

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYISI KURUTMASININ
DENEYSEL ve TEORİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Makine Yük. Müh. Jamal İSAEVA

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 05 Eylül 2007
Tez Danışmanı : Doç.Dr. Eyüp AKARYILDIZ (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Galip TEMİR (YTÜ)
: Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU (İTÜ)
: Prof. Dr. Düriye BİLGE (YTÜ)
: Prof. Dr. Seyhan ONBAŞIOĞLU (İTÜ)

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	V
İNDİSLER.....	VII
BOYUTSUZ SAYILAR	VII
KISALTMA LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
ÇİZELGE LİSTESİ	XI
ÖNSÖZ	XII
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XIV
1 GİRİŞ	1
2 GENEL BİLGİLER	5
2.1 Kayısı Hakkında Genel Bilgiler	5
2.1.1 Kayısı Yapısı Ve Besin Değerleri	5
2.1.2 Kayısı Türleri	6
2.1.3 Kayısının İnsan Sağlığına Yararları.....	9
2.1.4 Kayısının Kükürtlenmesi	9
2.1.5 Kayısının Kurutulması	11
2.1.6 Kayısı Kurutulması İle İlgili Yapılmış Araştırma Çalışmaları	11
2.1.7 Yaş ve Kuru Kayısı Üretim Durumu	14
3 KURUTMA.....	16
3.1 Kurutmanın Temelleri.....	16
3.2 Kurutma Süreçleri.....	17
3.3 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler	18
3.4 Kurutma Yöntemleri	19
4 KURUTMA HAVASININ $h - x$ DİYAGRAMINDA GÖSTERİLMESİ.....	20
4.1 Buhar Basıncı	20
4.2 Nemli Havanın Özellikleri	20
4.3 Mollier Diyagramı	22
4.4 Nemli Havaya Su veya Su Buharının İlavesi.....	23
4.5 Yaş Termometre Sıcaklığı ve Adyabatik Doyma Sıcaklığı	25

5	BUHAR BASINCI	29
5.1	Dış Kuvvetlerin Buhar Basıncına Etkisi	29
5.2	Kapiler Yüzey ve Sıvı Damlası üzerindeki Buhar Basıncı	30
5.3	Adsorbe Edilen Gaz üzerindeki Buhar Basıncı	30
5.4	Absorbe Edici üzerindeki Buhar Basıncı	31
6	KÜTLE TRANSFERİ	32
6.1	Difüzyon	32
6.1.1	Gazlar Arasında Çift Yönlü Difüzyon	32
6.1.2	Buharın Gaz İçinde Tek Yönlü Difüzyonu	34
6.2	Kütle Transferi Katsayısı	36
6.3	Türbülant Taşınımında Kütle Transfer Katsayısı ile Konveksiyon Isı Transfer Katsayısı Arasındaki Bağımlılık	37
6.4	Hava ile Kurutmada Yaş Malzemenin Yüzey Sıcaklığı	39
7	KAYISI KURUTMA DENEYSEL ÇALIŞMALARI	45
7.1	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme Ve Yöntem	45
7.1.1	Deneylerde kullanılan kayısı çeşitleri	45
7.1.1.1	Deneylerde kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları	45
7.1.2	Yöntem	46
7.1.2.1	Kayısı numunelerine uygulanan ön işlemler	46
7.1.2.2	Kurutma deneyleri sonrası kuru ürünlerin analiz değerlendirilmesi	46
7.1.2.3	Deney Düzenegi	48
8	KAYISI KURUTMA DENEY SONUÇLARI	50
8.1	Kurutma Sürecinde, Ortam ve Kurutucu İç Ortam Sıcaklığı ile Bağlı Nemi Değerlerindeki Değişimler	50
8.2	Kurutma Havası Sıcaklığının Kayısı Örneklerinin Kurumasına Olan Etkisi	51
8.3	Kayısıların Kurutulması Sırasındaki Nem Değişimleri	54
8.4	Kurutma Hızlarının Belirlenmesi	60
8.5	Deneysel Ölçülen Kayısı Yüzey Sıcaklığı Tesbiti	74
8.6	Kurutulan Kayısı Örnekleri Üzerine Yapılan Analizler	77
8.6.1	Duyusal analiz	77
8.6.2	Fiziksel analiz	77
8.6.3	SO ₂ analizi	79
9	SONUÇLAR	80
	KAYNAKLAR	81
	EKLER	85
EK1	Kayısı örneklerinin 40 °C'de 1,5 m/s hava hızında ağırlık ve kütle değerleri	85
EK2	Kayısı örneklerinin 50 °C'de değişik hava hızında ağırlık ve kütle değerleri	86
EK3	Kayısı örneklerinin 60 °C'de değişik hava hızında ağırlık ve kütle değerleri	87
EK4	Kayısı örneklerinin 70 °C'de değişik hava hızında ağırlık ve kütle değerleri	88

EK5	Kayısı örneklerinin 40 °C için 1,5 m/s hava hızında yaş ağırlığına göre hesaplanan nem değeri	89
EK6	Kayısı örneklerinin 50 °C için değişik hızlarda yaş ağırlığına göre hesaplanan nem değeri.....	90
EK7	Kayısı örneklerinin 60 °C için değişik hızlarda yaş ağırlığına göre hesaplanan nem değeri.....	91
EK8	Kayısı örneklerinin 70 °C için değişik hızlarda yaş ağırlığına göre hesaplanan nem değeri.....	92
EK9	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 1,5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklara göre kuruma hızı	93
EK10	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 2,5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklara göre kuruma hızı	94
EK 11	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 3,5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklara göre kuruma hızı	95
ÖZGEÇMİŞ.....		96

