

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTUCULAR KULLANILARAK
KUŞBURNUNUN KURUTULMASI

Ayşe BİÇER

Tez Yöneticisi:

Yrd. Doç. Dr. Filiz KAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ- 2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KURUTUCULAR KULLANILARAK
KUŞBURNUNUN KURUTULMASI**

Ayşe BİÇER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Bu tez, 08/02/09 Tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı /başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman

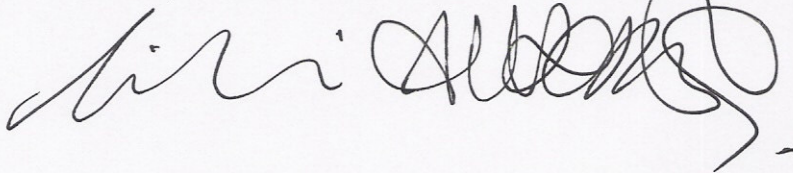
Yrd. Doç. Dr. Filiz KAR

Üye

Prof. Dr. Nurhan ARSLAN

Üye

Doç. Dr. Ebru Kavak AKPINAR



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın planlanmasında ve yürütülmesinde, çalışmalarım süresince benden destek ve ilgisini esirgemeyen, Sayın Hocam Yrd. Dr. Filiz KAR' a en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmamda yardımlarını benden esirgemeyen sayın Doç.Dr. Ebru Kavak AKPINAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	IV
TABLoların LİSTESİ	VI
SİMGELERİN LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX

1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. KURAMSAL TEMELLER	11
3.1. Nemlilik Ölçüsü	11
3.2. Denge Nem İçeriği	12
3.3. Gıda Maddelerinde Bulunan Su ve Su Aktivitesi	13
3.3.1.Sorpsiyon İzotermi	13
3.4. Kurutma ve Kurutmanın Peryotları	15
3.5. İnce Tabaka Kuruma Kavramı	17
3.5.1. Sabit Hızda Kuruma Evresi	17
3.5.2. Azalan Hızla Kuruma Evresi	20
3.5.2.1. Azalan Hızla Kuruma Evresi ile İlgili Teorik Modeller	21
3.5.2.2 Azalan Hızla Kuruma Evresi İçin Geliştirilmiş Yarı Teorik Modeller ve Deneysel Kuruma Eşitlikleri	25
3.6. Kalın Tabaka Kuruma Kavramı	26
3.7. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler	26
3.8. Kuruma Sırasında Isı ve Kütle Transferi	29
3.9. Kuruma Teorileri.....	30
3.9.1. Difüzyon Teorisi	30
3.9.2. Büzülme ve Kabuklaşma.....	31
3.9.3. Kapılar Teori	32
3.10. Kurutma Yöntemleri	33
3.10.1. Kimyasal Kurutma	34

3.10.2. Mekanik Kurutma	34
3.10.3. Termik Kurutma.....	34
3.11. Kurutmayı Etkileyen Faktörler	36
3.11.1. Kurutma Havaının Sıcaklığı	36
3.11.2. Kurutma Havaının Bağıl Nemi.....	37
3.11.3. Kurutma Havaının Hareket Hızı.....	37
3.11.4. Malzemenin Kurutma Esnasında İstif Şekli.....	37
3.11.5. Malzeme Cinsi ve Kalınlığı	38
3.11.6. Malzemenin İçerdiği Nem.....	38
3.11.7. Buharlaşıma Yüzeyinin Büyüklüğü	38
3.11.8. Kurutucunun Isı Yalıtımı	38
3.11.9. Kurutucu Kapasitesi	39
4. KUŞBURNU MEYVESİ (ROSA CANINA)	40
4.1. Kuşburnu Türleri.....	40
4.2. Kuşburnunun Sanayide Kullanımı	43
4.3. C Vitamini (Askorbik Asit).....	43
5. MATERYAL VE YÖNTEM	46
5.1. Deneylerde Kullanılan Kuşburnu Meyvesi.....	46
5.2. Deney Düzenekleri	46
5.2.1. Düz Akışlı Hava İle Deneylerin Yapıldığı Tepsili Kanal Tip Kurutucu	46
5.2.2. Dönel Akışlı Hava İle Deneylerin Yapıldığı Siklon Tipi Kurutucu	48
5.2.3. C Vitamini Tayini Yöntemi	50
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	51
6.1. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Hesap Yöntemi.....	51
6.2. Laboratuar Tipi Tepsili Kurutucuda Düz ve Siklon Tipi Kurutucuda	
Dönel Akışta Yapılan Deneylerin Sonuçları	52
6.2.1. Kurutma Havaı Sıcaklığının Kurutmaya Etkisi	52
6.2.2. Kurutma Havaı Hızının Kurutmaya Etkisi	58
6.2.3. Kurutma Havaı Akış Tipinin Kurutmaya Etkisi	64
6.2.4. Kuruma Hızı-Nem İçeriğı İlişkisi ve Kuruma Modeli	67
6.3. Kurutma Sırasında Meyvedeki C Vitamini Değişimi	74

7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
8. KAYNAKLAR	78
EKLER.....	85

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Nem Sorpsiyon İzotermi	14
Şekil 3.2. Adsorpsiyon ve Desorpsiyon İzotermi	14
Şekil 3.3. Ürün Hücresinde Isı ve Suyun Kuruma Sırasındaki Hareket Yönleri	15
Şekil 3.4. Karakteristik kuruma eğrileri	16
Şekil 3.5. Gözenekli katılara ait tipik bir nem dağılımı grafiği	33
Şekil 3.6. Gözenekli katılara ait tipik bir kuruma eğrisi	33
Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan kuşburnu meyvesi	41
Şekil 5.1. Düz akışlı hava ile deneylerin yapıldığı tepsili kanal tip kurutucu şeması	47
Şekil 5.2. Düz akışlı hava ile deneylerin yapıldığı tepsili kanal tip kurutucu	47
Şekil 5.3. Dönel akışlı hava ile deneylerin yapıldığı siklon tipi kurutucu şeması	49
Şekil 5.4. Dönel akışlı hava ile deneylerin yapıldığı siklon tipi kurutucu	49
Şekil 6.1. Kuşburnu meyvesinin görünümü: (a) yaş kuşburnu, (b) kuruma sonrası kuşburnu	51
Şekil 6.2. Düz akışta kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi	56
Şekil 6.3. Dönel akışta kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi	57
Şekil 6.4. Düz akışta kurutma havası hızının kurumaya etkisi	62
Şekil 6.5. Dönel akışta kurutma havası hızının kurumaya etkisi	63
Şekil 6.6. Kurutma havası akış tipinin kurumaya etkisi (V: 0.5 m/s)	64
Şekil 6.7. Kurutma havası akış tipinin kurumaya etkisi (V: 1 m/s)	65
Şekil 6.8. Kurutma havası akış tipinin kurumaya etkisi (V: 1,5 m/s)	66
Şekil 6.9. 1.5 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de düz akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi	67
Şekil 6.10. 1.5 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de dönel akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi	68
Şekil 6.11. 1 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de düz akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi	68
Şekil 6.12. 1 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de dönel akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi	69
Şekil 6.13. 0.5 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de düz akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi	69

Şekil 6.14. 0.5 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de dönel akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi	70
Şekil 6.15. 1.5 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de düz akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi	71
Şekil 6.16. 1.5 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de dönel akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi	71
Şekil 6.17. 1 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de düz akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi	72
Şekil 6.18. 1 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de dönel akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi	72
Şekil 6.19. 0.5 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de düz akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi	73
Şekil 6.20. 0.5 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de düz akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi	73

TABLoların LİSTESİ

Tablo 4.1. Kuşburnu meyvesinin kimyasal bileşimi.....	42
Tablo 6.1. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=0.5$ m/s)	53
Tablo 6.2. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=1$ m/s)	54
Tablo 6.3. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=1.5$ m/s)	55
Tablo 6.4. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi ($T=50^{\circ}\text{C}$)	59
Tablo 6.5. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi ($T=60^{\circ}\text{C}$).....	60
Tablo 6.6. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi ($T=70^{\circ}\text{C}$).....	61
Tablo 6.7. Kuşburnu Örnekleri İçin Nem İçeriği ile Kuruma Hızındaki Değişimi Veren Ampirik İfade ve Regresyon Katsayısı Değerler	70
Tablo 6.8. Kuşburnu Örnekleri İçin Boyutsuz Nem Oranı ile Zamanın Değişimini Veren Newton Denklemi ve Regresyon Katsayısı Değerler	74
Tablo 6.9. Kurutma deneyleri sonunda C Vitamini Değişimi	74
EK Tablo 1. Kurutma deneylerinde kütle değişimi ölçüm değerler ($V=0.5$ m/s)....	85
EK Tablo 2. Kurutma deneylerinde kütle değişimi ölçüm değerler ($V=1$ m/s)	86
EK Tablo 3. Kurutma deneylerinde kütle değişimi ölçüm değerler ($V=1,5$ m/s)...	87

SİMGELERİN LİSTESİ

W_s	: Su ağırlığı (gr)
W_k	: Ürünün kuru ağırlığı (gr)
$M_{y.t}$	: Yaş temele göre nem oranı (%)
$M_{k.t}$	: Kuru temele göre nem oranı (%)
W	: Ağırlık kaybı (gr)
W_1	: İlk ağırlık (gr)
W_2	: Son ağırlık (gr)
M_1	: Kurutmadan önceki nem (y.b) (%)
M_2	: Kurutmadan sonraki nem (y.b) (%)
Q	: Isı miktarı (kJ)
h	: Konvektif ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
T_a	: Kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_w	: Kurutma havasının yaş termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
A	: Ürünün yüzey alanı (m^2)
M_e	: Kurutulan ürünün denge bağıl nemi ($kg_{su}/kg_{kurumadde}$)
M_o	: Ürünün başlangıçtaki nem oranı ($kg_{su}/kg_{kurumadde}$)
k	: Kuruma sabiti (h^{-1})

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI KURUTUCULAR KULLANILARAK KUŞBURNUNUN
KURUTULMASI

Ayşe BİÇER

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
2009, Sayfa: 87

Kurutma yaş bir maddedeki sıvının sıcak bir hava akımı yardımıyla uzaklaştırılması işlemidir. Kimya ve gıda sanayinde önemli bir mühendislik konusu olan kurutmada ısı ve kütle transferi birlikte gerçekleşmektedir. Gıdaların kurutularak muhafazası çok eski yıllardan beri süregelen bir uygulamadır. Meyve ve sebzeler veya genel olarak çeşitli ürünler güneşte veya yapay kurutucularda kurutulabilmektedir. Ancak her ürünün güneşte kurutulması hem mümkün değildir, hem de istenilen kurutma şartlarının sağlanması zordur. Bu nedenle yapay kurutucularda kurutma yani teknik kurutma, kuruma süresini oldukça kısaltırken hijyenik koşulların sağlanması nedeniyle de oldukça önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, kuşburnu meyvesinin kurutulması sırasında, bazı parametrelerin kurutma kinetiğine olan etkisi araştırılmıştır. Kurutma deneyleri laboratuvar şartlarında düz ve dönel akış ortamında olmak üzere iki tip konvektif kurutucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kurutma havası sıcaklıkları 50°C, 60°C ve 70°C olarak hava hızları ise 0.5, 1.0 ve 1.5 m/s olarak seçilmiştir.

Kurutma deneylerinin sonunda elde edilen verilerden geliştirilen matematiksel model Newton nem oranı denklemi $MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-kt)$ şeklindedir.

Çalışmanın sonunda, (i) kuşburnu meyvesinin gerek düz akış ortamında ve gerekse dönel akış ortamında kurutulması işleminde etkin parametrenin sıcaklık olduğu, (ii) hava hızının kuşburnu meyvesini kuruması sırasında çok az etkisi olduğu ve (iii) dönel akış ortamında kurutulan kuşburnu meyvesinin daha kısa sürede ve daha düşük nem oranlarına inilerek kurumunun gerçekleştiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kuşburnu, kurutma, gıda kalitesi.

ABSTRACT
MASTER THESIS

DRYING OF ROSEHIP BY USING DIFFERENT TYPES OF DRYERS

Ayşe BİÇER

Firat University
Graduate School of Science and Technology
Department of Chemical Engineering
2009, Page: 87

Drying is a process in which liquid is removed from a wet product by warm air flow. The drying process that is an important subject in chemical and food industry include heat and mass transfer at simultaneously. Saving the food by drying is an ancient application. The fruits and vegetables or general foods are dried by solar heat or in the artificial driers. Some products are not possible to be dried with sun, and the desired quality may not be obtained when it is done. Therefore, drying in artificial dryers, namely technical drying has impetus due to it causes to decrease the drying time and to obtain the desired hygienic conditions.

In the present work, the effects of some parametric values on the drying process of rosehip is investigated. Drying is done in the laboratory by using two different kinds of convective dryers, one has uniform flow while the other has swirling flow. The drying air temperature is varied as 50, 60 and 70 °C and the air velocity is 0.5, 1 and 1.5 m/s.

The mathematical model has been developed based on drying data obtained in study and this can be written as $MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-kt)$.

As a result, it was found out that; (i) the temperature is the major effect on the drying process, (ii) air velocity has less important effect on the drying of roseship and (iii) under the swirling flow conditions comparing to the direct flow conditions, the dried rosehips have lower humidity rate and the drying is occurred at lower time.

Key words: Rosehip, drying, food quality

1.GİRİŞ

Kurutma, ıslak bir katının yüzey ve/veya iç kısımlarındaki sıvının sıcak bir hava akımı yardımıyla uzaklaştırılması işlemidir. Bu işlemde ısı ve kütle transferi birlikte gerçekleşmektedir. Kimya ve gıda sanayinde pek çok madde katı halinde üretildiğinden, proseslerde yer alan son işlemlerden biri kurutma olmaktadır.

Kurutmaya bazı tarımsal ürünlerin depolanması öncesinde de başvurulmaktadır (Balkan, 1992). Tarımsal ürünlerin korunmasında uygulanan yöntemlerin başlıca amacı, mikrobiyolojik ve enzimsel değişimleri önlemek veya sınırlamaktır. Bütün canlılar gibi mikroorganizmalarda suya ihtiyaç duymaktadır. O halde ortam su açısından mikroorganizmalar için elverişsiz duruma getirilirse, diğer faktörler yeterli düzeyde olsa bile mikroorganizmalar çalışmadığından, tarımsal ürünlerin mikrobiyolojik yollarla bozulmaları önlenebilmektedir. Ortamın mikroorganizmalar açısından elverişsiz duruma getirilebilmesi için tarımsal ürünlerin ihtiva ettiği suyun kurutma yoluyla uzaklaştırılması en yaygın uygulamadır (Geankoplis, 1983).

Gıdaların kurutularak muhafazası çok eski yıllardan beri süregelen bir uygulamadır. Günümüzde kurutma işlemi, geleneksel tekniklerle yapılırken, aynı zamanda modern işleme yöntemleri ile de gerçekleşmektedir (Şahbaz, 1994).

Meyve ve sebzeler veya genel olarak çeşitli ürünler, “güneşte” veya “yapay ” kurutucularda kurutulabilmektedir. Ancak her ürünün güneşte kurutulması hem mümkün değildir ve hem de doğru değildir. Ayrıca her yer, her bölge, güneşte kurutma uygulamasına elverişli olmayabilir. Elverişli bir bölgede dahi kurutma, o sıradaki iklim koşullarına son derece bağlıdır. Aynı şekilde güneşte kurutmada hijyenik koşulları kontrol etmek zor olmakta ve kurutulan ürün açık alanda, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların zararına uğramakta ve tozlanmaktadır. Bunun gibi, güneşte kurutulan meyvelerde solunumun bir süre devam etmesi ve hatta çoğu kez hafif bir fermentasyon belirmesi nedeniyle, madde kayıpları oluşmakta ve sonuçta randıman, yapay kurutmaya göre biraz daha düşmektedir. Ancak, güneşte kurutulmuş bazı meyvelerin renginin, yapay yolla kurutulanlardan daha iyi olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni ise güneşte kurutmada, tam olgunlaşmamış bazı meyvelerde kurutma başlangıcında, renkte bir gelişme olmasıdır. Bütün bunlara ek olarak güneşte kurutma uygulamasında, 20 dönümlük bir tarım alanı için 1 dönümlük

bir kurutma alanı ayrılma zorunluluğu, başka bir olumsuzluktur. Kısaca değinilen bu olumsuz yönlerine ve ayrıca kurutma süresinin uzun olmasına ve genel olarak kurutulmuş ürün kalitesinin düşük olmasına karşın güneşte kurutma, yapay kurutmaya göre daha ekonomik bir yöntemdir.

Birçok gıda muhafaza yöntemi arasında kurutmanın yeri ve ayrıcalıkları değişik açılardan irdelenebilir. Her şeyden önce, gıdadaki mevcut su, onun bozulmasına olanak vermeyecek bir düzeye kadar azaltıldığı için kesin bir muhafaza olanağı doğmaktadır. Kurutulmuş gıdalar, diğer yöntemlerle dayandırılanlardan farklı olarak besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmışlardır. Ayrıca kurutma en ucuz dayandırma yöntemidir. Nitekim kurutulmuş gıda üretiminde, daha az işçilik ve daha az ekipman gerektiği gibi bunların depolanması ve taşınmasında da daha az masraf yapılır (Cemeroğlu, 1986).

Kurutulmuş sebze ve meyvelerin temel tüketim alanı gıda sanayidir. Bunlar hazır çorba ve yemeklerin, bebek mamalarının, hazır sos ve baharat karışımlarının temel girdisini oluştururlar. Bunun yanı sıra, personeline yemek servisi yapan kamu ve özel kuruluşlarda, yardım kurumlarında, lokantacılıkta kurutulmuş sebzeler giderek daha geniş ölçüde kullanılmaktadır. Kadının ekonomik faaliyetlere daha büyük ölçüde katılması ve dolayısıyla yemek yapmaya ayırdığı zamanın azalması, kurutulmuş sebzelerin ve bunları kullanarak hazırlanan hazır yemeklerin tüketimini artıran önemli bir faktör olmuştur (Bingöl, 1983).

Kurutulmuş sebzelerin, bir yandan gıda sanayinin temel girdisi olarak kullanımları artarken, diğer yandan da bir tüketim malı olarak boya sanayisi gibi yerlerde kullanımlarında hızlı bir artış kaydedilmiştir. Bazı özel durumlarda kimyasal maddeler yerine, kurutulmuş sebze tozları, örneğin, havuç ve kırmızı pancar, v.b. boya maddesi olarak kullanılmaktadır. Kısacası, kurutulmuş sebzeler gerek gıda sanayinde bir girdi, gerekse dolaysız bir tüketim maddesi olarak kullanılması aslında toplumun ulaştığı ekonomik ve sosyal düzeyin bir fonksiyonu olup, bu düzeydeki artışla birlikte tüketimi de artırmaktadır (Akpınar, 2002).

Bu çalışmanın amacı, düz ve dönel akış ortamında farklı kurutma havası sıcaklıkları ve hava hızlarının kuşburnu meyvesinin kuruma kinetiğine etkisini incelemektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Konu ile ilgili olarak yapılan literatür araştırmalarında gerek yurt içi ve gerekse yurt dışında yapılmış çok sayıda çalışma tespit edilmiştir. Bu çalışmaları içerik olarak dört grupta toplamak mümkündür. Birinci grup; kurutucu ortam koşullarıyla kurutulan malzemeye ait özelliklerin kuruma karakteristiğine etkilerinin incelendiği çalışmalar. İkinci grup, kurutma sırasında nem taşınım mekanizmasının incelendiği çalışmalar. Üçüncü grup, kurutma sırasında kalite kayıplarının ön planda tutulduğu çalışmalar. Dördüncü grup ise kurutucu tiplerinin geliştirilmesi ve tasarımı konusunda yapılan çalışmalardır. Bu çalışmaların bir kısmını yıllar itibariyle özetle aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

Hanson (1961), 1945 yılından sonra Amerika da kurutma teknolojisi ile ilgili çalışmaların başlatıldığını, 1951 yılında çalışmalara İngiltere' nin katıldığını, 1960 lı yıllarda Almanya ve Hollanda'nın da kurutulmuş gıdalarla ilgili araştırmalara girerek konunun ilgiyle izlendiğini belirtmiştir.

Husain v.d (1972), gıda maddelerindeki ısı transferi ile desorpsiyon oranlarının matematiksel modellemesini yapmışlardır.

Henderson (1974), kurutma odasından numune çıkarılmaksızın ağırlık kaybının sürekli ve doğrulukla kaydedildiği bir kurutucu dizayn ve imal ederek kurutma olayını gerçekleştirmiştir. Ayrıca bazı kurutma çalışmalarını analiz etmek için kurutma denklemlerindeki sabitleri modellemiştir.

Joslyn v.d (1975), gıdaların en eski saklama yönteminin kurutma işlemi olduğunu, insanların çoğunlukla hasat ettiği ürünlerini kurutarak sakladığını tekniğin ilerlemesiyle de kurutulan ürün çeşitlerinin ve kurutma yöntemlerinin geliştirildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, II. Dünya savaşında ordu ihtiyaçlarının ön plana çıkmasının konuya olan ilgiyi artırdığını tekniğin önemli gelişmeler kaydettiğini ve bunun sonucu olarak da kurutulmuş gıdaların birçok yerde pazar hakimiyeti bulunduğunu da ifade etmişlerdir.

Miller (1978), turuncgillerin kurutulan yüzeylerinden uzaklaştırılan nem hızlarını ve miktarlarını tespit ederek, kurutulan nemli yüzeyde kontrol edilebilir mühendislik parametrelerinin etkisini araştırmıştır.

Huizhen ve Morey (1984), kurutma havası sıcaklığının, hava akış hızının, başlangıç nem oranının ve relatif nemin etkilerini göz önüne alarak sarı mısır

tanelerinin ince tabakada kuruma hızlarını tespit etmişlerdir. Kurutma havası sıcaklığının kuruma hızı üzerinde büyük bir etkiye, hava akışı ve relatif nemin ise daha küçük etkilere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Chiang ve Petersen (1985), kızartılmış Fransız Russet Burbank patateslerinin ince tabakada hava ile kurutulmasını araştırmak için bir kurutma sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde numunenin ağırlık kaybı, numune kurutma odasından çıkarılmaksızın sürekli olarak kaydedilmektedir. Yapılan çalışmada 0.79-1.77 m/s hava hızı, %10-%60 relatif nem, 43-93 °C kuru termometre sıcaklığı aralığında kurutma şartlarını araştırmışlardır. Ayrıca kuruma eğrilerini logaritmik bir modelle tanımlayarak, kuruma hızına etki eden faktörleri tartışmışlardır. Yüksek relatif nemde başka faktörlerde kuruma hızını etkilemesine rağmen, düşük relatif nemde kuru termometre sıcaklığının kuruma hızı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve hava hızı kuruma hızı üzerinde küçük bir etkiye sahipken relatif nemin kuruma hızını önemli ölçüde etkilediğini ifade etmişlerdir.

Yayger (1986), Menemen yöresinde ikinci ürün olarak deneme üretimi yapılan Rocco çeşidi üzerinde tanelenmiş, kılçıksız çeltik üzerinde iki kurutma sıcaklığı, iki başlangıç neminde ve üç değişik hava debisinde çeltiğin bünyesindeki nemin zamana bağlı olarak değişimini incelemiştir.

Mulet ve arkadaşları (1987), küp şeklinde kesilmiş havuçları kurutmak için laboratuvar tipi bir kurutucu kullanmışlardır ve sıcak hava ile havuç küplerinin kurutulmasında uygulanan birbirlerinden farklı nitelikte olan üç model geliştirmişlerdir.

Shepherd ve Bhardwaj (1988), bezelyenin tek tabakada kuruma verilerini tespit etmek için laboratuvar tipi bir kurutucu geliştirmişlerdir. Böylelikle, değişken sıcaklık ve nem şartlarında bezelyenin ince tabakada kuruma karakteristiklerini tespit etmişlerdir.

Lamberg (1989), Bintje patatesinin kuruma mekanizması ve sorpsiyon izotermini deneysel olarak inceleyerek, patatesler için nem oranı profillerini ve difüzyon katsayılarını hesaplamak için sonlu farklar ile yapılan bilgisayar programı yardımıyla bir simulasyon metodu geliştirmiştir. Mulet ve arkadaşları (1987), 10x10x10 mm kesilmiş havuç küplerinin kurutma kinetikleri üzerinde hava akış hızının etkisini tespit ederek, ekonomik kısıtlamalar altında optimum hava akış oranını hesaplamışlardır. Chen ve Pei (1989), higroskopik ve higroskopik olmayan maddelerin kuruma davranışını tahmin etmek için bir kurutma modeli önermişlerdir.

Bu modelin geçerliliğini tespit etmek için farklı higroskopik özellikli üç maddeye (yün, tuğla ve mısır tanesi) bu modeli uygulamışlardır. Hesaplanan kuruma eğrileri, sıcaklık ve nem dağılımlarını literatürde bildirilen deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Diamante ve Munro (1991), geliştirdikleri laboratuvar tip bir kurutucuda tatlı patates dilimlerinin ince tabakada kurutulmasında, havanın kuru termometre sıcaklığının, relatif neminin, hava hızı ve numune kalınlığının etkisini araştırmışlardır. Kuruma hızı eğrilerinin yaklaşık olarak lineer iki azalan hız periyodunda meydana geldiğini ve hiç sabit hız periyodu içermediğini ifade etmişlerdir. Birkaç matematiksel modeli kurutma şartları aralığındaki tatlı patates dilimlerinin kuruma hızlarına uyarlayarak, % 10 nem oranı(kuru esas) ile aşağısındaki tatlı patates dilimlerinin ince tabakada hava ile kurutulmasını en iyi geliştirilmiş Page denkleminin tanımladığını göstermişlerdir.

Rossello v.d (1992), patates küplerinin sıcak hava ile kuruma kinetiklerini tanımlamak için basit bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Kurutulan 1 cm' lik patates küpleri üzerinde hava akışının ve hava sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. Hesaplanan ve deneysel olarak bulunan ortalama nem oranının uyum içerisinde olduğunu görmüşlerdir. Dinçer (1992), küresel şekilli ürünlerin merkez, merkez ile yüzey arasındaki orta nokta ve yüzey kısımları için deneysel ve teorik boyutsuz sıcaklık dağılımlarını çıkarmıştır. Elde edilen deneysel ve teorik boyutsuz sıcaklık dağılımları arasında iyi bir uyum olduğunu belirtmiştir. Ayvaz (1992), tarımsal ürünlerin kurutulması amacıyla güneş enerjisinden yararlanan zorlanmış taşınımli hava ısıtıcı kollektörlü endüstriyel kabinet tipi bir kurutucunun tasarımı ve imalatını yapmıştır. Deneylerde tarımsal ürün olarak değişik miktarlarda tekniğine uygun hazırlanmış, halka haline getirilmiş elma değişik çalışma koşullarında kurutulmuştur. Ayrıca aynı ışınım şartlarında eşzamanlı olarak açık havada kurutulan ürünün kuruma zamanı, kuruma hızı ve ürün kalitesi açısından karşılaştırılmasını yapmıştır. Miketinac ve arkadaşları (1992), bir tabaka arpanın kurutulmasında aynı anda meydana gelen ısı ve kütle transferi işlemini simule eden beş modeli formüle etmişlerdir. Sınırdaki konvektif ısı ve kütle transfer şartları ile ısı ve kütle transferinin bütün modellerini incelemişlerdir. Can (1992), belirli kurutma koşullarında biyolojik ürünler içindeki nem geçişinin kinetiği konusunda bir çalışma yapmıştır. Patates, elma, ekmek mayası, yumurta akı gibi biyolojik ürünler içindeki nem geçişini deneysel ve teorik olarak incelemiştir.

Simal ve arkadaşları (1994), küp şeklinde kesilmiş patateslerin birinci azalan kurutma periyodundaki ısı transferi katsayılarını tespit etmek için bir model önermişlerdir. Bu periyot esnasında ısı ve kütle transferini bir arada olan bir fiziksel olay olarak göz önüne almışlardır. Numune içerisindeki sıcaklık hesaplamasını makroskopik ısı transferi dengesini kullanarak yapmışlardır. Isı transfer katsayısı için tespit edilen rakamın literatürdeki diğer sonuçlarla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir. Şahbaz ve Kayhan (1994), haşlanmış patates örneklerini 20 cm çapında, 2 m uzunluğundaki yarı kesikli tünel tipi bir kurutucuda farklı hava sıcaklık (40, 50, 60 ve 70 °C) ve akış hızlarında (1.5, 2 ve 2.4 m/s) kurutarak, sıcaklık ve akış hızının kuruma hızına etkisini incelemişlerdir. Tüm deneylerde patatesin azalan hız periyodunda kuruduğunu belirleyerek, kuruma sırasındaki nem aktarımını Fick difüzyon mekanizmasıyla açıklamışlardır. Kuruma eğrilerinin doğrusal bölümünü lineer regresyon ile değerlendirerek farklı hava sıcaklığı ve hızlarında difüzyon katsayılarını hesaplamışlardır. Bouraoui ve Richard (1994), mikrodalga, konvektif ve mikrodalga-konvektif kurutmanın birleşimi ile kurutulan patates dilimlerinin kurutma hızları, sıcaklık ve rehidrasyonunu karşılaştırmışlardır. Mikrodalga kurutmada hakim olan ısı ve kütle transferi mekanizmasını açıklamışlardır. Efektif nem difüzyon katsayılarını tespit ederek seçilmiş parametrelerin etkisini tayin etmişlerdir. Mikro dalga kurutmada kuruma süresinin oldukça azaldığını (yani 10 saate karşı 10 dakika) ve daha kaliteli kurutulmuş ürün üretmek için bir potansiyel olduğunu ifade etmişlerdir. Tırıs ve arkadaşları (1994), iki ayrı tip güneşli kurutucuda ve açık sergide, çeşitli tarımsal ürünleri (sivri biber, fasulye, bamya, şeftali) aynı anda kurutarak bu ürünlerin kuruma eğrilerini karşılaştırmışlardır.

