T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA BÖLGESİ'NDE YETİŞTİRİLEN HAVUCUN KONTROLLÜ ŞARTLAR ALTINDA KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Vahit ÖZBİLİR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI
KONYA, 2006

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA BÖLGESİ'NDE YETİŞTİRİLEN HAVUCUN KONTROLLÜ ŞARTLAR ALTINDA KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Vahit ÖZBİLİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

Bu tez 24.02.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

İmza	**imza**	**imza**
Prof. Dr. Fikret DEMİR	**Doç. Dr. Cevat AYDIN**	**Yrd. Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ**
(Üye)	**(Üye)**	**(Danışman)**

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA BÖLGESİ'NDE YETİŞTİRİLEN HAVUCUN KONTROLLÜ ŞARTLAR ALTINDA KURUTMA KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Vahit ÖZBİLİR
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Hakan Okyay MENGEŞ
2006, **Sayfa:** 64

Jüri: Prof. Dr. Fikret DEMİR
Doç. Dr. Cevat AYDIN
Yrd. Doç. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

Bu çalışmada, Konya Bölgesi'nde yetiştirilen havucun farklı hava sıcaklığı ve farklı hava hızlarında göstereceği kurutma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 55 ^{o}C, 65 ^{o}C ve 75 ^{o}C, hava hızı olarak 1.0 m/s, 2.0 m/s ve 3.0 m/s alınmıştır. Havuç örnekleri 6,35 mm (1/4 inç) kalınlığında halka şeklinde dilimlenerek kurutulmuşlardır. Elde edilen verilerden yararlanılarak istatistikî değerlendirmeler yapılmıştır.

Denemeler sonucunda, hava sıcaklığının ve hava hızının havuç örneklerinin kuruma hızı üzerine olan etkisi belirlenmiştir. Deneme materyali havuç örneklerine ait kuruma sabiti (k) değerleri 0.627….1.981 arasında bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Havuç, hava sıcaklığı, hava hızı, kuruma hızı, kurutma sabiti

ABSTRACT

MS THESIS

THE DETERMINATION OF DRYING CHARACTRERISTICS UNDER CONTROLLED CONDITIONS OF CARROT WHICH IS GROWN IN KONYA REGION

Vahit ÖZBİLİR

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Assist. Prof. Hakan Okyay MENGEŞ

2006, **Pages:** 64

Jury : Prof. Dr. Fikret DEMİR

Assoc. Prof. Dr. Cevat AYDIN

Assist. Prof. Hakan Okyay MENGEŞ

In this study the drying characteristics of carrot which is grown Konya region for different air temperature and air velocity were determined. In the trials, air temparatures as 55 ^{o}C, 65 ^{o}C , 75 ^{o}C and air velocities as 1.0 m/s, 2.0 m/s, 3.0 m/s were taken. Statistical evaluations were done from data which taken trials.

In the trials results, the effects on samples carrot drying velocity of air temperature and air velocity were determined. Drying coefficient (k) values for samples were found 0.627…1.981 respectively.

KEY WORDS: Carrot, air temperature, air velocity, drying velocity, drying coefficient

TEŞEKKÜR

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

Çalışma süresince yardımlarını gördüğüm Tarım Makinaları Bölümü Öğretim Üyesi hocalarıma ve Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

KONYA, 2006 **Vahit ÖZBİLİR**

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No **Sayfa No**

1.1. Türkiye'de Yıllar İtibariyle Sebze Üretim Değerleri (ton) 1
1.2. Kurutulmuş Ürünlerin İhracat Miktarları ve Gelirleri 2
3.1. Üç Farklı Hız Kademesinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri 27
3.2. Denemelerin Gerçekleştiği Kurutma Havası Koşulları 32
4.1. Denemelerde Kullanılan Havanın Isıtma Öncesi ve Sonrası Belirlenen Bazı Psikometrik Özellikleri 33
4.2. Farklı Kurutma Koşullarında, Havuç Örneklerinin Sabit + Azalan Hızla Kuruma Evrelerine Ait Alınabilir Nem Oranı (Y) – Kuruma Süresi (t) İlişkisini Belirleyen Regresyon Denklemleri 41

EK ÇİZELGE LİSTESİ

Ek Çizelge No **Sayfa No**

1. Havuç Örneklerinde 55 °C Sıcaklık İçin Ortalama Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri 51
2. Havuç Örneklerinde 65 °C Sıcaklık İçin Ortalama Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri 52
3. Havuç Örneklerinde 75 °C Sıcaklık İçin Ortalama Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri 53
4. Havuç Örneklerinde 55 °C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri 54
5. Havuç Örneklerinde 65 °C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri 55
6. Havuç Örneklerinde 75 °C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri 56
7. Havuç Örneklerinde 55 °C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O.) Değerleri 57
8. Havuç Örneklerinde 65 °C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O.) Değerleri 58
9. Havuç Örneklerinde 75 °C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O.) Değerleri 59
10. Havuç Örneklerinde 55 °C Sıcaklık İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleri.....60
11. Havuç Örneklerinde 65 °C Sıcaklık İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleri.....61
12. Havuç Örneklerinde 75 °C Sıcaklık İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleri.....62
13. Havuç Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler İçin Varyans Analiz Sonuçları.....63
14. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları 63
15. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Hızlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları 63
16. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları 63

17. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Hız İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 63
18. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 64
19. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 64
20. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları 64

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No **Sayfa No**

1.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statiği açısından anlamı 5
1.2. Tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri 6
2.1.Çeşitli faktörlerin sarımsağın kurutulmasına olan etkileri 14
2.2.Çeşitli kuruma parametrelerinin soğanın kuruma karakteristiklerine etkileri 16
2.3. Siklon tipi kurutucunun şematik gösterimi 17
3.1. Deneme düzeninin şematik görünüşü 23
3.2. Deneme düzeninin genel görünüşü 24
3.3. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçüm noktaları 26
3.4 Sıcaklık ölçü ve kontrol cihazı 28
3.5. Nem ve kontrol cihazı 28
3.6. Elektronik hava hızı ölçme cihazı 29
3.7. Shimadzu marka dijital terazi 30
4.1. 1.0 m/s hava hızında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi 36
4.2. 2.0 m/s hava hızında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi 37
4.3. 3.0 m/s hava hızında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi 37
4.4. 55 □ C hava sıcaklığında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası hızına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi 39
4.5. 65 □ C hava sıcaklığında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası hızına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi 40
4.6. 75 □ C hava sıcaklığında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası hızına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi 40
4.7. Farklı kurutma sıcaklıklarında (a, b ve c) elde edilen deneysel ve tahmini Alınabilir Nem Oranı değerlerinin zamana göre değişimi 43

İÇİNDEKİLER

ÖZ i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ÇİZELGE LİSTESİ iv
EK ÇİZELGE LİSTESİ v
ŞEKİL LİSTESİ vii
İÇİNDEKİLER viii
1. GİRİŞ 1
1.1. Kuruma Mekanizması 4
1.1.1. Kurumanın statiği ve kinetiği 4
1.1.1.1. Kurumanın statiği 4
1.1.1.2. Kurumanın kinetiği 6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 10
3. MATERYAL VE METOT 19
3.1. Materyal 19
3.1.1. Araştırmada kullanılan ürün 19
3.1.2. Araştırmada kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları 19
3.2. Metot 22
3.2.1. Havuç örneklerin toplanması ve deneye hazırlanması 22
3.2.2. Deneme düzeni 23
3.2.3. Hava sıcaklığının, hava hızının ve bağıl nemin ölçülmesi 25
3.2.4. Ürün neminin belirlenmesi 29
3.2.5. Deneme materyali ürünlerin kuruma değişkenlerinin belirlenmesi 31
3.2.5.1. Kuruma hızının belirlenmesi 31
3.2.5.2. Deneysel kuruma sabitlerinin belirlenmesi 32
3.2.6. Ürüne ait kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde dikkate alınan parametreler 32

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 33
4.1. Havuç Örneklerinin Kurutulmasında Ürün Neminin Kurutma Havası Sıcaklığı ve Kurutma Havası Hızına Bağlı Olarak Gösterdiği Değişim Değerleri 33
4.1.1. Kurutma havası sıcaklığının deneme materyali havuç örneklerinin kuruması üzerine etkileri.....35
4.1.2. Kurutma havası hızının deneme materyali havuç örneklerinin kuruması üzerine etkileri 38
4.2. Farklı Koşullarda Kurutulan Deneme Materyali Ürünlere Ait Kuruma Sabiti Değerleri 41
5. KAYNAKLAR 45

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).

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

Çizelge 1.1. Türkiye'de Yıllar İtibariyle Sebze Üretim Değerleri (ton) (Anonymous 2000, 2001, 2002, 2003)

ÜRÜN	2000	2001	2002	2003
Lahana	622.000	610.000	620.000	629.000
Ispanak	205.000	210.000	220.000	220.000
Pırasa	308.000	300.000	290.000	305.000
Kabak	260.000	305.000	280.000	295.000
Patlıcan	924.000	945.000	955.000	935.000
Bamya	27.500	30.000	31.000	35.500
Domates	8.890.000	8.425.000	9.450.000	9.820.000
Sivri biber	1.090.000	1.150.000	1.340.000	1.370.000
Dolmalık biber	390.000	410.000	410.000	420.000
Sarımsak	21.000	20.000	21.000	27.000
Soğan	228.000	225.000	210.000	220.000
Havuç	235.000	230.000	235.000	405.000

Sebze ve meyvelerin yaş olarak tüketilmesinin yanı sıra, kurutularak değişik amaçlarla kullanımı, saklama koşullarının daha kolay sağlanması ve ekonomik kazanım nedeniyle tercih edilmekte ve uygulanmaktadır. Ülkemizde çok sayıda ürün, uygun iklimi

nedeniyle bol miktarda üretilmekte ve bir miktarı da kuru ürün olarak dış ülkelere ihraç edilmektedir. Sebze, meyve ve baharat dış satımımızın büyük bir kısmı kuru ve kurutulmuş sebze, meyve ve baharat oluşturmaktadır. Bu kuru ve kurutulmuş sebze, meyve ve baharatlardan elde edilen gelir, toplam gelirin % 80'i kadardır. Türkiye yurtdışına, kuru üzüm, incir ve kayısı dışında, pırasa, soğan, domates, patlıcan, havuç ve pek çok baharlı bitkiyi ihraç etmektedir.

Kuru ürün şeklinde ihraç edilen sebze ve meyvelerin ülke ekonomisine olan katkıları şüphesizdir. Bunlardan bazıları lahana, bamya, kabak, soğan, sarımsak, havuç, pırasa, patates, şeftali, üzüm, kayısı, incir ve defne yaprağıdır. Çeşitli kurutulmuş ürünlerin ihracat miktarları ve elde edilen gelirleri Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Kurutulmuş Ürünlerin İhracat Miktarları ve Gelirleri (Ertekin 2002)

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

Sebze ve meyveler için uygulanacak kurutma yöntemleri şüphesiz büyük önem taşımaktadır. Uygun kurutma tekniklerinin kullanılmasıyla ihracat gelirlerini artırmak mümkün olacaktır. Ülkemizde kurutma işlemi genellikle güneşe sererek yapılmaktadır. Güneşte kurutmada hijyenik koşulları kontrol etme imkanı bulunmamakta ve kurutulan ürünler açık alanda çeşitli böcek, kuş ve benzeri canlıların zararına uğramakta ve ayrıca ürün tozlanmaktadır. Bu nedenle de ürünlerin kalitesi düşmekte ve pazar değeri azalmaktadır.

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

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

- Daha temiz ve kaliteli ürün alınabilmektedir,

- Yapay kurutma ile vitamin kayıpları en aza inmektedir.

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

Bu çalışmadaki temel amaç, Konya Bölgesi'nde yetiştirilen havucun hava sıcaklığı ve hava hızı gibi farklı kurutma koşullarındaki kurutma karakteristiklerini belirlemek ve ürünün kuruma periyodu süresince göstereceği özellikleri bilinir hale getirerek, bu amaçla geliştirilmesi düşünülecek yapay kurutucuların tasarımı için temel verileri ortaya koymaktır. Ayrıca bu konuda yapılacak çalışmalar için bir katkı sağlayacağı düşüncesi de amaçlanmıştır.

1.1. Kuruma Mekanizması

1.1.1 Kurumanın statiği ve kinetiği

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

Tarımsal ürünlerin içerdiği suyun, belirli bir sınıra kadar buharlaştırılarak alınması işlemine kurutma denilmektedir (Ertekin 2002). Bu işlem sırasında materyalin nemi, çevresindeki katı veya akışkan (sıvı veya gaz) fazdaki ortama geçer. Kurutma işlemlerinde çevre ortamı olarak genellikle hava kullanılmaktadır. Bu nedenle kurutma nemli materyal ile hava arasındaki bir ilişki olarak ele alınabilmektedir (Demir ve Günhan 2002).

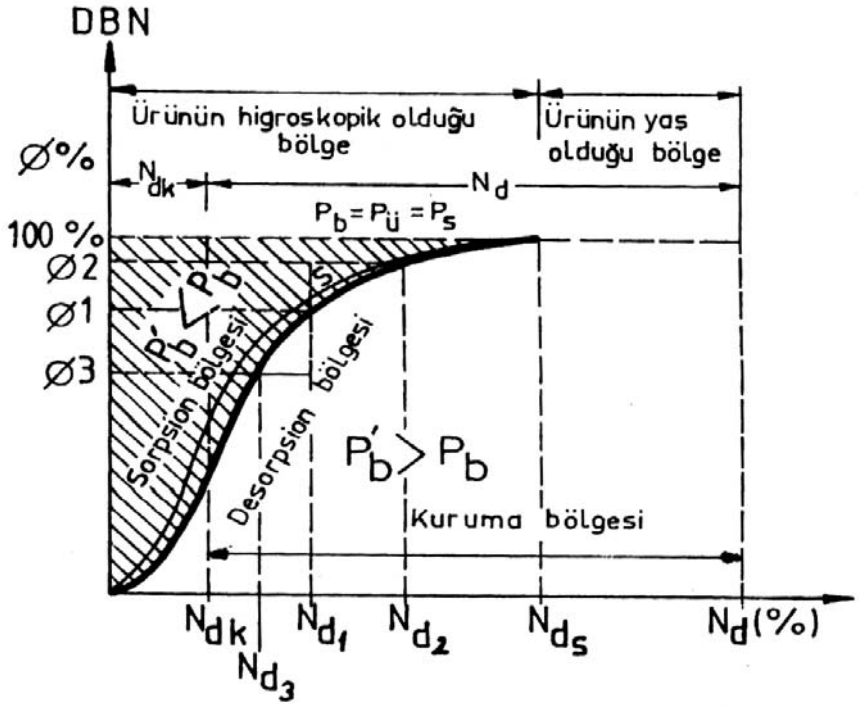
Kuruma sırasında materyal neminde meydana gelen değişimler ve etkili unsurlar, statik ve kinetik açılardan incelenebilmektedir.