SİMGE LİSTESİ

A	Yüzey.....	(m ²)
C	Partikel hızı.....	(m/s)
C _{ph}	Kuru havanın sabit basınçtaki özgül ısısı.....	(kcal/ kg ⁰ C)
C _{pn}	Nemli havanın sabit basınçtaki özgül ısısı.....	(kcal/ kg ⁰ C)
C _{pb}	Su buharının sabit basınçtaki özgül ısısı.....	(kcal/ kg ⁰ C)
dx _{kb} /dt	Kuruma hızı.....	(kg _{nem} / kg _{k.m} h)
D	Difüzyon katsayısı.....	(m ² /s)
E	İç enerji.....	(kJ/kg)
h	Özgül entalpi.....	(kJ/kg)
h _b	Buharın özgül entalpisi.....	(kJ/kg)
h _s	Suyun özgül entalpisi.....	(kJ/kg)
h _h	Havanın özgül entalpisi.....	(kJ/kg)
h _(1+x)	Birim kuru hava kütlesi başına havanın özgül entalpisi.....	(kJ/kg)
h _k	Katı malzemenin özgül entalpisi.....	(kJ/kg)
IR	Üniversal gaz sabiti.....	(kJ/(kmol K)
m	Kütle.....	(kg)
m _h	Kuru hava kütlesi.....	(kg)
m _s	Su kütlesi.....	(kg)
m _k	Katı malzeme kütlesi.....	(kg)
m _b	Buhar kütlesi.....	(kg)
m _{top}	Toplam kütle.....	(g, kg)
m _{SO₂}	Kayısıdaki kükürtdioksit miktarı.....	(ppm)
$\dot{m}_{b1}$	Kayısı yüzeyinden buharlaşan su miktarı.....	(kg/m ² h)
M _b	Buharın molar kütlesi.....	(kg/kmol)
M _h	Kuru havanın molar kütlesi.....	(kg/kmol)
P	Basınç.....	(Pa)
P _{bh}	Hava buhar karışımı içindeki buharın kısmi basıncı.....	(Pa)
P _{b)Th}	Th hava sıcaklığındaki su buharlaşma basıncı.....	(Pa)
P _h	Hava buhar karışımı içindeki kuru havanın kısmi basıncı	(Pa)
Q	Isı enerjisi	(kJ)
r	Buharlaşma gizli ısısı	(kJ/kg K)
R _b	Buharın ideal gaz sabiti	(kJ/kg K)
R _h	Kuru havanın ideal gaz sabiti.....	(kJ/(kmol K)
t	Sıcaklık	(⁰ C)
t _y	Havanın yaş termometre sıcaklığı	(⁰ C)
t _k	Havanın adyabatik doyma sıcaklığı	(⁰ C)
t ₀	Katı malzemenin yüzey sıcaklığı	(⁰ C)
t _h	Hava sıcaklığı	(⁰ C)
T _h	Kurutucu çıkışı hava sıcaklığı	(⁰ C)
T	Mutlak sıcaklık	(⁰ C)
T ₁	Ortam hava sıcaklığı	(⁰ C)
T ₂	Kurutma odası giriş sıcaklığı	(⁰ C)
T ₃	Kurutma odası çıkış sıcaklığı	(⁰ C)
T ₄	Kayısı dış yüzey sıcaklığı	(⁰ C)
T ₅	Kayısı eti sıcaklığı	(⁰ C)
T ₆	Kayısı iç yüzey sıcaklığı	(⁰ C)
v	Hava hızı	(m/s)

V	Hacim(m ³)
χ	Havanın özgül nemi(kg su buharı/ kg kuru madde)
$x_{k.b.}$	Kuru baza göre kütleli nem oranı(kg/kg)
$x_{y.b.}$	Yaş baza göre kütleli nem oranı(kg/kg)
x_t	t anındaki nem içeriği(g nem/g katı madde)
x_{t+dt}	t+dt anındaki nem içeriği(g nem/g katı madde)
W	Kuruma hızı(g nem/kg kuru kayısı h)
Z	Titre edilen NaOH miktarı(ml)
Y	Kayısı numune miktarı(g)
v_s, v_b	Sıvı ile buharın özgül hacimleri(m ³ /kg)
α	Konveksiyon ısı transfer katsayısı(W/m ² °C)
β	Kütle transfer katsayısı(m/s)
λ	Kondüksiyon ısı transfer katsayısı(W/mK)
ρ	Yoğunluk(kg/m ³)
ρ_b	Dalton Modeline göre hava-buhar karışımı içindeki su buharı yoğunluğu ... (kg/m ³)
ρ_h	Dalton Modeline göre hava-buhar karışımı içindeki kuru hava yoğunluğu ... (kg/m ³)
ϕ	Hava-buhar karışımının bağıl nemi
ϕ	Havanın bağıl nemi

İNDİSLER

b : Buhar
h : Hava
s : Su
k : Katı

BOYUTSUZ SAYILAR

Le : Lewis
Pr : Prandtl
Nu : Nusselt
Re : Reynolds
Sc : Schmidt

KISALTMA LİSTESİ

GAP	Good Agricultural Practices (İyi Tarım Uygulamaları)
EUREP	Euro Retailer Produce Working Group (Avrupa Perakendecileri Ürün Çalışma Grubu)
FAO	Food Agricultural Organization (Gıda Tarım Teşkilatı)
HACCP	Hazard Analyses Critical Control Points (Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol)
MTB	Malatya Ticaret Borsası
TEAE	Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Teşkilatı)