Ratti ve Crapiste (1995), yiyeceklerin kurutulması esnasındaki ısı transfer katsayılarını, kurutma verileri ile ısı ve kütle transfer dengelemelerinden hesaplamışlardır. Dilim ve silindir şeklinde kesilmiş elma, havuç ve patates için deneysel kuruma eğrilerini, farklı kurutma şartları altında laboratuvar tipi bir kurutucuda tespit etmişlerdir. Yiyecek maddelerinin özgül ısısını su oranının bir fonksiyonu olarak ölçerek, lineer bir bağıntıyla modellemişlerdir. Maroulis ve arkadaşları (1995), gıdaların hava ile kurutulmasında ısı ve kütle transferi modellemesini iki devreli işlem olarak göz önüne almışlardır. İlk önce etkili ısı ve kütle transferi olayını tespit edip, daha sonra ise ilgili ısı ve kütle transferi özelliklerinin hesaplanması için geliştirdikleri ampirik denklemleri patates kurutma deneylerinde geniş bir veri takımına uygulamışlardır. Üretir (1995), bilgisayar

kontrollü tünel kurutucuda elmanın kuruma hızını, 1.7-3.0 m/s hava hızı, 78-94 °C hava sıcaklığı ve 0.6-1.8 cm parçacık kalınlığı aralığında ölçmüştür. Kurutma deneylerinde sabit sıcaklık ve lineer olarak azalan sıcaklık kullanarak, modelleme yapmıştır.

Buvasundaram ve arkadaşları (1996), kurutma esnasında viskoelastik yiyecek maddelerinin madde büzüşmesini ve kurumaya sebep olan gerilmeleri, ısı ve nem transferini hesaplamak için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Patates nişastasını model yiyecek maddesi olarak seçerek, nem difüzyonu, termal iletkenlik ve viskoelastik özellikler gibi fiziksel ve madde özelliklerini, nem konsantrasyonu ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçmüşlerdir. Nümerik modeli doğrulamak için, kurutma deneylerinin sonuçlarını nümerik olarak tespit edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Göğüş ve Maskan (1998), 70 °C sıcaklıkta ve 1.6 m/s hızında çalışan tepsili bir kurutucuda patates dilimlerindeki kuruma verilerini tespit etmişlerdir. Patates numunelerini 24x24x20 mm dilim şeklinde kesip, anti-esmerleşme solüsyonuna batırıp ve kurutma olayına numunenin nem oranı %10 'a ulaşınca kadar devam etmişlerdir. Simal ve arkadaşları (1998), patates küplerinin sıcak hava ile kuruması esnasında ısı ve kütle transferini tanımlayan bir model hazırlamışlardır. Kurutma deneylerinde hava sıcaklık oranı 30–90 °C ve küp boyutları 8-15 mm aralığında seçmişlerdir ve modelde istenilen hesaplamaları da bunlara göre yapmışlardır. Akbaba (1998), laboratuvar tipi bir kurutucuda kabağın kuruma karakteristiğini incelemiştir. Yapmış olduğu çalışmada kabağın dış kabuklarını soyup, çekirdeklerini çıkarmış 4x25x60 mm boyutlarında kurutmuştur. Deneyleri 38 – 60 °C arasındaki hava sıcaklığında, 4 m/ s hava hızında yaparak hava sıcaklığının kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemiştir.

Sarsavadia ve arkadaşları (1999), soğanın ince tabakada kurumasını tespit etmek için dijital tartım mekanizmalı yığın tipi bir deneysel bir kurutucu geliştirmişlerdir. Tuzlanmış soğan dilimlerinin ince tabakada kuruma hızlarını dört değişik hava hızında (0.25–1 m/s), dört değişik kurutma havası sıcaklığında (50–80 °C) ve üç değişik havanın relatif neminde (%10-20) tespit etmişlerdir. Zhang ve arkadaşları (1999), gözenekli malzemelerin konveksiyonla kurutulmasında sabit hız ve azalan hız periyotları esnasındaki ısı ve kütle transferini tanımlamak için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Midilli ve ark.(1999), mantar ve polenin

kuruma periyotlarını araştırmışlardır. Mantar kurutma deneylerini hem laboratuvar tip bir kurutucuda hem de atmosferik şartlarda güneşte ve gölgede yapmışlardır. Polen ise laboratuvar şartlarında ve güneşte kurutmuşlardır. Deneylerde ürünlerin kuruma eğrilerini, bu eğrilerin denklemlerini, kütle değişim oranlarını ve ortalama deneysel belirsizlik oranını tespit etmişlerdir. Mantarların 50°C sıcak hava kullanılarak laboratuvar tip bir kurutucuda 5–6 saatlik bir kuruma periyodunda kurutulabileceği, kurutulan ürünlerin ise vakum altında korunması gerektiği belirlenmiştir. Polenin ise 40–45 °C lik bir sıcaklıkta 2,5–3 saat gibi bir kuruma periyodunda renk, lezzet, koku ve yapı değişikliği olmaksızın kuruduğu tespit edilmiştir. Özdemir ve Devres(1999) fındığın 100–160 °C sıcaklık aralığında ince sergide kuruma karakteristiğini yarı teorik ve ampirik kurutma modelleri ile açıklamaya çalışmışlardır.

Mengeş ve Aydın (2000), laboratuvar tipi bir kurutucu kullanarak farklı kurutma havası sıcaklıkları, hızları ve kurutma öncesi uygulanan ön işlemlerin Stanley çeşidi eriklerin kuruması üzerine olan etkileri belirlemeye çalışmışlardır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 60, 70 ve 80°C, hava hızı olarak 1, 2 ve 3 m/s alınmıştır. Erik örnekleri kurutma öncesinde hiçbir ön işlem uygulanmadan ve %2 sodyum hidroksit (NaOH) içeren çözeltiliye bandırıldıktan sonra kurutulmuştur. Denemeler sonucunda hava sıcaklığının, hava hızının ve uygulanan ön işlemin kuruma hızı üzerine etkilerini tespit etmişlerdir.

Sarsılmaz ve arkadaşları (2000), güneş enerjisi destekli döner sütunlu silindirik bir kurutucu geliştirerek farklı büyüklük ve kalitedeki kayısı meyvesinin optimum kurutucu hava hızı ve kurutucu devri ile homojen bir şekilde kurumasını sağlamışlardır.

Can (2000), kabak çekirdeğinin kurumasını hem çevre şartlarında hem de güneş enerjili bir kurutucuda incelemiştir. Kabak çekirdeklerini ince sergide doğal ve zorlanmış konveksiyon da kurutmuştur. Kabak çekirdeğinin kuruma kinetiğini etkileyen ve kuruma hızını artıran en önemli parametrenin kurutma havası sıcaklığı olduğunu, kurutma havası hızının ise nem transferi üzerinde ikinci bir etkiye sahip olduğunu bildirmiştir.

Yaldız ve Ertekin (2000), sultani çekirdeksiz üzümünü ince tabaka halinde güneş enerjili kurutucular ile kurutulmasını modellemişlerdir. Kurutma havası güneş enerjili hava ısıtıcı yardımıyla ısıtılmış ve kurutma odasında bulunan rafın üzerindeki ürünün içinden geçirilerek kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemine

kurutma havası hızının etkisini belirlemek amacıyla üç farklı hava hızı (0.5, 1, 1.5 m/s) kullanılmıştır.

Yaldız ve Ertekin (2000), Antalya koşullarında kabak, sivri biber, patlıcan, dolma biber, taze fasulye ve soğanın güneş enerjili hava ısıtıcıları ve kurutma odalarından oluşan güneş enerjili kurutucular yardımıyla kurutulmaları ve kuruma parametrelerini incelemiştir. Ayrıca kuruma süresine kurutma havası hızının etkisini araştırmışlardır.

Yaldız ve Ertekin (2001) de yaptıkları çalışmada güneş enerjili kabinet tip bir kurutucuda bal kabağı, yeşilbiber, yeşil fasulye ve soğanın ince sergide kurutulmasını incelemiştir. Karşılaştırma yapabilmek için ürünleri güneşli ortamda da kurutmuşlardır. Deneylerde üç farklı hava hızı kullanarak, hızın kuruma süresi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Hızın kuruma süresi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, güneş enerjili kabinet tipli kurutucuda kurutma süresinin 30.29–90.43 saat arasında değiştiği, güneşte kurutma da ise 48.59–121,81 saat arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca kurutma eğrilerini ince sergideki kurutma modelleriyle açıklamaya çalışmışlar, kurutulan her ürün için en uygun modeli tespit etmişlerdir.

Yaldız ve Ertekin (2001a, 2001b) yaptıkları diğer çalışmalarda laboratuvar tipi bir kurutucuda havuç pırasa ve patlıcanın kuruma karakteristiklerinin belirlenmeye çalışmışlardır. Kuruma süresinin belirli bir anında ürünün nem içeriğinin saptanması için literatürde bulunan mevcut kuruma modellerinin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bu ürünleri 30, 40, 50, 60, 70 °C kurutma havası sıcaklıklarında ve 0.5, 1, 1.5 m/s kurutma havası hızlarında kurutarak kurutma sürelerini belirlemişlerdir. Deney sonuçlarından elde ettikleri kurutma eğrilerini mevcut matematiksel modelleri uygulayıp en uygun modeli seçmişlerdir. Ayrıca patlıcan kurutma için yapılan çalışmada kuruma olayını en iyi açıklayan modelde bulunan katsayıları, kurutma havası sıcaklığı ve hızındaki değişimin etkilerini çoklu regresyon yöntemiyle incelemiştir.

Midilli (2001), kabuklu ve kabuksuz fıstık örneklerini hem güneş enerjili bir kurutucuda hem de açıkta güneşte kurutarak bu ürünün kuruma şartlarını ve davranışını tespit etmiştir. Fıstığın kuruma eğrisi denklemini en küçük kareler metoduyla bulmuştur. Kabuklu ve kabuksuz fıstık örnekleri güneş enerjili konveksiyonel kurutucuda 50 ± 10 °C ‘ de altı saatte kurduğunu tespit etmiştir. Açıkta kurutma da ise kuruma süresinin çok uzadığını, çevre ve iklim şartlarının

olumsuz etkileri olduğunu aynı zamanda kurutulan ürünlerin hijyenik açıdan güven verici olmadığını bildirmiştir.

Toğrul (2001) ise konik toplayıcı bir güneş enerjili sisteminden elde ettiği sıcak hava ile kayısı kurutmuş ve ayrıca laboratuvar şartlarında tünel bir kurutucuda yaptığı kurutmada kayısının kuruma kinetiğini incelemiştir.

Demir (2001), potansiyel kullanımını araştırmak için Kastamonu ve Konya bölgesinden toplanan Rosa Canina meyvelerinin besin değeri açısından özelliklerini incelemiştir. Tamamen olgunlaşmış meyveler kül, yağ, enerji, protein askorbik asit, dimetil sülfid, potasyum, fosfor, magnezyum, kalsiyum ve demir mineralleri yönünden analiz edilmiştir.

Erentürk ve arkadaşları (2004), Rosa Canina meyvelerinin laboratuvar şartlarında kurutulması için hazırlanan deneyi setinde 50-80 °C kurutma havası sıcaklığı ve 1.67-3.10 m/s hava hızlarında çalışarak kurutma kinetiği incelenmiştir.

Erentürk ve arkadaşları (2005), Rosa Canina meyvelerinin kurutulması çalışmasında meyvedeki C vitamini kaybı araştırılmıştır. Akpınar ve arkadaşları (2005) siklon tipi bir kurutucu kullanarak, patatesin kurutulma çalışmasında enerji ve ekserji analizi ile matematiksel modellemesi yapılmıştır.

Akpınar ve arkadaşları (2006), maydanos yapraklarının kuruma kinetiği konvektif tip bir kurutucu ile güneş altında kurutulması birlikte işlenerek modellemesi yapılmıştır.

Akpınar ve arkadaşları (2007), vişnenin kuruma kinetiği bir güneş kurutucuda ve ayrıca güneş altında kurutulması birlikte işlenerek modellemesi yapılmıştır.

Akpınar ve arkadaşları (2008), uzun sivri biberin kuruma kinetiği bir güneş kurutucuda ve ayrıca güneş altında kurutulması birlikte işlenerek modellemesi yapılmıştır.

Bu çalışmada ise farklı tip kurutucular (kurutucu havanın düz olarak aktığı tepsili kanal tip bir kurutucu ile kurutma havasına dönel bir akış oluşturacak şekilde geliştirilmiş siklon tipi) kullanarak kurutucu hava hızlarının 0.5, 1, 1.5 m/s ve sıcaklıklarının ise 50, 60, 70, °C olacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Hava akışının düz ve dönel akış hali için ayrı ayrı yapılan kuşburnu meyvesi kurutulmasında meyvenin kuruma kinetiği incelenmiş ve iki akış hali için karşılaştırma yapılmıştır.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Nemlilik Ölçüsü

Tarım ürünlerinde bulunan nem miktarları, bünyede tutulmuş bulunan su ağırlığı olarak ele alınır. Su miktarı, % olarak oransal biçimde tanımlanır. Nem miktarının belirlenmesinde “Yaş temel” (y.t.), “Kuru temel” (k.t.) olmak üzere iki tanımdan biri kullanılmaktadır (ASAE; 1983).

Yaş temele göre nem üründeki su ağırlığının, ürünün tüm ağırlığına oranı olarak tanımlanır.

$$\%M_{y.t} = \frac{W_s}{W_s + W_k} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Kuru temele göre nem ise, üründeki su ağırlığının ürünün kuru ağırlığına oranıdır.

$$\%M_{k.t} = \frac{W_s}{W_k} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Bu eşitliklerde,

W_s : Su ağırlığı (gr)

W_k : Ürünün kuru ağırlığı (gr)

$\% M_{y.t}$: Yaş temele göre nem oranı (%)

$\% M_{k.t}$: Kuru temele göre nem oranı (%)

dır. Kuru ve yaş temele göre saptanan nem oranları aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla birbirine çevrilebilir.

$$\%M_{k.t} = \frac{M_{y.t}}{100 - M_{y.t}} \cdot 100 \quad (3.3)$$

Yaş temele göre saptanan nem miktarı genel olarak ürün alım satımlarında, kuru temele göre saptanan değerler ise kurutma çalışmalarında kullanılmaktadır.

Kurutma sırasında ürün nem kaybedeceğinden ağırlığı azalacaktır. Nem kaybı nedeniyle oluşacak ağırlık azalması aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir (Yağcıoğlu, 1999).

Ürünün ilk ağırlığı biliniyorsa,

$$W = W_1 \frac{M_1 - M_2}{100 - M_2} \quad (3.4)$$

Ürünün son ağırlığı biliniyorsa,

$$W = W_2 \frac{M_1 - M_2}{100 - M_1} \quad (3.5)$$

Bu eşitliklerde,

W : Ağırlık kaybı (gr)

W₁ : İlk ağırlık (gr)

W₂ : Son ağırlık (gr)

M₁ : Kurutmadan önceki nem (y.t) (%)

M₂ : Kurutmadan sonraki nem (y.t) (%)

olarak verilir.

3.2. Denge Nem İçeriği

Ürün kurutma işlemlerinde, denge nem içeriğinin bilinmesi oldukça önemlidir. Ürünün denge nemi, o andaki çevre koşullarında ürünün bünyesinde bulundurabileceği sınır nem miktarını belirtmede kullanılmaktadır. Denge nemi, çevre havasının nem ve sıcaklık koşullarıyla olduğu kadar, ürünün tür, cins ve olgunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Hall, 1980).

Her bir ürünün, belirli sıcaklık ve nem içeriğinde, kendine özgü bir su buharı basıncı vardır. Ürün nemli hava ile karşılaştığında ya nem kazanmakta, ya da nem

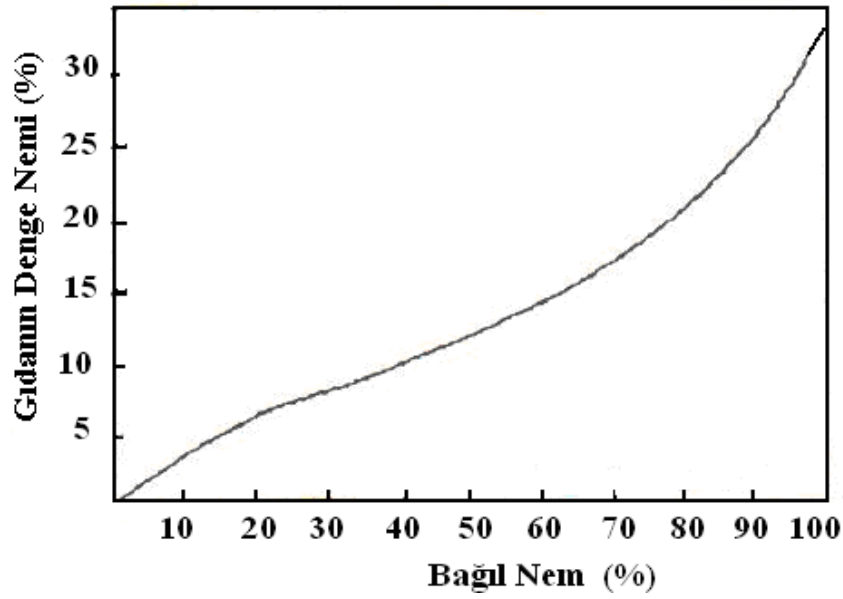
kaybetmektedir. Bu durumu saptamak için ürünün farklı nem içeriği ve sıcaklık düzeylerinde buhar basıncının bilinmesi gerekmektedir. Eğer ürün neminin buhar basıncı, içinde bulunduğu havanın buhar basıncından fazla ise ortama nem verecek, az ise ortamdan nem alacaktır. Ortamın koşulları değişmedikçe ürün nem içeriğinde bir değişme olmaz (Hall, 1980). Ürün, içinde bulunduğu ortam ile arasında nem açısından bir dengenin oluşması durumunda bünyesindeki nemi Denge Nemi, o anda havanın içerdiği bağıl nem değerine de Denge Bağıl Nemi denilmektedir (Hall, 1980). Denge nemi içeriğindeki değişmeler şunlardan kaynaklanmaktadır; ürün çeşidi, ürün olgunluğu, bağıl nemi ölçme teknikleri ve denge nem içeriği saptama yöntemleridir (Hall, 1980).

3.3. Gıda Maddelerinde Bulunan Su Ve Su Aktivitesi

Gıdalarda bulunan suyun miktarı, kendini çevreleyen havanın bağıl nemi ile ilişkilidir. Ayrıca gıdalarda bulunan su değişik fiziksel niteliktedir. Gıdalardaki su miktarının kurutma teknolojisi dayanıklılığı açısından anlamını ortaya koymak için, bir biriyle ilişkili iki kavramı “sorpsiyon izotermi” ve “su aktivitesini” öncelikle incelemek gerekmektedir (Cemeroğlu, 1986).

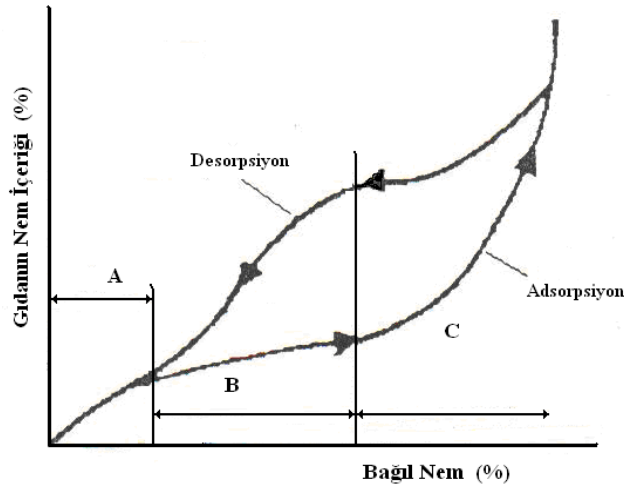
3.3.1. Sorpsiyon İzotermi

Bir kap içerisindeki su, buharlaşarak kendisini çevreleyen atmosferle dengeye eriştiği gibi, herhangi ıslak bir madde de aynı davranışı göstermektedir. Nitekim bir gıda maddesi örneğin bir meyve veya sebze aynı davranışı göstererek bulunduğu sıcaklıkta kendisini çevreleyen atmosferle nem açısından bir dengeye ulaşır. Şekil 3.1 ' de belli bir sıcaklık derecesinde farklı bağıl nem içeren koşullarda tutularak dengeye erişmiş bir gıdada, gıdanın nem içeriği ile çevre havasının bağıl nemi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu ilişkiye “sorpsiyon izotermi” denir. Su aktivitesi ise sorpsiyon ile iç içe bir kavramdır. Bir gıda maddesinin su aktivitesi değeri, havanın denge neminin 100 ' e oranıdır. Buna göre herhangi bir gıda maddesinin değişik su içeriğinde gösterdiği su aktivite değerleri sorpsiyon izoterm eğrisinden bulunabilir.



Şekil 3.1. Nem sorpsiyon izotermi

Sorpsiyon izotermine ait eğrilerin saptanmasında gıdanın yaş ve kuru olması farklı sonuçlar verir. Çünkü yaş gıdanın nemini vermesi (desorpsiyon) ile, kuru gıdanın nem kazanması (adsorpsiyon) olgusu tam olarak aynı yolu izleyen bir dönüşüm değildir. Buna göre, ıslak madde farklı bağıl nemli atmosferlerde tutulup dengeye erişmesi beklendikten sonra tartılarak, ağırlık kaybının saptanmasıyla bulunan eğriye “desorpsiyon” izotermi denir. Buna karşın, başlangıçta tam anlamıyla kuru olan aynı materyalin, yine değişik bağıl nemli ortamlarda tutularak dengeye erişmesi beklendikten sonra tartılarak ağırlık artışının saptanmasıyla bulunan eğriye “adsorpsiyon” izotermi denir. Her iki olguya beraberce, “sorpsiyon izotermi” denir. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi Şekil 3.2 ’ de gösterilmiştir.

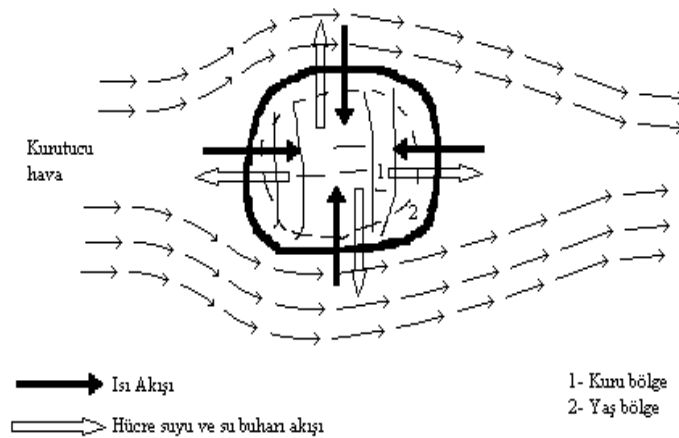


Şekil 3.2. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi

Desorpsiyon izotermının, adsorpsiyon izotermi ile aynı yolu izlemeyerek bir bombe yapması olayına “histeresis” denir. Sorpsiyon izotermlerinden değişik amaçlarla yararlanılmaktadır. Nitekim desorpsiyon izotermi, ürünlerin kurutulma işlemini izleme ve incelemede yararlı bilgiler vermektedir. Buna karşın adsorpsiyon izotermi kurutulmuş ürünlerin higroskopik nitelikleri ile bunların depolanma şartlarını ortaya koymaktadır (Cemeroğlu, 1986).

3.4. Kurutma Ve Kurumanın Periyotları

Kurutmada esas, kurutulacak malzemenin içindeki suyu önce buhar haline getirip sonrada bu buharı uzaklaştırmaktır. Suyu sıvı halden buhar haline getirmek için, buharlaştırma gizli ısısı kadar bir ısı vermek gerekmektedir. Bu ısı, normal sıcaklıklarda buharlaştırılacak her gram su için yaklaşık 2.5 kJ ’ dür. Malzemeye bu ısıyı vermek için klasik ısı transfer yöntemleri ile dielektrik ısıtma metotları kullanılır. Klasik ısı transfer yöntemleri kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyondur. Bu ısının verilmesi sırasında ısı transfer metotlarından biri veya birkaçı etkili olabilir. Hava akımı yardımıyla yapılan kurutmada konveksiyonla ısı iletimi daha etkindir. Şekil 3.3 ’ de görüldüğü gibi bu ısıtmada, sıcaklık dokunun dışından hücrelere doğru olurken, buharlaşan su hücreden dışa doğrudur. Dielektrik yolla ısı transferi ise bunun tam tersi olup, ısı içeriden dışa doğrudur. Su buharının ürünü terk edişi difüzyon, kapılar veya bu iki mekanizma ile olur.

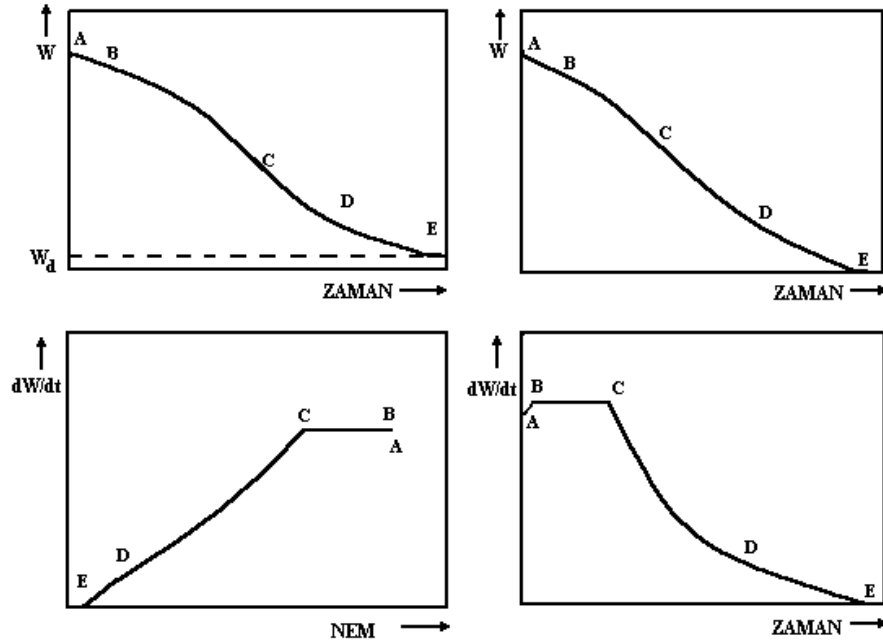


Şekil 3.3. Ürün hücresinde ısı ve suyun kuruma sırasındaki hareket yönleri (Doğantan, 1986))

Kuruma amacıyla yeterli ısının bulunduğu bir ortama konan nemli bir maddenin kuruma sürecinde genel olarak üç dönem vardır. Bunlar ısınma dönemi, sabit kuruma hızı ve azalan kuruma hızı dönemleridir.

Kurumakta olan bir maddenin nemliliğinde olan değişim Şekil 3.4 'de verilmiştir. Şekillerde AB ile gösterilen ısınma döneminde, ürünün sıcaklığı kurutma havasının sıcaklığı ile dengeye ulaşmaya kadar sürer. Ürün kalınlığı azaldıkça, ısınma dönemi süresince oluşan nem kaybı dikkate alınmayacak ölçüde azalır.

Sabit kuruma hızı devresi, şekillerde BC çizgisiyle belirtilmiştir. Burada ürünün üzeri ince bir su tabakası ile kaplı olduğundan, önce bu su tabakası buharlaşmaya başlar. Aslında bu durgun bir su yüzeyinden olan serbest buharlaşmaya benzer. Başlangıçta çok hızlı olan bu buharlaşma, bir süre sonra yüzeyin hemen üzerinde oluşan buhar tabakası nedeniyle yavaşlar. Kurumanın devam etmesi için, bu buhar filminin, Şekil 3.3 'de görüldüğü gibi hareketli bir hava akımı ile dağıtılıp taşınması gerekir. Şekildeki C noktası, ürünün yüzeyindeki serbestçe buharlaşabilen nem sona erdiği zaman, sabit hızda kuruma sona erer ki bu noktadaki nem "kritik nem" olarak bilinir. C noktasının görülebilmesi için, ürünün



Şekil 3.4. Karakteristik kuruma eğrileri (Doğantan, 1986)

başlangıç nemi, kritik nem değerinden daha yüksek olmalıdır. Meyvelerde ve sebzelerde sabit kuruma hızı devresi, genellikle çok kısa sürer.

Şekildeki CDE eğrisi, sabit kuruma devresinden sonra başlayan azalan hızda kuruma devresini göstermektedir. Bu devrede buharlaşma ürünün içinde başlar. Su yüzeye difüzyon ile ulaşır. Yüzeye yakın bölümler, hem doğrudan doğruya yüzeye ve hem de kapillarla nem verdiklerinden, iç katmanlara göre daha çok su kaybederler. Bunun sonucu olarak ürünün dış yüzeyinde kabuk bağlama, buruşma, çatlama ve yarılmalar görülür. Bu devrede kuruma süresi uzadıkça, birim zamanda buharlaşan nem miktarı azalmaktadır. Bu nedenle bu devreye azalan hızda kuruma devresi denir ve nem uzaklaşması sona erene kadar (E) devam eder. Birinci azalan hız devresinde, hem yüzeyden serbest buharlaşma ve hem de iç kısımlardaki buharlaşan suyun hareketi etkili olmaktadır. Bu bölüm bir geçiş aşamasıdır (CD arası). Hava hızı, sıcaklık ve nem bu bölümde etkili olmaktadır. İkinci bölümde kuruma hızı, bütünüyle içsel nem hareketine bağlı olarak oluşur. DE ile gösterilen bu bölüm denge nemine ulaşmaya kadar devam eder.

