0,147327	0,026345	0,008096
1.75	0,159480	0,098592	0,016463	0,006962
2.00	0,115856	0,064510	0,012979	
2.25	0,080891	0,034148	0,012979	
2.50	0,054583	0,022588	0,012979	
2.75	0,036601	0,013045	0,012396	
3.00	0,024281	0,009636	0,012396	
3.25	0,016622	0,008273	0,011816	
3.50	0,012627	0,007931		
3.75	0,009963			
4.00	0,009297			
4.25	0,008965			
4.50	0,008299			
4.75	0,008299			
5.00	0,007633			
5.25	0,007633			
5.50	0,007300			

Ek Çizelge 33. Patlıcan Örneklerinde 75 °C Sıcaklık için Ortalama Alınabilir Nem Oranı (ANO) Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
0.25	0,675441	0,652688	0,555332	0,505511
0.50	0,485613	0,458221	0,312158	0,247770
0.75	0,345372	0,322693	0,155837	0,086328
1.00	0,242763	0,218133	0,061470	0,020061
1.25	0,164096	0,139852	0,022673	0,010434
1.50	0,099799	0,080273	0,012828	0,009869
1.75	0,054656	0,039981	0,009930	
2.00	0,029007	0,019335	0,009930	
2.25	0,015672	0,014007	0,009930	
2.50	0,009530	0,012008	0,009930	
2.75	0,007828	0,011675	0,009349	
3.00	0,006466			
3.25	0,006466			
3.50	0,006122			

Ek Çizelge 34. Patlıcan Örneklerinde 45 °C Sıcaklık için Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000
0.25	86,2012	83,1608	77,0660	74,2066
0.50	76,6369	72,5769	62,9267	55,8125
0.75	69,4116	64,9872	52,4380	45,4424
1.00	63,4301	58,8798	44,0576	36,0110
1.25	58,2185	53,6915	37,2197	28,1423
1.50	53,3326	49,3631	31,5645	22,0980
1.75	49,6608	45,4792	26,6291	17,2511
2.00	45,9594	41,8920	22,5681	13,4989
2.25	42,5838	38,6899	19,2268	11,0493
2.50	39,5041	35,7549	16,5542	9,5888
2.75	36,0679	32,9680	14,6525	8,8584
3.00	33,9371	30,3887	13,1617	8,5451
3.25	31,5089	27,9872	12,1855	8,5451
3.50	29,2288	25,8230	11,5686	8,5451
3.75	27,1857	23,8069	11,2601	8,4409
4.00	25,1720	21,9984	11,0033	
4.25	23,4248	20,3381	10,7971	
4.50	21,7665	18,7965	10,7470	
4.75	20,3982	17,4920	10,6963	
5.00	19,0346	16,3061		
5.25	17,7300	15,2389		
5.50	16,6032	14,3791		
5.75	15,8913	13,5194		
6.00	14,8837	12,8968		
6.25	14,2018	12,2744		
6.50	13,4013	11,9186		
6.75	12,8084	11,6221		
7.00	12,3043	11,3848		
7.25	11,9485	11,2365		
7.50	11,6520			
7.75	11,3554			
8.00	11,1477			
8.25	11,0292			
8.50	10,9275			

Ek Çizelge 35. Patlıcan Örneklerinde 55 °C Sıcaklık için Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000
0.25	81,0688	78,2974	72,3498	63,3462
0.50	69,0652	65,4976	55,1454	42,7290
0.75	60,0475	55,9652	42,7541	27,8327
1.00	52,8215	48,4412	32,8718	19,3231
1.25	46,8794	41,5168	24,9864	13,0482
1.50	41,8332	36,7506	19,2517	9,4131
1.75	37,3244	32,1043	14,8996	8,5663
2.00	33,2933	27,9976	12,2883	8,2174
2.25	29,7400	24,3705	10,8035	8,1677
2.50	26,3360	21,1930	10,0869	8,1178
2.75	23,7084	18,4952	9,6773	
3.00	21,2599	16,2170	9,6261	
3.25	19,0503	14,2686	9,5749	
3.50	17,1393	12,7098		
3.75	15,4672	11,5108		
4.00	14,0936	10,5815		
4.25	12,8694	9,9220		
4.50	11,8841	9,5024		
4.75	11,0215	9,2925		
5.00	10,4210	9,1127		
5.25	9,9432	9,0527		
5.50	9,6745			
5.75	9,4058			
6.00	9,1967			
6.25	9,1669			
6.50	9,1370			

Ek Çizelge 36. Patlıcan Örneklerinde 65 °C Sıcaklık için Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000
0.25	76,2224	70,8733	65,7054	58,1397
0.50	60,9655	54,3343	45,1923	36,0467
0.75	49,6151	42,0975	30,8227	20,5734
1.00	40,5717	33,0154	20,2457	11,0266
1.25	33,3123	25,9090	13,5682	7,8828
1.50	26,7267	20,2685	10,5234	7,6184
1.75	22,3619	15,7113	9,6154	7,5128
2.00	18,3323	12,5244	9,2951	
2.25	15,1026	9,6854	9,2951	
2.50	12,6726	8,6044	9,2951	
2.75	11,0117	7,7120	9,2416	
3.00	9,8736	7,3933	9,2416	
3.25	9,1662	7,2658	9,1883	
3.50	8,7972	7,2339		
3.75	8,5511			
4.00	8,4896			
4.25	8,4589			
4.50	8,3974			
4.75	8,3974			
5.00	8,3359			
5.25	8,3359			
5.50	8,3051			

Ek Çizelge 37. Patlıcan Örneklerinde 75 °C Sıcaklık için Ortalama % Ağırlık Azalması Değerleri

Süre (saat)	Patlıcan Örnekleri			
	9 mm		6 mm	
	1.5 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s	2.5 m/s
0.00	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000
0.25	69,9598	67,4572	59,6210	53,9807
0.50	52,3898	49,2357	37,5391	29,9941
0.75	39,4095	36,5368	23,3441	14,9696
1.00	29,9123	26,7396	14,7749	8,8025
1.25	22,6311	19,4047	11,2518	7,9065
1.50	16,6800	13,8223	10,3578	7,8540
1.75	12,5017	10,0469	10,0947	
2.00	10,1276	8,1124	10,0947	
2.25	8,8934	7,6131	10,0947	
2.50	8,3249	7,4259	10,0947	
2.75	8,1673	7,3946	10,0419	
3.00	8,0413			
3.25	8,0413			
3.50	8,0094			