1.1.1.1. Kurumanın statiği

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

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

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

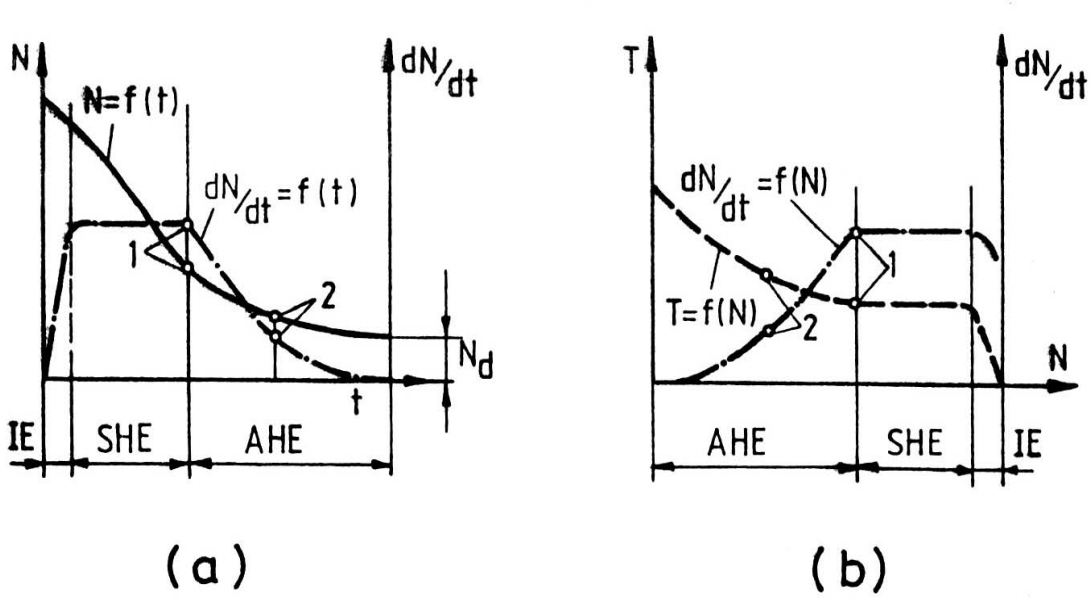


Şekil 1.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statiği açısından anlamı (Yağcıoğlu 1999)

Herhangi bir materyalin sorpsiyon izoterm eğrisi kurutma açısından incelendiğinde sorpsiyon ve desorpsiyon bölgeleri Şekil 1.1'de gösterildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi izotermin denge bağıl nemi (DBN) ekseni ile arasındaki bölge içindeki her noktada ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı havada bulunan suyun buhar basıncından daha küçük olduğundan bu bölge materyalin bünyesine nem aldığı şartları belirtmektedir. İzotermin denge nemi ekseni ile arasında kalan bölge içinde ise durum tam ters olduğundan bu bölge materyalin çevreye nem verdiği şartları belirtmektedir. Tarım ürünlerinde bulunan suyun tümü, kurutma sırasında üründen tamamen alınmadığından gerçek kuruma bölgesi şekilde görülen alandan daha küçüktür. Bu nedenle kuruma bölgesi ürünün ulaşabileceği en küçük denge nemi N_{dk} değerinden geçen bir eksenden başlatılarak gösterilmektedir.

1.1.1.2. Kurumanın Kinetiği

Materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişinin, kuruma sürecinde geçen zaman dikkate alınarak incelenmesidir. Şekil 1.2'de tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri görülmektedir.



Şekil 1.2. Tarım Ürünlerinin Kinetik Kuruma Eğrileri (Yağcıoğlu 1999)

Şekil 1.2'nin incelenmesinden anlaşılacağı üzere, kuruma olayının kinetik olarak incelenmesi sırasında aşağıdaki ilişkiler dikkate alınmaktadır:

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

Kuruma olayının gerçekleşmesi sırasında üç evre ile karşılaşılmaktadır;

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

Kuruma başlangıcında görülen ısınma evresi (IE), kurutulacak ürünün sıcaklığı, kurutma ortamının sıcaklığı ile dengeye gelinceye kadar devam etmektedir. Bu evrede kuruma hızı giderek artarak bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşmaktadır. Isınma evresi (IE) süresi, toplam kurutma süresine göre çok kısa olduğundan kuruma eğrilerinde gösterilmemektedir (Güner 1991 ve Yağcıoğlu 1999).

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

Sabit hızla kuruma evresi (SHE) boyunca, materyalden yüzeye doğru bir nem taşınması söz konusu olduğundan, materyalin iç katmanlarındaki nem giderek azalmaktadır. Bu durum nedeniyle, kurumakta olan materyalin yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan suya eşit miktarda su, artık iç kısımlardan yüzeye 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 birinci kritik nokta (BKN) adı verilmektedir.

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

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

Birinci kritik nokta (BKN) değerinden sonra, kuruma eğrisinin eğimi azalan yönde hızla değişim göstermektedir. Bu noktadan itibaren, kuruma hızının zaman içinde giderek azaldığı, ardışık birim zaman aralıklarında buharlaşan nem miktarının bir önceki zaman dilimine göre azalma gösterdiği azalan hızla kuruma evresi (AHE) meydana gelmektedir.

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

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

Bu evre sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla;

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

Bu modellerin bazı yararlı ve sakıncalı yönlerinin olduğu kuşkusuzdur. Teorik modeller her türlü madde ve koşul için uygulanabilmektedirler. Ancak çözümü için gereken eşitliklerin birçok parametre ve karmaşık yapı içermesi, bu tür modellerin kullanımını azaltmaktadır. Yarı teorik modeller daha az karmaşık olmakla birlikte içerdikleri parametrelerin yalnızca ele alınan ürünlerle ilgili olması kullanımını kısıtlamaktadır.

Deneysel yollarla elde edilen verilere dayanarak kuruma hızının belirlenmesinde, karmaşık matematiksel eşitlikler yoktur. Ancak elde edilen eşitlikler, deneme yapılan materyalin deneme koşulları için geçerlidir ve başka koşullarda kullanılamazlar. Yarı teorik modeller içinde en yaygın kullanım alanı bulunan eşitlik "logaritmik kurutma" denklemi olarak tanımlanmaktadır.

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

(Ayensu 1997; Tiris ve ark.1994; Liu ve Bakker-arkema 1997; Yağcıoğlu 1999)

Eşitlikte (N_o) 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.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

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

Saravacos ve Charn (1962b), tünel tipi bir kurutucuda haşlanmış patates dilimlerini 1.0...2,5 m/s hava hızı ve 55...71 °C hava sıcaklığı değerlerinde kurutarak farklı hava hızı ve hava sıcaklıklarının kuruma hızına etkisini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, 55°C…71°C sıcaklık aralığında patates dilimlerine ait difüzyon katsayılarının $2{,}58x10^{-10}$…$6{,}36x10^{-10}$ m^2/s arasında olduğu bulunmuştur. Ayrıca aynı araştırmada kuruma hızı üzerinde etkili olan etmenlerin örnek boyutu ve sıcaklık olduğunu belirtmişlerdir.

Trenning (1971), Kahramanmaraş kırmızıbiberlerini geleneksel kurutma yöntemine göre bazı değişiklikler yaparak kurutmuştur. Biberleri açık havada, düzeltilmiş toprak üzerinde, bez üzerinde, böceklerden korumak için bünyesinde kimyasal ilaç bulunan kâğıt üzerinde, ipe dizerek bütün ve kesilmiş olarak kurutmanın yanında yağışlardan korumak için plastik örtü altında da kurutma denemeleri yapmıştır.

Ültanır (1972), levha tipi deney modeli güneş enerjili kurutucuyla çeşitli meyve ve sebzeler yanında biber kurutmuştur. Bu kurutucuda hava dolaşımı, doğal konveksiyonla ve küçük bir elektrikli vantilatörle sağlanmıştır. Araştırmacı, biberlerin kurutma öncesi doğranması ve haşlanmasının kurutma süresini kısalttığını bildirmiştir.

Akyurt ve Selçuk (1973), güneş enerjili bir kurutucu tasarlayarak meyve ve sebze kurutmuşlardır. Kurutma düzeneği genel olarak bir güneş toplayıcısı ile bir kurutma odacığından oluşmaktadır. Çevre havası bir vantilatör yardımıyla güneş toplayıcısına alınmakta, burada ısıtılarak bir kanal yardımıyla kurutma odacığına iletilmektedir.

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

Mazza (1983), havuç örneklerine haşlama, kükürtleme, nişastalama ve sodyum klorür çözeltilerine daldırma işlemlerinin kuruma hızına etkilerini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, haşlanarak kurutulan örneklerde kuruma hızı artarken, kükürtleme ve nişastalama işlemleri kuruma hızını etkilememiştir. Aynı araştırmada, örneklerin sodyum klorür çözeltisine daldırma işleminin kuruma hızını azalttığı belirtilmiştir.

Bereket(1986), kurutulmuş meyvelerde ana kalite kriterlerinin temizlik ve renk olduğunu, bununda ancak kontrollü özel kurutma yöntemleriyle sağlanabileceğini bildirmişlerdir.

Doğantan ve Tuncer (1988), araştırmalarında kırmızıbiberin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile birlikte, karakteristik kuruma özelliklerinin belirlenmesine çalışmışlardır. Bunun yanında üreticinin kendi olanak ve becerisiyle imal edip kullanabileceği biber kurutucusu tasarlamışlardır. Yöre koşullarına uygunluğu dikkate alınarak, güneş enerjisinden yararlanılması yoluna gidilmiş, böylece kurutma masrafları az, maliyeti ucuz, taşınabilir bir kurutucu tipi geliştirilerek uygulamadaki geçerliliği araştırılmıştır. Araştırmacılar, geliştirdikleri kurutucu ile yaptıkları denemeler sonucunda, biber için optimum kurutma sıcaklığını 55°C, bunun yanında özellikle biberlerin kurutma öncesi kesilerek kurutulmasıyla, kurutma süresinde % 60 oranında bir azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Hummeida ve El-Sheikh (1989), yaptıkları çalışmada iki farklı yerfıstığı çeşidinin kuruma eğrilerini inceleyebilmek için bir laboratuvar tipi kurutucu oluşturmuşlardır. Yerfıstığı çeşitlerinin kuruma davranışları üzerine hava bağıl nemi, kurutma havası sıcaklığı ve hava hızının etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca değişik kurutma koşulları için, kurutma sabiti değerlerini hesaplamışlardır.

Doğantan ve Tuncer (1989), yaptıkları çalışmada kontrollü şartlar altında, laboratuvar tipi bir kurutucuda, kırmızıbiberin kuruma karakteristiklerini belirlemeye çalışmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, Kahramanmaraş kırmızıbiberi için kurutma havası sıcaklığının en fazla 60 °C olması gerektiği, özellikle 65 °C hava sıcaklığında biberde yanma olacağı belirlenmiştir. Bunun yanında optimum hava akımı hızının 0.5 m/s olması gerektiği ve kurutmadan önce biberlerin yarılmasıyla, kurutma zamanının önemli ölçüde azalacağı vurgulanmıştır.

Mulet ve ark. (1989), 5 ve 15 mm boyutundaki havuç dilimlerini farklı sıcaklıklarda (30°C...70°C) kurutmuşlardır. Araştırma sonucunda, difüzyon katsayısını, hava sıcaklığının, örnek sıcaklığı ve ortamın nem miktarının fonksiyonu şeklinde ifade eden bir eşitlik bulmuşlardır.

Sittiphong ve ark. (1989), kabuklu ve kabuksuz soya fasulyeleri ile fındıkların kurutma karakteristikleri üzerine farklı kurutma havası sıcaklığı ve hava hızlarının etkilerini incelemişlerdir. Deneme sonuçları, kurutma havası sıcaklığı artışının, hava hızı artışından daha fazla kurutma hızını artırdığını göstermiştir. 0.18 m/s hava hızında, fındıkların kuruma zamanı 40 °C kurutma havası sıcaklığında 17 saat iken, bu süre 60 °C kurutma havası sıcaklığında 9 saate kadar inmiştir. Ayrıca araştırma sonucunda, % 70 bağıl nem ve 30 °C kurutma havası sıcaklığında her iki türde de denge nemi değerleri yaklaşık olarak % 12 olarak bulunmuştur.

Ben-Mobrouk ve ark. (1990), hava ısıtmalı, fanlı laboratuvar 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.

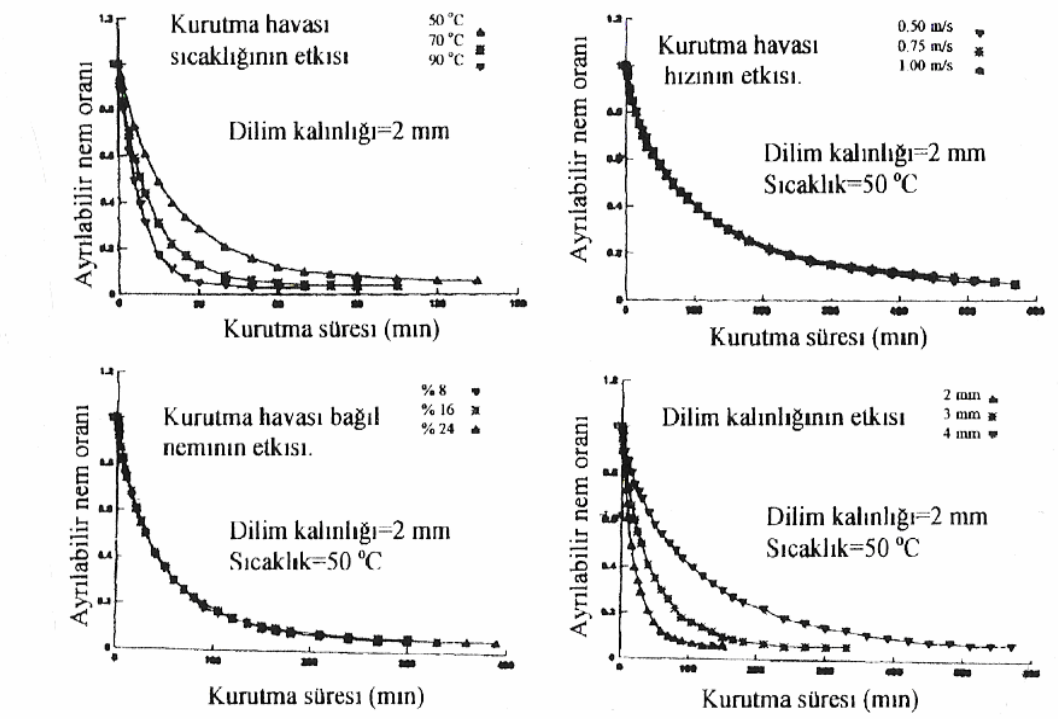
Tuncer (1990), sebzelerin yüksek frekanslı mikrodalga manyetik alanının etkisine konulunca, ürünün gösterdiği davranış ve uğradığı değişikliklerin belirlenmesi ve en uygun kurutma yönteminin deneysel olarak bulunmasını amaçlamışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, mikrodalga alanına konulan pırasa, kırmızı ve yeşilbiber, patlıcan, soğan ve patatesin uygun mikrodalga güç kademesi seçilerek, mikrodalga ile sebzelerin reaksiyona girmesini önleyen düzenlemelerle hiç bir kalite kaybı olmaksızın, konveksiyonlu kurutmaya kıyasla, kurumanın 5 – 12 kat daha kısa sürede tamamlanabileceğini belirlemişlerdir.