3.5. İnce Tabaka Kuruma Kavramı

İnce tabaka kavramı, kurutulacak ürünün yalnızca bir tanesinin kalınlığına sahip olacak şekilde serilmesiyle elde edilen, kuramsal bir ürün tabakasını belirtir. Bu kavram, kurutma havasının bu tabakanın içinden geçerken sıcaklık ve nem değerlerinde bir değişikliğin olmadığı kabulünün yapılabilmesini sağlamaktadır (Hall, 1980).

Tarım ürünlerinin ince tabaka halinde kurutulması sırasında ısı ve kütle iletimi sabit ve azalan kuruma evreleri için ayrı ayrı incelenir (Hall, 1980).

3.5.1. Sabit Hızda Kuruma Evresi

Sabit hızda kuruma evresi, ürünün içerdiği nem kritik nem değerinden daha fazla olduğunda görülebilir. Sabit hızla kuruma evresi süresince (Yağcıoğlu, 1999),

- Ürün yüzeyinin ince bir su filmiyle kaplı olduğu
- Kuruma hızının, kurutma havasının sıcaklığından, bağıl neminden ve hızından etkilendiği
- Kuruma hızının, ürünle ilgili unsurlardan etkilenmediği

- Ürün yüzey sıcaklığının, kurutma havasının yaş termometre sıcaklığına eşit olduğu
- Ürün yüzeyindeki su buharı basıncının, yüzey sıcaklığına eşit sıcaklıktaki doymuş buhar basıncına eşit olduğu

kabul edilir. Bu ön kabullerden de anlaşılacağı gibi, sabit hızla kuruma evresinde buharlaşan su miktarının aynı koşullardaki serbest su yüzeyinden buharlaşan su miktarına eşit olduğu varsayılmaktadır. Oysa yapılan gözlemler, bu evrede üründen buharlaşan suyun serbest su yüzeyinden buharlaşandan %30 daha az olduğunu göstermektedir (Yağcıoğlu, 1999).

Bu evre sırasında, kurutma havası ile ürün arasındaki ısı ve kütle iletimi aşağıdaki eşitliklerle belirtilebilir (Yağcıoğlu, 1999):

Kurutma havasından ürüne iletilen ısı miktarı;

$$Q = h \cdot A \cdot (T_a - T_w) \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte,

Q : Isı miktarı (kJ)

h : Konvektif ısı transfer katsayısı (W/m²K)

T_a : Kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı (°C)

T_w : Kurutma havasının yaş termometre sıcaklığı (°C)

A : Ürünün yüzey alanı (m²)

dir. Üründen kurutma havasına birim zamanda iletilen su buharı miktarı,

$$m_s = h_D \cdot A \cdot (K_y - K_h) = \frac{h_D \cdot A \cdot M_s}{R \cdot T_m} (P_b' - P_b) \quad (3.7)$$

Burada,

m_s : Birim zamanda üründen ayrılan su buharı (kg/s)

h_D : Konveksiyonla kütle iletim katsayısı (kg/sm²)

K_y : Ürünün yüzeyindeki su konsantrasyonu

K_h : Kurutma havasındaki su konsantrasyonu

M_s : Suyun mol ağırlığı (kg/mol)

R : Evrensel gaz sabiti (J/molK)

T_m : Hava sıcaklığı (K)

P_b' : Ürün yüzeyindeki suyun, havanın yağ termometre sıcaklığındaki buhar Basıncı (Pa)

P_b : Havadaki su buharının kısmi basıncını (Pa)

ile ifade edilir.

Üründen ayrılan suyun buharlaşabilmesi için gerekli enerji;

$$E = m_s \cdot \lambda \quad (3.8)$$

E : Buharlaşma için gerekli enerji (kJ)

λ : Suyun T_w sıcaklığında buharlaşması için gerekli gizli ısı (kJ/kg)

(3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerinden faydalananarak, birim zaman içinde üründen ayrılan nem miktarı (kuruma hızı) aşağıda belirtilen eşitlik yardımıyla bulunur:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h \cdot A \cdot (T_a - T_w)}{\lambda} = h_D \cdot A \cdot (\omega_2 - \omega_1) \quad (3.9)$$

Burada

ω_1 : Havanın kurutucuya giriş şartlarında sahip olduğu mutlak nem

(kg_{subuharı}/kgkuru hava)

ω_2 : Havanın kurutucudan çıkış şartlarında sahip olduğu mutlak nem

(kg_{subuharı}/kgkuru hava)

tanımlamaktadır.

Isı ve kütle iletiminin birlikte yer aldığı işlemlerin analizinde Lewis sayısı (Le) önemli bir rol oynar. (3.9) eşitliğinde, kütle transfer katsayısı (h_D) kolaylıkla ölçülemediği için Lewis sayısından faydalanılır.

$$Le = \frac{h}{h_D \cdot C} \quad (3.10)$$

Hava–su sistemlerinde Le sayısının 1'e eşit olduğu kabul edilir. (Yağcıoğlu, 1999). Burada,

C, Havanın ısı kapasitesi, kJ/kg_{kuruhava} °C

Buna göre, C = 1.007 kJ/kg°C

$$1 = \frac{h}{h_D \cdot 1.007}$$

ve buradan $h_D = 0.993h$ kg_{kuruhava}/m²s bulunur. Sabit kuruma hızı döneminde kuruma hızının hesaplanmasında h_D yerine 0.993h kullanılır.

(3.9) numaralı eşitlikte yer alan konveksiyonla ısı ve kütle iletimi katsayılarının kurutma işlemi sırasındaki değişimleriyle ilgili deneysel çalışmalar, bu katsayıların yaklaşık olarak,

- Hava akımının materyal yüzeyine paralel olması durumunda, hava hızının 0.8 kuvvetiyle,
- Hava akımının ürün tabakasının içinden geçirilmesi durumunda 0.6 ya da daha küçük bir kuvvetiyle orantılı olduğunu belirtmektedir.

Kurutma işlemi sırasında, kuruyan materyale konveksiyon yoluyla ısı iletiminin dışında, kondüksiyon ve/veya radyasyon yoluyla da ısı iletimi söz konusu olduğunda (3.9) numaralı eşitliklere bu yollarla ısı iletimini belirlemek geliştirilmiş ifadelerin eklenmesi gerekir (Yağcıoğlu, 1999).

Bu çalışmada, azalan hızla kuruma işlemleri gerçekleştiğinden, sabit hızla kuruma evresi hakkındaki bilgiler konu bütünlüğü sağlanması bakımından önemlidir.

3.5.2. Azalan Hızla Kuruma Evresi

Azalan hızla kuruma evresi sırasında, kuruma hızının ve süresinin belirlenmesi, sabit hızla kuruma evresine göre daha karmaşıktır. Yalnızca materyalin yüzeyinden konveksiyonla ısı ve kütle iletimi söz konusu değildir. Bu evrede ürün içindeki ısı ve kütle difüzyonun da dikkate alınması gerekmektedir (Brooker, Arkema, 1974).

Azalan hızla kuruma evresi sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla teorik, yarı teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen çeşitli matematiksel modellerden yararlanmak mümkündür.

Azalan hızla kuruma evresiyle ilgili teorik ve yarı teorik kuruma modellerinin geliştirilmesi sırasında, işlemleri biraz daha kolaylaştırmak amacıyla, bazı ön

kabuller yapılır. Bu kabuller aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilir (Brooker, Arkema, 1974):

- Ürün içindeki nem dağılımı tek düzedir.
- Kuruma, madde içindeki nemin su veya buhar fazında difüzyonu sonucu oluşur.
- Difüzyon
- Nem konsantrasyonu farkı
- Sıcaklık konsantrasyonu farkı
- Buhar basınçları konsantrasyonu farkı

gibi etkenlere bağlıdır.

- Kurutma havasının özellikleri (sıcaklık, hız, bağıl nem) kuruma süresince değişmez.
- Ürün ince bir tabaka şeklinde serilir.

3.5.2.1. Azalan Hızla Kuruma Evresi İle İlgili Teorik Modeller

Luikov ve arkadaşları, herhangi bir materyalde suyun iletimi ve buharlaşarak ayrılmasını kontrol eden unsurları dikkate alarak kılcal borulu yapıya sahip, gözenekli materyaller için teorik bir model geliştirmişlerdir. Bu matematiksel model üç kısmi diferansiyel denklem takımından oluşmaktadır (Brooker, Arkema, 1974).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 K_{11}M + \nabla^2 K_{12}T + \nabla^2 K_{13}P \quad (3.11a)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 K_{21}M + \nabla^2 K_{22}T + \nabla^2 K_{23}P \quad (3.11b)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \nabla^2 K_{31}M + \nabla^2 K_{32}T + \nabla^2 K_{33}P \quad (3.11c)$$

Yukarıdaki (3.11,a,b,c) eşitliklerinde yer alan M, nemi, T sıcaklığı, P basıncı, t zamanı ve K ürün ve çevre ile ilgili doğal katsayıları belirtmektedir. Günümüzde, bu katsayıların tarım ürünleriyle ilgili olanlarının pek azı belirlenebilmiştir. Bu

nedenle, yukarıdaki denklem takımlarını kullanılabilir duruma getirebilmek amacıyla bazı terimlerden vazgeçilip, sadeleştirmeler yapılır. Örneğin, toplam basınç farkı nedeniyle oluşacak nem iletimi, tarım ürünlerinin kurutulması sırasında söz konusu dahi olamayacak derecede yüksek sıcaklıklarda göz ardı edilemeyecek büyüklüğe geleceğinden, denklem takımlarındaki basınç terimi ihmal edilir (Brooker, Arkema, 1974). İkinci bir sadeleştirme, sıcaklık konsantrasyonu farkından ötürü meydana gelen nem iletiminin ihmal edilmesiyle yapılabilir. Daha önce de belirtildiği gibi, nem konsantrasyon farkına bağlı olarak meydana gelen nem iletimiyle karşılaştırıldığında, sıcaklık farkına bağlı iletim, dikkate alınmayabilecek ölçülerdedir. (Brooker, Arkema, 1974)

Yukarıda sıralanan sadeleştirmeler sonucunda, azalan hız evresi sırasındaki kuruma hızı, yalnızca bir kısmi diferansiyel denklemle ifade edilebilir.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 K_{11} M \quad (3.12)$$

(3.12) numaralı eşitlikte “K” katsayısı yerine, difüzyon katsayısı “D” kullanılabilir. Bu durumda elde edilen denklem D nin sabit değeri için aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \cdot \left[\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{c}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right] \quad (3.13)$$

Kartezyen koordinatlar da $c=0$, silindir koordinatlar da $c=1$, küresel koordinatlar da $c=2$ değerlerini almaktadır. (3.13) eşitliğinin değişik şekilli katı cisimler için çözümü yapılarak kurutma denklemi olarak kullanılabilir. (3.13) denklemi aşağıdaki başlangıç ve sınır şartları kullanılarak çözülebilir.

$$M(r, 0) = M_0$$

$$M(r_0, t) = M_e$$

(3.13) numaralı eşitliğin sonsuz yassı levha, sonlu ve sonsuz uzunluktaki silindirik cisimlerin, herhangi bir “t” anındaki ortalama nem düzeyleri dikkate alınarak yapılan analitik çözümleri aşağıda verilmektedir (Crank,1975). Bu çözümlerde, difüzyon

katsayısının sabit olduğu, katıyı çevreleyen ortamda kütle transferine karşı direnç olmadığı ve katı ve çözünen arasında kimyasal bir reaksiyon olmadığı kabulleri yapılmaktadır.

Sonsuz yassı levha için bir boyutlu durum (Crank,1975),

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- (2n+1)^2 \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \frac{D.t}{L^2} \right] \quad (3.14)$$

şeklindedir. Burada,

D, tüm azalan kuruma dönemine ait su buharının havaya difüzyon katsayısı (m²/saat)

L, Kurutulan ürün kalınlığının yarısı, m

M_e, Kurutulan ürünün denge bağıl nemi (ERH)

M_o, Ürünün başlangıçtaki nem oranı (kg_{su}/kg_{kurumadde})

olarak verilmektedir.

Sonsuz uzunluktaki bir silindir (Crank,1975),

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{J_{0,n}^2} \exp \left[- J_{0,n}^2 \frac{D.t}{R^2} \right] \quad (3.15)$$

ifadesiyle ve sonlu uzunluktaki bir silindir (Crank,1975),

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{32}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2m-1)^2} \frac{1}{J_{0,n}^2} \exp \left[- (2m-1)^2 \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \frac{D.t}{L^2} - J_{0,n}^2 \frac{D.t}{R^2} \right] \quad (3.16)$$

ile verilir. Burada,

R, Kurutulan ürünün yarıçapı, m

J_{0,n} , Sıfırıncı dereceden Bessel fonksiyonunun kökleri, J_{0,1}=2.405

dır. (3.14), (3.15), (3.16), eşitliklerinde serinin yalnızca ilk teriminin dikkate alınmasıyla yapılan çözümde hata %5' i geçmez. Bu hata tarım ürünlerinin kurutulmasıyla ilgili işlemler için kabul edilebilir olduğundan seri açılımının ilk

terimi alınıp ayrıca $\left[\pi^2 \frac{D}{4L^2} \right]$ yerine k yazılarak yassı düz levhalarda bir ve üç

boyuttaki durumlar için aşağıda belirtilen eşitlikler elde edilir (Crank,1975, Devahastin, 2000):

$$\text{Bir boyutlu durum: } \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp(-kt) \quad (3.17)$$

$$\text{Üç boyutlu durum: } \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{512}{\pi^6} \exp(-kt) \quad (3.18)$$

Difüzyon katsayısı gerçekte sabit değildir, nem içeriği ile değişir. D değeri küçük nem içeriklerinde daha azdır ve kuruma yüzeyi yakınında çok küçük olabilir. Pratikte kurutulan materyalde ortalama bir D değeri deneysel olarak hesaplanabilir. Bu amaçla aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

Bir boyutlu yassı düz levha:

$$t = \frac{4L^2}{\pi^2 D} \ln \frac{8(M_o - M_e)}{\pi^2 (M - M_e)} \quad (3.19)$$

Sonsuz uzunluktaki bir silindir:

$$t = \frac{R^2}{D \cdot 5.78} \ln \frac{4 \cdot (M_o - M_e)}{5.78 \pi^2 (M - M_e)} \quad (3.20)$$

Sonlu uzunluktaki bir silindir:

$$t = \frac{4 L^2 R^2}{D (\pi^2 R^2 + 23.136 L^2)} \ln \frac{32(M_o - M_e)}{5.78 \pi^2 (M - M_e)} \quad (3.21)$$

Eğer yassı düz levha için $\ln \frac{8(M_o - M_e)}{\pi^2 (M - M_e)}$, sonsuz uzunluktaki bir silindir için

$\ln \frac{4 \cdot (M_o - M_e)}{5.78 \pi^2 (M - M_e)}$, sonlu uzunluktaki bir silindir için, $\ln \frac{32(M_o - M_e)}{5.78 \pi^2 (M - M_e)}$ ifadesine

karşı zaman grafiği çizilirse bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğiminden D

difüzyon katsayısı hesaplanır (Crank, 1975, McCabe ve Smith, 1976, Göğüş, 1994, Devahastin,2000).

Difüzyon yavaş kuruyan materyallerin karakteristik davranışdır. Katı yüzeyinden havaya su buharının kütle transferi direnci genellikle ihmal edilir ve bütün kuruma hızını katıdaki difüzyon kontrol eder. Böylece yüzeydeki nem içeriği denge değerindedir veya denge değerine çok yakındır. Sıcaklıkla difüzyon katsayısı arttığından, katıdaki sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artar.

3.5.2.2 Azalan Hızla Kuruma Evresi İçin Geliştirilmiş Yarı Teorik Modeller Ve Deneysel Kuruma Eşitlikleri

Azalan hızla kuruma evresi sırasında materyalin içinde oluşan nem iletimi, Newton' un soğumasıyla ilgili yasasına benzetilerek açıklanmaya çalışılır. Söz konusu yasa, cisim ile çevre arasındaki sıcaklık farkının çok büyük olmaması şartıyla, sıcaklığı değişmez kabul edilen bir ortam içine konulan bir cismin sıcaklığındaki değişim miktarının, cisim ve çevre sıcaklıkları arasındaki farkla orantılı olduğunu belirtmektedir. Bu yasa matematik olarak aşağıdaki eşitliklerle gösterilebilir (Brooker, Arkema, Hall, 1974):

$$\frac{dT}{dt} = -k_1(T - T_e) \quad (3.22)$$

Nem içeriği değişmez kabul edilen bir ortam içinde bulunan herhangi bir materyalin neminde meydana gelen değişim, 3.22 denkleminin analoguyla aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (3.23)$$

Veya

$$\frac{dM}{(M - M_e)} = -kdt \quad (3.24)$$

Denklem 3.24 ‘deki diferansiyel eşitliğin çözümü aşağıdaki şekildedir,

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-kt) \quad (3.25)$$

(2.25) numaralı eşitlikte yer alan “ k ” kuruma sabiti olarak adlandırılır. Birimi h^{-1} veya s^{-1} dir. Kuruma sabiti kurutulacak ürün ve kurutma şartlarına göre deneysel verilerden yararlanılarak belirlenir. Yarı teorik modeller içinde en yaygın kullanım alanı bulan (3.25) numaralı eşitlik Newton modeli olarak tanımlanır. (3.25) denklemi yardımıyla hesaplanan sonuçlar, deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, elde edilen değerlerin azalan hız evresinin birinci bölümüyle iyi bir uyum gösterdiği, ancak ikinci bölümde bazı sapmaların ortaya çıktığı görülür (Brooker, Arkema, Hall, 1974, Hall, 1980, Devahastin, 2000). Bu nedenle, kuruma eğrilerini açıklamak için bazı araştırmacılar tarafından yarı teorik ve ampirik modeller geliştirilmiştir.

3.6. Kalın Tabaka Kuruma Kavramı

Kurumakta olan ürünün oluşturduğu tabakanın kalınlığı, bir tane kalınlığını aştığında, ince tabaka formundaki kuruma için geliştirilen eşitlikler yetersiz kalır. Bunun baş nedeni, kurutma havası özelliklerinin, kalın ürün tabakasından geçerken sürekli olarak değişime uğramasıdır. Kalın tabaka formundaki ürün yığınının kurumasına ilişkin olarak geliştirilen yöntemler, ürün tabakasının hareketli ve hareketsiz olmasına göre de farklılıklar gösterir (Brooker, Arkema, Hall, 1974).

3.7. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler

Kuruma hızı ısı ve kütle transferine etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Bu faktörlerin başlıcaları (Van Arsdell ve Copley, 1963), sıcaklık derecesi, havanın nemi, kurutucudaki hızı, kurutulacak materyale maksimum yüzey alanı kazandıracak geometrik düzenleme (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vs.) gibi fiziksel faktörlerle kurutulan materyalin başta bileşimi olmak üzere kendine özgü nitelikleridir. Bu faktörlerin en önemlileri kurutulan ürünün kendine özgü nitelikleridir ve bu nitelikler kuruma boyunca değişkendir. Özellikle ürünün kimyasal bileşimi önem taşır.

Eğer şeker, tuz ve benzeri gibi küçük moleküllü erimiş maddelerce zengin bir materyal, bu maddelerce daha fakir bir materyalle kuruma açısından kıyaslanırsa, erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür (Van Arsdel ve Copley, 1963). Çözülmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmekte dolayısıyla suyun buharlaşmasını zorlaştırmaktadır. Aynı şekilde, ortamda yağ bulunması kuruma hızını sınırlayıcı önemli bir faktördür. Yağın sürekli faz olduğu bir emülsiyonda, su damlacıkları yağ tarafından adeta izole edilmiş bulunduğundan böyle bir sistemde suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması güçtür (Van Arsdel ve Copley, 1963). Diğer taraftan materyalin bileşimi onun suyu bağlama gücüyle de yakından ilişkilidir. Serbest su, gıdalarda öncelikle ve kolaylıkla uzaklaştırılabilen su olduğu halde, katı parçacıklarca adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaşmaktadır. Nişasta, pektin gibi maddelerce zengin oluşturulan kolloidal jel içerisinde tutulan su ise daha zor uzaklaşmaktadır, bu nedenle nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması oldukça güçtür. En zor uzaklaştırılan su ise hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece materyalin bileşiminin suyu bağlama şekli bakımından kuruma hızına etki ettiği görülmektedir. Diğer taraftan meyve ve sebzeler hücrelerden oluşmuş doğal dokulardır ve bunlarda su hem hücre içinde hem de hücreler arasında bulunur. Hücreler arasındaki suyu uzaklaştırmak daha kolaydır. Ancak hücre ölünce hücre zarı daha fazla geçirgenlik kazanarak, hücre içindeki suyun uzaklaşmasını kolaylaştırır. Eğer doku haşlanmışsa geçirgenlik çok hızlanır. Bu nedenle haşlanmış ürünler daha hızlı kururlar (Van Arsdel ve Copley, 1963).

Kuruma hızı parçacıkların yüzey alanı ile doğru, kalınlıkla ters orantılıdır. Bu nedenle kurutulacak maddeler ne kadar küçükse yüzey alanı o kadar fazla, kalınlığı o kadar az olacağından kuruma hızı olumlu yönde etkilenmektedir. Püskürtülerek kurutma tekniğinde, sıvı ve ezme halindeki maddelerin, ince zerrecikler haline getirildikten sonra birkaç saniyede kurutulabilmesi bu nedendendir.

Kurutulan parçaların iriliğinin, kuruma hızına önemli etkide bulunmasına karşın, meyve ve sebze gibi ürünlerde kurumanın başlangıç aşamasında iri ve daha küçük parçalar halinde doğranmış dokular arasında, kuruma hızı bakımından belirgin bir fark görülmez. Ancak zaman ilerledikçe kuruma hızı parça iriliğine göre önemli ölçüde değişir. Çünkü özellikle azalan kuruma hızı döneminde, iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonu, iri parçalarda zorlaşmakta ve kuruma hızı düşmektedir. Parça iriliğinin kuruma hızına bu önemli etkisi yüzünden, kurutulacak meyve ve sebzelerin küçük parçalar halinde doğranması yararlıdır ancak bu her zaman

mümkün değildir. Tüketim alanı bakımından bazı ürünlerin bütün halde kurutulması gerektiği gibi, doğranan ve kıyılan ürünlerde de belli bir irilik beklenir (Van Arsdel ve Copley, 1963).

Kuruma hızına etki eden en önemli faktörlerden biride kullanılan sıcak havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki farktır. Kullanılan sıcak havanın sadece kuru termometre sıcaklığı çoğu kez önemli bir anlam taşımaz. Yaş ve kuru termometre dereceleri arasında herhangi bir fark olmayan havanın, sıcaklık derecesi ne olursa olsun hiçbir kurutma etkisi yoktur. Yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kuruma hızı da artar. Bu doğru orantılı etki kurumanın başlangıcında çok belirgin ise de kuruma ilerledikçe yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kuruma hızı aynı oranda artmaz. Ayrıca yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark sabit kalmak koşulu ile havanın kuru termometre sıcaklığı yükseldiğinde, kurutmanın başlangıç aşamasında kuruma hızında herhangi bir değişme görülmezken ileri ki aşamalarda bir artış olur. Kurumanın ileri ki aşamalarında kuruma hızını sınırlayıcı faktör, iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonudur. Sıcaklık artınca bu difüzyon olayı hızlanmakta ve buna bağlı olarak da kuruma hızı yükselmektedir (Van Arsdel ve Copley, 1963).

Kuruma hızına etki eden diğer bir faktör, kurutucudaki hava hızıdır. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma sırasında daima durgun bir buhar filmi oluşur. Bu film sürekli olarak uzaklaştırılırsa, suyun buharlaşmasında bir hızlanma görülür. İşte hava hızı, bu buhar filmini devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunmaktadır. Ancak bu etki belli bir hava hızına ulaşılan kadar görülmektedir. Diğer taraftan hava hızının olumlu etkisi, kurumanın bulunduğu aşamaya göre değişmektedir. Kurumanın başlangıç aşamalarında hava hızı çok etkiliyse de kurmanın ileri ki aşamalarında kuruma hızı artık, alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızı ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek olmasının bu konuda bir etkisi bulunmamaktadır (Van Arsdel ve Copley, 1963)

3.8. Kuruma Sırasında Isı Ve Kütle Transferi

Yaş bir materyalin kuruması sırasında, hem materyalin içinde hem de kurutma ortamının materyal yüzeyine değdiği sınır tabakada, sürekli olarak ısı ve kütle iletimleri meydana gelir. Bu iletimler, genel olarak, kuruyan materyalin iç şartları ile materyalin dışındaki kurutma ortamına ait çeşitli şartlardan etkilenir. Kuruma üzerinde etkili olan bu şartların etkinlik değerleri, kuruma evresine göre değişebilir (Yağcıoğlu, 1999). Örneğin, sabit hızla kuruma evresinde ısı ve kütle iletimleri, esas olarak, materyal yüzeyindeki sınır tabakanın iletim özelliklerine bağlıdır. Oysa, azalan hızla kuruma evresinde, öteki etkenlere ek olarak, materyalin iç yapısının ilettime gösterdiği direnç de önemli bir etken olarak ortaya çıkar.

Tarım ürünlerinin kurutulması sırasında bünyeden ayrılacak nemin öncelikle ürünün yüzeyine ulaşması gerekir. Nemin ürün içinde yüzeye doğru ilerlemesini sağlayan birçok etken bulunmaktadır. Bu etkenlerin önemlileri arasında kılcal borulardaki su hareketi,

- kuruma sırasında materyalin büzülmesi ve bu nedenle ortaya çıkan sıkışmanın hızlandırdığı nem akışı,
- nem ve sıcaklık konsantrasyon farkına bağlı olarak meydana gelen nem difüzyonu,
- materyalin yüzeyinden çevreye olan buhar ve su difüzyonu,
- materyalin yüzeyinden daha alt katmanlarda oluşan buharlaşmanın nedeniyle meydana gelen gaz difüzyonu,
- materyalin bünyesindeki buhar basıncı ile çevre havasının kısmi buhar basınçları arasındaki fark,
- çevre havasının sıcaklığı, bağıl nemi ve basıncı sayılabilir (Yağcıoğlu, 1999).

Kurutma işlemleri sırasında gerekli olan ısının kuruyan materyale iletimi sırasında, konveksiyon, kondüksiyon, ışıma ve elektromagnetik enerjinin hacimsel soğurulması (absorbsiyonu) yollarından biri ya da birkaçından birlikte yararlanılabilir (Yağcıoğlu, 1999).

Tarım ürünlerinin kurutulmasında en çok kullanılan yöntem, konveksiyonla ısıtma yöntemidir. Bu yöntemde, kurutma ortamı (çevre) olarak materyalden daha sıcak hava kullanılmaktadır. Kurutucu hava, nemli materyale nemin buharlaşması

için gerekli ısıyı iletir, buharlaşan suyu bünyesine alır ve ortamdan uzaklaştırır. Tarım ürünlerinin konveksiyonla ısıtılması ve kurutulması sırasında aralarında bağıntılar bulunan birçok olay ardışık olarak birbirini izler. Bu olaylar (Yağcıoğlu, 1999);

- sıcak havadan kuruyacak materyalin yüzeyine ısı transferi,
- ısının, yüzeyden iç katmanlara doğru ilerlemesi,
- nemin, iç kısımlardan yüzeye doğru ilerlemesi,
- nemin buharlaşarak çevredeki gaz ortamına (hava) difüzyonu

şeklinde sıralanabilir.

3.9. Kuruma Teorileri

Nem içeren katı maddelerin kuruma hızları genel olarak birbirinden açık şekilde ayrılabilen iki veya bazen üç bölümden oluşur. Sabit kuruma hız periyodunda katı yüzeyindeki suyun hava akımına buharlaşmasını gaz fazı film transfer katsayısı kontrol etmektedir. Buna karşılık azalan hız periyodunda su buharının katı bünyesinden yüzeye transfer mekanizması daha farklıdır. Gözeneksiz katılar genel olarak düzenli bir nem dağılım diyagramına sahiptirler.

3.9.1. Difüzyon Teorisi

Difüzyon teorisine göre katının iç kısımlarındaki suyun yüzeye hareketi katı içi difüzyonla gerçekleşir. II. Fick kanununa uyan buhar veya sıvıların transferinde bu tip difüzyon kontrollü kütle transferinin olduğu varsayılır. II. Fick kanununun tek yönlü difüzyon için matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir (Devahastin, 2000).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial L^2} \right) \quad (3.26)$$

Burada C, A ve B' den oluşan karışımdaki bileşenlerden herhangi birinin bileşimidir.