Şekil 3.1	Zamana bağlı nem içeriği ve kurutma hızı değişimleri	18
Şekil 4.1	Doyma eğrisi ve sabit bağıl nem eğrileri.....	23
Şekil 4.2	Çerçeve ölçekli h-x diyagramında nemli havaya su veya su buharı ilavesinin gösterilmesi	24
Şekil 4.3	Hava ile kurutmada sıcaklık dağılımı.....	25
Şekil 6.1	Gazların çift yönlü difüzyonu	32
Şekil 6.2	Tüp İçersinde tek yönlü difüzyon (Buğulaşma).....	35
Şekil 6.3	Buharın sınır tabaka içinde difüzyonunda kısmi buhar basıncı gradiyeni.....	37
Şekil 6.3a	Tam türbülant ısı ve kütle transferi	37
Şekil 6.4	Adyabatik doyma sıcaklıkları (t_k) ve malzeme yüzey sıcaklıkları (t_0)'nın hava sıcaklığı (t_h)'nin fonksiyonu ($P_{bh}=0$).....	41
Şekil 6.5	h,x-diyagramında kurutma havasının durum değişimi.....	43
Şekil 6.6	Malzeme yüzey sıcaklığının tespiti.....	44
Şekil 6.7	Yüzey nemi kurutmasında $P=1$ bar basıncında su buharı-hava karışımı için malzeme yüzey sıcaklığı (t_0)'nın P_{bh} ve t_h 'in bağımlılığı	43
Şekil 7.1	Kurutucunun genel görünümü	48
Şekil 7.2	Kurutucunun şematik görünümü.....	49
Şekil 7.3	Kayısıların kurutulması	49
Şekil 8.1	1.5 m/s hava hızında kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin zamana bağlı olarak nem oranı değişimi.....	52
Şekil 8.2	2.5 m/s hava hızında kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin zamana bağlı olarak nem oranı değişimi.....	53
Şekil 8.3	3.5 m/s hava hızında kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin zamana bağlı olarak nem oranı değişimi.....	53
Şekil 8.4	1.5 m/s hava hızında kurutulan kayısı çeşidi örneklerinin zamana bağlı olarak nem oranı değişimleri	54
Şekil 8.5	70 °C'de kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi.....	55
Şekil 8.6	60 °C'de kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi.....	56
Şekil 8.7	50 °C'de kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi.....	56
Şekil 8.8	40 °C'de kurutulan kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi.....	57
Şekil 8.9	1.5 m/s hava hızında kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin değişik sıcaklıklarda kuru baza göre nem değerleri değişimi	57
Şekil 8.10	1.5 m/s hava hızında kurutulan Kabaası kayısı çeşidi örneklerinin değişik sıcaklıklarda kuru baza göre nem değerleri değişimi	58
Şekil 8.11	2.5 m/s hava hızında kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin değişik sıcaklıklarda kuru baza göre nem değerleri değişimi	58
Şekil 8.12	2.5 m/s hava hızında kurutulan Kabaası kayısı çeşidi örneklerinin değişik sıcaklıklarda kuru baza göre nem değerleri değişimi	59
Şekil 8.13	3.5 m/s hava hızında kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin değişik sıcaklıklarda kuru baza göre nem değerleri değişimi	59
Şekil 8.14	3.5 m/s hava hızında kurutulan Kabaası kayısı çeşidi örneklerinin değişik sıcaklıklarda kuru baza göre nem değerleri değişimi	60

Şekil 8.15	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 40 °C sıcaklık ve $\phi = \% 34.5$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi	61
Şekil 8.16	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 50 °C sıcaklık ve $\phi = \% 21.3$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi.....	62
Şekil 8.17	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 60 °C sıcaklık ve $\phi = \% 12.5$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi	62
Şekil 8.18	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 70 °C sıcaklık ve $\phi = \% 8.0$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi	63
Şekil 8.19	Hacıhaliloğlu örneklerinin 1.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana göre kuruma hızı değişimi	63
Şekil 8.20	Kabaaşı örneklerinin 1.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana göre kuruma hızı değişimi	64
Şekil 8.21	Kayısı örneklerinin 1.5 m/s hava hızında 40 °C sıcaklık ve $\phi = \% 34.5$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi.....	64
Şekil 8.22	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 50 °C sıcaklık ve $\phi = \% 21.3$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi	66
Şekil 8.23	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 60 °C sıcaklık ve $\phi = \% 12.6$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi	66
Şekil 8.24	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 70 °C sıcaklık ve $\phi = \% 8.0$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi	67
Şekil 8.25	Hacıhaliloğlu örneklerinin 2.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana göre kuruma hızı değişimi	67
Şekil 8.26	Kabaaşı örneklerinin 2.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana göre kuruma hızı değişimi	68
Şekil 8.27	Kayısı örneklerinin 2.5 m/s hava hızında 50 °C sıcaklık ve $\phi = \% 21.3$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi.....	68
Şekil 8.28	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 50 °C sıcaklık ve $\phi = \% 21.4$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi	70
Şekil 8.29	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 60 °C sıcaklık ve $\phi = \% 12.7$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi	70
Şekil 8.30	Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 70 °C sıcaklık ve $\phi = \% 8.0$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi	71
Şekil 8.31	Hacıhaliloğlu örneklerinin 3.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana bağlı kurutma hızı değişimi	71
Şekil 8.32	Kabaaşı örneklerinin 3.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana bağlı kurutma hızı değişimi	72
Şekil 8.33	Kayısı örneklerinin 3.5 m/s hava hızında 50 °C sıcaklık ve $\phi = \% 21.4$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi.....	72
Şekil 8.34	Kurutulan kayısı numuneleri.....	78