Kachru ve Singh (1994), yaptıkları çalışmalarında, ön işlem uygulanmış (çizme ve ıslatma) yeşil fasulyelerin farklı kurutma havası sıcaklığı ve hava hızlarında kurutma karakteristiklerini incelemişlerdir. Kurutma havası sıcaklıkları 20-55 °C, hava hızları ise 0.8-2.0 m/s arasında seçmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, yeşil fasulyelere kurutma öncesi ön işlem uygulanmasının, kurutma zamanını önemli oranda kısalttığını ve ön işlem uygulanmış fasulyelerin nem içeriğinin % 55'den % 10'a indirmek için ortalama 6 saat süre gerektiğini göstermiştir. Aynı zamanda araştırmacılar, çalışmalarında ürün nem içeriği ve kurutma zamanı arasındaki ilişkiyi bütün hava sıcaklığı ve hava hızı değerleri için elde ederek bunları grafikler halinde vermişlerdir.

Ergüneş ve Özgöz (1995), sera içinde ve dış ortamda fasulye, biber ve soğanın kuruma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Denemeler süresince fasulye ve biberler bütün ve kıyılmış halde, soğan ise sadece kıyılarak kurutmuşlardır. Sonuçta, sera içerisinde ve kıyılarak kurutulun ürünlerin kuruma sürelerinin normal olarak kurutulan ürünlere göre daha kısa olduğunu belirlemişlerdir. Her ürün için, ayrı ayrı kuruma sabiti değerleri hesaplamışlar ve exponential modelin kurumayı daha iyi ifade ettiğini belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, kurutulan ürünlerin dehidrasyon özelliklerini araştırmışlar ve sera içerisinde kıyılarak kurutulan soğanın dehidrasyon yeteneğinin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Elustondo ve ark. (1996), Soğan dilimlerinin kalınlıklarının kurumaya etkilerini araştırmışlar ve dilim kalınlığının azalması ile kuruma süresinin kısalacağını ifade etmişlerdir.

Madamba ve ark. (1996), çalışmalarında 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 kalınlığının kurutma için önemli faktörler olduğunu ve hava hızının kuruma hızına önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Çeşitli faktörlerin sarımsağın kuruma hızına olan etkileri Şekil 2.1 de verilmiştir.



Şekil 2.1.Çeşitli faktörlerin sarımsağın kurutulmasına olan etkileri

Pal ve Chakraverty (1997), 45, 50, ve 60 °C kurutma havası sıcaklığı ve 0.9 ve 1.6 m/s hava hızı koşullarında ön işlemin mantarın kuruma karakteristiklerine ve bunların kaliteye etkilerinin belirlendiği çalışmalarında, yıkanan ve sınıflandırılan örnekleri 3 dakika süreyle buharda haşlamışlar ve ardından % 0.5'lik sodyum metasülfit ve % 0.5'lik sitrik asit solüsyonuna 5 dakika süreyle daldırılarak ön işleme tabi tutmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre, ürünün yeniden su alma oranı ön işlem uygulanmayan örneklerde, diğerlerinden daha yüksek olarak gerçekleştiğini ve ayrıca bu işlemin sıcak su ile yapılması soğuk suya göre değerinin arttığını görmüşlerdir. Yeniden su alma işleminden sonraki mantarların yapı ve görünüşleri ön işlem görmeyen mantarlarda daha iyi, buna karşın ön işlem uygulanan örneklerin renk ve tatları daha iyi olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda kurutmanın renk bozulmasına neden olduğunu saptamışlardır. Kuruma süresi ve kalite dikkate alındığında 50°C kurutma havası sıcaklığı ve 0.9 m/s hava hızında hem ön işlem görmüş hem de görmemiş mantarlar için iyi kaliteli kuru ürünler elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

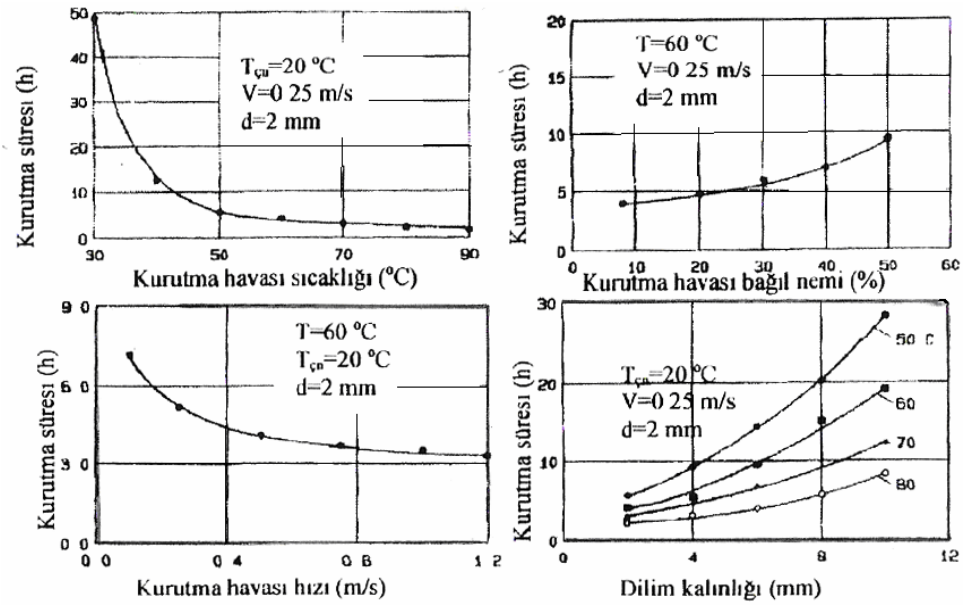
Lin ve ark. (1998), Taze fasulyenin kurutulmasına uygulanan ön işlemin ve kurutma havası sıcaklığın etkilerinin belirlendiği çalışmalarında, hiçbir ön işleme tabi tutmadan, 100°C sıcaklıkta 15 saniye süreyle 40 g/l'lik NaOH çözeltisine daldırma, bir dakika 85°C sıcaklıktaki saf suda haşlama ve bir dakika süreyle buharda haşlama ön işlemlerini

uygulamışlardır. Sonuçlara göre, su veya buharda haşlama yöntemi birbirine çok yakın ve en kısa kurutma süresi bu ön işlemlerde gerçekleştiğini görmüşler ve kurutma havası sıcaklığının kurutma süresine etkili önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuşlardı.

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 almıştır. 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), yaptıkları bu çalışmada çapları 55 - 70 mm arasında değişen beyaz soğanları 50 °C, 60 °C, 70 °C ve 80 °C sıcaklık, 0.25 m/s, 0.50 m/s, 0.75 m/s 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 azalmış 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 işleminin daha kısa sürede tamamlandığını belirtmişlerdir.

Adam ve ark.(2000) 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 bulunmamaktadır. Hava hızının 0.5 m/s'nin üzerinde olması, kurutma süresi ve renkte etkili olmadığından enerji tasarrufu açısından bu değerin üzerine çıkılmamalıdır. Bununla beraber araştırmacılar, 0.1 m/s'nin altındaki hava hızlarının kurutma süresini önemli düzeyde etkilediğini, yeniden su alma kapasitesinin 75 °C sıcaklıkta 25 °C sıcaklıktakinden daha hızlı olduğunu ancak alınan su miktarında bir değişme olmadığını, kalite açısından 60 °C nin en uygun sıcaklık olduğunu ve 2 ve 4 mm'lik dilim kalınlığının kalite kriterleri açısından en uygun değerler olduğunu ifade etmişlerdir. Çeşitli kuruma parametrelerinin soğanın kuruma karakteristiklerine etkisi Şekil 2.2 de görüldüğü gibidir.

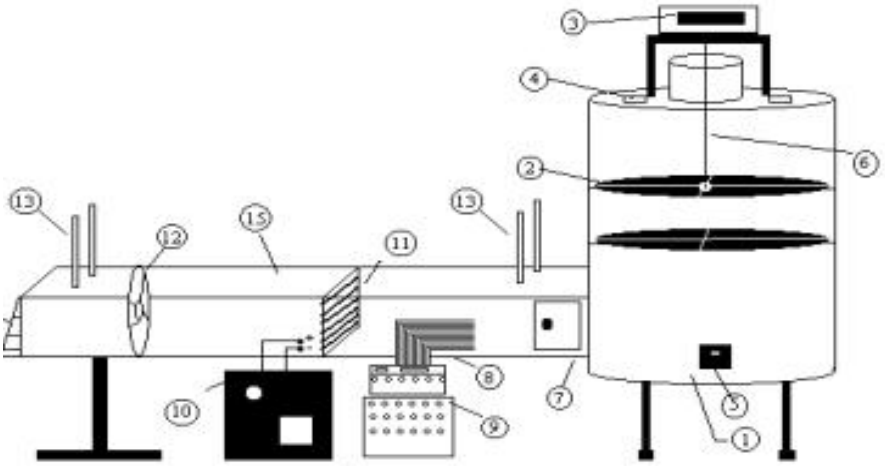


Şekil 2.2.Çeşitli kuruma parametrelerinin soğanın kuruma karakteristiklerine etkileri

Yaldız(2001), çalışmasında, ihraç ürünlerimizden olan havuç ve pırasanın kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma süresinin belli bir anında ürünün nem içeriğinin saptanması için mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğinin araştırılmasını amaçlamıştır. Çalışmasında ürünleri, 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C ve 70 °C kuruma havası sıcaklıklarında ve 0.5 m/s, 1.0 m/s, 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 eksponansiyal, Wang ve Singh, Thompson, Difüzyon Yaklaşım, Verma ve ark., Geliştirilmiş Henderson ve Pabis matematiksel modellerine uygulayarak en uygun modeli belirlemiştir.

Akpınar ve Biçer (2002), tarımsal ürünlerin kurutulmasında, siklon tipi bir kurutucunun kullanılabilirliği araştırılmıştır. 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 °C …70 °C giriş sıcaklığında ve 1.0 m/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 inildiğini belirlemişlerdir. 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 arttığını belirlemişlerdir. Araştırmada kullanılan siklon tipi kurutucunun şematik şekli Şekil 2.3 'de görülmektedir.



Şekil 2.3. 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- Termoelemanlar, 9- Dijital Termometre ve Kanal Seçici, 10- Voltaj Transformatörü, 11- Isıtıcılar, 12-Fan, 13- Yaş ve Kuru Termometreler, 14- Klape, 15- Kanal

Akpınar ve Biçer (2003), kabağın kuruma davranışını siklon tipi bir kurutucuda deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde, 60°C, 70°C ve 80 °C 'lik üç değişik hava giriş sıcaklıkları kullanılırken, seçilen kurutma havası hızları 1.0 m/s 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. Deney sonuçlarına göre, siklon tipi kurutucuda dönel akış ortamında kurutulan kabak örneklerinin kuruma hızının yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek kuruma hızı 80 °C kurutma havası giriş sıcaklığında ve 1.5 m/s kurutma havası hızında, en düşük kuruma hızı ise 60 °C kurutma

havası giriş sıcaklığında ve 1.0 m/s kurutma havası hızında elde edilmiştir. Farklı giriş sıcaklıklarında ve hızlarında kurutulan örneklerde kuruma hızında, hava hızından ziyade hava sıcaklığının etkisinin daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca araştırmacılar, kurutma havası sıcaklığı ve hızı arttıkça, kabak örneklerinin nem içeriğinde belirgin bir şekilde azalmanın görüldüğünü ve kuruma hızının arttığını ifade etmişlerdir.

Toğrul ve ark. (2005a), yaptıkları çalışmada, 0.5 cm, 1.0 cm ve 1.5 cm kalınlığında küp şeklinde kesilmiş mantarların kuruma davranışlarını infrared kurutucuda 50 °C, 60 °C ve 80 °C kurutma havası sıcaklığı değerlerinde incelemişlerdir. Sıcaklığın 50 °C'den 80 °C'ye çıkarılmasıyla 0.5 cm, 1.0 cm ve 1.5 cm dilim kalınlıklarının kuruma süresinde sırasıyla 170, 140, 104 dakikalık azalma olduğunu vurgulamışlardır.