Yassı tabakaların kurutulmasında azalan hız periyodu için (3.26) eşitliğinin çözümünden aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{M - M_e}{M_c - M_e} = \frac{8}{\pi^2} (e^{-a\beta} + \frac{1}{9} e^{-9a\beta} + \frac{1}{25} e^{-25a\beta} + \dots) \quad (3.27)$$

Burada

$$\beta = Dt/L^2$$

$$a = (\pi/2)^2$$

M, t anındaki nem içeriği

M_c, Kritik nem içeriği

M_e, Denge nem içeriği

şeklinde tanımlanır. (3.26) eşitliği katının başlangıçta homojen bir nemliliğe sahip olduğu ve kurumanın her iki yüzeyden gerçekleştiği durumlar için geçerlidir. Tek bir yüzeyden kuruma gerçekleşmesi durumunda difüzyon yolu iki katı olarak alınmalı, diğer bir deyimle β' nın paydasına 4 ilave edilmelidir. Çok uzun kuruma zamanları için Eşitlik (3.25) aşağıdaki şekle indirgenebilir (Perry ve Green,1984):

$$\frac{M - M_e}{M_c - M_e} = \frac{8}{\pi^2} e^{-a\beta} \quad (3.28)$$

3.9.2. Büzülme ve Kabuklaşma

Kolloidal gözeneksiz katılardan bağlı nemin uzaklaştırılmasıyla katı materyal büzülmeye başlar. Çok küçük partiküllerde bu etkinin önemsiz olmasına karşın kuruma olayı büyük partiküllerde büzülmeden dolayı büyük güçlüklerle sebep olur. Böyle katılarda dış yüzeyin iç kısımlardan önce nem kaybetmesinden dolayı dış tabakadaki sıvı konsantrasyonu iç kısımlardakinden daha düşük olur ve dış yüzey büzülür. Dış yüzey büzülmesi difüzivitenin düşmesiyle kütle transferine karşı direncin artmasına, ürünün zedelenmesine ve kalitesinin düşmesine sebep olur.

Çok aşırı büzülme durumunda; büzülme ve difüzivitedeki azalmanın birleşmesiyle katı dış yüzeyinde gözeneksiz bir tabaka oluşturarak katı içerisindeki sıvının transferi engellenmiş olur. Bu olaya kabuklaşma denir. Büzülme ve kabuklaşma kuruma hızının düşürülmesiyle minimuma indirgenebilir. Böylece katı bünyesinde düzenli bir konsantrasyon gradyenti sağlanmış olur. Ayrıca hava neminin

kontrol altında tutulmasıyla da kabuk etkisi azaltılabilir. Katı-sıcak hava ara yüzeyindeki denge nemi havanın nemliliği ile sabit tutulacağından havanın nemliliğinin artması denge nemini de artırır. Böylece serbest nem miktarı denge neminin artmasıyla azalır ve toplam serbest nem gradyentinin düşmesiyle büzülme ve kabuklaşma önlenmiş olur (Perry ve Green,1984).

3.9.3. Kapılar Teori

Gözenekli katıların bünyesindeki sıvının hareket mekanizması (3.28) eşitliğiyle açıklanamaz. Bunun nedeni gözenekli katılarda sıvının katı bünyesinde homojen bir konsantrasyon gradyentine sahip olmasıdır. Şekil 3.5' de yassı bir gözenekli katıya ait nem dağılım eğrisi görülmektedir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi katının merkezinden dışına doğru iki farklı nem dağılım eğrisi mevcuttur. Gözenekli katılarda katı bünyesindeki sıvı önce kapılar hareketle yüzeye ve buradan da gaz filmi içerisinde difüzyonla gaz fazına transfer olur (Perry ve Green,1984).

Gözenekli katılarda katı içerisindeki sıvının yüzeye hareketi, difüzyonla kütle transferinden ziyade kapılar hareketle meydana gelir. Kapılar teoriye göre katı madde değişik büyüklük ve şekillerde gözenek ve kanallara sahiptir. Bu durumda katı gözeneklerindeki sıvı kanallardan hareket ederek yüzeye ulaşır. Şekil 3.6' da gözenekli katılara ait tipik bir kurutma eğrisi görülmektedir. Bu tür katılar için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir (Perry ve Green,1984):

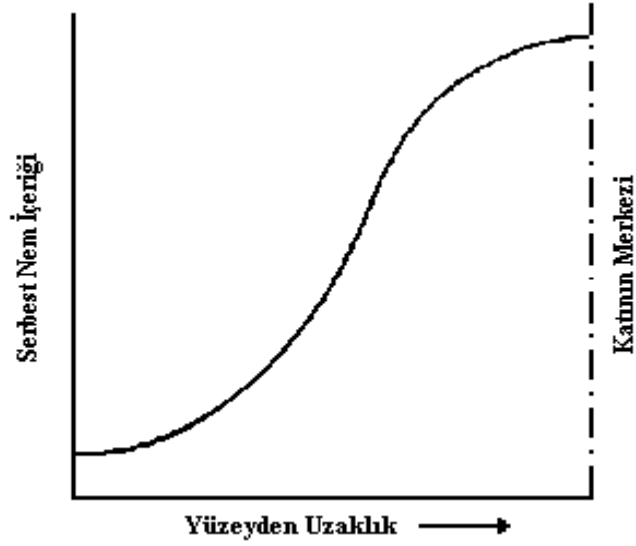
$$t_f = \frac{\rho_s d \lambda (M_c - M_e)}{h_t (t - t_s)} \ln \frac{(M_c - M_e)}{(M - M_e)} \quad (3.29)$$

Burada;

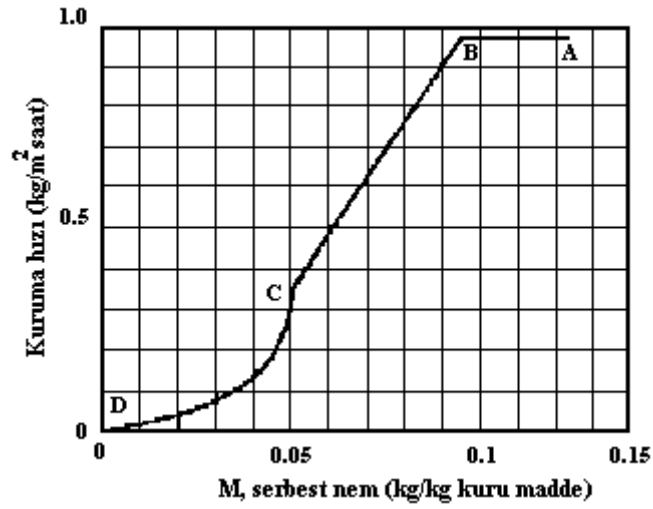
t_f , azalan hız periyodundaki kuruma zamanı,

ρ_s , katının yoğunluğu

ifade etmektedir.



Şekil 3.5. Gözenekli katılara ait tipik bir nem dağılımı grafiği



Şekil 3.6. Gözenekli katılara ait tipik bir kuruma eğrisi

3.10. Kurutma Yöntemleri

Kurutma yöntemlerini üç ana grup altında toplamak mümkündür. Bunlar; Kimyasal kurutma, mekanik kurutma ve termik kurutma metotlarıdır.

3.10.1. Kimyasal Kurutma

Kimyasal maddelerin veya tuzların çözeltileri içerisinde yapılmaktadır. Bugün endüstride, kimyasal maddelerin kurutulmasında, kimyasal maddelerin ekonomik olmaması nedeniyle bu yöntem kullanılmamaktadır.

3.10.2. Mekanik Kurutma

Bazı mekanik vasıtalar yardımıyla malzemenin hücre boşluklarındaki serbest suyun nispeten çabuk ve daha düşük masrafla uzaklaştırılması esasına dayanır. Endüstride sallantılı kurutma tertibatı ve kurutma santrifüjü gibi mekanik vasıtalar kullanılarak merkezkaç kuvvet etkisi yardımıyla serbest suyun malzemeden atılması sağlanmaktadır. Böylece bu gruba giren metotlar bir ön kurutma niteliği arz etmekte olup, daha sonra teknik kurutma uygulanmaktadır. Günümüzde bazı malzemeler için pres gücü yardımıyla da serbest su dışarı atılabilmektedir.

3.10.3. Termik Kurutma

Termik kurutmada uygulanan metotlar doğal kurutma ve teknik kurutma metotları olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Doğal kurutma malzemenin dış kurutma faktörleri bakımından uygun bir yere ve tekniğine uygun bir şekilde istiflenmesi veya serilmesi suretiyle yapılmaktadır. Ancak burada kurumayı sağlayan havanın sıcaklığı, nemi ve hızı ile yönü gibi dış kurutma faktörleri kontrol edilememekte ve ısı enerjisi için ilave masraf söz konusu olmamaktadır. Meydana gelen işlem yalnız ısı ekonomisi açısından incelenecek olursa doğal kurutma çok uygun görülmektedir. Fakat buna karşılık doğal kurutmada kurutma süresi çok uzun olmaktadır. Bu süre içerisinde her türlü anormal hava koşullarının zararlı etkilerine, mantarların ve böceklerin saldırılarına açık bulunmakta ve bilhassa gıda maddelerinin kuruması gayri hijyenik şartlar arz etmektedir. Bunlara ilave olarak malzemede renk kusurları, çürüme, çatlama gibi kalite ve değer düşmeleri meydana gelmektedir. Daha önemlisi ise bazı maddelerin uzun müddet muhafazası için gerekli olan düşük nem miktarlarına inilememektedir. Örneğin kereste için gerekli olan % 6 – 8' lik nem oranı doğal kurutma ile hiçbir zaman sağlanamamaktadır. Bundan dolayı yalnız ısı ekonomisi açısından

bakıldığında uygun görünen doğal kurutma, kurutma kalitesi ve sonuç nemi bakımından uygun bulunmamaktadır (Kantay ve Bozkurt, 1980).

Termik kurutmada malzemenin ısıtılması iletim, taşınım, ışıınım ve dielektriksel yollardan biri ya da birkaçının kombinasyonu ile yapılmaktadır. Buna göre kurutma yöntemleri , kontakt kurutma, konvektif kurutma, ışıınım ile kurutma ve dielektrik kurutma olarak adlandırılmaktadır. Bunlardan iletim, taşınım ve ışıınım la ısıtma da malzeme, yüzeylerden iç tabakalara doğru, dielektriksel olarak ısıtılmada ise iç tabakalardan dış tabakalara doğru ısınmaktadır.

Teknik kurutma metotları kurutma etüv veya fırını, kurutma makinası, kurutma kanalı veya kurutma tüneli gibi adlar verilen tesislerde yapılmaktadır. Bu tesislerde kurutmanın hızlandırılması amacıyla bazı teknikler kullanılmaktadır ki bu nedenle literatürde “yapay kurutma” adı yerine“ Teknik Kurutma ” olarak ifade edilmektedir. Teknik kurutmada malzemenin özellikleri ve kurutmadaki kalite istekleri dikkate alınarak arzu edilen ve planlanan kurutma iklimlendirmesini sağlamak mümkündür. Bu işlem, kurutma tesisine monte edilen ısıtma, havalandırma, nemlendirme, basınç, kondensasyon düzenleri ve bunlara bağlı olarak ölçme, ayarlama ve kontrol sistemleri yardımıyla yapılmaktadır.

Teknik kurutma dış kurutma faktörlerinin etki şekillerine, bu faktörlerin değişme derecelerine ve kurutma ortamına göre çok çeşitlidir. Bunları sıcaklık faktörü esas alınarak 100 °C ‘ in altındaki sıcaklık derecelerinde “Hava – Su Buharı Karışımı İçerisinde Kurutma Metotları” ve 100°C‘ ın üzerindeki sıcaklık derecelerinde “Yüksek Sıcaklık Dereceli Kurutma” metotları olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Ayrıca bu iki gruba da girmeyen kurutma metotları ise, “Özel Kurutma Metotları” adı altında toplanmaktadır.

100 °C ‘ in altındaki sıcaklıklarda Hava – Su Buharı Karışımı İçerisinde Kurutma bilinen en eski ve bugünde bilhassa gıda sanayinde besin ve gıda maddelerinin kurutulmasında en çok uygulanan kurutma metodudur. Bu metoda klasik kurutma adı verilmektedir. Bu metotla ısıtılmış olan hava, hava hareketi sağlayıcı bir sistem yardımıyla malzeme üzerine gönderilmektedir. Böylece malzemenin ısınması, içerisindeki suyun yüzeylere doğru hareketi ve yüzeylerden buharlaşması için gerekli ısı iletilmiş olmakta ve malzeme yüzeyindeki su buharı molekülleri uzaklaştırılarak kurumanın devamlılığı sağlanmaktadır. Bu metotla kuruma sırasında atmosferden taze hava alınıp nemli hava dışarı atılmaktadır. Dışarı

ile hava alışverişi olmadan kapalı bir donanım olduğu takdirde hava içerisindeki fazla su buharı kurutucu içerisine yerleştirilen kondensasyon yardımıyla yoğunlaştırılarak atılmaktadır. Böylece ısıнын geri kazanılması söz konusu olup enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu kurutma şekline de “Kondensasyonla Kurutma” denilmektedir.

Yukarıda açıklanan metotlardan başka özel kullanım amaçları için Vakumlu Kurutma, Yüksek Frekansla Kurutma, Kızıl Ötesi Işınlarla Kurutma gibi kurutma metotları uygulanmaktadır.

3.11. Kurutmayı Etkileyen Faktörler

Kurutmayı etkileyen faktörleri, kurutma ortamını teşkil eden hava ile ilgili olarak havanın sıcaklığı, bağıl nemi, hareket hızı ve yönü malzeme ile ilgili olarak malzemenin nem miktarı (başlangıç ve sonuç nemleri), malzeme kalınlığı, buharlaşma yüzeyi genişliği, kurutma ve ekipmanı ile ilgili olarak yapı malzemesinin türü ve özgül ısısı, kurutma tesisinin ısı yalıtma durumu, kapasitesi ve boyutları, kurutma programı, kurutma metodu, çevre iklimi şeklinde belirtmek mümkündür.

3.11.1. Kurutma Havaının Sıcaklığı

Kurutmada sıcaklığın artması ile malzeme içerisindeki sıvının viskozitesi yükselmekte ve iç kısımlardan yüzeylere doğru difüzyon hızı artmaktadır. Böylece kurutmanın süresi kısalmaktadır. Ancak, kurutma sıcaklığının istenildiği kadar artırılması mümkün değildir. Çünkü her malzemenin çıkabileceği maksimum bir sıcaklık derecesi vardır. Bu sıcaklığın üzerine çıkıldığı takdirde malzemelerde çatlama, renk değişmesi ve içine çökme(büzüşme) gibi kurutma kusurları ve kalite düşmeleri meydana gelmektedir. Daha düşük sıcaklık uygulandığı takdirde ise, kurutmanın kalitesi yükselmekte, fakat kurutma süresi gereksiz yere uzatılmış olmaktadır. O halde teknik kurutmada, hem kurutma süresinin ve hem de kalitesinin optimal bir değere ulaşması için çıkılması mümkün olan en yüksek sıcaklık derecesinin uygulanmasına özen gösterilmektedir.

3.11.2. Kurutma Havasının Bağıl Nemi

Teknik kurutmada malzemenin cinsi, kalınlığı ve nemine göre kurutmanın çeşitli kademelerinde kurutma ortamını oluşturan havanın belli nem miktarlarını içermesi koruyucu bir kurutmanın uygulanabilmesi bakımından önemlidir. Çeşitli kurutma kademeleri için yetersiz nem ihtiva eden hava içerisinde malzeme yüzeyleri çok hızlı bir şekilde kuruyarak, kurutmada önemli bir kusur olan dış sertleşme hali ve buna bağlı olarak diğer kusurlar ortaya çıkmaktadır. Teknik kurutmada bu şekilde meydana gelecek kusurlara engel olunması ve iç tabakalardan yüzeylere doğru uygun bir nem farkının oluşması ve devamlı nem akışının sağlanması için kurutmanın her kademesinde kurutma havasının yeterli miktarda nem içermesi gerekmektedir. Aksi durum ise yani bir kurutma işleminde kurutma fırını içerisinde kurutucu havanın nem miktarının fazla olması, kurutma süresinin gereksiz yere uzamasına, bu da kurutmada enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır.

3.11.3. Kurutma Havasının Hareket Hızı

Kurutmada havanın hareket hızının artması ile ısıнын yayılması, malzemenin yüzeyinde biriken nemin taşınması ve yerine nem alma kapasitesi yüksek olan taze havanın getirilmesiyle malzemenin neminin buharlaşması hızlanacaktır. Böylece kuruma hızlanmakta ve kurutma süresi kısalmaktadır. Fakat hava hareket hızının çok yükselmesi ile yüzeylerde meydana gelen buharlaşma hızı da artmakta ve dış tabakalar iç kısımlara nazaran daha çabuk kuruyarak bu kısımlardan yüzeylere doğru olan su akışındaki düzen bozulmaktadır. Buna bağlı olarak çatlamalar, dış sertleşme, şekil değişimleri gibi kusurlar meydana gelmektedir. Bu nedenle kurutma havasının hareket hızının belli sınırların üstüne çıkması kurutmanın kalitesi bakımından önemlidir. Hareket hızının çok düşük olması halinde ise malzeme yüzeyinde biriken nem zamanında uzaklaştırılamamakta ve böylece malzemede yüzeylere doğru olan su hareketi engellenmektedir.

3.11.4. Malzemenin Kurutma Esnasında İstif Şekli

Tekniğine uygun bir şekilde malzemenin istifı enerji tüketimi açısından ve kurutma havasının, maksimum malzeme yüzeyine teması neticesi kuruma süresi

açısından olumlu yönde etkisi vardır. Kurutma fırını ve istif katları arasında uygun ve etkili bir hava dolaşımı kurutma süresini kısaltmaktadır.

3.11.5. Malzeme Cinsi ve Kalınlığı

Bu iki özellik kurutmada çıkılabilecek en yüksek sıcaklık derecesinin ve kurutmanın çeşitli kademelerinde uygulanabilecek bağıl nem derecelerinin saptanmasında en önemli faktördür.

3.11.6. Malzemenin İçerdiği Nem

Kurutmada malzemeden uzaklaştırılacak nem miktarını başlangıç ve sonuç nemleri arasındaki fark teşkil etmektedir. Başlangıç nemi ne kadar yüksek, buna karşın sonuç nemi ne kadar düşük ise uzaklaştırılacak nem miktarı o kadar fazla olmaktadır. Nem miktarı arttıkça kurutma için gerekli olan ısı miktarı da artmaktadır. Bu amaçla sarf edilen enerji miktarı, suyun kurutma sıcaklığına kadar ısıtılmasında kullanılan ısıtma ısısı, ulaşılan kurutma sıcaklığında buharlaşma için sarf edilen buharlaşma ısısı ve higroskopik bağlarından koparılması için sarf edilen ısı (genişleme ısısı) gibi ısıların toplamından oluşur.

3.11.7. Buharlaşma Yüzeyinin Büyüklüğü

Malzemenin buharlaşma yüzeyi miktarı kurutmanın süresini etkilemektedir. Buharlaşma yüzeyi arttıkça buharlaşma hızı artmakta ve kurutma süresi kısalmaktadır. Kurutulacak malzeme parçalara ayrılabilir bir malzeme ise kurutma yüzeyi, malzeme bölündükçe artacaktır.

3.11.8. Kurutucunun Isı Yalıtımı

Fırının kurutma için gerekli en yüksek sıcaklık derecesine ısıtılması ve malzeme neminin belli bir değere düşüncüye kadar korunması gerekmektedir. Kurutma fırını duvarlarında içeriden dışarıya doğru kondüksiyonla ısı geçişi nedeniyle ısı kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıplar iyi bir yalıtımla minimuma indirilebilir.

Genel olarak kurutma fırınları ağaç malzemeden, kagir, beton ve metalden yapılmaktadır. Metal olarak alüminyum tercih edilmektedir. TS 1501'e göre ağaç, kagir, beton ve betonarmeden yapılmış kurutma fırınlarında tavanın, duvarların ve kapıların ortalama ısı aktarma katsayısı $1 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$, metal kurutma fırınlarında ise en çok $0.7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$ olmalıdır (Kantay ve Bozkurt, 1980).

3.11.9. Kurutucu Kapasitesi

Kurutucu kapasitesi ısı tüketimini etkilemektedir. Küçük ve normal kapasiteli kurutucuların enerji ihtiyacı büyük kapasiteli (50 m^3 ' ten büyük) kurutuculara göre daha fazla olmaktadır. Eichler ' in 1978 ' deki araştırmasına göre meşeden kesilmiş parkelerin büyük fırınlarda kurutulmasında 1 kg suyun uzaklaştırılması 1112 kcal ısı ve 2.06 kg buhara, buna karşın normal büyüklükteki kurutma fırınlarında aynı parke için 1 kg suyun uzaklaştırılması için 1925 kcal ısı ve 3.5 kg buhara ihtiyaç olduğu belirtilmektedir (Kantay ve Bozkurt, 1980).

4. KUŞBURNU MEYVESİ (ROSA CANINA)

En önemli vitaminlerden biri olan askorvik asit en geniş kaynağını oluşturan kuşburnu, Gülgiller (Rosacea) familyasından olup, çok yıllık bir bitkidir. Çok geniş yayılma alanı gösterir. Kültür bitkilerine oranla farklı iklim ve toprak koşullarında gelişebilir. Açık alanlarda, ovalarda, yol kenarlarında, vadilerde ve yaylalarda yetişmektedir. Çoğunlukla, kıvrımlı anımsatan meyve şekline sahiptir.

4.1. Kuşburnu Türleri

Ülkemizde doğal olarak bulunan Rosa türlerinin sayısının 24 olduğu, bunun yanı sıra 5 alt tür ve 15 melezin bulunduğu belirtilmektedir (www.biriz.biz/kusburnu/index.htm). Kuşburnu'nda hiçbir meyvede olmadığı kadar C vitamini bulunmaktadır. Örneğin, 100 g yaş meyve başına, kuşburnunda 989 mg, portakalda 60 mg, karnabaharda 115 mg, kırmızıbiberde 190 mg, çilekte 60 mg, greyfurtta 40 mg C vitamini bulunmaktadır (Erentürk, S, 2002).

Kuşburnu türleri:

- Rosa Canina (En yaygını),
- Rosa Rugosa,
- Rosa Nitida Willdenova,
- Rosa Xanthina Lindley,
- Rosa Sempervirens (Her dem yeşil),
- Rosa Moschata Herrm (Akdeniz Bölgesinde yaygın),
- Rosa Spinoissima L.(Beyaz renkli sahillerde yetişebilir),
- Rosa Rubrifoliavillars (Sonbaharda kırmızı renkli yapraklı),
- Rosa Mikrophylla (Anavatanı Çin),
- Rosa Primulina (Çiçekleri açık sarı),
- Rosa Helenae (Çiçekleri açık sarı),
- Rosa Virginiana Miller (Anavatanı Amerika olup 150 cm kadar kök sürgünü yapmaktadır),
- Rosa Setigera (Pembe çiçekli),
- Rosa Rubiginosa (Yaprakları ezilince koku veren bir gül türüdür.
- Rosa Damascena (En iyi yağ çıkarma gülüdür).

Halk arasında yabangülü, şillan, deligül, gülburnu, gülelması olarak da bilinir. Çalı formundadır. Peyzaş açısından güzel görünümlü, ekonomik ömrü, 30–40 yıldır. Yaşam süresi çok uzundur. Doğada 300 yıllık kuşburnu çalısı olduğundan bahsedilmektedir.

Kuşburnu meyvesi parlak kırmızı renkte, yumurtamsı veya yuvarlak şekildedir. İçi tüylü, kılçıklı, 3–5 g ağırlığında, 1-2 cm uzunluğunda olan *Rosa Canina* meyvelerinin yanında, *Rosa Rugosa* meyveleri sadece et ve çekirdekten oluşan tüysüz yapısı, 6-8 g ağırlığı, 3 cm varan çapıyla farklılık gösterir. Kuşburnu meyvesi lezzetli, tatlı ve mayhoştur. Tatlılığını veren şekerler, bilhassa glikoz, ekşiliğini veren sitrik ve malik asit, kokusunu veren asetik asit, rengini veren karotenlerdir (Kurucu 1991). Deneylerde kullanılan kuşburnu meyvesinin görünümü Şekil 4.1. de, kimyasal bileşimi Tablo 4.1. de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan kuşburnu meyvesi

Kuşburnu’nda insan sağlığına zararlı Pestisit ve ağır metallerin (arsenik, kadmiyum, kurşun ve civa gibi) bulunmayışı ona güvenli bir şekilde bebek gıdası olma özelliği kazandırmaktadır.

Tablo 4.1. Kuşburnu meyvesinin kimyasal bileşimi ([www.biriz.biz/kusburnu/](http://www.biriz.biz/kusburnu/index.htm) index.htm)

Su, (%)	41.0–70.08
Toplam kuru madde, (%)	29,92–59,0
Suda çözünür kuru madde, (%)	20,05–48,1
Toplam asit (Malik a), (%)	0,95–4,0
Toplam şeker, (%)	8,68–22,44
İndirgen şeker, (%)	7,55–21,29
Sakkaroz, (%)	1,08–2,01
Selüloz, (%)	2
Protein, (%)	8,58–11,45
C vitamini, (mg/100 gr)	200–5000
P vitamini, (mg/100 gr)	1320–3320
K vitamini, (mg/100 gr)	0,022–0,080
B1 vitamini, (mg/100 gr)	120
B2 vitamini, (mg/100 gr)	7
Karotenoid, (mg/100 gr)	3,8
Kül, (%)	2
Kalsiyum, (ppm)	99–342
Fosfor, (ppm)	1100–3320
Potasyum, (ppm)	4203
Sodyum, (ppm)	18
Magnezyum, (ppm)	152
Mangan, (ppm)	880
Demir, (ppm)	21
Bakır, (ppm)	3,2
Çinko, (ppm)	1,9

4.2. Kuşburnunun Sanayide Kullanımı

Kuşburnu meyvesinin gıda sanayinde oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Ayrıca kozmetik sanayisinden ilaç sektörüne, çekirdeklerinden elde edilen hayvan yeminden bitkinin kök yapısının özelliğinden dolayı erozyon önlemeye kadar birçok alanda kuşburnundan istifade edilmektedir. En iyi gülsuyu kuşburnundan elde edilir. Bebek mamalarına C vitamini verir. Margarinlerde boya maddesi olarak kullanılır.

Türkiye’de 1990 lı yıllardan beri Tokat, Kastamonu, Samsun, İstanbul, İzmir ve Gümüşhane’de kurulu fabrikalarda kuşburnu mamulleri üretilmeye başlanmıştır.

Kuşburnu meyvelerinden meyve suyu, şurup, bebek maması, nektar, şarap, likör, salata, marmelat, reçel, jöle, poşet çay gibi ürünler elde edilmektedir. Ayrıca, diğer meyve ve sebze sularının vitamince zenginleştirilmesinde ve pasta-şekerleme sanayinde dolgu maddesi olarak faydalanılmaktadır. Özellikle Rusya, Almanya, İsviçre ve Polonya’da gıda ve ilaç sanayinde yoğun olarak kullanılmaktadır (Yamankaradeniz, 1983).

Kuşburnunun kökleri ve çiçeklerinin taç yapraklarından elde edilen boyalar ve tanen maddeler boya ve deri sanayinde sepi maddesi olarak kullanılır.

Kuşburnunun çok önemli kullanım alanlarından biri de gıda boyar madde olmasıdır. Gıda maddeleri tüzüğünde kullanımına izin verilen 21 doğal gıda boyar maddeden biri olan karotenlerden kuşburnunda bol miktarda bulunur. Kuşburnunda tespit edilen 6 çeşit karotenden en önemlisi P karotenidir. 3 gr P karoteni yarım ton margarini istenen sarı renge boyamaya yeterlidir.

Rosa türleri içinde koku yönünden en zengin çeşitler kuşburnulardır. 1989 yılında Dr Dieck tarafından tanımlanmış, bilinen en iyi yağ gülü kuşburnu çeşidi olan Rosa Damascena’dır. Rosa Rugosa da gül yağı elde etmek için değişik zamanlarda kullanılmıştır (www.geocities.com/kusburnu53).

4.3. C Vitamini (Askorbik Asit)

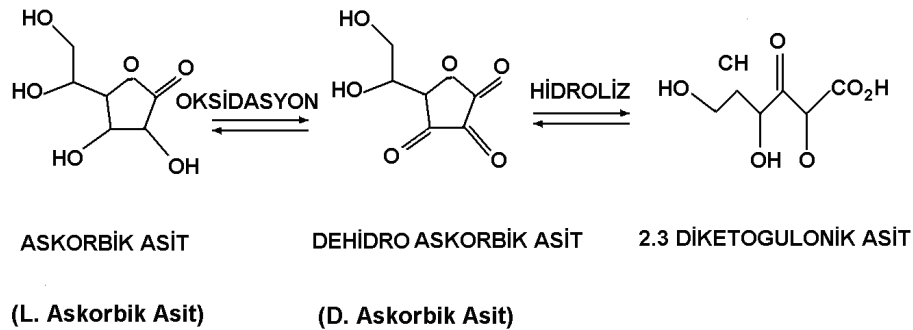
C vitamini insan vücudu için gerekli vitaminlerden birisidir. Eksikliği kılcal damar çeperlerinin zayıf bir yapı kazanmasına, dişlerin gevşemesine ve eklem hastalıklarına neden olur. Ayrıca cildin ve bağ dokularının önemli bir unsuru olan kollagen ve proteinin normal oluşumu için gereklidir. C vitamini vücudun birçok hastalıklara karşı direncini artırmaktadır. C vitaminine olan günlük ihtiyaç 30-45 mg

arasındadır. C vitamini ince barsaklarda emilmektedir. Emilimi 100 mg'a kadar %95 civarındadır. Bu nedenle, besin maddeleri ile alınan C vitamini, saf olarak alınan C vitamininden daha iyi emilir. Emilimle birlikte kandaki miktarı hızla artar. Fazla C vitamini idrar ile oksalat şeklinde atılır.

C vitamini (askorbik asit) bir monosakkarit türevidir. 1928 yılında Albert Szent tarafından sentez edilmiştir. C vitamininin asidesi, 3. karbonunda yer alan enol hidrojenine bağlıdır. Oksitlendiğinde ilk olarak Dehidro L. Askorbik asit'e dönüşmektedir. İnsanlardaki değişimide bu aşamada kalmaktadır. Canlılarda C vitamini oksitlenmiş ve indirgenmiş olarak iki şekliyle bulunur. Bu tepkime iki yönlüdür ve her ikisi de C vitamini aktivitesi gösterir. Dehidro askorbik asit tekrar oksitlendiği zaman vitamin aktivitesini kaybeder. Bitki ve hayvanlar C vitamini sentez edebildikleri halde, insan L.Gluonoksidaz enzimine sahip olmadığı için C vitamini sentezi yapamaz. C vitamini, suda çözünen bir vitamindir. Bu nedenle vücutta depolanmaz ve her gün vücuda alınması gerekir.