Çizelge 2.1	100 gr kayısının besin değerleri	5
Çizelge 2.2	Dünya kayısı dikim alanı, üretimi ve verimi.....	14
Çizelge 2.3	Türkiye taze ve kuru kayısı ihracatı	15
Çizelge 7.1	Tartımda kullanılan ölçüm cihazına ait özellikler	45
Çizelge 7.2	Sıcaklık kontrol cihazına ait özellikler	45
Çizelge 7.3	Kurutma fırınına ait özellikler.....	46
Çizelge 8.1	Hacıhaliloğlu ve Kabaası çeşidi kayısının kurutma sırasında kullanılan 1.5 m/s hızındaki havanın psikometrik özellikleri	50
Çizelge 8.2	Hacıhaliloğlu ve Kabaası kurutma sırasında kullanılan 2.5 m/sn hızındaki havanın psikometrik özellikleri.....	51
Çizelge 8.3	Hacıhaliloğlu ve Kabaası kurutma sırasında kullanılan 3.5 m/sn hızındaki havanın psikometrik özellikleri.....	51
Çizelge 8.4	1,5 m/s hava hızında kurutma odası hava psikometrik şartlarına göre yüzey buharlaşması teorik hesap yöntemi ve Hacıhaliloğlu, Kabaası kayısı çeşitlerinin deneysel ölçülen yüzey sıcaklıkları karşılaştırma tablosu.....	74
Çizelge 8.5	2,5 m/s hava hızında kurutma odası hava psikometrik şartlarına göre yüzey buharlaşması teorik hesap yöntemi ve Hacıhaliloğlu, Kabaası kayısı çeşitlerinin deneysel ölçülen yüzey sıcaklıkları karşılaştırma tablosu.....	75
Çizelge 8.6	3,5 m/s hava hızında kurutma odası hava psikometrik şartlarına göre yüzey buharlaşması teorik hesap yöntemi ve Hacıhaliloğlu, Kabaası kayısı çeşitlerinin deneysel ölçülen yüzey sıcaklıkları karşılaştırma tablosu.....	76
Çizelge 8.7	Kurutulan kayısı örnekleri üzerinde yapılan duyu analizi sonuçları.....	77
Çizelge 8.8	1.5 m/s kurutma havası hızında kayıların kurutma öncesi ve sonrası fiziksel özellikleri	77
Çizelge 8.9	2.5 m/s kurutma havası hızında kayıların kurutma öncesi ve sonrası fiziksel özellikleri	78
Çizelge 8.10	3.5 m/s kurutma havası hızında kayıların kurutma öncesi ve sonrası fiziksel özellikleri	78

ÖNSÖZ

Eğitimim boyunca bana yol gösteren, araştırmamın gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen tez danışmanı Sayın Doç.Dr. Eyüp Akaryıldız'a, tezimin yönlendirilmesinde büyük katkı sağlayan tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Galip Temir'e ve Sayın Doç. Dr. Cem Parmaksızoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince Malatya'da kuru kayısı üretimi konusunda yerinde bilgilendirilmeme yardım eden Kalemoglu Tarım Ürünleri-Kuruyemiş Gıda Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi yetkilisi Yusuf Batur'a, laboratuvarlarında kuru kayısıların kalite analizlerini yaparak destek veren Malatya Ticaret Borsası yetkililerine, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen makine mühendisi Zekeriya Keskin'e, Türkiye'de eğitim almama imkan sağlayan Kırgızistan Milli Eğitim Bakanlığı'na ve maddi ve manevi desteklerinden dolayı değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Ülkemizde genelde kayısı açık havada serilerek güneş ile direk temasta kurutulmaktadır. Bu tür doğal kurutma yönteminin bir takım eksikleri ve zararları olduğu önceden incelenmiştir. Bu çalışmada kayısının hava ile konveksiyon kurutması deneysel olarak incelenmiştir. Deneylede Malatya’da yetiştirilen Hacıhaliloğlu ve Kabaası kayısı çeşitleri kullanılmıştır. Kayısların kurutulması için deney setidüzenlenmiştir.Deneylede kayısı çeşitli sıcaklık ve hızlarda kurutulmuştur. Yapılan deneyler sırasında kurutma karakteristikleri incelenmiştir. Deneyle sonucunda ürün kalitesine yönelik gerekli ölçümler ve analizler yapılarak elde edilen kuru ürünün kullanıma uygun olup olmadığı, kurutma havası sıcaklık ve hızının, uygulanan ön işlemin ürünlerin kuruma hızı üzerine olan etkisi belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: kayısı, kayısı kurutma, hava sıcaklığı, hava hızı.

ABSTARCT

In our country, in general, apricots are dried naturally by simply laying on the ground under the direct sunlight. It has been previously studied, and as result of experiments, this drying method has been determined to be causing and entraining certain disadvantages and defects. During these experiments, the drying of apricots by convectional air flow has been studied on experimental bases. On the experiments, two types of apricots; Hacıhaliloglu and Kabaasi types originating from Malatya have been used. Experimental drying platforms have been arranged. On the experiments, apricots have been dried under different air velocities and at different temperatures. At these experiments, drying characteristics of the products have been studied. At the end of each experiment, the quality and suitability of the dried products for consumption have been evaluated. And the relation between air temperature and velocity, with or without preprocessing (application of sulfur) to the drying period and product quality has been determined.

Keywords: Apricot, apricot drying, air temperature, air velocity.

1. GİRİŞ

Meyve, sebze, tahıl ürünlerinin kurutulması; ürünlerin hasat edilmeleri ile pazarlanmaları arasında geçen zaman aralığında sağlıklı olarak saklanması açısından büyük önem taşımaktadır. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında iki yöntem uygulanmaktadır:

- Kurutulacak meyve ve sebzeleri, güneş ışınımı etkisi altında doğal kurutma
- Şartlandırılmış hava ile konveksiyon kurutma

Türkiye’de ürünlerin büyük kısmı doğal çevrede serilerek kurutulmaktadır. Bu kurutma yöntemi ekonomik olmasına rağmen insan sağlığına zararlı olabileceği gibi, ürün kaybı, ürün kalitesinin düşmesi ve kurutulacak ürünün tozlanması gibi bir takım olumsuzlukları da içermektedir. Bu tür olumsuzlukları ortadan kaldırmak için, ürünü hijyenik şartlar altında kurutmak gerekmektedir.

Kurutmada ürünlerin beslenme ve sağlık yönünden değeri ve tüketici açısından kabulü önemlidir.

İnsan sağlığını tehdit eden etmenlerden birisi olan toksin bileşikler, besin maddelerinde üreyebilen küfler tarafından üretilmektedir. Üretimden tüketime kadar olan herhangi bir safhada üreyebilen küfler, besin maddelerinden arındırılrsa bile, toksin bileşikler besinde kalabilmektedir. Bu durum özellikle kuru meyveler için büyük sorun oluşturmaktadır.