Toğrul ve ark. (2005b), dört farklı kalınlıkta kestikleri muz dilimlerini infrared kurutucuda 50 °C, 60 °C, 70 °C 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.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırmada kullanılan ürün

Bu çalışmada, Konya Bölgesi'nde yetiştirilen havuç (*Daugus carota*) örnekleri materyal olarak seçilmiştir. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü deneme laboratuvarına getirilen havuç örnekleri gerekli olduğu durumlarda denemeye alınmadan birkaç gün süreyle bir soğutucuda muhafaza edilmişlerdir. Kurutma denemeleri 2005 hasat sezonunda gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. 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 : 220-380V, (Akım) 2.8/1.6

Frekans :50 Hz

Aspiratör (Fan)

Markası : Çubuk

Tipi: :ÇTÖR-26

Kurutma Fırını

Markası : Nüve

Tipi : FN 500

Sıcaklık Sınırı : 0-250 ^{o}C

Hacim : 120 dm^3

Çalışma Gerilimi : 120 V-50 Hz

Alternatif akım motoru devir kontrol cihazı (Elektronik Varyatör)

Markası : Dinventer

Tipi: : DIN 1220220B

Giriş Gerilimi : 200V-240V ± %10

Giriş Faz Sayısı : 1

Motor Gücü : 2.2 KW

Giriş Akımı : 26 A

Çıkış Akımı :10 A

Tartımda Kullanılan Ölçüm Cihazı

Markası : Shimadzu

Ölçüm Hassasiyeti : 0.01g

Ölçüm Aralığı : 0-1200g

Voltaj :16-80 mA

Frekansı : 50 Hz

Yapım Hatası : +%0.1

Güç Kaynağı

Markası : Elimko

Tipi : E-7000-GK

Çıkış Gerilimi : 2×24V

Besleme : 220V, 50Hz

Hava Hızı Ölçer

Markası : Testo-term

Ölçüm Aralığı : 0.4-40 m/s

Hata Sınırı : % 0.1

Bağıl Nem Kontrol Cihazı

Markası : Elimko

Tipi : E-2000

Skala : 0-100 %RH

Gösterge :3 $^{1}/_{2}$ Digit LED

Çalışma Gerilimi :190-240V,50Hz

Hassasiyet : 0.1

Mikroişlemcili Sıcaklık Kontrol Cihazı

Markası : Elimko

Tipi : E-200

Skala : 0-300 ^{o}C

Çalışma Gerilimi : 220 V ± 10,50 Hz

Hassasiyet : 0.1

Sıcaklık ve Bağıl Nem Sensörü

Markası : Elimko

Tipi : E-RH-T-101

Skala : 1) 0-300 ^{o}C

2) 0-100 %RH

Çıkış : 20 mA

Çalışma Gerilimi : 24 V

3.2. Metot

3.2.1. Havuç Örneklerinin Toplanması ve Deneye Hazırlanması

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

-Denemeye alınan havuç örneklerinin boyutları kumpasla ölçülerek, ortalama olarak aynı boyuta sahip olan örnekler seçilmiştir,

-Toprak ve ekolojik şartlardan ortaya çıkabilecek yapısal farklılığı gidermek için denemelerde kullanılan tüm örnekler aynı bölgeden seçilmiştir,

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

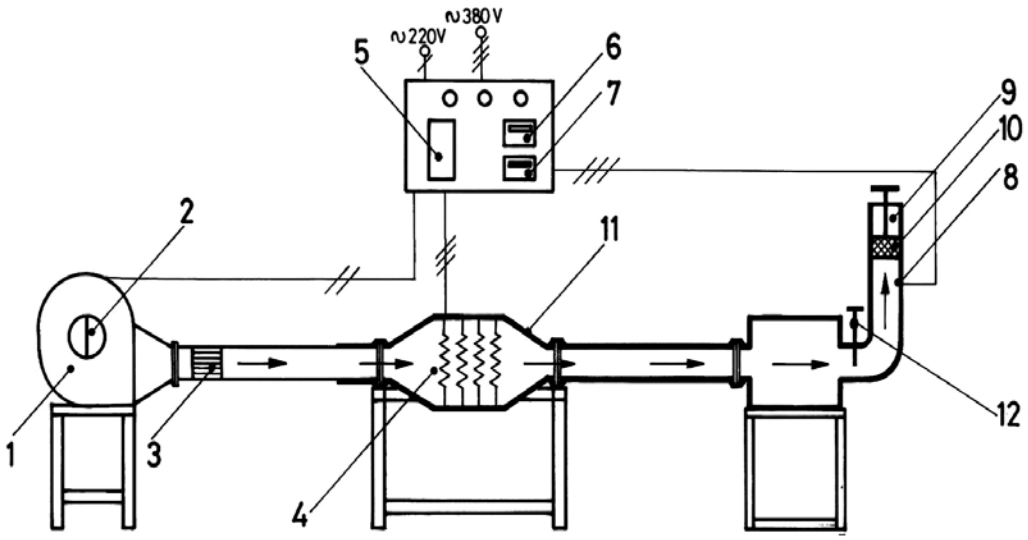
Kurutma öncesi, havuç örneklerinin dış yüzeyleri temizlendikten sonra mekanik kesiciler yardımıyla 6,35 mm kalınlığında dilimlenerek kurutmaya alınmışlardır (Hendley 1996).

3.2.2. Deneme Düzeni

Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılacak 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, bağıl 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 havanın hız ve sıcaklığını kontrollü bir biçimde düzenleyebilen bir deneme düzenine ihtiyaç vardır. Bu amaçla bu çalışmada Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü deneme laboratuvarında mevcut ve daha önceki araştırmalarda kullanılan kurutma tesisi kullanılmıştır. Deneme düzeninin şematik görünüşü Şekil 3.1' de, genel görünüşü ise Şekil 3.2'de görülmektedir.



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

Şekil 3.1. Deneme düzeninin şematik görünüşü



Şekil 3.2. Deneme düzeninin genel görünüşü

Deneme düzeni genel olarak üç ana bölümden meydana gelmiştir;

- Kurutma havasını sağlayan fan ve hava debisi ayar düzeni,
- Kurutma hava sıcaklığını düzenleyen elektriksel ısıtıcıların ve sıcaklık kontrol ünitesinin bulunduğu kısım,
- Kurutma bölümü

Denemeler sırasında, kurutma için gerekli olan havanın sağlandığı fanın debisi, Dinventer A.C. elektrik motoru devir kontrol ünitesi ile fanın devir sayısı kademesiz olarak ayarlanmak suretiyle istenilen değerlerde tutulmuştur. Ayrıca fanın giriş kısmında hava emiş kesitini değiştirebilen bir damper mekanizması yer almaktadır. Fanın havaya kazandırdığı türbülansın azaltılması ve düzenli bir hava akımı sağlamak amacı ile difüzör bulunmaktadır. Hava kanalı içerisinde yer alan ısıtıcılar, havayı istenilen kuru termometre sıcaklığına kadar ısıtılabilmektedir. Isıtıcı bölümünü oluşturan 4x1000 Watt gücündeki devre elemanları birbirlerinden bağımsız olarak devreye girebilmektedir. Bu elemanlardan birisinin devresine seri olarak bağlanan sıcaklık kontrol ünitesi sayesinde bu direnç, sıcaklık değişimine bağlı olarak devreye girip çıkmakta ve ayarlanan sıcaklığın deneme süresince sabit 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 bulunmaktadır. Bu üç kanal sayesinde, aynı anda üç örneğin kurutulması gerçekleştirilebilmektedir. Hava bölümlerinden çıkan hava, buradan 105 mm çapında ve 1050 mm uzunluğundaki borularla kurutulacak ürüne iletilebilmektedir. Boruların alt kısmında bulunan damperler yardımıyla havanın borulara istenilen hız değerlerinde iletilebilmesi sağlanabilmektedir. Kanallardaki hava hızının ayarları bu elemanlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

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

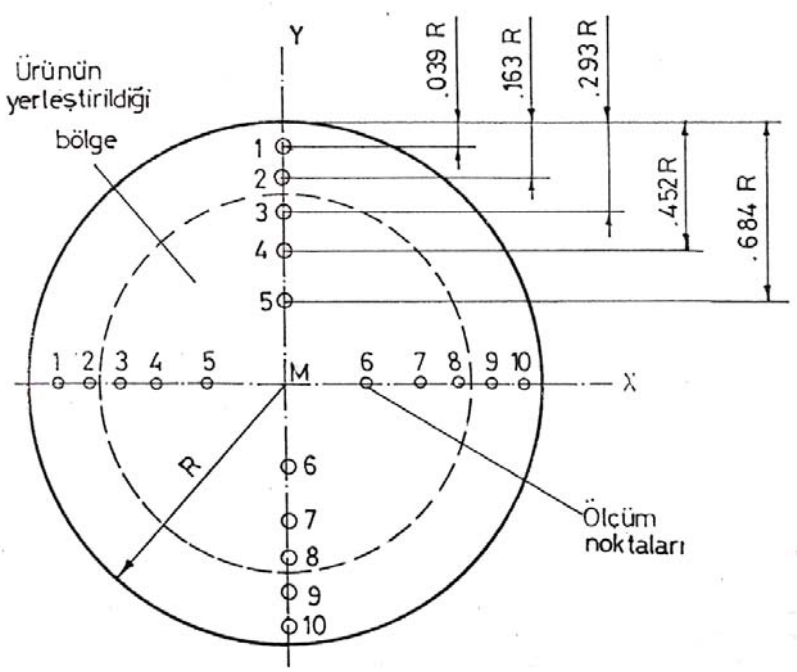
3.2.3. Hava sıcaklığının, hava hızının ve bağıl nemin ölçülmesi

Kurutma denemelerinin yapıldığı laboratuvarda 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.

Hava kanallarının kurutma hacmi kesitlerinde, hava kanallarında hız ölçümü ile ilgili standartlarda (Anonymous 1962 ve Handerson ve Perry 1955) belirtildiği şekilde, kanal kesit alanlarının belirli noktalarındaki hava hızları elektronik hava hızı ölçme cihazıyla ölçülmüş ve kanal kesitinin belirli noktalarındaki hız değişimi incelenmiştir. Hız ölçümleri denemelerde kullanılan üç hız kademesi için yapılmıştır. Şekil 3.3.'de kurutucu kanal kesitindeki hız ölçüm noktaları, üç farklı hız kademesi için dairesel kanalda ölçülen hız değerleri ise Çizelge 3.1.' de verilmiştir.



Şekil 3.3. Kurutucu kanal kesitinde hız ölçüm noktaları (Anonymous 1962)

Çizelge 3.1.'deki değerler dikkate alındığında kanal kesiti içerisindeki hava akış hızında önemli bir değişiklik görülmemektedir. Özellikle ürünün yerleştirildiği bölgede oldukça düzenli bir hava akışı gözlenmektedir.

Denemelerde kullanılan sıcaklık ölçü ve kontrol cihazı Şekil 3.4'de, nem ve kontrol cihazı Şekil 3.5.'de ve hava hızlarının ölçülmesinde kullanılan elektronik hava hızı ölçme cihazı ise Şekil 3.6.'da görülmektedir.

Çizelge 3.1. Üç Farklı Hız Kademesinde Dairesel Kanalda Ölçülen Hız Değerleri

Ölçüm noktaları	Hız Kademesi 1 m/s			Ölçüm noktaları		Hız Kademesi 1 m/s	
X ekseni				Y ekseni			
1	0.80			1	0.80		
2	0.90			2	0.90		
3	0.90			3	0.90		
4	1.00			4	1.00		
5	1.00		Ort:0.985	5	1.10		Ort:1.986
M	1.10			M	1.00		
6	1.00			6	1.00		
7	1.00			7	1.00		
8	0.90			8	0.90		
9	0.80			9	0.80		
10	0.70			10	0.70		
Ölçüm noktaları	Hız Kademesi 2 m/s			Ölçüm noktaları		Hız Kademesi 2 m/s	
X ekseni				Y ekseni			
1	1.80			1	1.80		
2	1.90			2	1.90		
3	1.90			3	1.90		
4	1.90			4	2.00		
5	2.00		Ort:1.957	5	2.10		Ort:1.986
M	2.00			M	2.00		
6	2.00			6	2.00		
7	2.00			7	2.00		
8	1.90			8	1.90		
9	1.80			9	1.90		
10	1.70			10	1.70		
Ölçüm noktaları	Hız Kademesi 3 m/s			Ölçüm noktaları		Hız Kademesi 3 m/s	
X ekseni				Y ekseni			
1	2.80			1	2.80		
2	2.90			2	2.90		
3	2.90			3	2.90		
4	2.90			4	3.00		
5	3.00		Ort:2,957	5	3.10		Ort:2,985
M	3.00			M	3.00		
6	3.00			6	3.00		
7	3.00			7	3.00		
8	2.90			8	2.90		
9	2.80			9	2.90		
10	2.80			10	2.80		



Şekil 3.4. Sıcaklık ölçü ve kontrol cihazı



Şekil 3.5. Nem ve kontrol cihazı



Şekil 3.6. Elektronik hava hızı ölçme cihazı.

3.2.4. 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 değişmesinden yararlanmak suretiyle havuç örneklerinin sahip oldukları ilk nem değerleri hesaplanmıştır.

Denemeler sırasındaki nem değişimini belirlemek amacıyla, denemelerin yapılmaya başlandığı andan itibaren kurutulmakta olan örnekler, belli zaman aralıklarında alınıp, kurutma ortamının hemen yanına yerleştirilen Shimadzu marka dijital bir terazi ile 0.01 gram hassasiyette sürekli olarak tartılmıştır. Şekil 3.7. de dijital terazini resmi görülmektedir.



Şekil 3.7. Shimadzu marka dijital terazi.

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

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

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

$$\%N_{yb} = \frac{W_s}{W_s + W_k} \cdot 100 \quad \text{.....(3)}$$

$$\%N_{kb} = \frac{W_s}{W_k} \cdot 100 \quad \text{.....(4)}$$

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

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

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

$$\%N_{yb} = \frac{N_{kb}}{100 + N_{kb}} \cdot 100 \quad (6)$$

3.2.5. Deneme materyali ürünlerin kuruma değişkenlerinin belirlenmesi

3.2.5.1. Kuruma hızının belirlenmesi

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

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

Kuruma hızının belirlenmesinde yararlanılan ikinci yöntemde ise "Alınabilir Nem Oranı (ANO)" kavramı kullanılmaktadır. Alınabilir Nem Oranı (ANO), 1 nolu eşitlikte verilmiş bulunan genel kurutma denkleminin sol tarafında yer alan oransal bir büyüklüktür. Bu değer, kurutma sırasında, herhangi bir anda üründe kalan buharlaşabilecek nem miktarının (N_t-N_d), üründen buharlaşabilecek tüm nem miktarına (N_o-N_d) oranını ifade etmektedir. Bu çalışmada bu yöntem kullanılmıştır.

Denemeler sırasında ürünlere ait belirlenen başlangıç nemi (N_o), herhangi bir t anındaki nem miktarını (N_t), denge nemi (N_d) ve t değerlerinden yararlanılarak hesaplanan Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerleri Ek Çizelge 7..9'arasında verilmiştir.

3.2.5.2. Deneysel kuruma sabitlerinin belirlenmesi

Deneme materyali ürüne ait kuruma sabiti (k) değerlerinin hesaplanmasında aşağıda verilen kurutma denkleminden yararlanılmıştır. Yarı teorik modeller içinde en yaygın kullanım alanı bulan 7 nolu eşitlik logaritmik kurutma denklemi olarak bilinmektedir.

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

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

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

3.2.7.Ürüne ait kuruma karakteristiklerinin belirlenmesinde dikkate alınan parametreler

Denemede 6,35 mm kalınlığında dilimlenmiş havuçlar 1.0 m/s 2.0 m/s ve 3.0 m/s hava hızlarında ve 55 °C, 65 °C ve 75 °C hava sıcaklıklarında kurutulması sırasında, kurutma havasının farklı sıcaklık ve farklı hız kademesindeki kuruma karakteristiklerini belirlemek amacıyla düzenlenen kurutma denemeleri faktöriyel deneme desenine uygun şekilde ve iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar Mstat-C istatistik programında faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabii tutulmuştur (Düzgüneş ve ark. 1983).Varyans analizleri yarımşar saatlik saat dilimleri (Z_1:0.5; Z_2:1.0; Z_3:1.5; Z_4:2.0; Z_5:2.5 saat) İçin yapılmıştır.

Denemeler aşağıda belirtilen kurutma koşullarında gerçekleştirilmiştir:

Çizelge 3.2. Denemelerin Gerçekleştiği Kurutma Havası Koşulları

Hava Sıcaklığı (^oC)	55 (T_1)- 65 (T_2) - 75 (T_3)
Hava Hızı (m/s)	1.0 (V_1) - 2.0 (V_2) - 3.0(V_3)
Ön İşlem	6,35 mm dilim kalınlığı

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Havuç Örneklerinin Kurutulmasında Ürün Neminin Kurutma Havası Sıcaklığı ve Kurutma Havası Hızına Bağlı Olarak Gösterdiği Değişim Değerleri

Tarımsal ürünlerin kurutulmasında, 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.