C Vitamini, oksidasyonla ve yüksek sıcaklıkta termik yolla kolaylıkla parçalanmaktadır. Gıdaların işlenmesi, depolanması ve pişirilmesinde en fazla kaybolan vitamin, C vitaminidir.

Askorbik asit kristalleri kuru koşullarda ve normal oda sıcaklığında, hem gün ışığına ve hem de hava oksijenine karşı uzun süre dirençlidir. PH 7,6'nın altında sulu çözeltilerde ortamda reaksiyonu katalizleyecek bakır iyonları gibi metal iyonları mevcut değilse oksidasyona karşı direnç gösterir. Tersine ortamda uygun katalizör mevcutsa havanın oksijeni ile derhal oksidasyona uğrayarak dehidro askorbik asite dönüşür.



Oluşan dehidro askorbik asit pH 4'ün altında az da olsa kararlıdır, pH 4'ün üzerine çıkıldığında ise, biyolojik aktivitesi olmayan daha ileri aşamadaki ürünlere dönüşmektedir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Deneylerde Kullanılan Kuşburnu Meyvesi

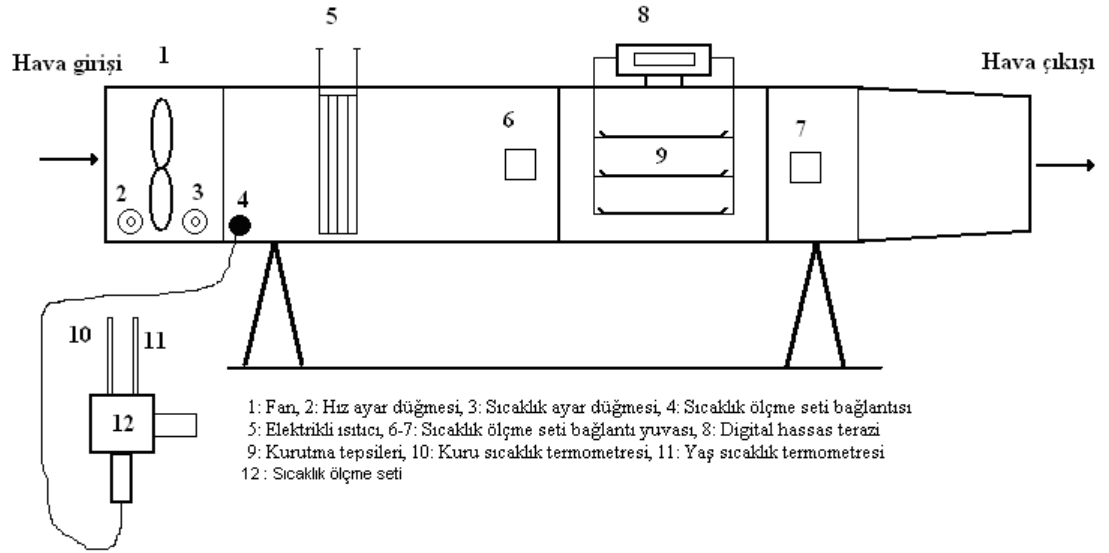
Deneylerde kullanılan kuşburnu meyvesi Elazığ yöresine bağlı Şıhhacı köyü ile Tunceli'nin Pertek ilçesinden Ekim ve Kasım aylarında, olgunlaşmış durumda temin edilmiştir. Meyveler deneylerde kullanılmadan önce sap ve çiçek kısımları ayıklandıktan sonra deneylerde kullanılmak üzere plastik torbalara doldurularak derin dondurucuda saklanmışlardır. Deneylerde kullanılan meyveler ortalama 15 mm eninde, 20 mm boyunda ve tane ağırlığı ortalama 2-3 g arasındadır.

5.2. Deney Düzenekleri

Deneyler iki bölümde yapılmıştır. Birinci bölüm Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan, kurutma havası düz akışlı kanal tipi bir kurutucu kullanılarak yaş kuşburnu meyvesi kurutma deneyleri yapılmıştır. İkinci bölüm deneyleri ise Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Tekniği Laboratuvarında bulunan, kurutma havası dönel akış şeklinde siklon tipi bir kurutucu kullanılarak kurutma deneyleri tamamlanmıştır. Deneylere başlamadan önce kurutucular 30 dakika boş olarak çalıştırılarak kurutma odalarının iç sıcaklıklarında rejim hali sağlanmıştır. Deneyler iki tip kurutucu kullanılarak ısıtıcı havanın düz ve dönel akış hali için 0.5, 1, 1.5 m/s hava hızları ve 50°C, 60 °C, 70 °C hava sıcaklıkları için tekrarlanmıştır.

5.2.1. Düz Akışlı Hava İle Deneylerin Yapıldığı Tepsili Kanal Tip Kurutucu

Deneylerde kullanılan düz hava akışlı tünel tipi tepsili kurutucu fan, elektrikli ısıtıcı, termometreler, kurutma tepsileri, hassas terazi ihtiva etmektedir. Kurutma havası, fan çıkışına yerleştirilen elektrikli direnç telleri vasıtasıyla ısıtılmış olup hava sıcaklığı sıcaklık ayar düğmesiyle sağlanmıştır. Hava hızının kontrolü ise hava çıkışına tutulan hızölçer kullanarak, hızölçer düğmesi ile sağlanmıştır.



Şekil 5.1. Düz akışlı hava ile deneylerin yapıldığı tepsili kanal tip kurutucu şeması



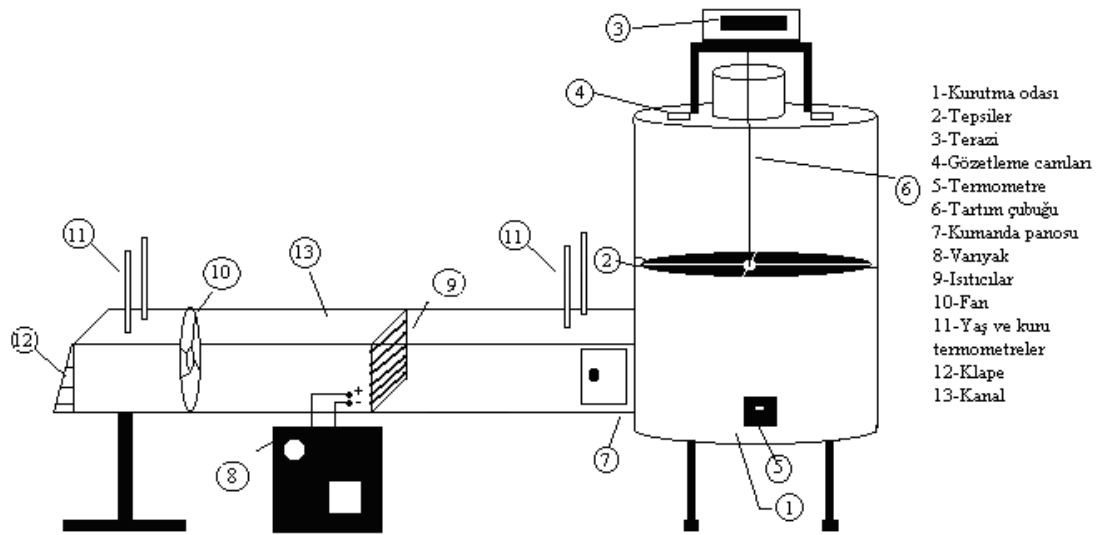
Şekil 5.2. Düz akışlı hava ile deneylerin yapıldığı tepsili kanal tip kurutucu

5.2.2. Dönel Akışlı Hava İle Deneylerin Yapıldığı Siklon Tipi Kurutucu

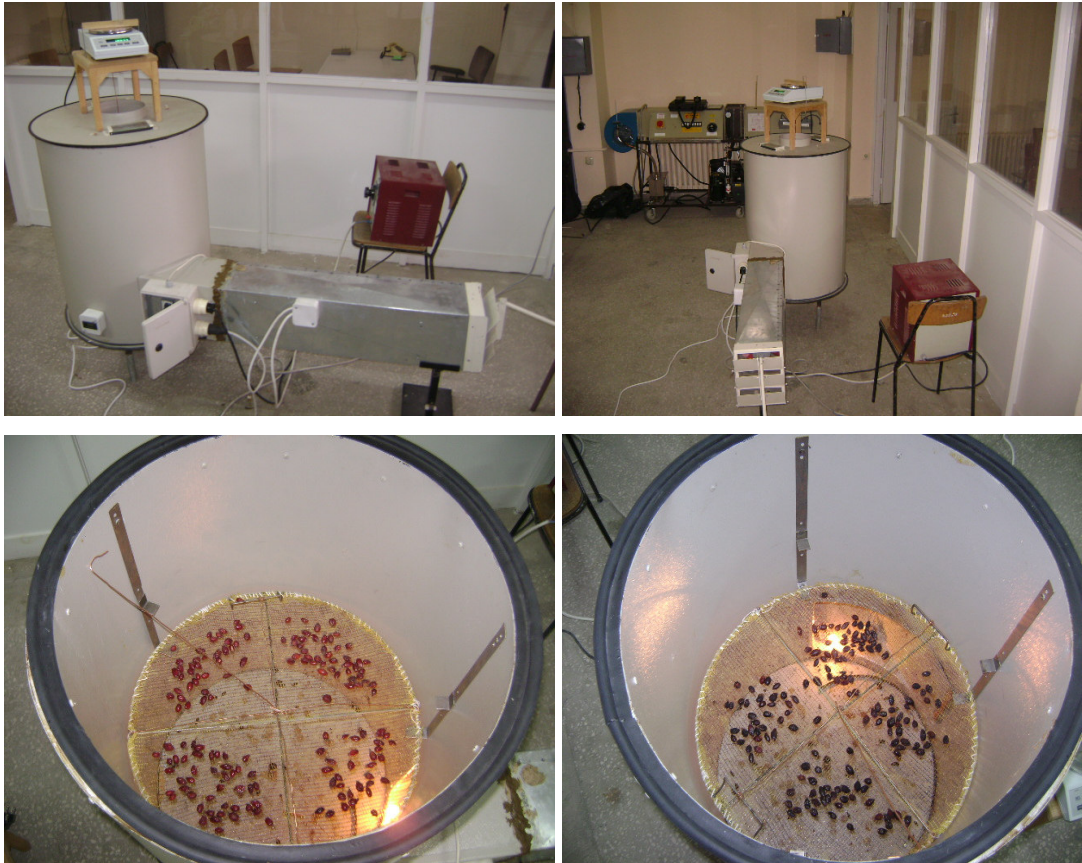
Deney düzeneği üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; hava akımını sağlayan fan, havayı ısıtmak için rezistanslı ısıtıcı ve kontrol panosu, siklon şeklindeki kurutma odası' dır. Kurutma ortamı olarak kullanılan hava eksenel bir fan tarafından sağlanmaktadır. Havanın debisi kanalın girişine takılan klapa ile ayarlanabilmektedir. Isıtıcı gücü 4000 Watt dır. Sistemde kullanılan elektrikli ısıtıcıların elektrik akımı bir varyak yardımıyla ayarlanarak istenilen sıcaklıkta hava akışı sağlanabilmektedir. Hava sisteme kurutma odasının alt tarafından teğetsel olarak girmektedir. Böylece kurutma odasına düz bir akış yerine, dönel akış verilmektedir.

Kurutma odası silindirik olup; 600 mm çapında, 800 mm yüksekliğindedir. Kurutma odası iç içe geçmiş iki silindir şeklinde yapılmış, arada kalan 30 mm' lik mesafeye polistren köpük sıkılarak yalıtım işlemi yapılmıştır. Kurutma odasının hem alt kısmı hem de üst kısmı kapaklı olarak imal edilmiştir. Bu kapaklar deney setinden kolaylıkla sökülebilecek şekilde tasarlanmıştır. Kapaklar da aynı şekilde yalıtılmıştır. Kurutulacak ürünlerin sisteme konulup, alınması üst kapak vasıtasıyla yapılmaktadır. Kurutma işlemi naylon fileden yapılmış dairesel şeklindeki tepside gerçekleşmiştir. Tepsi kurutma odasına üç konumda yerleştirilen pabuçlar üzerinde durmaktadır. Tepsi üzerine çapraz şekilde ince teller atılarak, orta noktalarına bir kanca yerleştirilmiştir. Tartım işlemleri bu kancaya takılan telle bağlantılı hale getirilen teraziyle 15 dakika aralıklarla yapılmıştır. Tartım işleminde tepsinin kurutma odasının cidarına değmemesine ve iyi bir dengeleme yapılmasına özen gösterilmiştir. Şekil 5.3' de deney setinin şematik resmi, Şekil 5.4' ise deney setinin resmi görülmektedir.

Deneylerde hava hızını ve sıcaklığını ölçmek için $\pm \%5$ doğrulukla ölçüm yapan probu pervaneli MEITAV M4000MD marka DIGITAL HVAC ANALYZER cihazı kullanılmıştır. Ağırlık tespiti 0.01 gram duyarlıklı, maksimum 3100 grama kadar ölçüm yapabilen dijital bir teraziyle (BEL) yapılmıştır. Kurutulan ürünün başlangıç ve son nem içerikleri infrared nem tayin cihazıyla (METTLER) belirlenmiştir.



Şekil 5.3. Dönel akışlı hava ile deneylerin yapıldığı siklon tipi kurutucu şeması



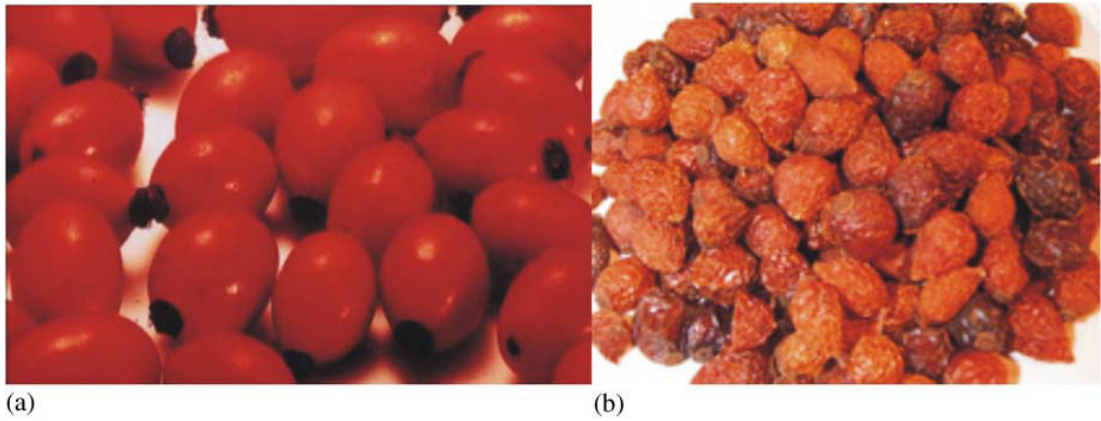
Şekil 5.4. Dönel akışlı hava ile deneylerin yapıldığı siklon tipi kurutucu

5.2.3. C Vitamini Tayini Yöntemi

C vitamini tayininde F.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü laboratuvarında bulunan HPLC kromatografisi yöntemi kullanılmıştır. Her kurutma tipine göre kurutulmuş meyveden 1 gr alınıp dövülmek suretiyle öğütülmüş ve üzerine 2 ml HClO_4 (Perklorik asit) damlatılarak vorteks makinesinde 5 dk karıştırılmıştır. Daha sonra santrfüj makinesinde 4500 rpm de 1 saat karıştırılmış ve sonuçta katı ve sıvı kısımlar ayrılmıştır. Bu sıvı çekilerek cihazın tüplerine otomatik pipetle doldurulmuştur. Bu işlemler toplam 19 numune için yapılarak cihaz tarafından pikler elde edilmiş ve bilgisayar vasıtasıyla bu piklerden askorbik asit miktarları hesaplanmıştır.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kuşburnu meyvesinin kurutulması işlemlerinde meyve dondurucudan çıkarıldıktan sonra donmuş halinin çözünmesi için ortalama 120 dakika dinlendirilmiş ve daha sonra bütün olarak deneylerde kullanılmıştır. Kurutma işlemine kurutma havası hızı, kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası akış tipi önemli olduğundan bu parametrelerin incelenmesi yapılmıştır.



Şekil 6.1. Kuşburnu meyvesinin görünümü: (a) yaş kuşburnu, (b) kuruma sonrası kuşburnu

6.1. DeneySEL Sonuçların Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Hesap Yöntemi

Tarım ürünlerinde bulunan nem miktarı, bünyede tutulmuş bulunan su ağırlığı olarak ele alınır. Su miktarı, % olarak oransal biçimde tanımlanır. Nem miktarının belirlenmesi için Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2 kullanılarak kuru ve yaş temele göre nem oranları saptanır ve Eşitlik 3.3 yardımıyla birbirine çevrilebilir.

Kuruma hızı ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$\frac{dM_{k,t}}{dt} = \left(\frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \right)_{k,t} \quad (6.1)$$

6.2. Laboratuvar Tipi Tepsili Kurutucuda Düz ve Siklon Tipi Kurutucuda Dönel Akışta Yapılan Deneylerin Sonuçları

Kurutulan kuşburnu meyvelerinin başlangıç nem içeriği infrared nem tayin cihazıyla ortalama olarak 1.32 g su/g katı madde tespit edilmiştir. Ürün ve kurutucu ortam havası arasında nem transferinin sona erdiği ve dolayısıyla nem içeriğinin sabit kaldığı 0.20 g su/g katı madde değerinde kurutma işlemine son verilmiştir. Bu değer denge nemi olarak daha sonraki hesaplamalarda kullanılmıştır. Bütün deney şartları için, Eşitlik (3.2) kullanılarak hesaplanan kuru temele göre nem içeriği değerlerinin kuruma süresiyle değişimi sabit sıcaklık şartları ve sabit hız şartları altında değişimi Tablo ve Şekillerle verilmiştir. Ayrıca düz ve dönel akışın mukayeseli olarak değişimi de grafik olarak çizilmiştir.

6.2.1. Kurutma Havası Sıcaklığının Kurutmaya Etkisi

Kurutma sırasında hava sıcaklığının kurutmaya etkisini incelemek amacıyla sabit hava hızlarının 0.5 m/s, 1 m/s ve 1.5 m/s değerlerinde sıcaklıklar değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Kurutma havası sıcaklıkları 50–60–70 °C olarak seçilmiştir. Denemeler sonrasında düz ve dönel akış hali için elde edilen nem içeriği-zaman verileri elde edilmiş ve Tablo 6.1, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3 de birlikte gösterilmiştir. Tablo değerlerinin grafikler halinde gösterimi Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 de topluca gösterilmiştir. Tablo 1 incelenmesi halinde kurutma havasının düz akış hali için, aynı nem içeriğine 0.5 m/s hava hızında; 50 °C sıcaklığında 1105 dakikada, 60 °C de 955 dakikada ve 70 °C de 855 dakikada ulaşılırken kurutma havasının dönel akış hali için ise sırasıyla 855, 750 ve 600 dakikalarda ulaşılmıştır. 1 m/s hava hızı için ise düz akışta 810, 780 ve 600, dönel akışta ise 780, 660, 540 dakikada ve 1.5 m/s hava akışında ise yaklaşık olarak düz kış hali için 810, 630, 540 ve dönel akış için ise 720, 570, 420 dakikada ulaşılmıştır. Kurutma süresi sıcaklığın artışı ile oldukça kısalmıştır. Grafiklerden en uzun kurutma süresinin 50 °C sıcaklıkta $V=0.5$ m/s hız da düz akıştaki, en kısa kurutma süresinin ise 70 °C sıcaklıkta $V=1.5$ m/s de dönel akıştaki deney şartlarında kurutulan kuşburnu meyvelerinden elde edildiği görülmektedir. Deneylerde değişik hava sıcaklıkları, hava hızları ve düz ve dönel

Tablo 6.1. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=0.5$ m/s)

Kurutma havası hızı $V=0.5$ m/s						
Zaman (Dakika)	Nem içeriği (g-nem/g-km)					
	Düz akış			Dönel akış		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581
30	1.253023	1.183023	1.16	1.232907	1.17386	1.123256
60	1.193488	1.100465	1.05093	1.130233	1.062512	0.99407
90	1.113953	1.02093	0.951395	1.040814	0.979837	0.894651
120	1.034419	0.951395	0.878372	0.968023	0.894884	0.798488
150	0.971395	0.89186	0.793488	0.901628	0.835581	0.715465
180	0.928372	0.848837	0.735814	0.845233	0.779186	0.652442
210	0.885	0.805814	0.69	0.795465	0.719419	0.582791
240	0.841	0.762	0.650	0.750698	0.669651	0.526395
270	0.806	0.722791	0.615	0.712558	0.61	0.48
300	0.766	0.682	0.577	0.672791	0.573488	0.440233
330	0.725814	0.645	0.532	0.633023	0.536977	0.400465
360	0.680233	0.603256	0.492	0.585	0.490465	0.360698
390	0.654	0.56	0.47	0.548372	0.453953	0.330093
420	0.619	0.52	0.44	0.501047	0.417442	0.310779
450	0.574	0.485772	0.42	0.46593	0.37093	0.290465
480	0.543	0.460698	0.4	0.440698	0.344419	0.270477
510	0.503	0.44186	0.38	0.424186	0.327907	0.251163
540	0.482	0.420767	0.36	0.407674	0.301395	0.231628
570	0.460698	0.4	0.34	0.381163	0.284884	0.221744
600	0.443	0.38	0.32	0.364651	0.268372	0.208488
630	0.424186	0.36	0.3	0.34814	0.255	0.2013
660	0.4	0.34	0.28	0.320256	0.246	
690	0.38	0.32	0.26	0.301744	0.235	
720	0.36	0.3	0.25	0.288488	0.225	
750	0.341163	0.28	0.24	0.268605	0.215	
780	0.32	0.265	0.23	0.243		
810	0.3	0.265	0.22	0.225		
855	0.27	0.24	0.21	0.21		
955	0.235	0.21				
1105	0.212093					

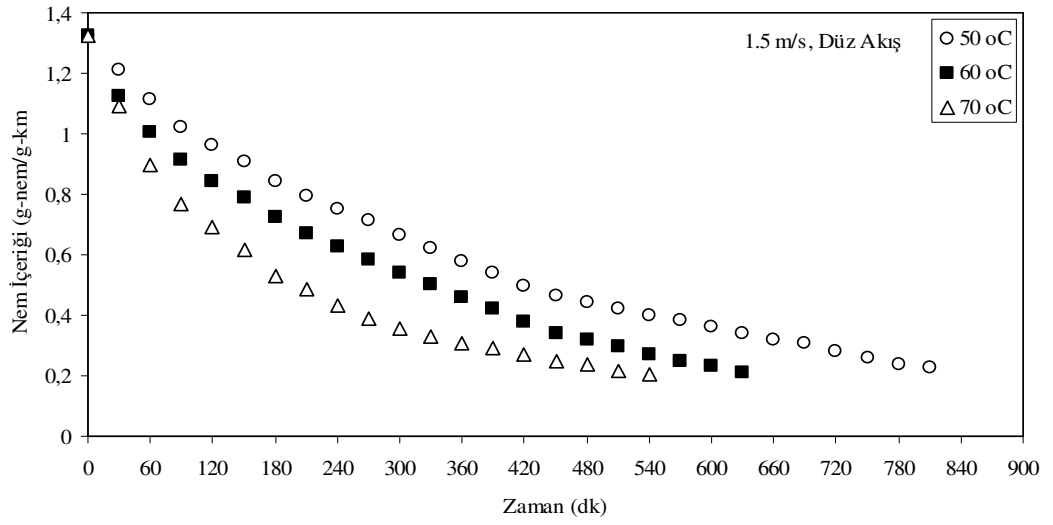
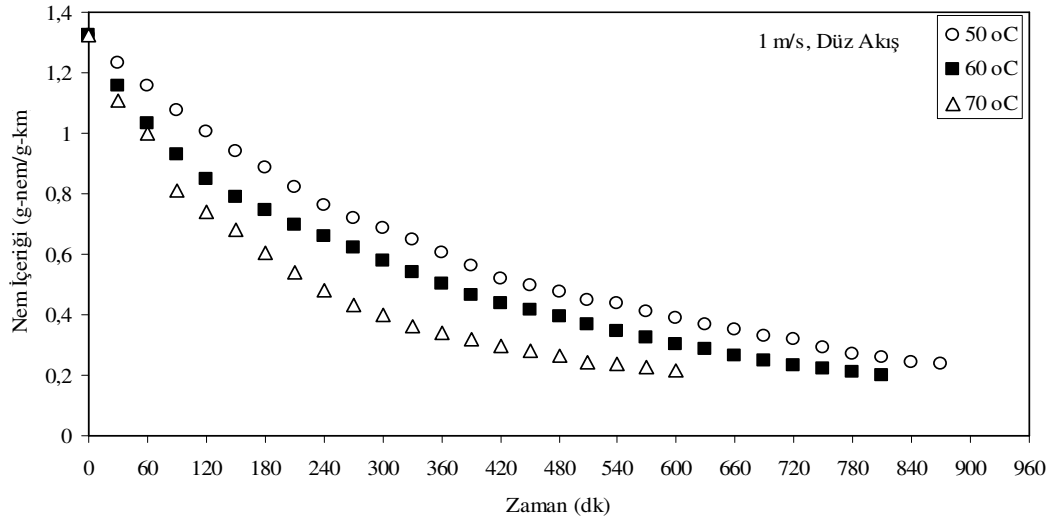
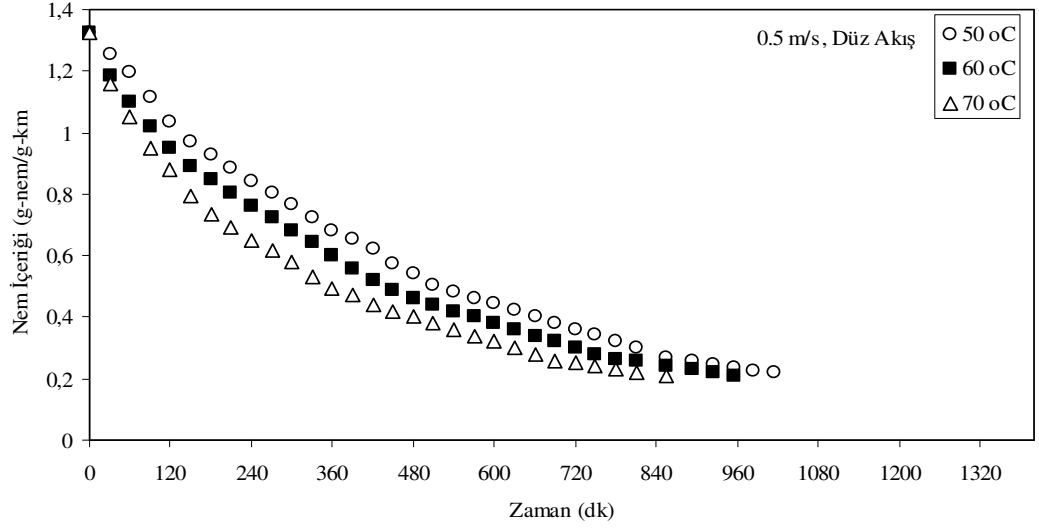
Tablo 6.2. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=1$ m/s)

Kurutma havası hızı $V=1$ m/s						
Zaman (Dakika)	Nem içeriği (g-nem/g-km)					
	Düz akış			Dönel akış		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581
30	1.232	1.155	1.11	1.203023	1.093372	1.056977
60	1.156977	1.032442	0.997442	1.083721	0.982326	0.891279
90	1.074419	0.929884	0.808837	0.984302	0.902791	0.758721
120	1.004884	0.850349	0.739302	0.918023	0.836512	0.652674
150	0.94186	0.787326	0.679767	0.858372	0.77686	0.586395
180	0.888837	0.744302	0.603721	0.805349	0.717209	0.54
210	0.82	0.7	0.54	0.760581	0.670814	0.493605
240	0.76	0.66	0.48	0.712442	0.624419	0.453837
270	0.72	0.62	0.43	0.672674	0.571395	0.410698
300	0.687	0.58	0.397674	0.632907	0.531628	0.375581
330	0.649767	0.54	0.36	0.59314	0.49186	0.341163
360	0.607442	0.503721	0.34	0.553372	0.458721	0.308023
390	0.56	0.465	0.32	0.513605	0.432209	0.281512
420	0.52	0.435698	0.3	0.478837	0.405698	0.248372
450	0.497209	0.415	0.28	0.452326	0.379186	0.22486
480	0.474186	0.395	0.265116	0.425814	0.352674	0.215233
510	0.45	0.365	0.245	0.399302	0.326163	0.206977
540	0.436465	0.345	0.238605	0.372791	0.299651	0.2
570	0.41	0.325	0.227	0.349651	0.273140	
600	0.39	0.305	0.218	0.32314	0.246628	
630	0.37	0.285		0.296628	0.220116	
660	0.35	0.265		0.270116	0.200233	
750	0.291628	0.22		0.236977		
780	0.27	0.21		0.230349		
810	0.257					