Gıdanın kalitesi, herhangi bir ürünü diğerinden ayırt etmeye yarayan karakteristiklerin bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Bu karakteristikler, tüketicinin o ürünü tercihinde rol oynayan karakteristiklerdir. Bu nedenle Gıda Kalitesi tüketicinin tercihinde rol oynayan her biri ayrı ayrı ölçülüp kontrol edilebilen, söz konusu gıda ünitesini diğerlerinden ayırt etmeye yarayan karakteristiklerin bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Gıda kalite kontrolü, tüketici tarafından kabul edilebilen kriterlerin tolerans sınırları içinde tutulması ve bu yapılırken üretim maliyetinin üretici adına en düşük düzeyde bulundurulması olarak tanımlanmalıdır. Ulusal ve uluslararası platformda, insan sağlığının korunması, tüketiciyi koruma altına almak, gıda güvenilirliğinin şartlarını belirlemek, tüketicinin satın alacağı ürünlere karşı güveni artırmak amacıyla Euro Retailer Produce Working Group (Avrupa Perakendecileri Ürün

Çalışma Grubu), Good Agricultural Practices (İyi Tarım Uygulamaları) gibi birçok sistem geliştirilmiştir.

İlk defa 1997 yılında bir araya gelen EUREP adındaki oluşum, 1999 yılında satın alınan tarımsal ürünlerde aranan minimum standartların belirtildiği bir protokol hazırlamıştır.

GAP protokolü; tarımsal faaliyetlerin çevreye ve doğaya en az zarar verecek şekilde yapılması ve dolayısıyla tüketicilere güvenilir ürünleri sunmak amacıyla getirilen minimum şartları kapsamaktadır [1].

Ancak en güncel ve en etkin sistemlerden birisi olan HACCP'e (Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol Noktaları) uygunluk Birleşmiş Milletlere bağlı WHO (Dünya Sağlık Teşkilatı) tarafından önerilmektedir. Bu sistemin temel prensibi son üründe oluşabilecek tehlikeleri ve ürünü bu tehlikelerden koruyucu önlemleri önceden belirlemek, bu önlemlerin uygulamalarını gerçekleştirmek, böylece ürünün sağlık açısından kalitesini, dolayısıyla da tüketici güvenliğini garanti altına almaktır. HACCP ilk defa gıdalarda mikrobiyolojik güvenliğin sağlanması amacıyla geliştirilmiş olan Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol, sadece mikrobiyolojik değil, kimyasal ve fiziksel tehlikelerin de önlenmesi veya kontrol altına alınması için kullanılan bir sistemdir. HACCP sisteminin en belirgin ve yararlı özelliği, tüketici güvenliğini korumada çok önemli bir araç olmasıdır (Gıda İşletmelerinde HACCP Uygulamaları ve Denetimi).

Meyve, sebze ve tahıl ürünlerinin kurutulmasında da bütün gıdalarda olduğu gibi gıda güvenliği sağlanmalıdır.

Gıdaların görünüş özellikleri,ürünün görünüş imajına bağımlı niteliklere göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

- Optik özellik: parlaklık, yarı geçirgenlik, homojenlik, görsel lezzet.
- Fiziksel şekil özellikleri: büyüklük ve şekil, yüzey dokusu, görsel kıvam.
- Sunuş şekli: ürün tanımı, ambalajlama, ışıklandırma.

Ürünün kalitesi hammaddeden başlayarak işlem boyunca kritik noktalarda yapılan ölçümler veya testler ile önceden tahmin edilebilmektedir. Hammaddenin kontrol edilmesi, bitmiş ürün kalitesini belirlemenin yanı sıra, hammaddenin nasıl hazırlanacağı hakkında da bilgi vermektedir [2].

İnsan sağlığı açısından çok yararlı olan meyvelerden biri kayısıdır. Dünyada yetiştirilen önemli bazı kayısı çeşitlerini Türkiye'de; Hacıhaliloğlu, Hasanbey, Kabaaşı, Soğancı,

Çataloğlu, Çöloğlu, Alyanak, Şalak (Aprikoz), Şekerpare, Tokaloğlu, Şam, Turfanda İzmir, Hacıkız ve yurtdışında; Daviot (Fransa), Canino (İspanya), Stark early orange (ABD), Hungarian best (Macaristan), Cafona, San Castrese (İtalya) oluşturmaktadır.

Kayısı hem taze olarak kullanıldığı için hem de kükürtlenerek ve natürel olarak kurutulduktan sonra raf ömrü uzatılabildiği için, tüketimi oldukça fazla olan doğal bir besin maddesidir. Kayısıya hasat, kurutma ve depolama aşamalarında aflatoksin oluşturabilecek bakterilerin bulaşma riski vardır. Kurutulacak kayısının düzgün yerleştirme ve yeterli hava sirkülasyonu ile homojen kurutulması, mevsimsel olarak kurutmaya uygun olmayan bölgelerde de kurutma yapılabilmenin sağlanması, üreticinin ürünü değer kaybetmeden hızlı bir şekilde piyasaya sunması ve hijyenik koşulların sağlanabilmesi için TSE standart kabul etmiştir (TS 485).

Kuru Kayısı Standardı TS 485; kayısı kurutma tarifleri (kurutma yerleri, kükürtleme, serme), sınıflandırması (toprak zeminde kurutma, toprak zeminde sergi üzerinde kurutma, beton zeminde kurutma) ve kayısı kurutma kurallarını içermektedir.