Denemelerde, kullanılan havanın ısıtma öncesi ve sonrası belirlenen bazı psikometrik özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Denemelerde Kullanılan Havanın Isıtma Öncesi ve Sonrası Belirlenen Bazı Psikometrik Özellikleri (t_k:Kuru termometre sıcaklığı, t_y:Yaş termometre sıcaklığı, ℓ : Bağıl nem)

Kurutma havası hızı (m/s)	Kurutma havası sıcaklığı (^oC)	Ortam Havası			Kurutma Havası	
		t_k	t_y	ℓ	t_k	ℓ
1.0	55	30	17	29.3	55	5.8
	65	33	17	13.2	65	3.5
	75	31	21	30.6	75	2.0
2.0	55	30	16	12.8	55	5.6
	65	31	18	22	65	4.0
	75	32.5	22.5	27.2	75	2.3
3.0	55	27	16.5	37.5	55	5.9
	65	26.3	17.5	29.2	65	3.8
	75	29.7	17	36.7	75	2.1

Denemeye alınan havuç örneklerinin farklı kurutma havası sıcaklığı (55 ^oC, 65 ^oC ve 75 ^oC), hava hızı (1.0 m/s, 2.0 m/s, 3.0 m/s) ve ön işlem (6,35 mm) koşullarında zamana bağlı olarak değişen (%) nem oranları değerleri yaş ağırlık esasına göre hazırlanan Ek Çizelgelerde verilmiştir. Bu çizelgelerde yer alan (%) nem değişimi değerleri 2 tekerrürün ortalaması olarak hesaplanmıştır (Ek Çizelge 1...3).Ürünlerdeki nem içeriği değerlerinin yaş

ağırlık esasına göre belirtilmesi uygulamada çok kullanılmakla beraber, kurumakta olan materyaldeki, değişmeyen kuru maddeye göre nemin (%) değerleri de kurutma çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla, deneme materyali havuç örneklerinin zamana bağlı olarak farklı kurutma koşullarındaki nem değişimlerini inceleyebilmek için çizelgeler oluşturulmuştur (Ek Çizelge 4...6).

Farklı dış koşulların etkisiyle, kurutulmakta olan ürünlerde meydana gelen nem değişiminin incelenebilmesi için, daha öncede 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 havuç örneklerine ait Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve Ek Çizelge 7....9 arasında verilmiştir.

Denemeler sırasında farklı hava hızlarında kurutulan her havuç örneği için farklı zaman dilimlerinde ölçülen ve örneklerin ilk ağırlıklarının yüzdesi olarak hesaplanan "% ağırlık azalması" değerleri farklı hava hızında kurutulan her havuç örneği için Ek Çizelge 10…12 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 hava koşullarında kurutulmuş havuç örnekleri için yapılan varyans analizi sonuçları Ek Çizelge 13...20 arasında verilmiştir.

Verilen Ek Çizelgeler genel olarak incelenecek olursa, denemeye alınan havuç örneklerinin (%) nem değerlerinin kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızındaki artışa bağlı olarak azalan bir şekilde değişim gösterdiği açıkça görülmektedir. Denemeler sonucunda havuç örneklerinde en kısa kuruma süresine 3.0 m/s hava hızında 75 °C kurutma havası sıcaklığında, en uzun kuruma süresine ise 1.0 m/s hava hızında 55 °C kurutma havası sıcaklığında ulaşıldığı tespit edilmiştir.

4.1.1. Kurutma havası sıcaklığının deneme materyali havuç örneklerinin kuruması üzerine etkileri

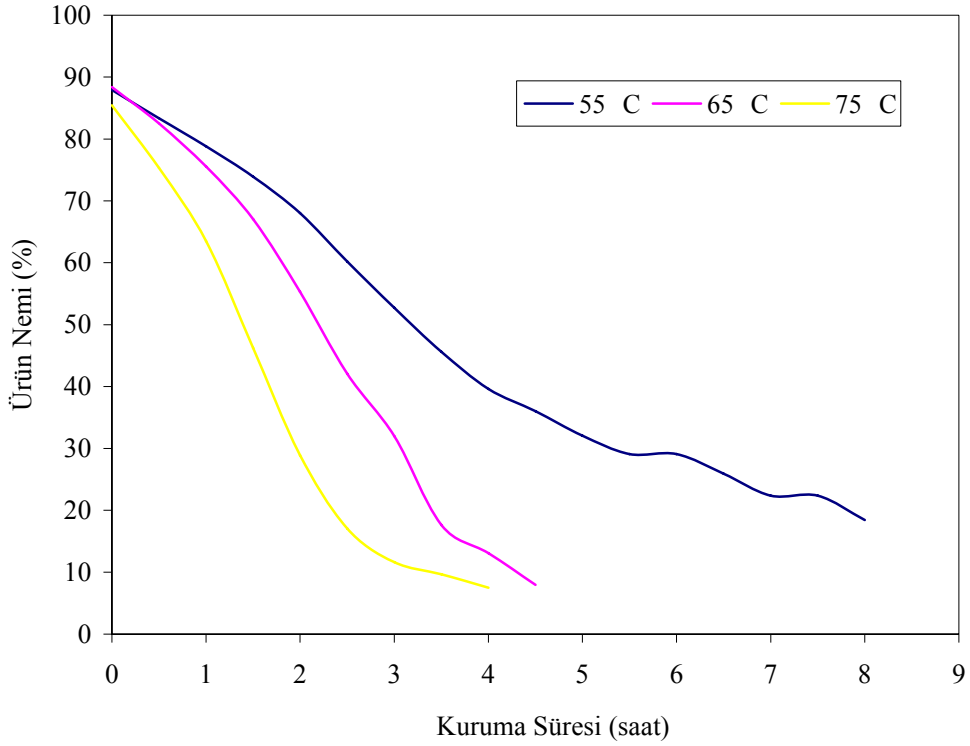
Elde edilen sonuçlara göre, kurutmada kullanılan havanın sıcaklığının artışı, farklı hava hızlarında kurutulan havuç örneklerinin tümünün kuruma hızı üzerinde gözle görülebilir bir artışa neden olmakta ve örneklerin kuruma süreleri kurutma havası sıcaklığının artışına bağlı olarak azalma göstermektedir. Kurutma havasındaki sıcaklık artışının materyallerin kuruma hızları üzerindeki bu etkisini, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin azalmasına bağlayabiliriz. Nitekim Çizelge 4.1'de verilen kurutma havası koşullarıyla ilgili değerler incelenecek olursa, hava sıcaklığının artışına karşılık havanın bağıl nem değerlerinde azalma görülmektedir. Bundan dolayı sıcaklığın artmasıyla birlikte bağıl nemi düşen ve yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan hava kurutmada daha etkin bir rol üstlenmektedir (Ergüneş 1990 ve Mengeş 1995).

Seçilen hava sıcaklıklarının havuç örneklerinin (%) nem değişimi değerlerine etkileri, farklı hava hızı koşulları için Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de verilmiştir. Bu grafiklerin her biri, ayrı hava hızı kademelerinde elde edilen değerlerden yararlanılarak Ek çizelge 1..3'e göre çizilmiştir.

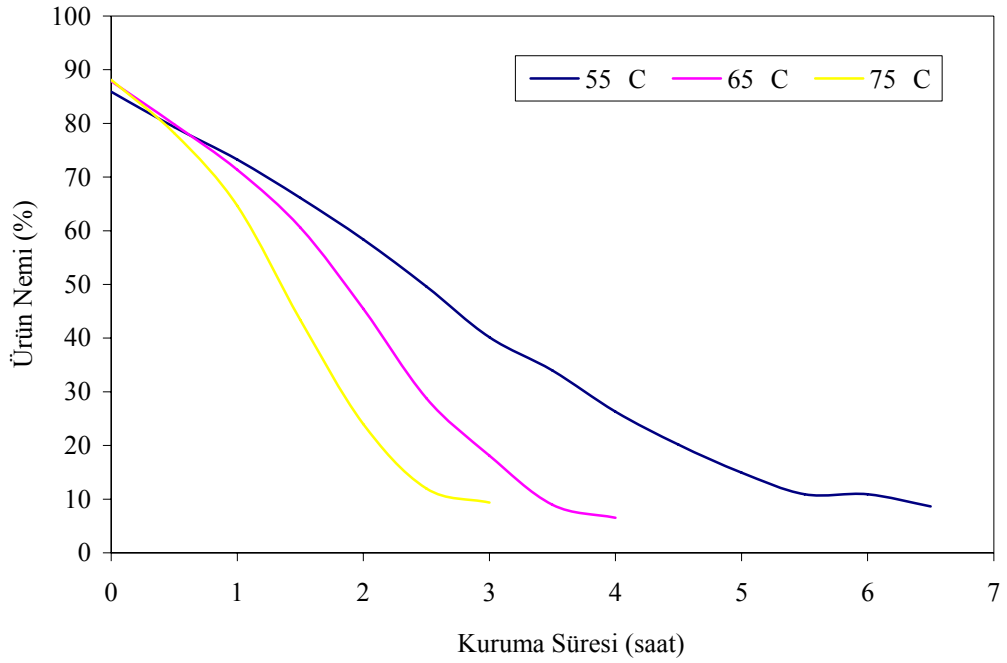
Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'ün incelenmesinden de anlaşılacağı üzere her üç hava hızı kademesinde kurutulan havuç örneklerinde, hava sıcaklığının artışı ve buna bağlı olarak havanın bağıl neminin düşmesi, örneklerin (%) nem değişimindeki azalmada belirgin bir hızlanmaya neden olmaktadır. Başka bir ifadeyle, kurutma havası sıcaklığı artışına bağlı olarak kuruma süresi kısalmaktadır.

Ele alınan hava hızı koşullarının tümünde en hızlı kuruma 75 °C de, en yavaş kuruma ise 55 °C 'de gerçeklenmiştir. Örneğin 1.0 m/s hava hızında %18 nem düzeyine inilebilmesi için gerekli süre 55 °C kurutma havası sıcaklığında 8 saat iken, bu değer 75 °C kurutma havası sıcaklığında 2.5 saat kadar olmaktadır. Diğer bir ifade ile havuç örnekleri için kurutma havası sıcaklığının 55 °C'den 75 °C'ye yükseltilmesi kuruma süresini yaklaşık olarak 3.5 kat azaltmaktadır (Ek Çizelge 1 ve 3).

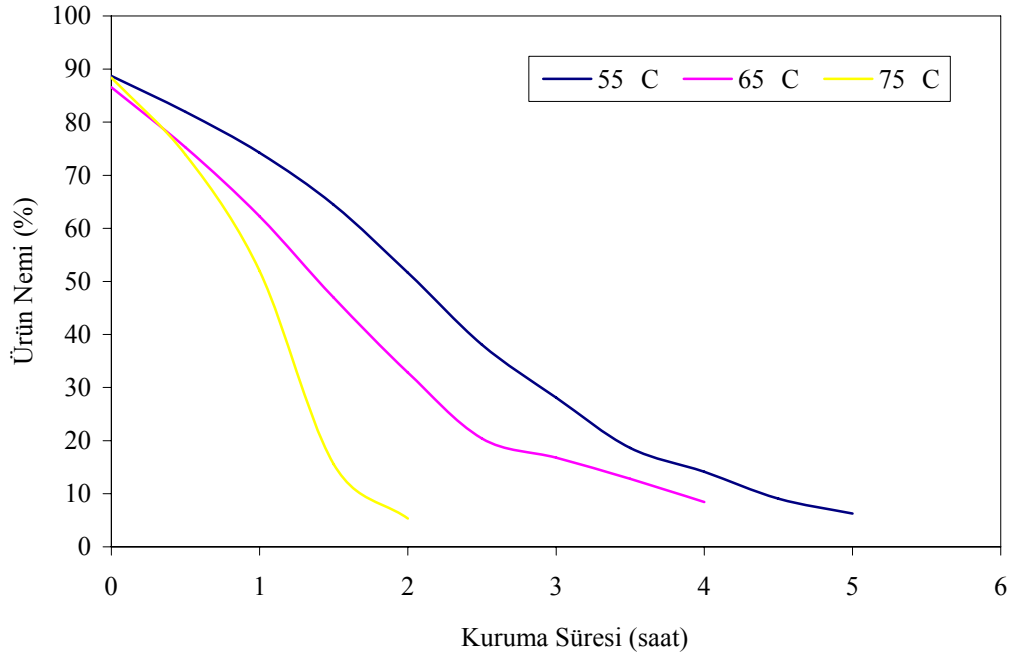
Bu durum farklı hava koşullarında kurutulan havuç örneklerinin hepsine ayrı ayrı olarak yapılan istatistikî analiz sonuçlarında da açık bir şekilde görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre, kurutma havası sıcaklığının, bütün havuç örneklerinin kuruma hızı üzerine etkisi 0.01 seviyesinde önemli bulunmuş (Ek Çizelge 13) ve örneklerdeki (%) ağırlık kayıpları değerlerinde kurutma havası sıcaklığının artışına bağlı olarak bir artış gözlenmiştir (Ek Çizelge 14). Örneğin 1.0 m/s hava hızında kurutulan havuç örneklerinde sıcaklık x zaman intreksiyonuna yapılan duncan testi sonuçlarına göre; havuç örnekleri kurutmanın ilk 2. saati sonunda 55 ^{o}C sıcaklıkta ortalama olarak % 60.047 oranında ağırlık kaybına uğrarken, bu oran 65 ^{o}C ve 75 ^{o}C sıcaklık değerleri için sırasıyla ortalama % 69.488, % 70.388 değerine ulaşmaktadır (Ek Çizelge 19). Bu durum kurutma havası sıcaklığının kuruma hızı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 4.1. 1.0 m/s hava hızında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi.



Şekil 4.2. 2.0 m/s hava hızında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi.



Şekil 4.3. 3.0 m/s hava hızında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi.

4.1.2. Kurutma havası hızının deneme materyali havuç örneklerinin kuruması üzerine etkisi

Kuruma üzerine etkili diğer bir faktör de kurutmada kullanılan havanın hızıdır. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır (Ergüneş 1990).