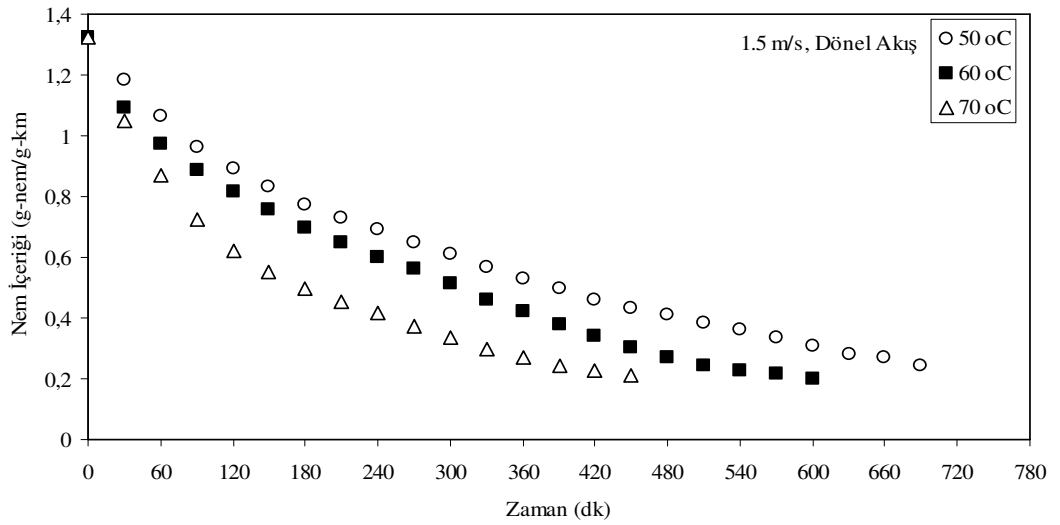
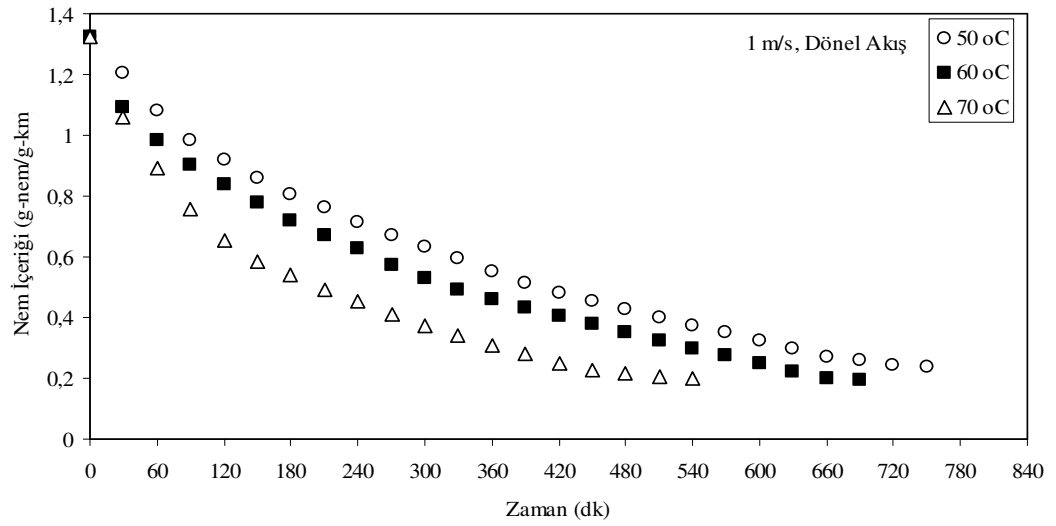
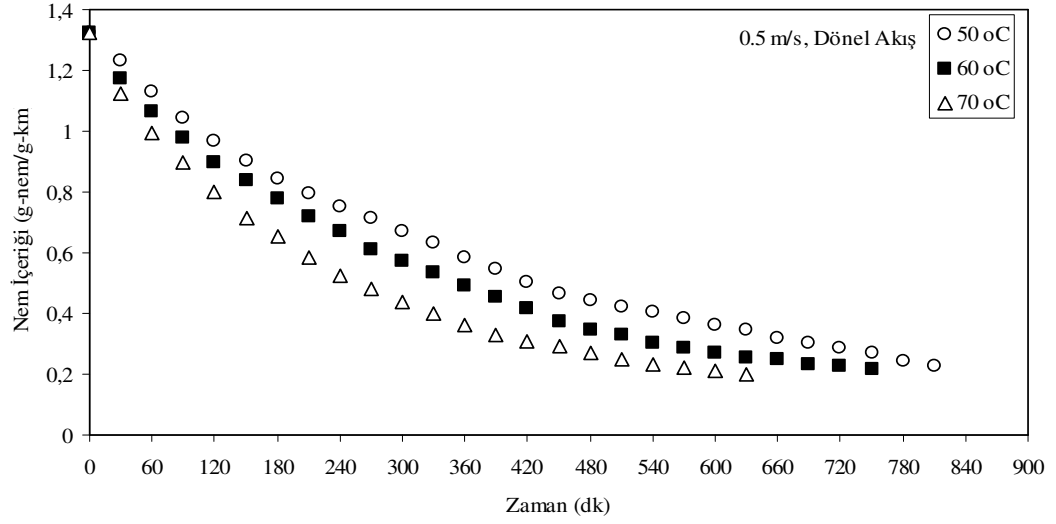
akış şekillerine göre 465-1105 dakika arasında değişen kuruma zamanları elde edilmiştir. Sabit hava hızında yapılan kurutmada sıcaklık arttıkça nem içeriğinde belirgin bir şekilde daha hızlı bir azalma görülmekte, ayrıca kurutma süresi de azalmaktadır. Kuruma hızındaki artışta kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası hızına göre daha etkili olmaktadır.

Tablo 6.3. Kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi ($V=1.5$ m/s)

Kurutma havası hızı $V=1.5$ m/s						
Zaman (saat)	Nem içeriği (g-nem/g-km)					
	Düz akış			Dönel akış		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581
30	1.21	1.123953	1.09	1.184884	1.090116	1.050349
60	1.11093	1.004884	0.9	1.065581	0.970814	0.871395
90	1.021395	0.91186	0.77	0.959535	0.884651	0.725581
120	0.96186	0.842326	0.69	0.893256	0.818372	0.619535
150	0.908837	0.789302	0.616279	0.833605	0.758721	0.553256
180	0.845814	0.726279	0.530233	0.773953	0.69907	0.496977
210	0.792791	0.669302	0.487209	0.729186	0.646047	0.453953
240	0.75	0.626279	0.434186	0.689419	0.599651	0.417558
270	0.715814	0.58186	0.391163	0.649651	0.559884	0.370579
300	0.662791	0.54	0.354651	0.609884	0.513488	0.334767
330	0.62	0.503721	0.33	0.565233	0.460465	0.295
360	0.58	0.46	0.31014	0.532093	0.420698	0.27186
390	0.540465	0.420698	0.291628	0.497326	0.38093	0.241977
420	0.5	0.38	0.27	0.457558	0.341163	0.228721
450	0.467209	0.34	0.25	0.431047	0.301395	0.208837
480	0.440698	0.321163	0.238605	0.412791	0.268256	
510	0.42	0.29814	0.215	0.386279	0.241744	
540	0.4	0.271628	0.206	0.361395	0.228488	
570	0.38186	0.25		0.334884	0.215233	
600	0.361163	0.23		0.308372	0.201977	
630	0.34	0.210465		0.28186		
660	0.32			0.268605		
690	0.30814			0.245349		
720	0.281628			0.22		
780	0.24					
810	0.228605					



Şekil 6.2. Düz akışta kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi



Şekil 6.3. Dönel akışta kurutma havası sıcaklığının kurumaya etkisi

6.2.2. Kurutma Havası Hızının Kurutmaya Etkisi

Kuşburnu meyvesinin iki farklı tip kurutucuda kurutulmasında hava hızının ne ölçüde etkilediğinin tespiti için üç farklı hava hızında deneyler yapılmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar Tablo 6.4, Tablo 6.5, Tablo 6.6 verilirken bu sonuçlara ait grafikler ise Şekil 6.3 ve Şekil 6.4 de topluca verilmiştir. Tablo ve Şekillerin incelenmesinde, kurumanın başlangıç aşamalarında hava hızının etkisi daha fazla olmakta, ileri ki aşamalarda bu etkinin azaldığı gözükmemektedir. Özellikle 70 °C kurutma havası giriş sıcaklığında yapılan kurutmada hızın etkisi daha belirgin olmakta, 60 ve 50 °C de ise hızın etkisi daha az olmakta bu nedenle nem içerikleri birbirine çok yakın bir azalma göstermektedir. Ancak grafiklerden kurutma havası hızı arttıkça kurutma süresinde bir miktar azalma olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 6.4, 6.5 ve 6.6 ile Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 incelenmesi sonunda hava hızlarının etkisi az derecede de olsa kurumayı etkilediği görülmektedir. Bu nedenle kurumayı kontrol eden adımın katı içinden difüzyon olduğu fikrini uyandırmaktadır.

Tablo 6.4. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi (T=50°C)

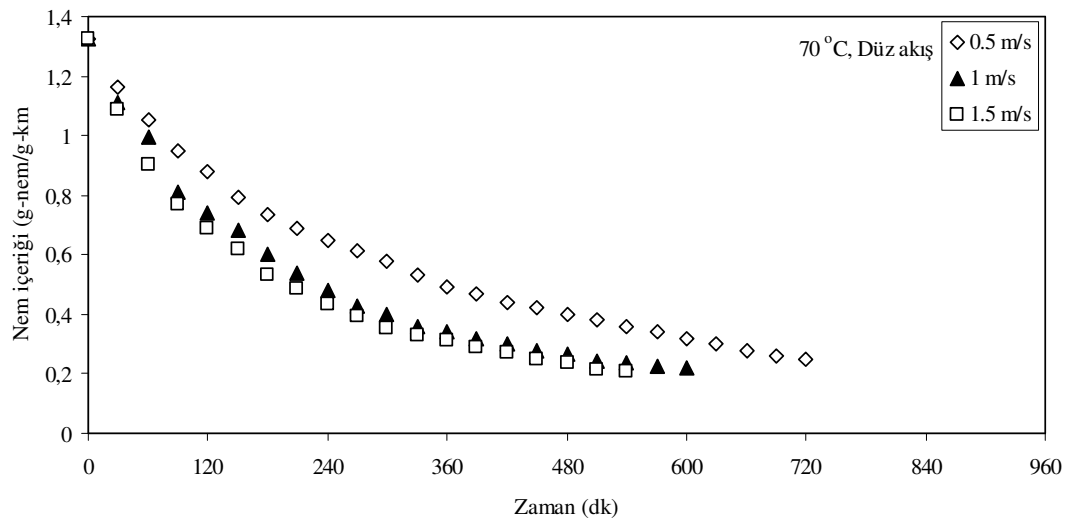
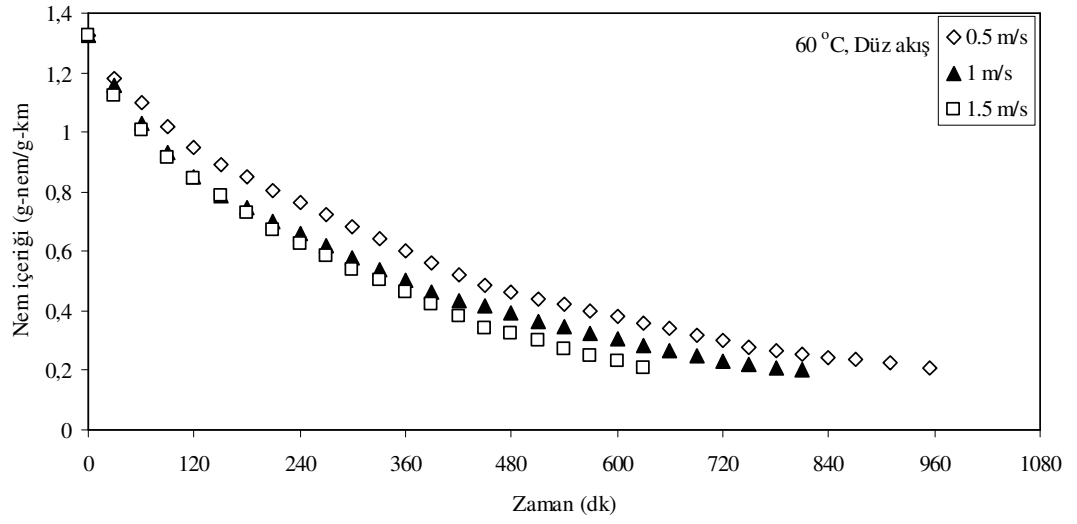
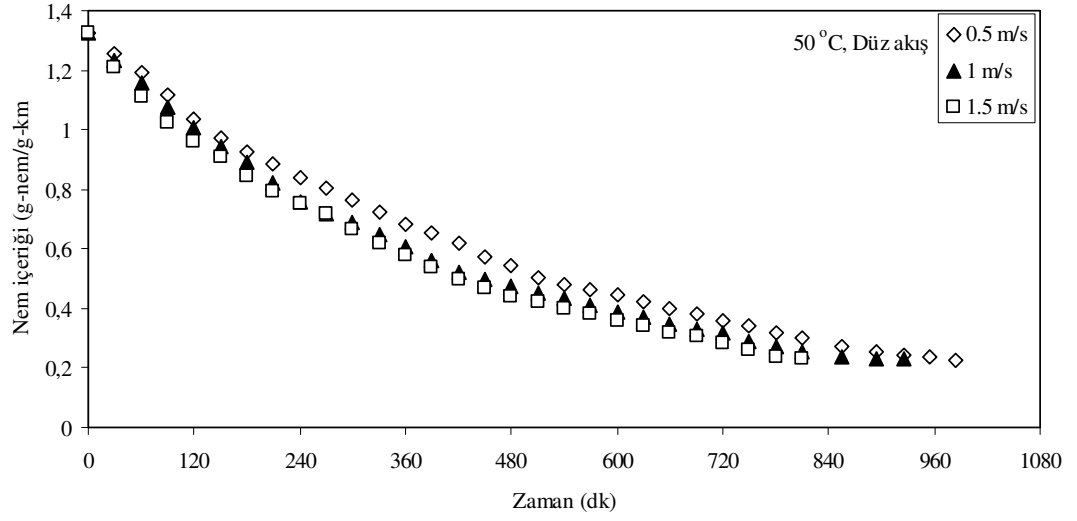
Kurutma havası sıcaklığı T=50°C						
Zaman (saat)	Nem içeriği (g-nem/g-km)					
	Düz akış			Dönel akış		
	0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s	0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s
0	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581
30	1.253023	1.232	1.21	1.232907	1.203023	1.184884
60	1.193488	1.156977	1.11093	1.130233	1.083721	1.065581
90	1.113953	1.074419	1.021395	1.040814	0.984302	0.959535
120	1.034419	1.004884	0.96186	0.968023	0.918023	0.893256
150	0.971395	0.94186	0.908837	0.901628	0.858372	0.833605
180	0.928372	0.888837	0.845814	0.845233	0.805349	0.773953
210	0.885	0.82	0.792791	0.795465	0.760581	0.729186
240	0.841	0.76	0.75	0.750698	0.712442	0.689419
270	0.806	0.72	0.715814	0.712558	0.672674	0.649651
300	0.766	0.687	0.662791	0.672791	0.632907	0.609884
330	0.725814	0.649767	0.62	0.633023	0.59314	0.565233
360	0.680233	0.607442	0.58	0.585	0.553372	0.532093
390	0.654	0.56	0.540465	0.548372	0.513605	0.497326
420	0.619	0.52	0.5	0.501047	0.478837	0.457558
450	0.574	0.497209	0.467209	0.46593	0.452326	0.431047
480	0.543	0.474186	0.440698	0.440698	0.425814	0.412791
510	0.503	0.45	0.42	0.424186	0.399302	0.386279
540	0.482	0.436465	0.4	0.407674	0.372791	0.361395
570	0.460698	0.41	0.38186	0.381163	0.349651	0.334884
600	0.443	0.39	0.361163	0.364651	0.32314	0.308372
630	0.424186	0.37	0.34	0.34814	0.296628	0.28186
660	0.4	0.35	0.32	0.320256	0.270116	0.268605
690	0.38	0.33	0.30814	0.301744	0.25686	0.245349
720	0.36	0.31814	0.281628	0.288488	0.243605	0.22
750	0.341163	0.291628	0.26	0.268605	0.236977	
780	0.32	0.27	0.24	0.243	0.230349	
810	0.3	0.257	0.228605	0.225		
855	0.27	0.24		0.21		
955	0.235					
1105	0.212093					

Tablo 6.5. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi (T=60°C)

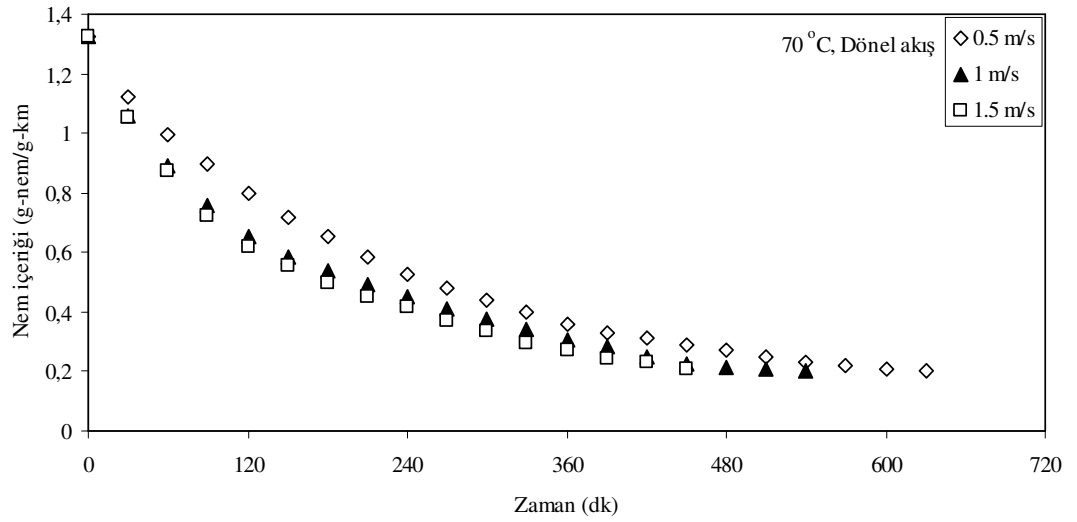
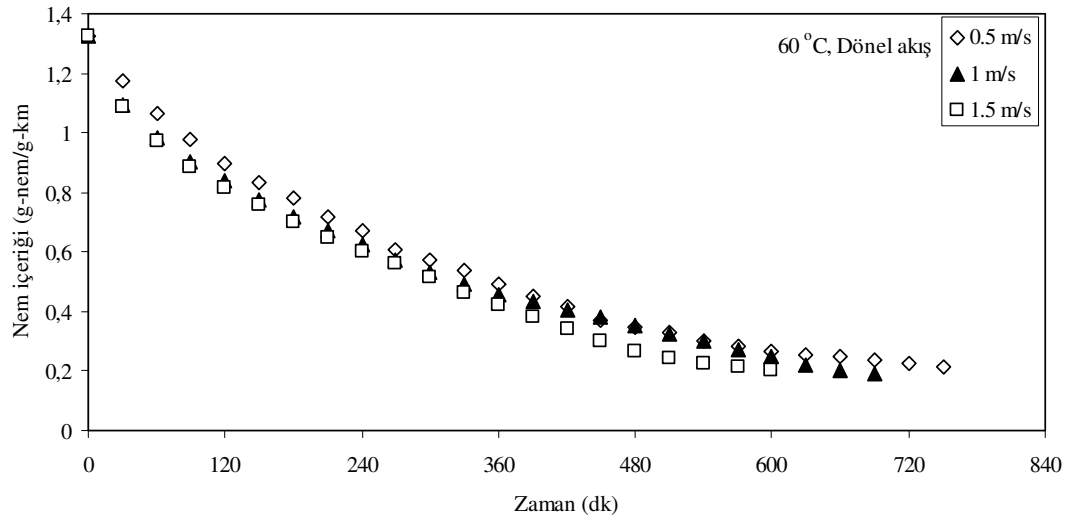
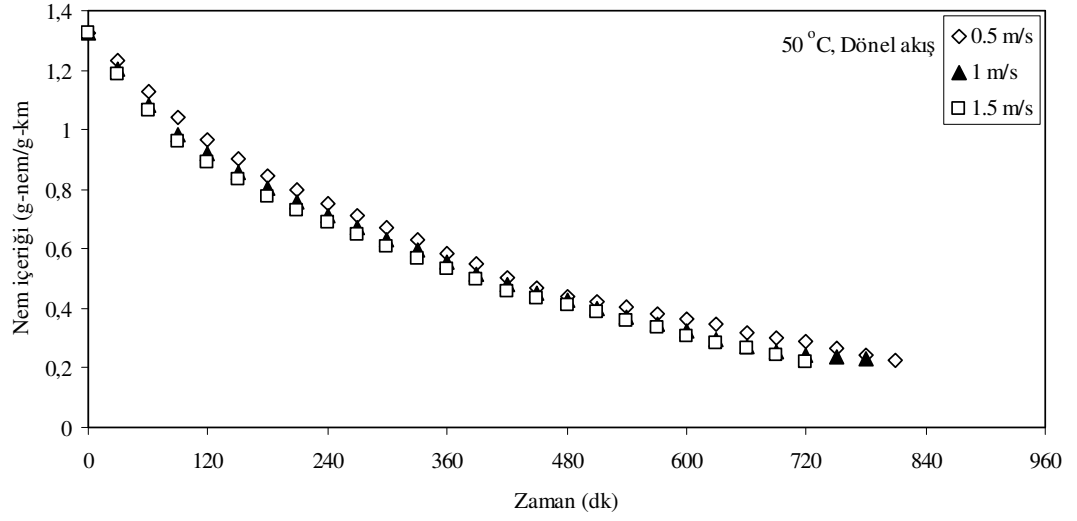
Kurutma havası sıcaklığı T=60°C						
Zaman (saat)	Nem içeriği (g-nem/g-km)					
	Düz akış			Dönel akış		
	0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s	0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s
0	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581
30	1.183023	1.155	1.123953	1.17386	1.093372	1.090116
60	1.100465	1.032442	1.004884	1.062512	0.982326	0.970814
90	1.02093	0.929884	0.91186	0.979837	0.902791	0.884651
120	0.951395	0.850349	0.842326	0.894884	0.836512	0.818372
150	0.89186	0.787326	0.789302	0.835581	0.77686	0.758721
180	0.848837	0.744302	0.726279	0.779186	0.717209	0.69907
210	0.805814	0.7	0.669302	0.719419	0.670814	0.646047
240	0.762	0.66	0.626279	0.669651	0.624419	0.599651
270	0.722791	0.62	0.58186	0.61	0.571395	0.559884
300	0.682	0.58	0.54	0.573488	0.531628	0.513488
330	0.645	0.54	0.503721	0.536977	0.49186	0.460465
360	0.603256	0.503721	0.46	0.490465	0.458721	0.420698
390	0.56	0.465	0.420698	0.453953	0.432209	0.38093
420	0.52	0.435698	0.38	0.417442	0.405698	0.341163
450	0.485772	0.415	0.34	0.37093	0.379186	0.301395
480	0.460698	0.395	0.321163	0.344419	0.352674	0.268256
510	0.44186	0.365	0.29814	0.327907	0.326163	0.241744
540	0.420767	0.345	0.271628	0.301395	0.299651	0.228488
570	0.4	0.325	0.25	0.284884	0.273140	0.215233
600	0.38	0.305	0.23	0.268372	0.246628	0.201977
630	0.36	0.285	0.210465	0.255	0.220116	
660	0.34	0.265		0.246	0.200233	
690	0.32	0.250116		0.235		
720	0.3	0.23		0.225		
750	0.28	0.22		0.215		
780	0.265	0.21				
810	0.255					
855	0.24					
955	0.21					

Tablo 6.6. Kurutma havası hızının kurumaya etkisi (T=70°C)

Kurutma havası sıcaklığı T=70°C						
Zaman (saat)	Nem içeriği (g-nem/g-km)					
	Düz akış			Dönel akış		
	0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s	0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s
0	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581	1.325581
30	1.16	1.11	1.09	1.123256	1.056977	1.050349
60	1.05093	0.997442	0.9	0.99407	0.891279	0.871395
90	0.951395	0.808837	0.77	0.894651	0.758721	0.725581
120	0.878372	0.739302	0.69	0.798488	0.652674	0.619535
150	0.793488	0.679767	0.616279	0.715465	0.586395	0.553256
180	0.735814	0.603721	0.530233	0.652442	0.54	0.496977
210	0.69	0.54	0.487209	0.582791	0.493605	0.453953
240	0.650	0.48	0.434186	0.526395	0.453837	0.417558
270	0.615	0.43	0.391163	0.48	0.410698	0.370579
300	0.577	0.397674	0.354651	0.440233	0.375581	0.334767
330	0.532	0.36	0.33	0.400465	0.341163	0.295
360	0.492	0.34	0.31014	0.360698	0.308023	0.27186
390	0.47	0.32	0.291628	0.330093	0.281512	0.241977
420	0.44	0.3	0.27	0.310779	0.248372	0.228721
450	0.42	0.28	0.25	0.290465	0.22486	0.208837
480	0.4	0.265116	0.238605	0.270477	0.215233	
510	0.38	0.245	0.215	0.251163	0.206977	
540	0.36	0.238605	0.206	0.231628	0.2	
570	0.34	0.227		0.221744		
600	0.32	0.218		0.208488		
630	0.3			0.2013		
660	0.28					
690	0.26					
720	0.25					
750	0.24					
780	0.23					
810	0.22					
855	0.21					

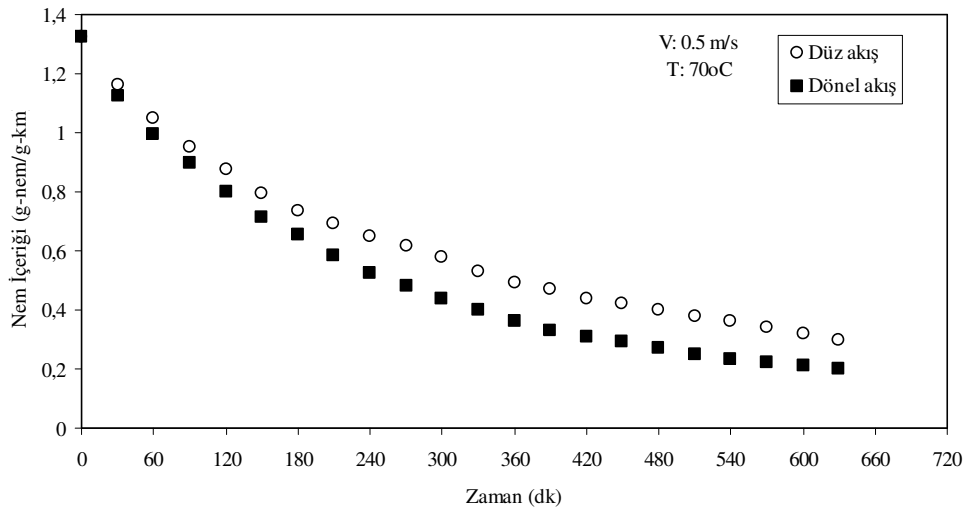
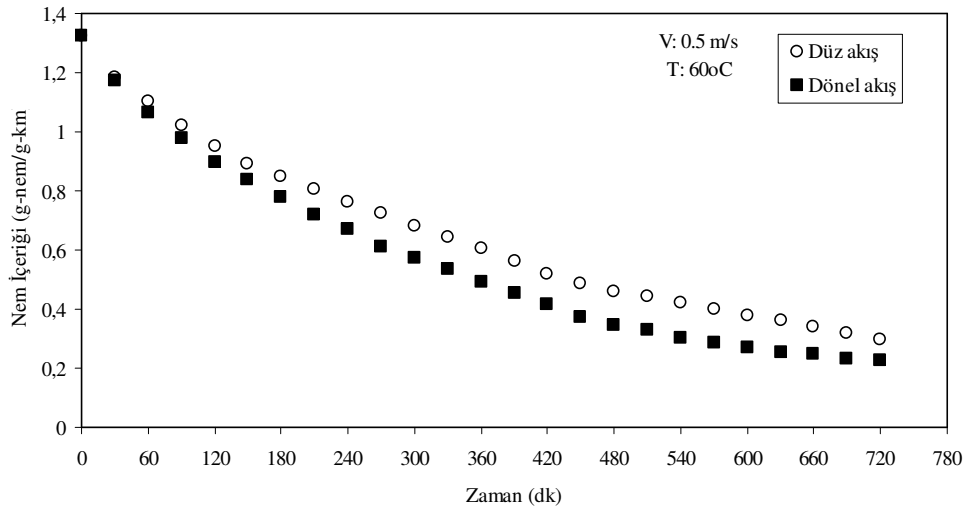
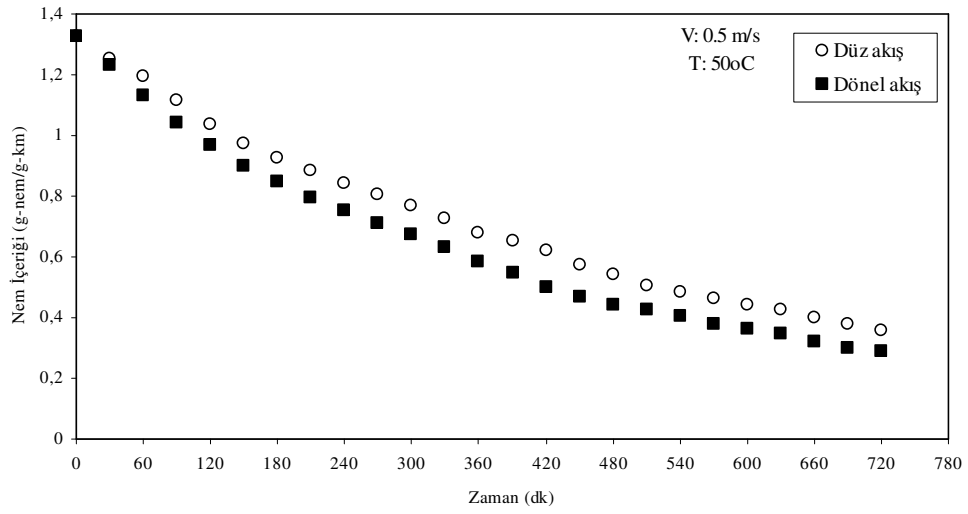