Uluslararası kaynaklarda dünya kuru kayısı üretimine ilişkin istatistikler yayınlanmaktadır. Dünyanın en önemli kuru kayısı üreticisi durumunda olan Türkiye, aynı zamanda dünyanın en büyük kuru kayısı ihraç eden ülkesi olarak sayılmaktadır. Üretilen kuru kayısının yaklaşık % 80-85'i ihraç edilmesine karşılık sadece % 10-15'lik gibi çok az bölümü yurt içinde tüketilmektedir (Sarsılmaz, 2002). 1997 yılında Dünya kuru kayısı üretiminin yaklaşık % 60 – 65'lik kısmı Türkiye tarafından karşılanmakta iken 1998 Yılında Türkiye'nin payı artarak % 75 – 80'e yükselmiştir. Ülkenin kuru kayısı üretiminin % 95'inden fazlası Malatya İlinin kuru kayısı üretiminden sağlanmaktadır. Türkiye'nin kuru kayısı ihraç ettiği ülke sayısı yetmişin üzerindedir. ABD, Rusya ve AB ülkeleri kuru kayısı ihraç edilen önemli pazarlardır. 1997 yılı itibarıyla kuru kayısı ihracatımızda AB ülkeleri %48 , ABD ise % 25 pay almaktadır (Asma, 2001).

Kayısı kurutma işleminin yaklaşık %80'inde kurutmadan önce kayısı kükürtlenmektedir. Kükürtleme kurutma süresinin kısılmasına, böceklenmenin önlemesine, doğal rengin korunmasına yardımcı olur. Güneş altında ön işlem yapılmadan kuruyan kayısılar daha lezzetli olmasına rağmen dayanıklılık süresi daha az ve rengi daha karardır. Malatya'da yetiştirilen kayısıların şeker oranının yüksek olmasından dolayı nem oranı çoğu zaman Avrupa standartlarına uygun değildir. Bu tür bazı sorunlar kuru kayısının tat ve kalitesine olumsuz etki etmektedir [3].

Türkiye'de üretilen kuru kayısıların aranılan kalitede olması kuru kayısı ihracatındaki önemini artırmaktadır. Bununla birlikte kayısının doğal altın sarısı renginin muhafazası için

kullanılan kükürt miktarı ile nem oranının uluslararası standartlara uygunluğun sağlanması ve ambalaja özen gösterilmesi gerekmektedir.

2001 yılından bu yana Türkiye dünya kuru kayısı ihracatının %86'sını karşılamaktadır. Türkiye'de altı kayısı bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgeler içerisinde Malatya, Elazığ, Erzincan bölgesi dışındaki bölgelerde yetiştirilen kayısı sofralık tüketime yöneliktir.

Kayısının piyasadaki yerinin korunması, kalite standartlarının yerine getirilmesi, ürün çeşitlendirilmesi bakımından organik tarım ürünlerine olan talebin giderek arttığı günümüz koşullarında alternatif üretim şekillerine gidilmelidir.

Dünya ticaretinde gıda güvenliği ve kalitesi gibi unsurların önemi gün geçtikçe artmakta hatta ticaret yapabilmenin ön koşulu haline gelmektedir. Ülkemizin sahip olduğu potansiyelin en iyi şekilde değerlendirilmesi ve ülkemizin dış pazarlarda rekabet üstünlüğü sağlayarak, dünya pazarından aldığı payı yükseltmesi, dolayısıyla ihracat imkanlarının artırılabilmesi bakımından izlenebilirlik, gıda güvenliği ve kalitesini sağlamaya yönelik sistemler devreye sokulmalıdır [4].

Bu çalışmanın amacı kayısının hijyenik kurallar çerçevesinde kaliteli ve ekonomik olarak kurutulmasını araştırarak, ürün kalitesini arttıracak ve kuruma zamanını düşürecek kurutucuların tasarımı için temel bilgi ortaya koymaktır. Kurutulacak kayısının mevsimsel olarak kurutmaya uygun olmayan bölgelerde de kurutma yapılabilmenin sağlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın önemi, kayısı üretiminin ülke ekonomisine yararı göz önüne alınarak, nitelikli ürün üretilerek, ihracattaki engellerin ortadan kaldırılmasını da sağlayacak uluslar arası standartlara sahip kuru kayısı elde edilmesine katkı sağlamaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Kayısı Hakkında Genel Bilgiler

2.1.1 Kayısı yapısı ve besin değerleri

Kayısı sert çekirdekli meyveler grubuna girmektedir. Meyve görünüş olarak sırt , karın, uç ve sap kısımlarından ve anatomik olarak en dış kısmında kabuk, meyve eti, çekirdek boşluğu ve çekirdekten oluşmuştur. Çeşit, ekoloji ve bakıma göre meyvedeki su miktarı % 70-88 ve kuru madde miktarı ise % 12-30 arasında değişiklik gösterir. Kayısı yüksek miktarda şeker, protein, pektin, organik maddeler içerir. Kayısı minerallerden potasyum ve vitaminlerden A vitaminin öncül maddesi β -caroten yönünden çok zengindir. Meyvedeki kuru maddenin yaklaşık % 70-85'ini şeker ve şekerin önemli bölümünü ise sakkaroz, glikoz ve fruktoz oluşturur. Kayısındaki organik asit % 0.3-1.3 arasında değişmekte olup önemli kısmını elma asidi oluşturmaktadır. Kayısıda çağla döneminde yüksek miktarda bulunan C vitamini, olgunlaşmaya doğru azalır [5].

100 gr taze ve kuru kayısının içerdiği ortalama besin değerleri Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 100 gr taze ve kuru kayısının ortalama besin değerleri

Kayısının Basın Değerleri	Taze Kayısı	Kuru Kayısı
Su (% kütleli)	85.3	25.0
Enerji (kalori)	51	260
Protein (gr)	1.0	5.0
Yağ (gr)	0.2	0.5
Karbonhidrat (gr)	12.8	66.5
Posa (gr)	0.6	3.0
Kül (gr)	0.7	3.0
A vitamini (β -caroten) (I.U)	2.700	10.900
Tiamin (B1 Vit) (mgr)	0.03	0.01
Riboflavin (B2 Vit.) (mgr)	0.04	0.16
Niasin (mgr)	0.6	3.3
Vitamin C (mgr)	10	12
Kalsiyum (mgr)	16	67
Demir (mgr)	0.5	5.5
Sodyum (mgr)	1.0	26
Potasyum (mgr)	281	979
Fosfor (mgr)	23	108

Kayısı, kurutmalık ve sofralık olarak değerlendirilmektedir. Kurutmalık çeşidinin özelliği kuru madde kütleli oranın % 24-30 arasında olmasıdır. Sofralık çeşidinde ise bu değer %12-

20 arasında değişmektedir. Ortalama olarak 4 kg taze kayısıdan 1 kg kuru kayısı elde edilebilmektedir.