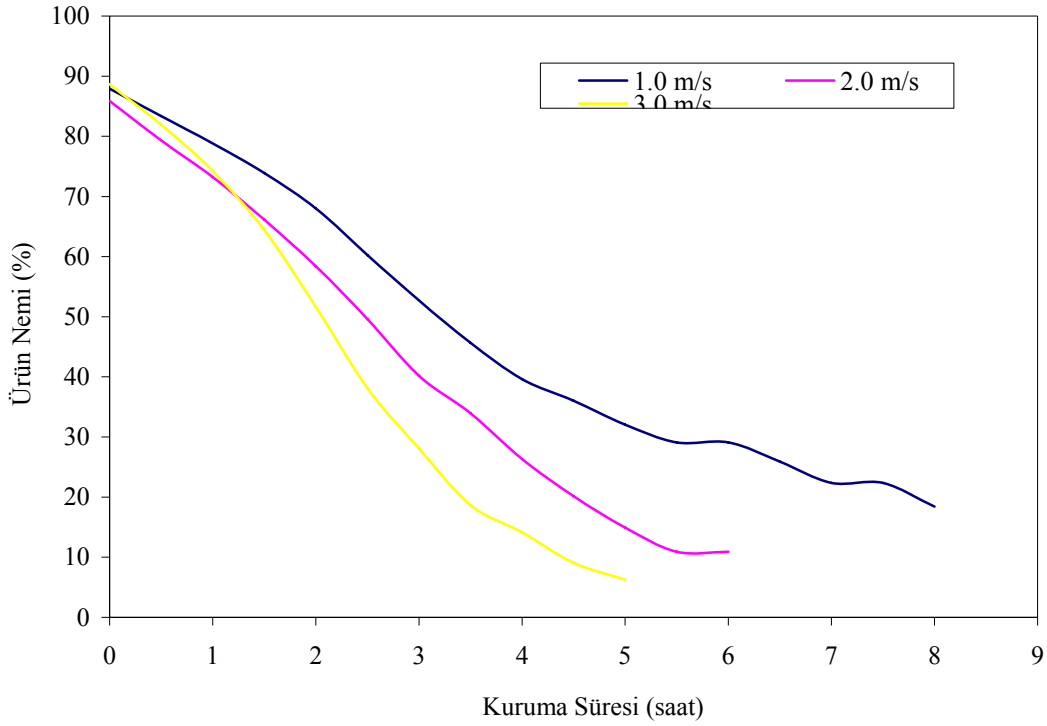
Kuruma işlemi sırasında kurutulmakta olan ürünün yakın çevresinde durgun bir su buharı tabakası oluşmaktadır. Oluşan bu su buharı tabakasının çok ince olmasına karşılık, su ile doymuş bir ortam olduğundan kuruma hızını azaltıcı yönde bir etki yapmaktadır(Yağcıoğlu 1981). İşte ürünün yakın çevresinde oluşan bu tabakanın uzaklaştırılabilmesi için kurutma havasına bir hareket kazandırmak gerekmektedir. Ancak hava hızının kuruma üzerine etkisi, belli bir hız değerine kadar görülmektedir. Zira yapılan araştırmalar, 5.0 m/s'den daha fazla bir hava hızının kuruma hızı üzerine ek bir etki yapmadığını göstermiştir (Cemeroğlu ve Acar 1986).

Kurutma işlemlerinde hava hızının etkisi, kurutmanın bulunduğu aşamaya göre değişmektedir. Kurutmanın başlarında hava hızı çok etkili ise de kurutmanın ileri aşamalarında kuruma hızı artık alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızıyla sınırlandığından, kurutmada hava hızının yüksek olmasının önemli bir etkisi bulunmamaktadır (Cemeroğlu ve Acar 1986).

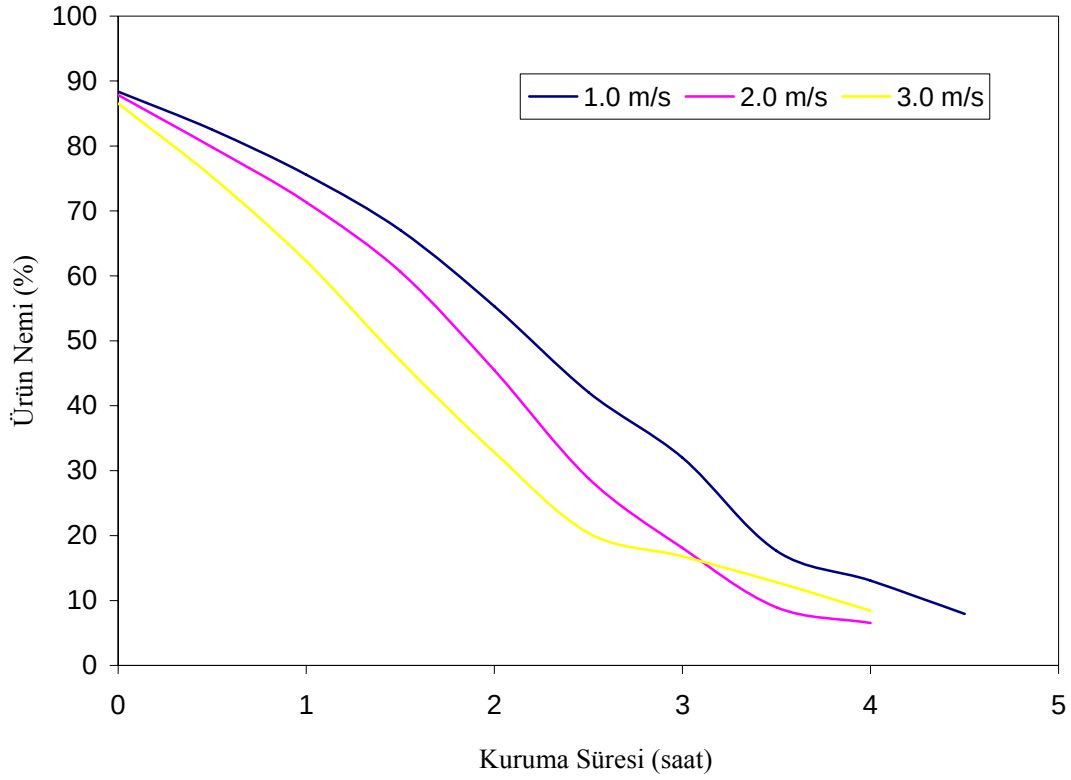
Havuç örneklerinin kurutulmasında, hava hızının etkisini ortaya koyabilmek amacıyla üç farklı hava hızı kademesinde gerçekleştirilen deneme sonuçlarında yararlanılarak her sıcaklık için ayrı ayrı grafikler çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'nın incelenmesinden de görüleceği üzere her sıcaklık koşulunda en yavaş kurumanın 1.0 m/s en hızlı kurumanın ise 3.0 m/s hava hızında gerçekleştiği söylenebilir. Örneğin havuç örneklerinde 55 °C sıcaklıkta yapılan deneme sonuçlarına göre % 8 nem düzeyine ulaşabilmek için gerekli süre 1.0 m/s hava hızında 6.25 saat iken, bu değer 3 m/s hava hızında yaklaşık olarak % 32 oranında azalarak 4.25 saat kadar olmaktadır (Ek Çizelge 1).

Bu durum varyans analiz sonuçlarında da açıkça görülmektedir. Varyans analiz sonuçlarına göre; kurutma havası hızının, deneme materyali havuçlarının kuruma hızı üzerine etkisi istatistikî olarak 0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur (Ek Çizelge 13). Ayrıca havuç örneklerinde (%) ağırlık azalması değerleriyle kurutma havası hızlarına yapılan Duncan testi sonuçlarına göre; 1.0 m/s hava hızında ortalama % 44.289 oranında bir ağırlık azalması söz konusu iken, bu değer 3.0 m/s hava hızında ortalama % 53.834 değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlarda hava hızının, sıcaklık kadar olmasa da kuruma hızı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir (Ek Çizelge 15).

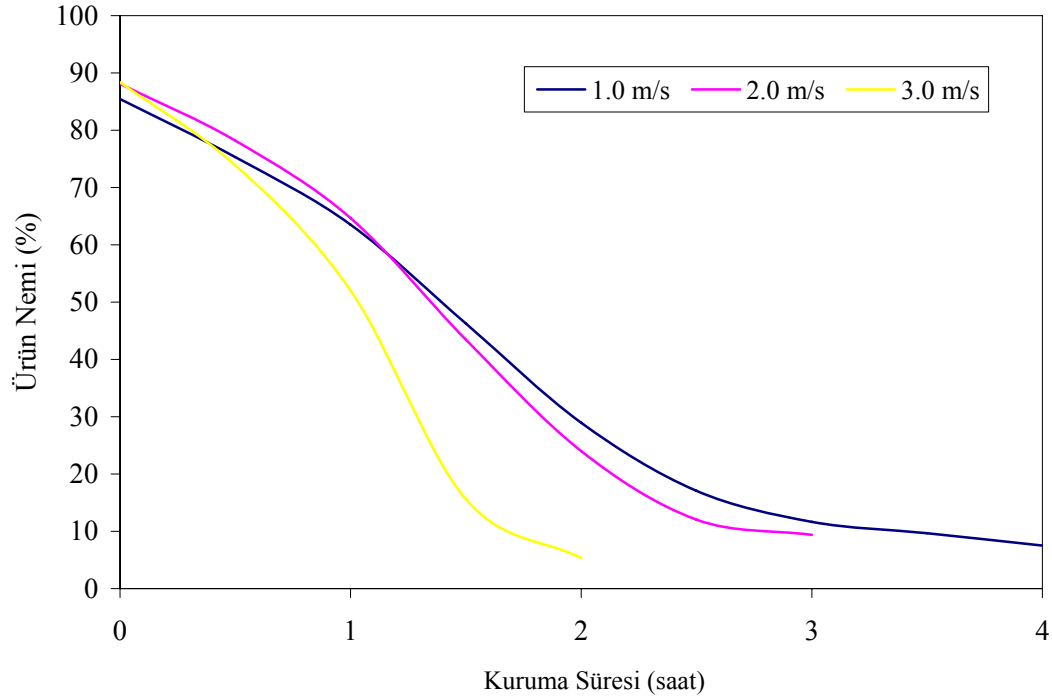


Şekil 4.4. 55 □ C hava sıcaklığında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası hızına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi.



Şekil 4.5. 65 □ C hava sıcaklığında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası hızına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi.

.



Şekil 4.6. 75 □ C hava sıcaklığında kurutulan havuç örneklerinin kurutma havası hızına bağlı olarak gösterdikleri (%) nem değişimi.

4.2. Farklı Koşullarda Kurutulan Deneme Materyali Ürünlere Ait Kuruma Sabiti Değerleri

Materyalden, kuruma koşullarına bağlı olarak meydana gelen (%) nem azalması veya Alınabilir Nem Oranı (ANO)'nın kuruma zamanına bağlı olarak gösterdiği eğilimin belirlenmesi, deneme koşullarına benzer ortamlarda aynı materyalin belirli zamanlarda ulaşabileceği nemi ya da istenilen nem değerine ulaşması için gerekli zamanı belirlemede yardımcı olacaktır. Ancak bunun belirlenmesi için nem değişim eğrilerine ait eğilimlerin bilinmesi gereklidir. Bu eğim değerleri, birim zaman içinde nem ya da Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerindeki değişme eğilimini belirlemekte ve bu nedenle de kuruma sabiti olarak tanımlanmaktadır (Yağcıoğlu 1981 ve 1999).

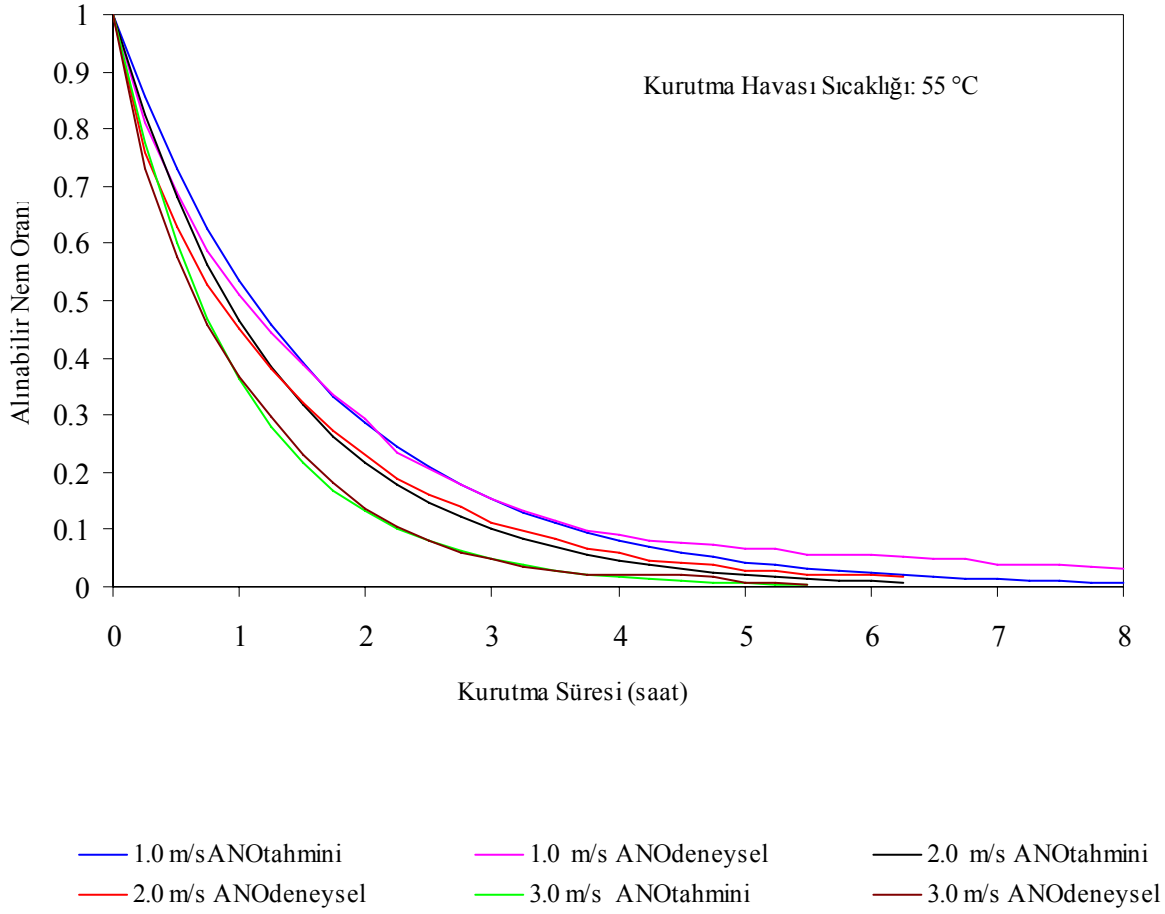
Deneme materyali havuç örneklerinin kurutulmasında, her iki evreyi (sabit+azalan) kapsayacak şekilde ortak bir kuruma sabiti (k) değeri elde etmek için 1 nolu eşitlikte yer alan genel logaritmik kurutma denklemi, havuç örneklerinin tüm kuruma periyodu için uygulanmış ve deneysel değerlere yapılan regreasyon analizi sonucunda farklı kurutma koşullarında deneme materyali havuç örnekleri için elde edilen kuruma sabiti (k) değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Ayrıca deneme sonuçlarına göre hesaplanan Alınabilir Nem Oranı ile bu değerleri açıklayan genel kurutma denklemi ile elde edilen Alınabilir Nem Oranı değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Farklı Kurutma Koşullarında, Havuç Örneklerinin Sabit+Azalan Hızla Kuruma Evrelerine Ait Alınabilir Nem Oranı (Y) – Kuruma Süresi (t) İlişkisini Belirleyen Regresyon Denklemleri