Şekil 6.4. Düz akışta kurutma havası hızının kurumaya etkisi

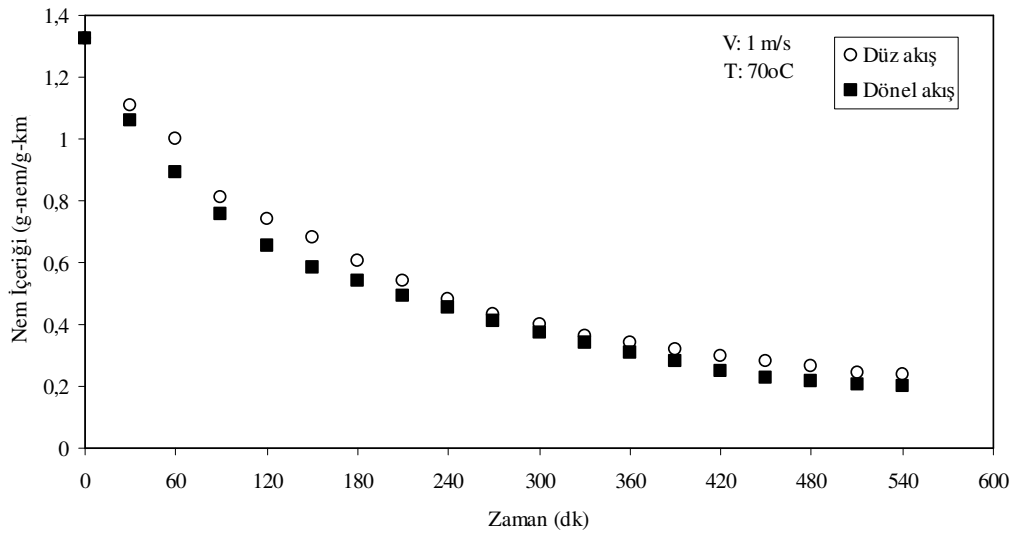
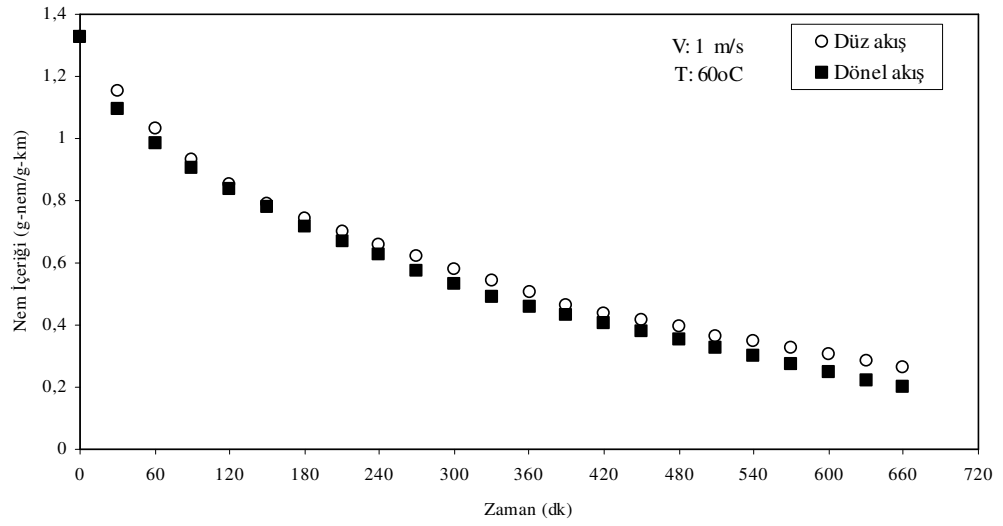
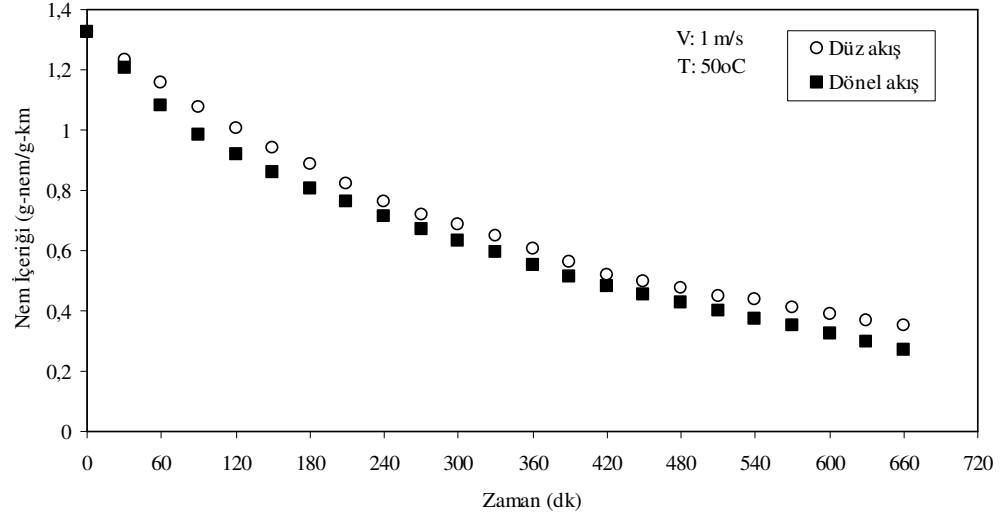


Şekil 6.5. Dönel akışta kurutma havası hızının kurumaya etkisi

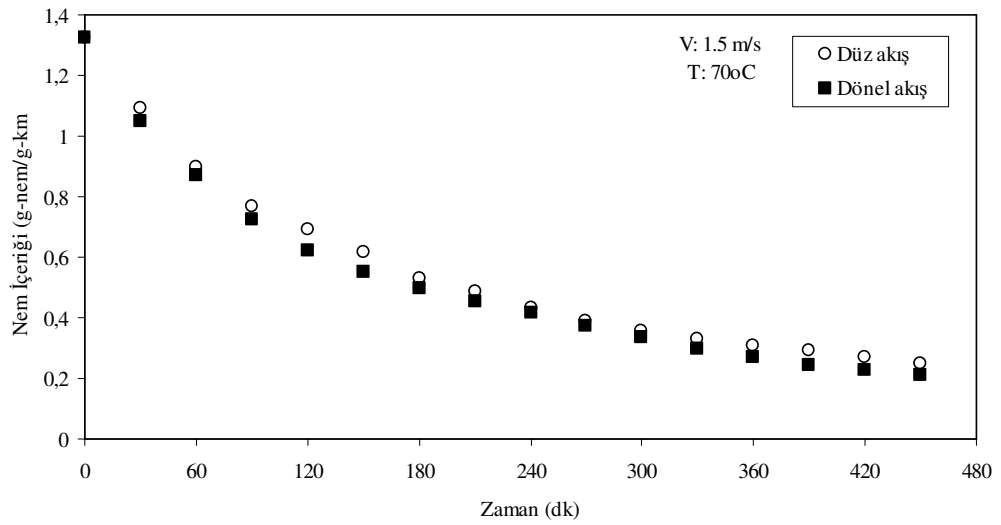
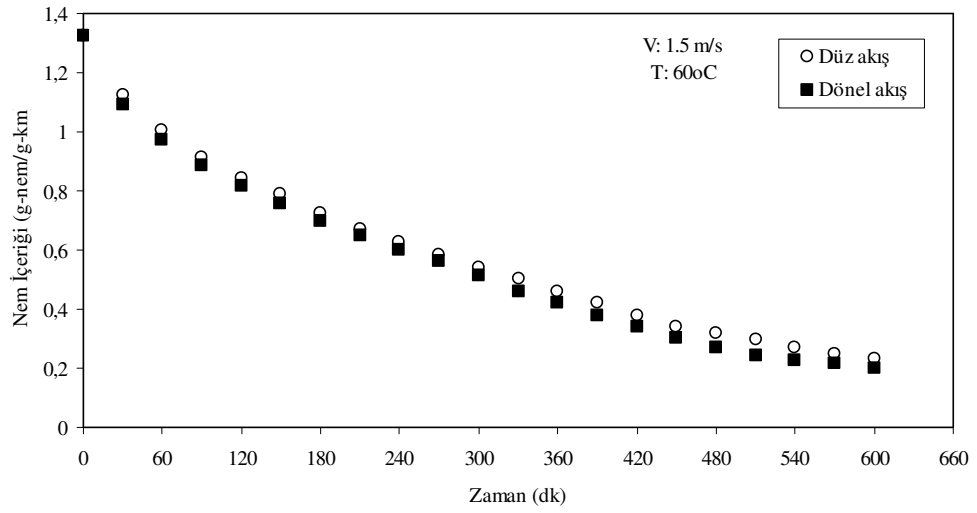
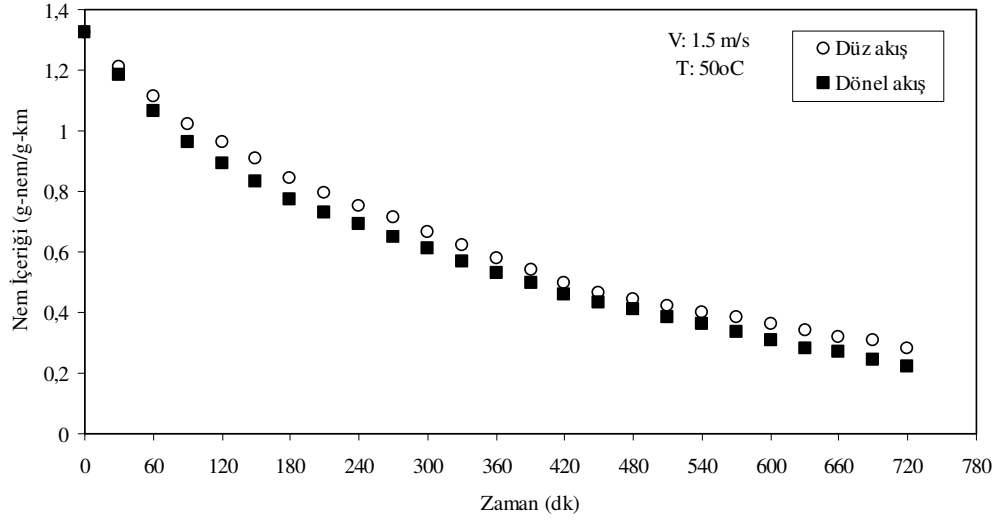
6.2.3. Kurutma Havası Akış Tipinin Kurutmaya Etkisi



Şekil 6.6. Kurutma havası akış tipinin kurutmaya etkisi (V: 0.5 m/s)



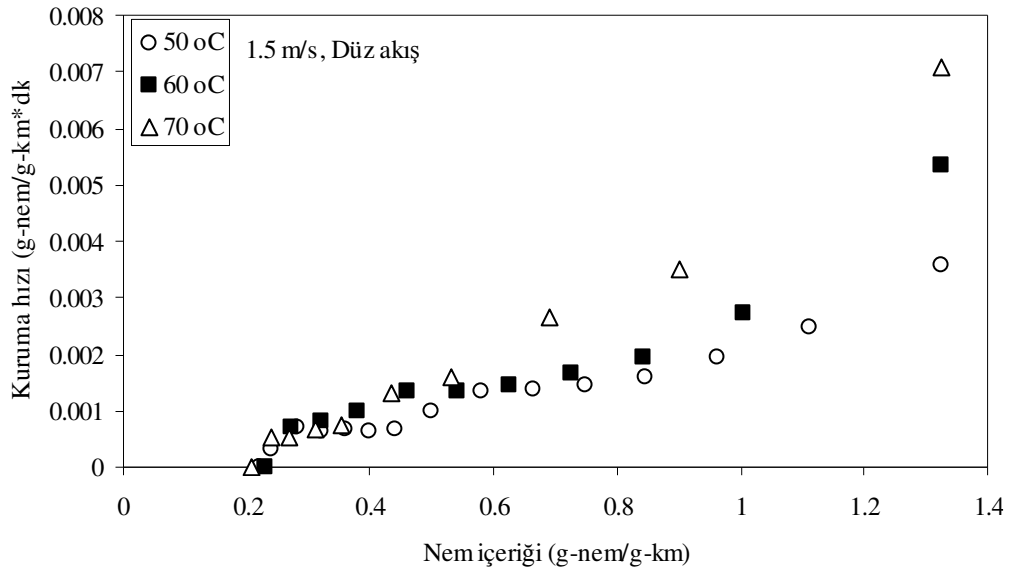
Şekil 6.7. Kurutma havası akış tipinin kurumaya etkisi (V: 1 m/s)



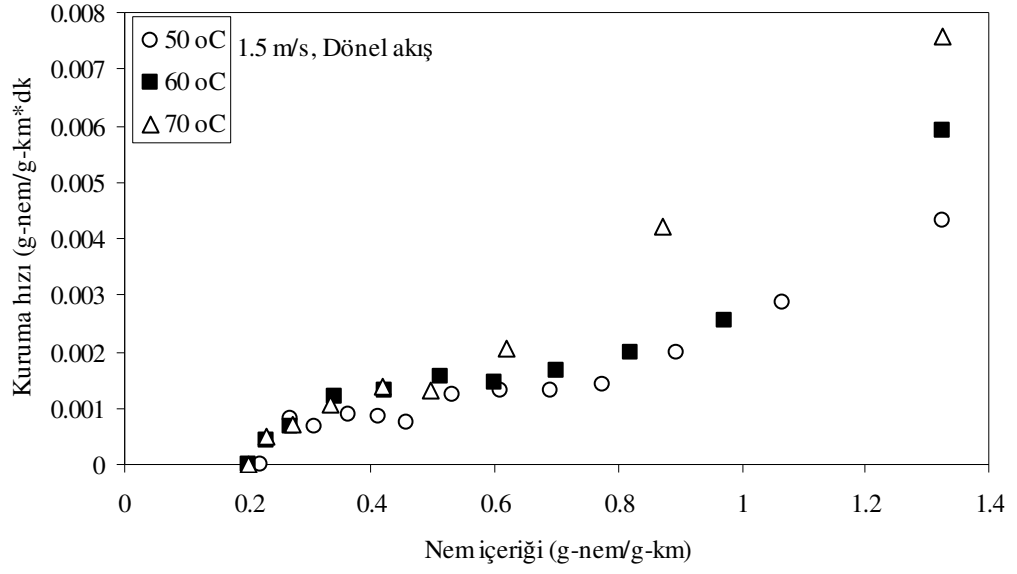
Şekil 6.8. Kurutma havası akış tipinin kurumaya etkisi (V: 1,5 m/s)

6.2.4. Kuruma Hızı-Nem İçeriği İlişkisi ve Kuruma Modeli

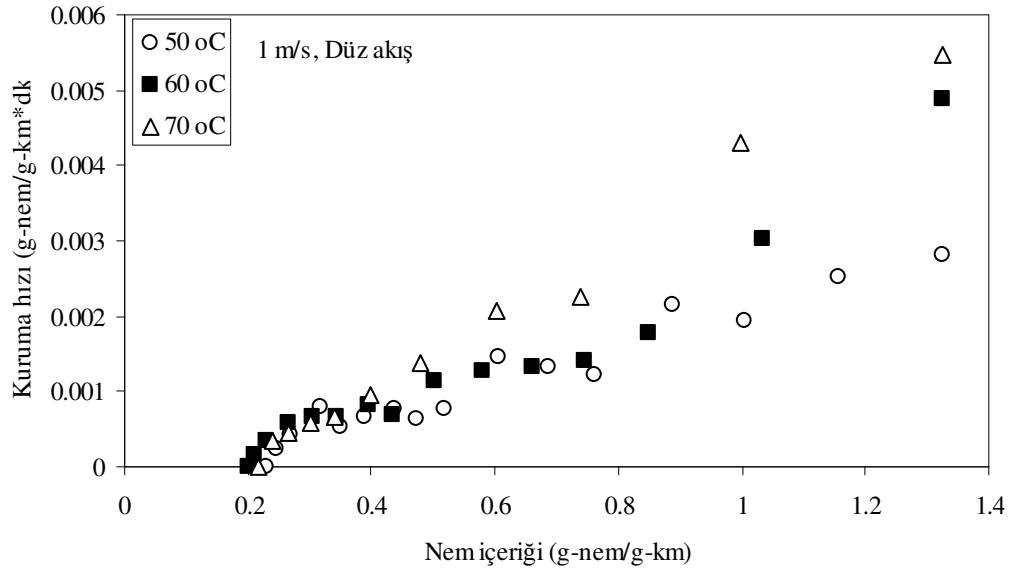
Eşitlik (6.1) yardımı ile kuru temele göre nem içeriğindeki değişimin zamana göre türevi alınarak kuruma hızı belirlenmiş ve her bir zaman aralığı için grafiğe geçirilmiştir. Sabit kurutma havası hızı ve farklı kurutma havası sıcaklıkları için kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi ise Şekil 6.8-6.19' da verilmiştir. Kuruma olayı azalan kuruma hızı periyodunda gerçekleşmiş, deneysel verilerde sabit kuruma hızı periyodu gözlenmemiştir. Kurutma havası sıcaklığı ve hızı arttıkça nem içeriğinde ve kuruma süresinde belirgin bir şekilde hızlı bir azalma görülmüş, ayrıca kuruma hızı da artmıştır (Şekil 6.8-13). Dönel akış şartlarında düz akış şartlarına göre daha hızlı bir kuruma hızı elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, en yüksek kuruma hızı 70 °C kurutma havası sıcaklığında 1.5 m/s kurutma havası hızında dönel akış şartlarında, en düşük kuruma hızı ise 50 °C kurutma havası sıcaklığında 0.5 m/s kurutma havası hızında düz akış şartlarında elde edilmiştir. Sıcaklık artışının kuruma hızı üzerindeki bu etkisi, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin düşmesinden ve dolayısıyla difüzyon olayının hızlanmasından kaynaklanmaktadır. Kuruma hızındaki artışta hava hızının etkisi hava sıcaklığına göre daha az olmuştur. Kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma sırasında daima durgun bir buhar filmi oluşmaktadır. Hava hızı, bu buhar filmini devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunmaktadır.



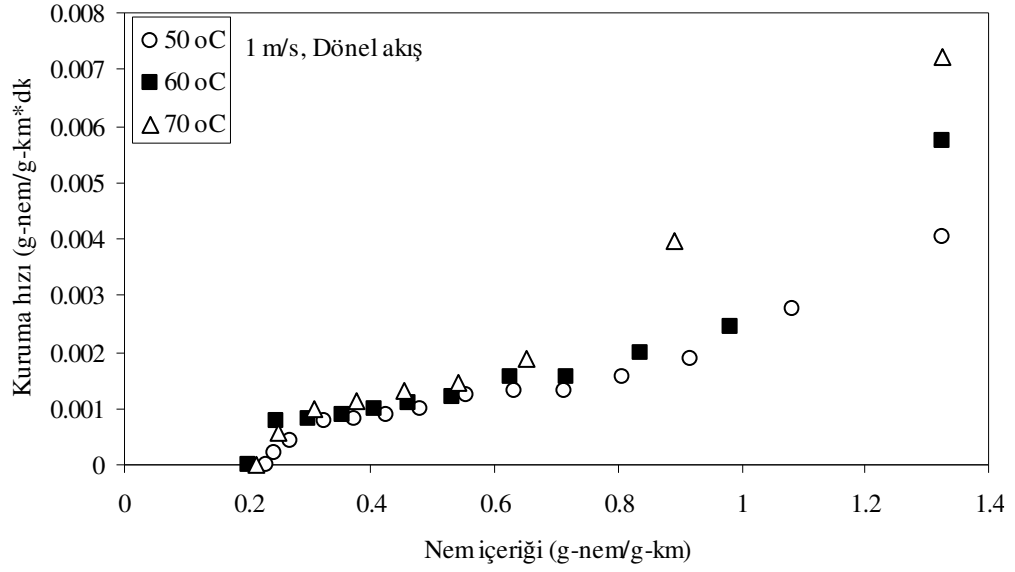
Şekil 6.9. 1.5 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de düz akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi



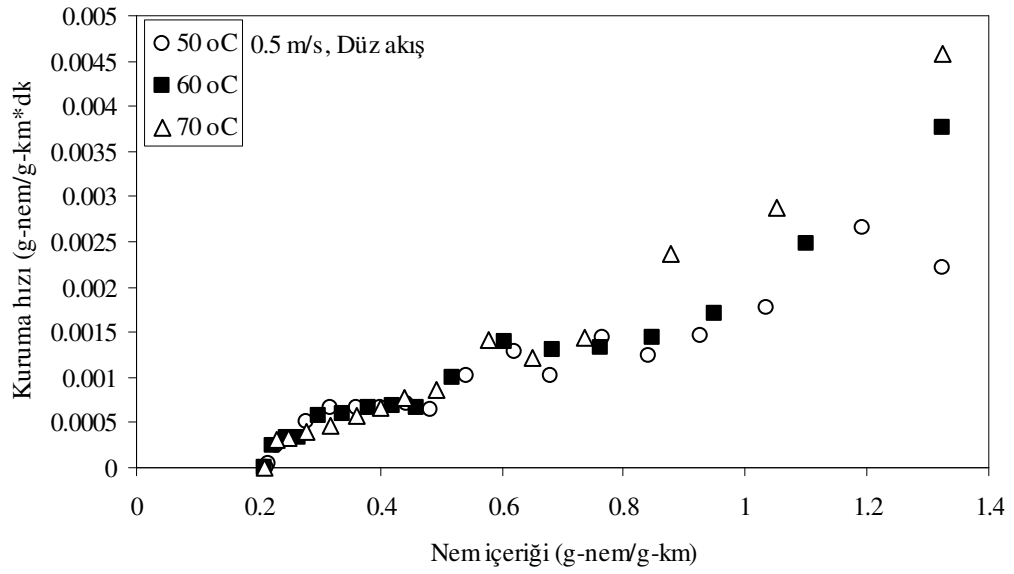
Şekil 6.10. 1.5 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de dönel akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi



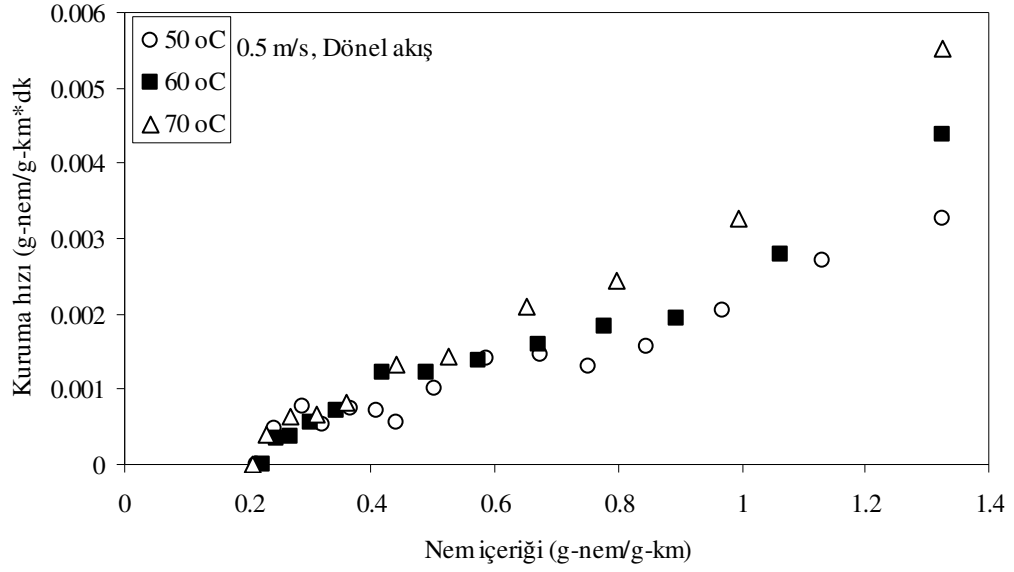
Şekil 6.11. 1 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de düz akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi



Şekil 6.12. 1 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de dönel akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi



Şekil 6.13. 0.5 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de düz akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi



Şekil 6.14. 0.5 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de dönel akışta kurutulan kuşburnunun kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi

Kuşburnu örneklerinin nem içeriği ile kuruma hızındaki değişimi veren eşitlikler Tablo 6.7 ‘de verilmiştir. Kuruma hızının nem içeriğiyle değişimi üstel bir ($\frac{dM}{dt} = a.M^b$) eşitlikle ifade edilmiştir. Kullanılan ampirik ifadenin regresyon katsayısı (R^2) 0.65 -0.87 arasında değişmektedir.

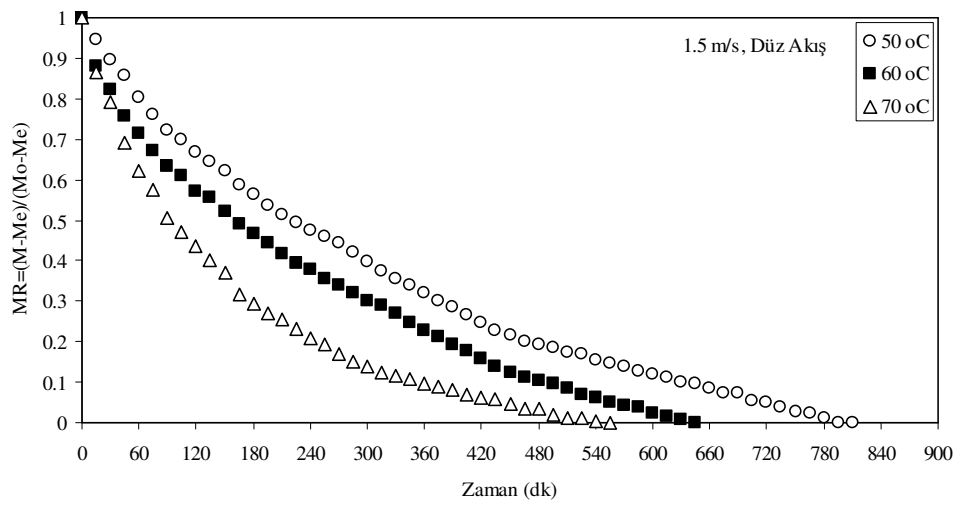
Tablo 6. 7. Kuşburnu Örnekleri İçin Nem İçeriği ile Kuruma Hızındaki Değişimi Veren Ampirik İfade ve Regresyon Katsayısı Değerler

0.5 m/s	Dönel Akış	Düz Akış
50 °C	$= 0.0021 * M^{1.1076}$, $R^2 = 0.908$	$= 0.002 * M^{1.4312}$, $R^2 = 0.7583$
60 °C	$= 0.0028 * M^{1.3611}$, $R^2 = 0.9544$	$= 0.0022 * M^{1.1319}$, $R^2 = 0.9586$
70 °C	$= 0.0036 * M^{1.4121}$, $R^2 = 0.9851$	$= 0.0027 * M^{1.513}$, $R^2 = 0.9873$
1 m/s		
50 °C	$= 0.0025 * M^{1.3351}$, $R^2 = 0.9115$	$= 0.0021 * M^{1.2579}$, $R^2 = 0.9097$
60 °C	$= 0.0027 * M^{1.0802}$, $R^2 = 0.8991$	$= 0.0027 * M^{1.4432}$, $R^2 = 0.9201$
70 °C	$= 0.0043 * M^{1.4383}$, $R^2 = 0.9626$	$= 0.004 * M^{1.6291}$, $R^2 = 0.9878$
1.5 m/s		
50 °C	$= 0.0024 * M^{1.0686}$, $R^2 = 0.8775$	$= 0.0022 * M^{1.1739}$, $R^2 = 0.9427$
60 °C	$= 0.0031 * M^{1.1795}$, $R^2 = 0.9042$	$= 0.0028 * M^{1.1284}$, $R^2 = 0.9327$
70 °C	$= 0.0048 * M^{1.508}$, $R^2 = 0.9808$	$= 0.0044 * M^{1.5738}$, $R^2 = 0.9881$

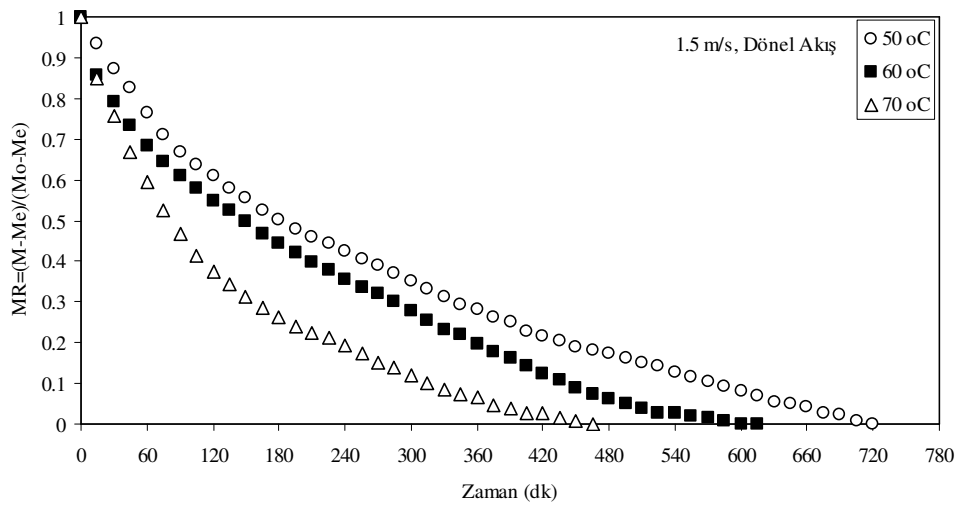
Nem içeriğinin zamana göre değişimi eğrilerinden kurumaya son verilen noktadaki nem içerikleri denge nem içeriği ($0.20 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{katımadde}}$) olarak kullanılmıştır.