2.1.2 Kayısı Türleri

Bilimsel araştırmalara göre kayısının anavatanı Orta Asya'dan Batı Çin'e doğru uzanmaktadır. Kayısının bilimsel adı *Prunus armeniaca* L. olarak geçmektedir. Dünyada yetiştiriciliği yapılan kayısı türü *Prunus armeniaca* L.'nin, Çin'in dağlık alanlarında ortaya çıktığına inanılmaktadır. Yabani kayısı ağaçlarının meyvesi yendikten sonra ağızda acı bir tat bırakır. Çekirdek meyve etine yapışık ve sert haldedir. Meyve ağırlığı 25-60 gr arasında değişmekte olup, nadiren 100 gr'ın üzerine çıkmaktadır.

Prunus mume (Japon kayısı) çeşidi Orta Çin'in dağlık alanlarında bulunmuştur. Meyve yenilebilir durumda olmasına rağmen büyük bir çoğunluğu reçel veya konserve yapımında kullanılmayacak derecede asit içeriğine sahiptir. Meyve yuvarlak şekilde, meyve eti yeşil veya sarı renkte olup çekirdek meyve etine yapışık ve tatlıdır.

Prunus sibirica (Sibiry kayısı) L. türünün yetiştirildiği bölgeler; Baykal gölü, Kuzey Kore, Moğolistan dağlarından Kuzey Çin'e kadar uzanır. Bu tür kayısı, yuvarlak şekilli, meyve eti sert dokuludur ve ekşi olarak çoğu yenilmez durumdadır.

Prunus armeniaca var. holosericea Batal (Tibet kayısı), Çin'in Doğu Tibet ve Batı Sichuan bölgelerinde yetişmektedir. Meyve orta büyüklükte, meyve eti ince ve çekirdeği büyüktür.

Bugünlerde dünyada 1750' nin üzerinde kayısı çeşidi bulunmaktadır ve Türkiye, dünya yaş ve kuru kayısı üretiminde birinci sırada yer almaktadır. Ülkemiz gerek kayısı gen kaynakları ve gerekse ekolojik şartlar nedeniyle büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkenin en önemli kayısı üretim bölgesi Malatya'dır. Adını Hititler döneminde "Meyve Bahçesi" anlamına gelen "Melitue, Maldiya, Melita" kelimelerinden almıştır. Kayısı üretilen diğer iller; Kayseri, Erzincan, Elazığ, İçel, Konya, Ankara, Sivas Nevşehir ve Kahramanmaraş'dır .

Türkiye ve dünyanın diğer ülkelerinde yetiştirilen bazı kayısı çeşitleri aşağıda sıralanmıştır (Asma, 2000).

Yerli kayısı çeşitleri:

- *Hacıhaliloğlu kayısı* Malatya'daki kayısı çeşidinin % 73'ünü oluşturur. Ağaçları yüksek boylu, dik ve kuvvetlidir. Kurutmalık olan Hacıhaliloğlu kayısı meyveleri orta irilikte, 20-35 gr ağırlıkta, meyve şekli oval, simetrik ve et rengi sarı, kırmızı yanak oluşturma eğilimindedir. Meyve kabuğu incedir. Meyve az sulu, çok tatlı, aromalı, pH 4.5-4.8, suda

çözünür kuru madde miktarı % 24-28 ve toplam asitlik % 0.20-0.40'dır. Çekirdek şekli oval, 1.7- 2.2 gr ağırlığında, tatlı ve meyve etine yapışık değildir.

- *Kabaaşı kayısı*: Ağaçları orta büyüklükte, dik ve kuvvetli gelişir. Ağaç verimliliği orta düzeydedir. Meyve orta irilikte, 22- 35 gr ağırlığında, kurutmalık meyve oval şekilli ve et rengi sarıdır. Meyve tatlı, pH 3.8- 4.6 ve toplam asitlik % 0.30- 0.45, suda çözünür kuru madde miktarı % 24-26'dır. Meyve eti sert dokuludur. Çekirdek şekli oval, 1.9-2.4 gr ağırlığında, tatlı ve meyve etine yapışık değildir.
- *Hasanbey kayısı*: Ağaç şekli yayvan olup kuvvetli büyür. Eti sert dokulu ve tatlıdır. Meyve kalp şeklinde olup ağırlığı 40-55 gr'dır. Kurutmaya uygun, meyve et rengi sarıdır ve toplam asitlik % 0.10-0.20'dir. Çekirdeği 2.0-2.8 gr ağırlığında ve meyve etine yapışık değildir.
- *Çataloğlu kayısı*: Dik-yayvan ağaca sahiptir ve kurutmalıktır. Meyvesi orta irilikte olup 25-35 gr ağırlığında, meyve kabuk ve et rengi sarıdır. Bu çeşidin meyve eti tatlı ve sert ve simetrik iki parçadan oluşur. Toplam asitlik oranı % 0.10-0.25 arasında değişir. Meyve çekirdeği 1.7-2.1 gr ağırlığında olup şekli ovaldır.
- *Şekerpare kayısı*: Kurutmalık kayısı çeşididir. Meyveleri ufak ama ağaç şekli yayvan ve kuvvetlidir. Oval şekilli meyve tatlı ve ağırlığı 25-30 gr arasında değişir. Meyvenin eti orta sertlikte olup kabuğunda belirgin kırmızı yanaklar oluşturur. Toplam asitlik % 0.20-0.30 olan meyvelerin çekirdek ağırlıkları 1.8-2.3 gr aralığındadır.
- *Sofralık Şalak (Aprikoz) kayısı*: Yayvan taçlı ve çok verimlidir. Meyve şekli eliptik ve ağırlığı 50-60 gr arasında değişir. Meyve et rengi sarı ve dokusu serttir. Çekirdeği uzun, tatlı ve 2.1-2.6 ağırlığındadır. Toplam asitlik % 0.30-0.50 arasındadır.
- *Karacabey kayısı*: Erkenci sofralık kayısı çeşididir. Ağaçları zayıf büyür ama verimliliği büyüktür. Meyve, 35-45 gr ağırlığında ve kalp şeklindedir. Meyve et rengi turuncu olan kayısının toplam asitlik oranı 0.9-1.4 arasındadır. Çekirdeği meyve etine yarı bağlı ve 2.6-3.1 gr ağırlığındadır.
- *Hacıkoz kayısı*: Kurutmalık ve sofralık kayısı çeşididir. Ağaçları dik ve verimi yüksektir. Meyve şekli oval ve ağırlığı 30-40 gr arasında değişir. Meyve, karın çizgisi belirgin ve asimetrik iki parçadan oluşur. Toplam asitlik oranı %0.3-0.5 arasındadır. Tatlı çekirdeğe sahip ve 2.0-2.5 gr ağırlığındadır.