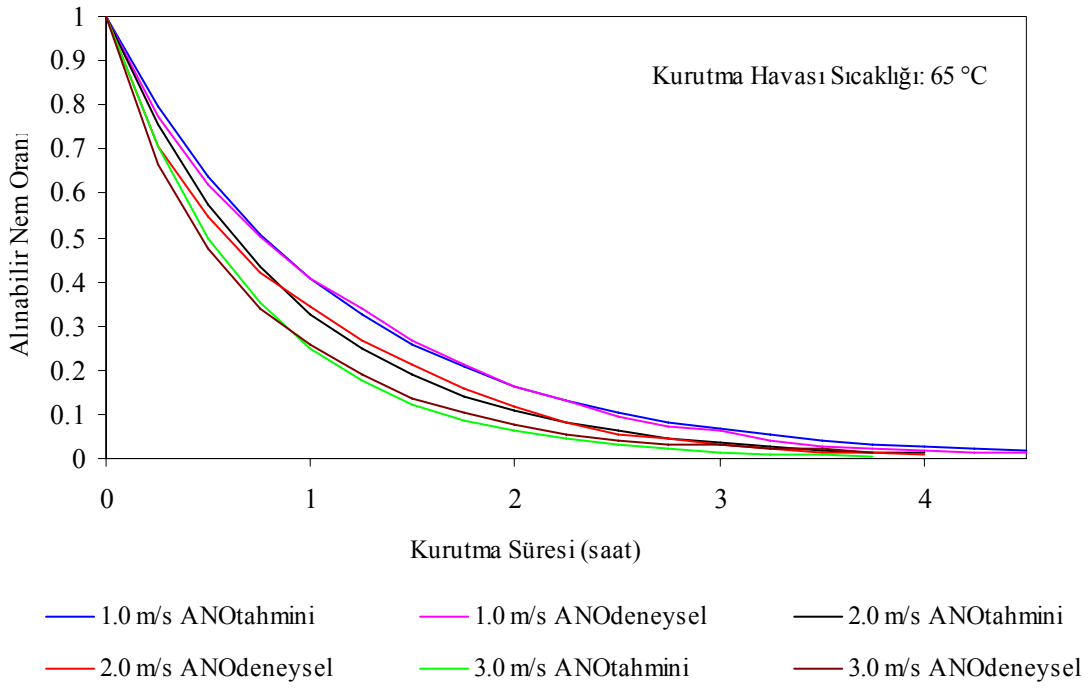
Hava Hızı	Ürün	Model	55 °C		65 °C		75 °C	
			k	r	k	r	k	r
1.0 m/s	Havuç	ANO=exp(-kt)	0.62709	0,99550	0.90267	0.99864	1.27482	0.99944
2.0 m/s			0.76674	0.99670	1.11497	0.99794	1.45977	0.99942
3.0 m/s			1.01461	0.99886	1.39489	0.99815	1.98156	0.99874

k**:** kuruma sabiti r**:** korelasyon katsayısı

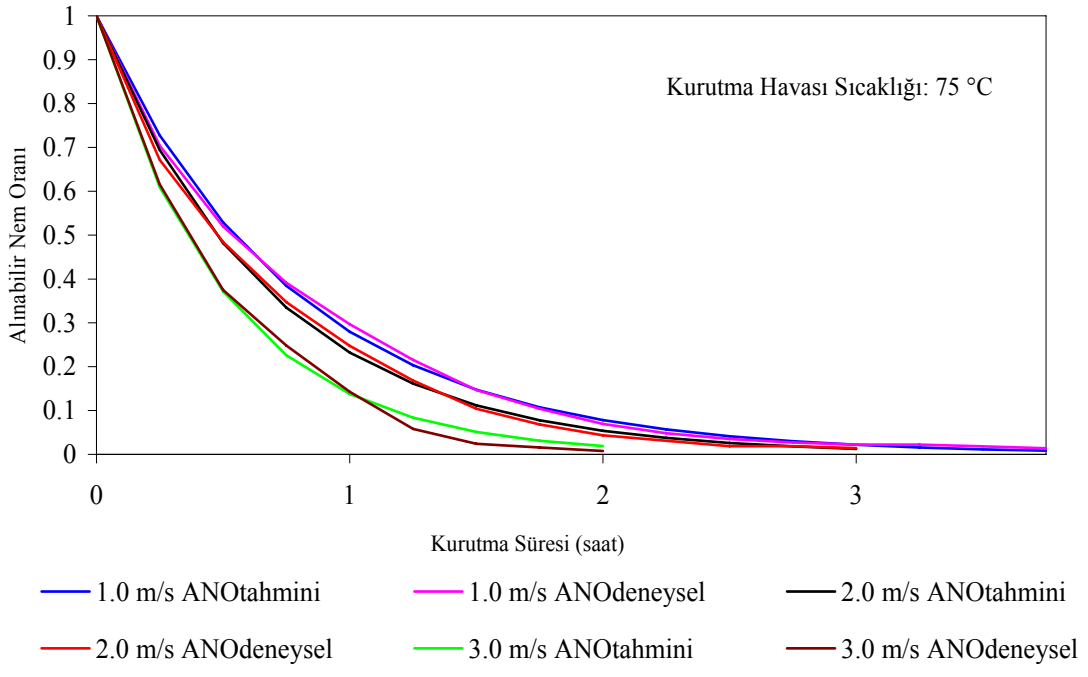
Değişim azalan bir karakter gösterdiği için kuruma sabiti (k) değerleri negatif bulunmuştur. Kuruma sabiti değerleri genel olarak incelenecek olursa, bu değerlerin sıcaklık ve hava hızı artışına bağlı olarak arttıkları görülmektedir. En yüksek kuruma sabiti (k) değeri (k:1.98156) 75 °C sıcaklık 3.0 m/s hava hızı ile çalışmada görülmüştür. En düşük kuruma sabiti değeri (k:0.62709) ise 55 °C sıcaklıkta 1.0 m/s hava hızı ile çalışmada görülmüştür. Ayrıca Alınabilir Nem Oranı-Kuruma zamanı ilişkisini veren denklemlere ait korelasyon katsayıları (r) incelenecek olursa % 99'un üzerinde olduğu dikkat çekmektedir. Burada, ele alınan regresyon modellerinin deneysel sonuçlarla iyi bir uyum gösterdiği anlaşılmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.7.Farklı kurutma sıcaklıklarında (a, b ve c) elde edilen deneysel ve tahmini Alınabilir Nem Oranı (ANO) değerlerinin zamana göre değişimi

Şekil 4.7'nin incelenmesinden görüleceği üzere, deneysel verilerden ve regresyon denklemlerinden hesaplanan, deneysel ve tahmini Alınabilir Nem Oranı değerleri birbirine yakındır, dolayısıyla ürünün nem içeriğindeki değişim genel kurutma denklemi ile deneysel verilere yakın olacak şekilde tahmin edilebilir.

Bu çalışma şu başlıklar altında özetlenebilir;

- Kurutmada kullanılan havanın sıcaklığı ve hızı arttıkça, deneme materyali havuçlardan uzaklaşan nem miktarı artmakta ve bunun sonucu olarak kuruma süresi kısalmaktadır,
- Havuç örneklerine ait kuruma sabiti değerlerinde hava sıcaklığı ve hava hızı artışına bağlı olarak artış olmaktadır,
- Havuç örneklerinin farklı koşullar için (hava sıcaklığı ve hava hızı) hesaplanan kuruma sabiti değerleri 0.627…..1.981 arasında değişmiştir.

5. 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):32-7.

Adar, L., 1989. Effect of air Temperature and Humidity on the Drying Rate of Macaroni. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

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

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.

Akyurt, M., Selçuk, K., 1973. A Solar Dryer Supplemented With Auxiliary Heating Systems For Continous Operation. Solar Energy 14, 313-320.

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

Anonymous, 2000. Tarımsal Yapı (Üretim, fiyat, Değer). T.C.Başbakanlık Devlet istatistik Enstitüsü, Ankara.

Anonymous, 2001. Tarımsal Yapı (Üretim, fiyat, Değer). T.C.Başbakanlık Devlet istatistik Enstitüsü, Ankara

Anonymous, 2002. Tarımsal Yapı (Üretim, fiyat, Değer). T.C.Başbakanlık Devlet istatistik Enstitüsü, Ankara.

Anonymous, 2003. Tarımsal Yapı (Üretim, fiyat, Değer). T.C.Başbakanlık Devlet istatistik Enstitüsü, Ankara.

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

Ayık, M., 1985. Ürün İşleme Tekniği ve Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat fakültesi Yayınları; 975, Ders kitabı; 277, Ankara.

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.

Bereket, S., 1986. Güneş Enerjisi ve Güneşli Kurutucular. TOKB Dergisi, Sayı: 9, Ankara.

Bowden, P.J., Lamond, W.J., Smith, E.A.,1983.Simulation of Near Ambient Grain Drying, I.Comparison of Simulations with Experimental results. Journal Agricultural Engineering. 279-300.

Cemeroğlu, B., Acar, J., 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi Gıda teknolojisi Derneği, Yayın No: 6, Ankara.

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

Demir, V., Günhan, T., 2002. Tarım Ürünlerinin Kuruma Karakteristik Değerlerinin Belirlenmesi. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 17-31, İzmir.

Doğan, Z., 1991. Effect of Pretreatment and Air Temperature on the Drying Rate of Cultivated Mushroom. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Üniversitesi, Ankara.

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

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

Düzgüneş, O., Kesici, İ., Gürbüz F., 1983. İstatistik Metodları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 861, Ankara.

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

Erdoğan, D., 1984. Doğal Akışlı Güneşli Kurutucular. 2. Uluslar arası Tarımsal Mekanizasyon 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.

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

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

Hendley A. J. 1996. Drying Foods. http:/ www.cahe .nmsu.edu

Hummedia, M., El-Sheikh, A. 1989. Determinaton of drying Curves of Two Varieties of Peanuts. AMA, Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America. 20:4, 47-51, Saudi Arabia

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

Komanowsky, M., Talley, F.B., Eskew, R.K., 1970. Air Dryingof Cultivated Mushrooms. Food Technology, 24, 1020-1024.

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

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

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

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

Mengeş, H. O. 1999. Konya Bölgesinde Yetştirilen Bazı Meyvelerin Kontrollü Şartlar Altında Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Konya

Mishkin, M., Saguy, I., Karel, M., 1984a. Optimization Of Nutrient Dehydration During Processing: Ascorbic Acid Degradation İn Potato Dehydration: J. Of Food Sci., 49, 1262-1265.

Mishkin, M., Saguy, I., Karel, M., 1984b. A Dynamic Test For Kinetics Models Of Chemical Changes During Processing: Ascorbic Acid Degradation İn Dehydration Of Mulet Potatoes: J.Of Food Sci., 49, 1267-1270.

Mudahar, G.S., Toledo, R.T., Flords, J.D., Jen, J.J.,1989. Optimization of Carrot Dehydration Process Using Response Surface Methodology. J. of Food Sci.. 54 (3), 714-719.

Mulet, A., Berna, A., Borras, M., Pınaga, F., 1987.Effect of Air Flow Rate on Carrot Drying. Drying Technology, 5(2),245-258.

Mulet, A., Berna, A., Rosello, C., Pınaga, F., 1989. Drying of Carrots. II Evaluation of Drying Models: Drying Technology, 7 (4), 641-661.

Pal, U.S., Chakreaverty, A., 1997. Thin Layer Convection- Drying of Mushrooms.Energy Coversion and Manegement, 38(2): 107-113.

Puiggali, J.R., Batsale, J.C., Nadeau, J.P., 1987. The Development and Use of An Equation Descripe The Kinetics of Air Drying of Hazelnuts.Lebensm.-Wiss.u.-Technology., 20, 174-179.

Saravacos, G.D., And Charn, S.E., 1962a. A Study of The Mechanism of Fruit and Vegetable Dehydration: Food Technology. 16, 78-81.

Saravacos, G.D., And Charn, S.E., 1962b. Effect of Surface Active Agents on the Dehydration of Fruits and Vegetables: Food Technology, 16, 91-93.

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

Schadle, E.R., Burns, E.E., Talley, L.J., 1983. Forced Air Drying of Partially Freze Dried Compressed Carrot Bars. J.of Food Sci., 48, 193-196.

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

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.

Trenning, A., 1971. Maraşta Acı Biber Üzerine Bir İnceleme. Bursa Konservecilik Enstitüsü, Bursa

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

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

Ültanır, M.Ö., 1972. Preheated Circulation Solar Dryer. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, 4s, Ankara.

Vaccarezza, L.M., Lombardı, L.J., And Cırıfe, J. 1974. Heat Transfer Effects on Drying Rate of Food Dehy Dration: Can. J. of Food Engng., 52, Oct., 576-579.

Vaccarezza, L.M., Chirife, J., 1975. On The Mechanism Of Moisture Transport During Air Drying Of Sugar Beet Root. J. of Food Sci., 40, 1286-1289.

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

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

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

Yaldız, O., 2001. Havuç Ve Pırasa Kurutulmasında Kurutma Havası Özelliklerinin Kuruma Karakteristiklerine Etkisi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi, Pp. 412-417, 13-15 Eylül, Şanlıurfa.

Weitz, D., Lara, M.A., Piacentini, R.D., 1989. Dipping Treatment Effects on Simulated Prune Solar Drying. Can. Inst. Food Sci. Technol. J., 22(2), 133-136.

EKLER

Ek çizelge 1. Havuç Örneklerinde 55 °C Sıcaklık İçin Ortalama Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri.

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	87.9200	85.8800	88.6800
0.25	85.5031	82.2020	85.1409
0.50	83.3586	79.3158	81.9270
0.75	81.0361	76.2328	78.2347
1.00	78.8219	73.2395	74.2431
1.25	76.3647	69.8637	69.9880
1.50	73.9076	66.1341	64.4234
1.75	70.8775	62.4724	58.7126
2.00	68.0254	58.3896	51.6584
2.25	62.9334	53.3101	44.7358
2.50	60.2239	49.6085	38.0916
2.75	56.4997	46.0906	31.2639
3.00	52.7192	40.1615	28.0758
3.25	49.0295	37.2483	20.6597
3.50	45.6346	33.9559	18.6477
3.75	41.7551	29.0552	14.1439
4.00	39.6000	26.3123	14.1439
4.25	37.2793	21.8811	9.0748
4.50	36.0263	20.1568	6.2611
4.75	34.7732	18.5681	3.4118
5.00	32.0585	14.9367	
5.25	32.0585	14.9367	
5.50	29.1080	10.9370	
5.75	29.1080	10.9370	
6.00	29.1080	10.9370	
6.25	27.4988	8.6684	
6.50	25.8896		
6.75	25.8896		
7.00	22.3650		
7.25	22.3650		
7.50	22.3650		
7.75	20.3993		
8.00	18.4335		

Ek çizelge 2. Havuç Örneklerinde 65 °C Sıcaklık İçin Ortalama Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri.