Her bir zaman dilimi için boyutsuz nem oranları $\left(\frac{M - M_e}{M_o - M_e} \right)$ belirlenmiştir. Şekil

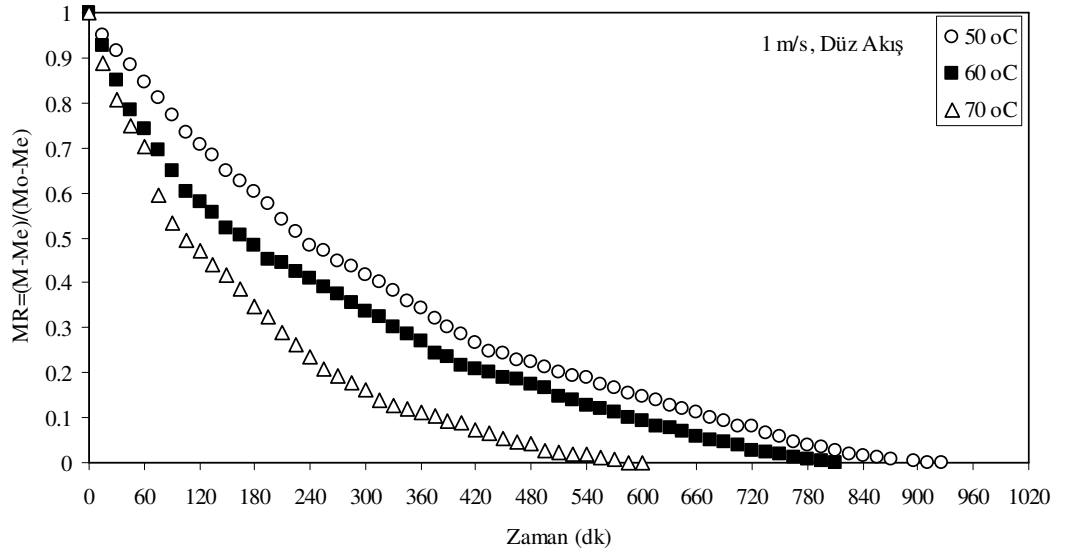
6.14- 6.19' da aynı kurutma havası hızında farklı kurutma havası giriş sıcaklıklarında, düz ve dönel akış şartlarında kurutulan örneklerin zamanla boyutsuz nem oranındaki değişim görülmektedir. Grafiklerden dönel akış şartlarında kurutulan kuşburnunun düz akış şartlarına göre daha kısa sürede kuruduğu ve daha kısa sürede daha düşük nem oranlarına inildiği görülmektedir.



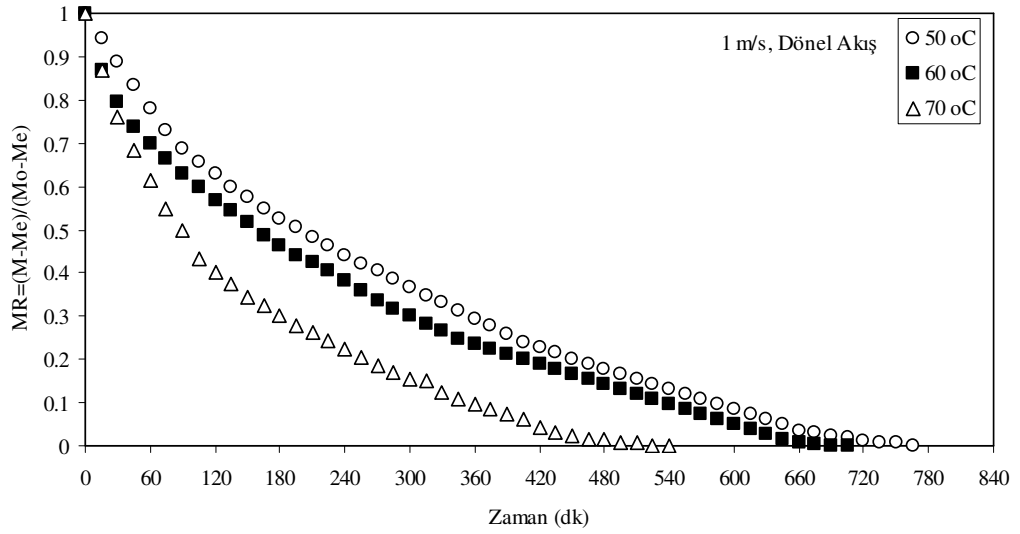
Şekil 6.15. 1.5 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de düz akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi



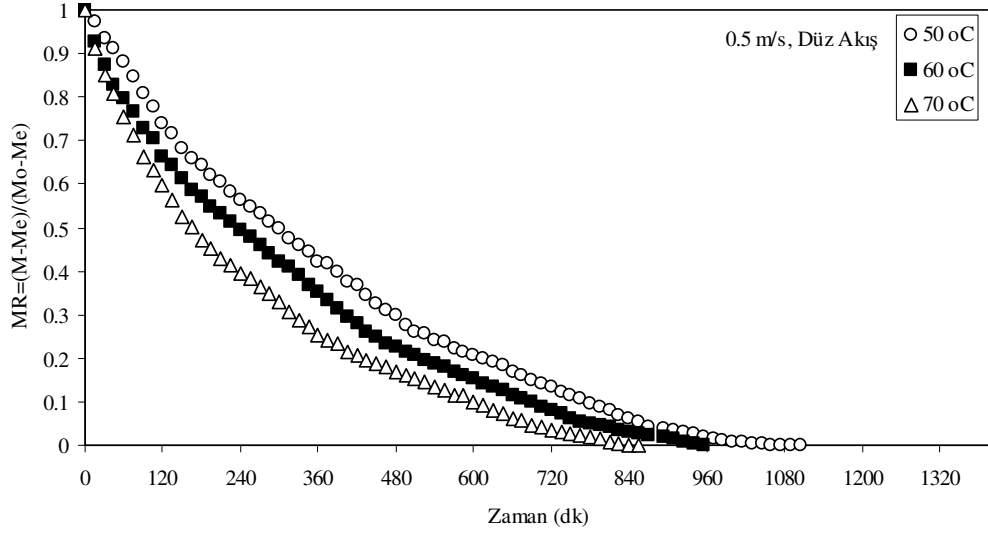
Şekil 6.16. 1.5 m/s 'de 50, 60, 70 °C 'de dönel akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi



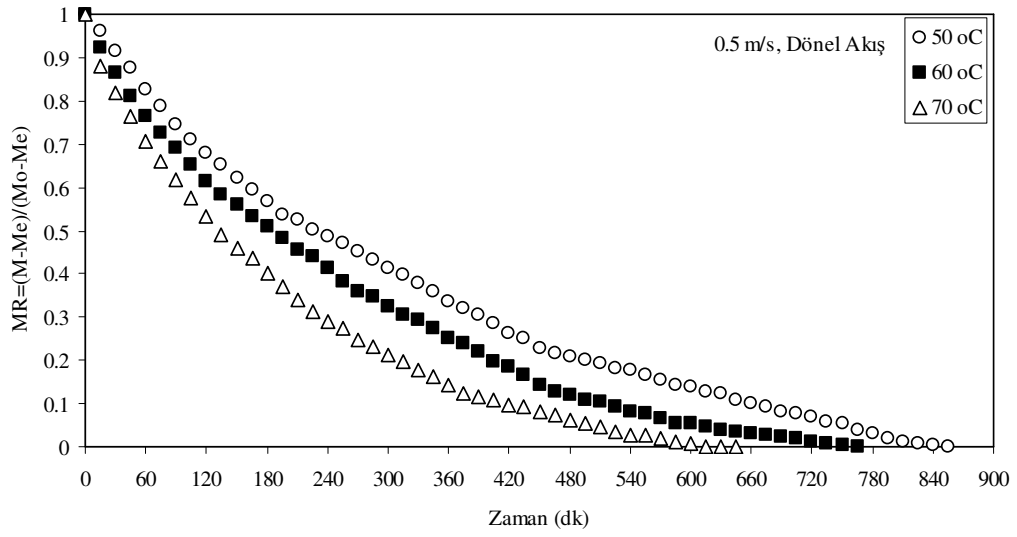
Şekil 6.17. 1 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de düz akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi



Şekil 6.18. 1 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de dönel akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi



Şekil 6.19. 0.5 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de düz akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi



Şekil 6.20. 0.5 m/s ‘de 50, 60, 70 °C ‘de düz akışta kurutulan kuşburnunun boyutsuz nem oranının zamanla değişimi

Nem oranı eğrileri ($MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$) literatürde bulunan Newton nem oranı

denklemini ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan denklemin regresyon katsayısı (R^2) 0.81 - 0.94 arasında değişmektedir.

Tablo 6. 8. Kuşburnu Örnekleri İçin Boyutsuz Nem Oranı ile Zamanın Değişimini Veren Newton Denklemi ve Regresyon Katsayısı Değerler

0.5 m/s	Dönel Akış	Düz Akış
50 °C	MR=1.4459*exp(-0.0046*t), R ² = 0.8744	MR= 2.1402*exp(-0.0049*t), R ² = 0.8295
60 °C	MR= 1.4747*exp(-0.0058*t), R ² = 0.9335	MR= 1.4157*exp(-0.0043*t), R ² = 0.9158
70 °C	MR= 1.6086*exp(-0.0078*t), R ² = 0.8611	MR= 1.4395*exp(-0.0053*t), R ² = 0.8562
1 m/s		
50 °C	MR= 1.5116*exp(-0.0054*t), R ² = 0.8734	MR= 1.7149*exp(-0.005*t), R ² = 0.8306
60 °C	MR= 1.4674*exp(-0.006*t), R ² = 0.8093	MR= 1.3248*exp(-0.005*t), R ² = 0.9001
70 °C	MR=1.4782*exp(-0.0092*t), R ² = 0.8571	MR= 1.3574*exp(-0.0079*t), R ² = 0.9159
1.5 m/s		
50 °C	MR= 1.254*exp(-0.0048*t), R ² = 0.9029	MR= 1.4525*exp(-0.0048*t), R ² = 0.8149
60 °C	MR= 1.5995*exp(-0.0074*t), R ² = 0.8474	MR= 1.3161*exp(-0.0058*t), R ² = 0.9026
70 °C	MR= 1.1842*exp(-0.0088*t), R ² = 0.9397	MR= 1.1871*exp(-0.0078*t), R ² = 0.9418

6.3. Kurutma Sırasında Meyvedeki C Vitamini Değişimi

Kurutma işlemi sırasında, gıda maddelerinde bulunan ve sıcaklığa hassas olan bazı vitaminlerin korunması, besin değerinin ve kalitesinin bir göstergesidir. Kuşburnu meyvesini önemli bir gıda maddesi haline getiren özellik ise, onun tadı ve içerdiği C vitaminidir. C vitamininin, sıcaklık ve nem içeriğine bağlı olarak zamanla kaybolduğu bilinmektedir (Erentürk, 2002). Bu nedenle meyvedeki kuruma sonrası C vitamini değişimi incelenmiştir.

Deneylerin başında, yaş olan meyve için C vitamini analizi yapılmıştır. Bunun amacı başlangıç C₀ vitamini değerlerinin bilinmesidir. Kurutma deneyleri sonrasında ise numunelerde kalan C vitamini analizleri gerçekleştirilerek C/ C₀ oranları hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6.9 da gösterilmiştir.

Tablo 6.9. Kurutma deneyleri sonunda C Vitamini Değişimi

Kurutma havası hızı (m/s)	C vitamini değişimi (C/ C ₀)					
	Düz akış			Dönel akış		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0,5	0.68	0.69	0.70	0.70	0.72	0.73
1	0.68	0.69	0.71	0.71	0.72	0.73
1.5	0.69	0.70	0.71	0.71	0.73	0.74

Tablonun incelenmesi sonucu C vitamini değişiminde, kurutma havası sıcaklığı ve kurutucuda kalma süresinin önemli parametreler olduğu ve kurutma havası hızının

çok önemli olmadığı görülmektedir. Bu nedenle kurutma havası sıcaklığının yüksek olduğu ve kurutma süreleri kısa olan dönel akış ortamında yapılan kurutma işlemlerinde vitamin değişimi daha az olduğu anlaşılmaktadır. Kuşburnu meyvesinin kurutulma işlemlerinde meyvenin bütün olarak parçalanmadan kurutulması, meyve yüzeyindeki kabuk nedeniyle vitamin değişimine direnç göstermiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kuşburnu meyvesinin kurutulması işleminde parametrelerin etkileri ve bulgulara tartışılmış ve açıklanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. Kuşburnu meyvesinin gerek düz akışta ve gerekse dönel akışta kurutulmasında etkin parametre sıcaklıktır. Sıcaklığın artırılması halinde kurutma süresi kısalmaktadır. 50°C nin daha altındaki sıcaklıklar kurutma için uygun değildir Çünkü uzun kuruma süresi gerektirmektedir. 70°C üzerindeki sıcaklıklarda kurutma, meyvede renk değişimine uğramakta ve meyvenin pışmesi ve daha sonrasında karbonlaşmaya yönelmesi nedeniyle tavsiye edilmemelidir.

2. Hava hızının kuşburnu meyvesini kuruması sırasında önemli etkisi yoktur. Çünkü kuruma sırasında meyvenin dış kabuğu kurumaya karşı çok büyük direnç göstermektedir. Bu da nemin dışarıya difüzyonunu zorlaştırmaktadır. Hava hızı, özellikle dış kısımda nem birikmesi olan kurutma işlemlerinde yani sabit hız bölgesinde yapılan kurutma işlemlerinde etkindir. Kuşburnu meyvesinin kurumasında konveksiyon olayından çok difüzyon olayı etkili olduğundan hava hızının düşük tutulması maliyet açısından önemlidir.

3. Dönel akış ortamında kurutulan kuşburnu meyvesinin daha kısa sürede(yaklaşık olarak 90-120 dakika) daha düşük nem oranlarına inildiği deney sonuçlarından anlaşılmaktadır. Çünkü dönel akış ortamında meyve türbülanslı bir ortam içerisinde bulunacağı için dış kabuğu yüzeyindeki taşınım katsayısı büyüyecek ve kuruma hızı artacaktır. Bu da gerek kurutma maliyetlerinin düşük olmasını sağladığı gibi meyve bünyesinde üniform kurumada gerçekleşecektir.

4. Nem oranı eğrileri literatürde bulunan Newton nem oranı denklemi

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-kt) \text{ ile benzerdir. Farklı sıcaklık, hava hızı ve akış tipine göre}$$

bulunan matematiksel ifadeler tablo halinde sunulmuştur. Kullanılan denklemin regresyon katsayısı (R^2) 0.81 -0.94 arasında değişmektedir.

5. Yaş meyvenin kurutularak muhafaza işleminde meyvedeki vitamin değişimi olacaktır. Kuşburnu meyvesindeki C vitamini ise sıcaklık, nem içeriği, kurutma süresine ve akış tipine bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Bu değişim C/C_0 olarak düz akışta 0.68-0.71 ve dönel akış ortamında ise 0.70-0.74 arasında değişmektedir.

6. Çalışmanın ileri aşamasında kuşburnu meyvesi bölünerek farklı sıcaklık ve hava hızlarında çalışmaya devam edilmelidir.

7. GAP ve DAP projelerinin gün geçtikçe hız kazanması sonucu bölgede sebze ve meyve üretimi artacaktır. Gıdaların muhafaza yöntemlerinden biri de kurutma yöntemi olup hijyenik koşullarda yapılacak kurutma önem arz edecektir.

8. KAYNAKLAR

Akbaba, H., 1998, Drying characteristic of squash with hot air. Drying'98- Proceedings of the 10th International Drying Symposium (IDS'98), Halkidiki, Greece, 1476-1480.

Akpınar, E., 2002, Tarımsal ürünler için siklon tipi bir kurutucunun geliştirilmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akpınar, E., K., B Bicer Y., Cetinkaya, F., 2006, Modeling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open Sun. Journal of Food Engineering, 75(3), 308–315.

Akpınar, E., K., B Bicer Y., 2007, Modelling of thin layer drying kinetics of sour cherry in a solar dryer and under open Sun. Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 66, pp. 764–771.

Akpınar, E., K., B Bicer Y., 2008, Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open Sun. Energy Conversion and Management, 49, 1367-1375.

ASAE, 1983, Moisture measurement-peanuts. ASAE Standart of ASAE S.410.1. Agr. Eng. Yearbook of Standards, 329-331.

Ayvaz H., 1992, Güneş enerjisi ile tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılacak endüstriyel kurutucu tasarımı. Doktora Tezi, Ege Üniv. Güneş Enerjisi Ens., İzmir

Balkan, F., 1992, Kurutucularda geri döngülü hava kullanımının enerji tasarrufuna katkısı. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt: 15, Sayı: 2, Sayfa: 13-19.

Bingöl, Ş., 1983, Sebze işleme sanayinde gelişmeler ve pazarlama durumu. Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları:289, Ankara.

Bouraoui, M., and Richard, P., 1994, Microwave and convective drying of potato slices. *Journal of Food Process Engineering*, 17, 353–363.

Brooker, D. B., Bakker, Arkema, F. W., 1974, Drying cereal grains. The AVI publishing company, INC., Westport, Connecticut.

Buvasundaram, K., Mukai, N., Tsukada, T., Hozawa, M., 1996, Experimental and theoretical studies on drying of food materials. *Journal of chemical Engineering of Japan*, V. 29, n 1.

Cemeroğlu, B., 1986, Kurutma teknolojisi. Meyve ve sebze işleme teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği, Yayın no:6, Böl: 9, Ankara.

Can, A., 1992, Kurutma koşullarında biyolojik ürünler içinden nem transportunun kinetiği. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 33, 392, 9–12.

Chen, P. Ve Pei, D. C. T., 1989, A mathematical model od drying processes. *Int. J. Heat Mass transfer*, V. 32, N 2, P 297-310

Chiang, W.C. and Petersen, J.,N., 1985, Thin layer air drying of french fried potatoes. *Journal of Food Technology*, 20, 67-78

Crank, J., 1975, The mathematics of diffusion, Clarendon pres, Oxford.

Demir, F., Ozcan, M., 2001, Chemical and technological properties of rose (*Rosa canina* L.) fruits grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 47, 333-336.

Devahastin, S., 2000, Mujumdar's practical guide to industrial drying. Exerges Corpotation, Montreal.

Doğantan, Z.S., 1986, Kahramanmaraş biberlerinin kurutmaya yönelik fiziksel ve

kimyasal özelliklerinin saptanması ile doğal koşullarda ve plastik örtü altı güneş toplayıcılarıyla kurutma üzerine bir araştırma. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. Tarımsal Mekanizasyon Anabilim Dalı.

Dinçer İ., 1992, Soğuk su banyosunda soğutulan küresel şekilli domatesin sıcaklık dağılımının belirlenmesi. Mühendis ve Makine Dergisi, 33, 387, 21-26.

Diamante, L. M. and Munro, P.A., 1991, Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. International Journal of Food Science and Technology, 26, 99-109

Erentürk, S, 2002, Kuşburnu meyvesinin kurutulmasında bazı parametrelerin kurumaya ve C vitamini miktarına etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erentürk, S., Gulapoglu, M., S., Gültekin, S., 2004, The thin-layer drying characteristics of rosehip. Biosystems Engineering, 89, 159-166.

Erentürk, S., Gulapoglu, M., S., Gultekin, S., 2005, The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying, Journal of Food Engineering, 68, 513-518.

Geankoplis, C.J., 1983, Transport process and unit operations. Allyn and Bacon, Inc., Boston, 508-657.

Göğüş, F., and Maskan, M., 1998, Water transfer in potato during air drying. Drying Technology, 16(8), 1715-1728.

Hall, Carl W, P.E., 1980, Drying and storage of agricultural crops. The AVI publishing company, INC., Westport, Connecticut.

Hanson, S.W.F., 1961, The accelerated freeze-dryings (afo) method of food preservation. London King Research Center.

Henderson, S.M., 1974, Progress in developing the thin layer drying equation. Transactions of the ASAE, 1167-1172.

Huizhen, L., and Morey, R.V., 1984, Thin layer drying of yellow dent corn. Transactions of the ASAE, 27(2), 581-585.

Husain, a., Chen, C.S., Clayton, J.T. and Whitney, L. F., 1972, Mathematical simulation of mass and heat transfer in high moisture foods. Transactions of the ASAE, 732-736.

Joslyn, M.S., Maynard, A. And Heid, J.I., 1975, Fundamentals of food processing operations ingredients methods and packaging. The AVI Publishing Company, Inc West port Connecticut.

Kantay, R., Bozkurt, Y., 1980, Biçilmiş ağaç malzemesinin kurutulmasında kullanılan kurutma metotlarının ısı ekonomisi bakımından incelenmesi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt: 2, Sayfa: 31–36.

Kısakürek, B., 1980, Kurutma modelleri. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 2, 2, 37–40.

Kurucu, S., 1991, Rosa türü meyvelerinin bileşimi ve biyolojik aktivitesi. FABAD Farm. Bil. Dergisi. 15, 121–131.

Lamberg, I., 1989, Studies of water transport phenomena during potato-drying. Journal of Food Process Engineering, 10, 285–299

Maroulis, Z.B., Kiranoudis, C.T., Marinos-Kouris D., 1995, Heat and mass transfer modeling in air drying of foods. Journal of Food Engineering, 26, 113–130

Mengeş, H., O. Ve Aydın, C., 2000, Konya bölgesinde yetiştirilen stanley çeşidi eriklerin sıcak hava ile kurutulmasında kuruma üzerine etki eden faktörler. Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi, 324-331, 1-2 Haziran 2000, Erzurum.

Midilli, A., Olgun H., Ayhan T., 1999, Experimental studies of mushroom and polen drying. *Int. Journal of Energy Research*, 23, 1143-1152.

Midilli, A., 2001, Determination of pistachio drying behavior and conditions in a solar drying system. *International Journal of Energy Research*, 25, 715–725.

Miketinac, M.J., Sokhansanj, S., Tutek, Z., 1992, Determination of heat and mass transfer coefficients in thin layer drying of grain. *American Society of Agricultural Engineers*, 35(6), 1853-1858.

Miller, W. M., 1978, Surface moisture drying analysis of citrus fruit. *Transactions of the ASAE*, 21(5), 1237-1241.

Mulet, A., Berna, A., Borras, M., Pinaga, F., 1987, Effect of air flow rate on carrot drying. *Drying Technology*, 5(2), 245-258.

Perry ve Green, 1984, *Perry's chemical engineer handbook*. 6th ed. McGraw-Hill, New York.

Ratti, C., Crapiste, G.H., 1995, Determination of heat transfer coefficients during drying of foodstuffs. *Journal of Food Process Engineering*, 18, 41–53

Rossello, C., Simal, S., Berna, A., Mulet, A., 1992, Simple mathematical model to predict the drying kinetics of potatoes. *J. Agric. Food Science*, 40, 2374-2378.

Sahbaz F., K., 1994, Hava akış hızı ve sıcaklığın patatesin kuruma hızına etkisi. *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, Cilt: 18, Sayfa: 163–168.

Sarsavadia, P. N., Sawhney, R. L., Pangavhane, D.R., Sing, S.P., 1999, Drying behavior of brined onion slices, *Journal of Food Engineering*, 40, 219–226

Sarsılmaz, C., Yıldız, C., Biçer, Y., 1998, Sebze ve meyve kurutulmasında güneş enerjisi destekli döner sütunlu silindirik kurutucu dizaynı. *Termodinamik*, 70, 74–83.

Sarsılmaz, C., Yıldız, C., Pehlivan, D., 2000, Drying of apricots in a rotary column cylindrical dryer (RCCD) supported with a solar energy, Renewable Energy, 21, 117-127

Shepherd, H., Bhardwaj, R.K., 1988, thin layer drying of pigeon pea. Journal of Food Science, 53, 1813–1817.

Simal, S., Rossello, C., Berna, A., Mulet, A., 1994, Heat and mass transfer model for potato drying. Chemical Engineering, 4, 171-180

Simal, S., Rossello, C. and Mulet, A., 1998, Modelling of air drying in regular shaped bodies. Chemical Engineering, V. 4, 171-180.

Toğrul İ. T., 2001, Kurutmada konik yoğunlaştırıcı bir güneş enerjisi sisteminin kullanılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim dalı.

Tırıs, M., Tırıs, Ç., Edin, M., 1994, İki ayrı tip güneşli kurutucuda çeşitli meyve ve sebzelerin kuruma eğrilerinin incelenmesi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 17, 3, 27-32.

Üretir G., 1995, Modeling computer controlled apple drying processes. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ

Van Arsdel, W.B., Copley, M.J., 1963, Food dehydration, V.1, The AVI Publishing Company, Inc West port Connecticut, p 178.

Yaldız, O., Ertekin, C., 2000, Bazı sebzelerin güneş enerjili kurutucular ile kurutulma olanakları üzerine araştırmalar. Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal kongresi, 332–337, Erzurum.

Yağcıoğlu, A., 1999, Tarım ürünleri kurutma tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 536, İzmir.

Yaldız, O., Ertekin, C., 2001a. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457–465.

Yaldız, O., Ertekin, C., 2001b. Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19(3), 583–596.

Yamankaradeniz, R., 1983, Erzurum yöresinde doğal olarak yetişen kuşburnunun bileşimi ve değerlendirme olanakları üzerinde araştırmalar. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Doktora Tezi, Erzurum.

Yayger, T., 1986, Rocco cinsi çeltiğin farklı kurutma havası debisinde gösterdiği kurutma karakteristiklerinin saptanması üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü, İzmir.

Yaldız, O., Ertekin, C., Uzun, H. İ., 2000, Çekirdeksiz üzümün ince tabaka halinde güneş enerjisi ile kurutulmasının matematiksel modellenmesi üzerine bir araştırma. Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi, 345-349, Erzurum.

Zhang, Q., Litchfield, J.B., 1999, An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale layer dryer. *Drying Technology*, 9, 383-395.

www.biriz.biz/kusburnu

www.biriz.biz/kusburnu/index.htm

www.geocities.com/kusburnu53

EKLER

EK Tablo 1. Kurutma deneylerinde kütle değişimi ölçüm değerler ($V=0.5$ m/s)

Kurutma havası hızı $V=0.5$ m/s						
Zaman (saat)	Kütle değişimi (g)					
	Düz akış			Dönel akış		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	50	50	50	50	50	50
30	47	44.5	43.7	46	44	42
60	45	41	40	42	40	37
90	42	38	35	39	37	34
120	39	36	33	36	34	30
150	37	34	30	34	32	27
180	35	32	28	32	29	25
210	33	30	26	30	27	22
240	32	29	25	28	25	20
270	30	27	23	27	23	18
300	29	26	22	25	22	17
330	27	24	20	24	20	15
360	26	23	19	22	18	14
390	25	21	18	21	17	12
420	23	20	17	19	16	12
450	22	18	16	17	14	11
480	20	17	15	17	13	11
510	19	17	14	16	12	10
540	18	16	14	15	11	10
570	17	15	13	14	11	9
600	17	14	12	14	10	9
630	16	14	11	13	10	9
660	15	13	11	12	9	8
690	14	12	10	11	9	8
720	14	11	9	11	8	
750	13	10	9	10	8	
810	11	10	8	8		
855	10	9				
955	8					
1105	8					

EK Tablo 2. Kurutma deneylerinde kütle değişimi ölçüm değerler (V=1 m/s)

Kurutma havası hızı V=1 m/s						
Zaman (Dakika)	Kütle değişimi (g)					
	Düz akış			Dönel akış		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	50	50	50	50	50	50
30	46	44	42	45	41	40
60	44	39	38	41	37	34
90	41	35	30	37	34	29
120	38	32	28	35	32	25
150	36	30	26	32	29	22
180	33	28	23	30	27	20
210	31	26	20	29	25	19
240	29	25	18	27	24	17
270	27	23	16	25	22	16
300	26	22	15	24	20	14
330	24	20	14	22	19	13
360	23	19	13	21	17	12
390	21	18	12	19	16	11
420	20	16	11	18	15	9
450	19	16	11	17	14	8
480	18	15	10	16	13	8
510	17	14	9	15	12	8
540	16	13	9	14	11	
570	15	12	9	13	10	
600	15	11	8	12	9	
630	14	11		11	8	
660	13	10		10	8	
720	12	9		9		
750	11	8		8		
780	10	8				

EK Tablo 3. Kurutma deneylerinde kütle değişimi ölçüm değerler ($V=1,5$ m/s)

Kurutma havası hızı $V=1,5$ m/s						
Zaman (Dak,ka)	Kütle değişimi (g)					
	Düz akış			Dönel akış		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	50	50	50	50	50	50
30	46	42	41	45	41	40
60	42	38	34	40	37	33
90	38	34	29	36	34	27
120	36	32	26	34	31	23
150	34	30	23	31	29	21
180	32	27	20	29	26	19
210	30	25	18	27	24	17
240	28	24	16	26	23	16
270	27	22	15	24	21	14
300	25	20	13	23	19	13
330	23	19	12	21	17	11
360	22	17	12	20	16	10
390	20	16	11	19	14	9
420	19	14	10	17	13	9
450	18	13	9	16	11	8
480	17	12	9	16	10	
510	16	11	8	15	9	
540	15	10	8	14	9	
570	14	9		13	8	
600	14	9		12	8	
630	13	8		11		
660	12			10		
690	12			9		
720	11			8		
780	9					
810	8					