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	88.3700	87.8500	86.5400
0.25	85.4469	83.5743	81.0284
0.50	82.5203	79.8237	75.2551
0.75	79.2780	75.2366	68.7026
1.00	75.5566	71.3304	62.2454
1.25	73.6503	65.9516	54.7875
1.50	67.0611	60.6196	46.9238
1.75	61.8495	53.2674	39.9618
2.00	55.3116	45.4679	32.8368
2.25	49.5328	37.0687	25.2538
2.50	42.0664	28.8156	20.4021
2.75	35.2906	23.6105	16.8109
3.00	31.9875	18.0904	16.8109
3.25	23.8378	13.7735	12.8238
3.50	17.6335	8.9507	12.8238
3.75	15.3723	8.9507	8.4354
4.00	13.0780	6.5538	
4.25	10.5140		
4.50	7.9529		

Ek çizelge 3. Havuç Örneklerinde 75 °C Sıcaklık İçin Ortalama Yaş Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri.

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	85.4400	88.0880	88.3580
0.25	80.5150	83.2365	82.3707
0.50	75.3093	78.1730	73.8728
0.75	69.6535	71.9615	65.3306
1.00	63.5259	64.6471	51.9806
1.25	55.8166	55.4398	30.6058
1.50	46.2440	43.4224	15.5770
1.75	37.8236	33.3813	10.7498
2.00	28.9204	23.9884	5.3410
2.25	21.7758	18.4885	
2.50	17.0581	12.0085	
2.75	13.4537	12.0085	
3.00	11.6212	9.3794	
3.25	11.6212		
3.50	9.6479		
3.75	7.4915		

Ek çizelge 4. Havuç Örneklerinde 55 °C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri.

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	7.2781	6.0822	7.8339
0.25	5.8982	4.6186	5.7301
0.50	5.0091	3.8346	4.5331
0.75	4.2732	3.2075	3.5945
1.00	3.7219	2.7369	2.8825
1.25	3.2310	2.3187	2.3326
1.50	2.8328	1.9529	1.8149
1.75	2.4338	1.6654	1.4267
2.00	2.1275	1.4040	1.0711
2.25	1.6978	1.1427	0.8123
2.50	1.5141	0.9855	0.6184
2.75	1.2993	0.8552	0.4558
3.00	1.1155	0.6725	0.3913
3.25	0.9619	0.5938	0.2615
3.50	0.8394	0.5156	0.2292
3.75	0.7169	0.4111	0.1648
4.00	0.6556	0.3587	0.1648
4.25	0.5944	0.2805	0.0998
4.50	0.5637	0.2542	0.0680
4.75	0.5331	0.2284	0.0353
5.00	0.4719	0.1760	
5.25	0.4719	0.1760	
5.50	0.4106	0.1232	
5.75	0.4106	0.1232	
6.00	0.4106	0.1232	
6.25	0.3800	0.0970	
6.50	0.3493		
6.75	0.3493		
7.00	0.2881		
7.25	0.2881		
7.50	0.2881		
7.75	0.2570		
8.00	0.2260		

Ek çizelge 5. Havuç Örneklerinde 65 °C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri.

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	7.5985	7.2305	6.4294
0.25	5.8719	5.0885	4.2712
0.50	4.7214	3.9564	3.0420
0.75	3.8263	3.0383	2.1954
1.00	3.0911	2.4881	1.6490
1.25	2.8169	1.9370	1.2121
1.50	2.0365	1.5395	0.8845
1.75	1.6212	1.1412	0.6660
2.00	1.2377	0.8354	0.4900
2.25	0.9815	0.5909	0.3384
2.50	0.7261	0.4070	0.2563
2.75	0.5456	0.3148	0.2021
3.00	0.4703	0.2235	0.2021
3.25	0.3134	0.1626	0.1471
3.50	0.2141	0.1012	0.1471
3.75	0.1823	0.1012	0.0921
4.00	0.1505	0.0708	
4.25	0.1187		
4.50	0.0864		

Ek çizelge 6. Havuç Örneklerinde 75 °C Sıcaklık İçin Kuru Ağırlık Esasına Göre Hesaplanan Ortalama (%) Nem Değişimi Değerleri.

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	5.8681	7.3949	7.5896
0.25	4.1322	4.9654	4.6726
0.50	3.0501	3.5815	2.8447
0.75	2.2953	2.5666	1.8844
1.00	1.7418	1.8287	1.0830
1.25	1.2641	1.2444	0.4418
1.50	0.8613	0.7701	0.1854
1.75	0.6095	0.5060	0.1214
2.00	0.4083	0.3214	0.0574
2.25	0.2823	0.2294	
2.50	0.2074	0.1371	
2.75	0.1573	0.1371	
3.00	0.1319	0.1064	
3.25	0.1319		
3.50	0.1068		
3.75	0.0814		

Ek çizelge 7. Havuç Örneklerinde 55 °C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O.) Değerleri

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	1.0000	1.0000	1.0000
0.25	0.8104	0.7594	0.7315
0.50	0.6882	0.6305	0.5787
0.75	0.5871	0.5274	0.4588
1.00	0.5114	0.4500	0.3680
1.25	0.4439	0.3812	0.2978
1.50	0.3892	0.3211	0.2317
1.75	0.3344	0.2738	0.1821
2.00	0.2923	0.2308	0.1367
2.25	0.2333	0.1879	0.1037
2.50	0.2080	0.1620	0.0789
2.75	0.1785	0.1406	0.0582
3.00	0.1533	0.1106	0.0500
3.25	0.1322	0.0976	0.0334
3.50	0.1153	0.0848	0.0293
3.75	0.0985	0.0676	0.0210
4.00	0.0901	0.0590	0.0210
4.25	0.0817	0.0461	0.0127
4.50	0.0775	0.0418	0.0087
4.75	0.0732	0.0376	0.0045
5.00	0.0648	0.0289	
5.25	0.0648	0.0289	
5.50	0.0564	0.0203	
5.75	0.0564	0.0203	
6.00	0.0564	0.0203	
6.25	0.0522	0.0160	
6.50	0.0480		
6.75	0.0480		
7.00	0.0396		
7.25	0.0396		
7.50	0.0396		
7.75	0.0353		
8.00	0.0311		

Ek çizelge 8. Havuç Örneklerinde 65 °C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O.) Değerleri

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	1.0000	1.0000	1.0000
0.25	0.7728	0.7038	0.6643
0.50	0.6214	0.5472	0.4731
0.75	0.5036	0.4202	0.3415
1.00	0.4068	0.3441	0.2565
1.25	0.3707	0.2679	0.1885
1.50	0.2680	0.2129	0.1376
1.75	0.2134	0.1578	0.1036
2.00	0.1629	0.1155	0.0762
2.25	0.1292	0.0817	0.0526
2.50	0.0956	0.0563	0.0399
2.75	0.0718	0.0435	0.0314
3.00	0.0619	0.0309	0.0314
3.25	0.0412	0.0225	0.0229
3.50	0.0282	0.0140	0.0229
3.75	0.0240	0.0140	0.0143
4.00	0.0198	0.0098	
4.25	0.0156		
4.50	0.0114		

Ek çizelge 9. Havuç Örneklerinde 75 °C Sıcaklık İçin Ortalama Alınabilir Nem Oranı (A.N.O.) Değerleri

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	1.0000	1.0000	1.0000
0.25	0.7042	0.6715	0.6157
0.50	0.5198	0.4843	0.3748
0.75	0.3912	0.3471	0.2483
1.00	0.2968	0.2473	0.1427
1.25	0.2154	0.1683	0.0582
1.50	0.1468	0.1041	0.0244
1.75	0.1039	0.0684	0.0160
2.00	0.0696	0.0435	0.0076
2.25	0.0481	0.0310	
2.50	0.0353	0.0185	
2.75	0.0268	0.0185	
3.00	0.0225	0.0144	
3.25	0.0225		
3.50	0.0182		
3.75	0.0139		

Ek çizelge 10. Havuç Örneklerinde 55 °C Sıcaklık İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleri

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	100	100	100
0.25	83.3300	79.3350	76.1850
0.50	72.5900	68.2650	62.6350
0.75	63.7000	59.4100	52.0100
1.00	57.0400	52.7650	43.9500
1.25	51.1100	46.8600	37.7250
1.50	46.3000	41.6950	31.8650
1.75	41.4800	37.6350	27.4700
2.00	37.7800	33.9450	23.4450
2.25	32.5900	30.2550	20.5150
2.50	30.3700	28.0350	18.3200
2.75	27.7750	26.1950	16.4800
3.00	25.5550	23.6150	15.7500
3.25	23.7000	22.5050	14.2800
3.50	22.2200	21.4000	13.9150
3.75	20.7400	19.9250	13.1850
4.00	20.0000	19.1850	13.1850
4.25	19.2600	18.0800	12.4500
4.50	18.8900	17.7100	12.0900
4.75	18.5200	17.3450	11.7200
5.00	17.7800	16.6050	
5.25	17.7800	16.6050	
5.50	17.0400	15.8600	
5.75	17.0400	15.8600	
6.00	17.0400	15.8600	
6.25	16.6700	15.4900	
6.50	16.3000		
6.75	16.3000		
7.00	15.5600		
7.25	15.5600		
7.50	15.5600		
7.75	15.1850		
8.00	14.8100		

Ek çizelge 11. Havuç Örneklerinde 65 °C Sıcaklık İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleri

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	100	100	100
0.25	79.9200	73.9750	70.9500
0.50	66.5400	60.2200	54.4050
0.75	56.1300	49.0650	43.0100
1.00	47.5800	42.3800	35.6550
1.25	44.3900	35.6850	29.7750
1.50	35.3150	30.8550	25.3650
1.75	30.4850	26.0150	22.4250
2.00	26.0250	22.3000	20.0550
2.25	23.0450	19.3300	18.0150
2.50	20.0750	17.0950	16.9100
2.75	17.9750	15.9750	16.1800
3.00	17.1000	14.8650	16.1800
3.25	15.2750	14.1250	15.4400
3.50	14.1200	13.3800	15.4400
3.75	13.7500	13.3800	14.7000
4.00	13.3800	13.0100	
4.25	13.0100		
4.50	12.6350		

Ek çizelge 12. Havuç Örneklerinde 75 °C Sıcaklık İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleri.

Süre (saat)	Hava Hızları		
	1.0 m/s	2.0 m/s	3.0 m/s
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0.00	100	100	100
0.25	74.7250	71.0600	66.0400
0.50	58.9700	54.5750	44.7600
0.75	47.9800	42.4850	33.5800
1.00	39.9200	33.6950	24.2500
1.25	32.9650	26.7350	16.7850
1.50	27.1000	21.0850	13.8000
1.75	23.4350	17.9400	13.0550
2.00	20.5050	15.7400	12.3100
2.25	18.6700	14.6450	
2.50	17.5800	13.5450	
2.75	16.8500	13.5450	
3.00	16.4800	13.1800	
3.25	16.4800		
3.50	16.1150		
3.75	15.7450		

Ek çizelge 13. Havuç Örneklerinin Kurutulması Sonucunda Elde Edilen Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerlerinin Çeşitli Parametreler İçin Varyans Analiz Sonuçları.

Varyans Kaynakları	SD	KT	KO	F
Genel	89.00	36812.29	-	-
Sıcaklık(T)	2.00	2817.80	1408.90	1841.14 * *
Hız (V)	2.00	1382.60	691.30	903.36 * *
Zaman (Z)	4.00	67467.80	16866.90	22000.00 * *
TxV	4.00	27.80	7.00	9.10 * *
TxZ	8.00	750.40	93.80	122.58 * *
VxZ	8.00	374.40	46.80	61.15 * *
TxVxZ	16.00	62.80	3.90	5.13 * *
Hata	45.00	34.40	0.80	-

Ek çizelge 14. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Sıcaklıklarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları.

Hava Sıcaklığı	T_1	T_2	T_3
Ağırlık Azalması (%)	41.848_c	48.887_b	55.553_a

Ek çizelge 15. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Havası Hızlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları.

Hava Hızı	V_1	V_2	V_3
Ağırlık Azalması (%)	44.289_c	48.165_b	53.834_a

Ek çizelge 16. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Kurutma Zamanlarına Yapılan Duncan Testi Sonuçları.

Kuruma Zamanı	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
Ağırlık Azalması (%)	0.000_e	39.671_d	58.085_c	69.624_b	76.433_a

Ek çizelge 17. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Hız İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları.

Hava Sıcaklığı	Hava Hızı		
	V_1	V_2	V_3
T_1	37.258_i	40.666_h	47.621_f
T_2	44.908_g	48.849_e	52.904_c
T_3	50.701_d	54.981_b	60.976_a

Ek çizelge 18. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları.

Hava Hızı	Kuruma Zamanları				
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
V_1	0.00_{l}	33.967_{k}	51.820_{h}	63.762_{f}	71.897_{c}
V_2	0.00_{l}	38.980_{j}	57.053_{g}	68.788_{d}	76.005_{b}
V_3	0.00_{l}	$46.067_{ı}$	65.382_{e}	76.323_{b}	81.397_{a}

Ek çizelge 19. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları.

Hava Sıcaklığı	Kuruma Zamanları				
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
T_1	0.00_{l}	32.170_{k}	48.748_{h}	60.047_{f}	68.277_{de}
T_2	0.00_{l}	39.612_{j}	58.128_{g}	69.488_{d}	77.202_{c}
T_3	0.00_{l}	$47.232_{ı}$	67.378_{e}	79.388_{b}	83.815_{a}

Ek çizelge 20. Havuç Örnekleri İçin Ortalama (%) Ağırlık Azalması Değerleriyle Sıcaklık x Hız x Zaman İnteraksiyonuna Yapılan Duncan Testi Sonuçları.

		Kuruma Zamanları				
Hava Sıcaklığı	Hava Hızı	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
T_1	V_1	0.00_{x}	27.410_{w}	42.960_{s}	53.700_{pq}	62.220_{kl}
	V_2	0.00_{x}	31.735_{v}	47.235_{r}	58.305_{mn}	$66.055_{ıj}$
	V_3	0.00_{x}	37.365_{u}	56.050_{nop}	$68.135_{hı}$	76.555_{def}
T_2	V_1	0.00_{x}	33.460_{v}	52.420_{q}	64.685_{jk}	73.975_{fg}
	V_2	0.00_{x}	39.780_{t}	57.620_{mno}	69.145_{h}	77.700_{cde}
	V_3	0.00_{x}	45.595_{r}	64.345_{jk}	74.635_{fg}	79.945_{c}
T_3	V_1	0.00_{x}	41.030_{st}	60.080_{lm}	72.900_{g}	79.495_{c}
	V_2	0.00_{x}	45.425_{r}	$66.305_{ıj}$	78.915_{cd}	84.260_{b}
	V_3	0.00_{x}	55.240_{op}	75.750_{ef}	86.200_{ab}	87.690_{a}