- *Çiğli kayısı*: Sofralık kayısı çeşididir ve ağaçları yayvan şekillidir. Meyve şekli basık-yuvarlak ve ağırlığı 20-25 gr aralığında değişir. Meyvenin kabuğu turuncu renkte olup toplam asitliği % 1.2-1.5 arasındadır. Çekirdeği 1.6-2.0 gr ağırlığında ve meyve etine yarı bağlıdır.

Dış ülkelerdeki bazı kayısı çeşitleri:

- *Canino*, İspanya'ya ait sofralık kayısı çeşididir. Ağacı dik-yayvan şeklindedir. Meyve eti yumuşak dokulu, tatlı ve suludur. Meyveleri orta irilikte olup ağırlığı 30-40 gr arasında değişmektedir. Çekirdek ise 3.5-4.2 gr ağırlığında olup oval şeklindedir. Toplam asitlik % 0.80- 1.10 arasındadır.
- *Hungarian Best* çeşidi Macaristan'ın sofralık kayısıdır. Ağacı kuvvetli ve yayvandır. Meyveleri 35-45 gr olarak meyve eti dokusu yumuşak ve tatlıdır. Oval şekli veren çekirdeğinin ağırlığı 2.2-2.6 gr arasındadır. Meyve kabuğu ve et rengi turuncudur. Toplam asitlik % 1.20-1.50'dir.
- *Cafona*, İtalya'da yetişen kayısı çeşididir. Ağaçları dik-yayvan şeklinde olup orta kuvvetlidir. Meyve eti tatlı ve gevrekli. Meyve şekli yuvarlak ve ağırlığı 35-45 gr'dır. Meyve et rengi turuncudur. Çekirdek ağırlığı 2.1-2.5 gr arasında değişmekte olup meyve, etine yapışık ve acıdır. Toplam asitlik oranı % 0.6-0.7 arasında değişmektedir.
- *Fracasso*, İtalya'nın erkenci sofralık kayısı çeşididir. Ağaçları yayvan ve orta kuvvettedir. Meyve şekli oval olup ağırlığı 30-40 gr arasında değişmektedir. Meyve eti yumuşak dokulu ve tatlıdır. Meyve kabuk ve et rengi sarıdır. Çekirdekleri oval, ağırlığı ise 2.0-2.5 gr arasında değişerek acı ve meyve etine yapışık. Toplam asitlik % 1.20-1.40 arasında değişmektedir.
- Fransa'nın erkenci sofralık kayısı çeşidi *Precoce de Colomer*'dir. Ağacı dik şekilli ve orta kuvvettedir. Meyve ağırlığı 30-35 gr arasında ve kalp şeklindedir. Meyve eti yumuşak ve ekşi tattadır. Yuvarlak çekirdekleri 2.3-2.8 gr aralığındadır. Toplam asitlik %1.00-1.10 arasındadır.
- *Royal*, Fransa'ya ait erkenci sofralık kayısı çeşididir. Ağaçları orta kuvvette olup yayvan şeklindedir. Meyveleri yuvarlak ve ağırlığı 30-40 gr arasında değişmektedir. Meyve kabuğu ve et rengi turuncudur. Meyve eti yumuşak dokulu olup az tatlıdır. Çekirdek 2.2-2.5 gr ağırlığında ve yuvarlak şekillidir. Toplam asitlik %1.20-1.40 arasındadır.
- *Perfection*, ABD'nin sofralık kayısı çeşididir. Ağaçları dik ve orta kuvvettedir. Meyve kalp şeklinde ve ağırlığı 40-50 gr arasında değişmektedir. Meyve eti yumuşak dokulu, tatlı

ve turuncu rengindedir. Yuvarlak çekirdekli ve çekirdek ağırlığı 2.4-3.0 gr arasında değişmektedir. Toplam asitlik oranı % 0.4-0.5 arasındadır.

2.1.3 Kayısının İnsan Sağlığına Yararları

Kayısı içerdiği organik ve anorganik maddeler vasıtasıyla insan sağlığına yararlı bir meyvedir. Kayısının içerdiği A vitamini; insan vücudunu ve organları saran epitel doku, kemik ve diş yapısının gelişimi ve sağlığı ve göz sağlığı açısından çok yararlıdır. Ayrıca, kalp kaslarını kuvvetlendirir ve daha düzenli çalışmasını sağlar, bazı kanser hastalıklarına karşı koruyucu etkiye sahiptir. Kayısının sodyumca fakir ve potasyumca zengin oluşu özel diyetlerin düzenlenmesinde yardımcı olur. Kuru kayısının beslenme ve sağlık açısından en önemli bileşiklerinden birisi de diyet lifidir. Kuru kayısının 100 gr'ında yaklaşık olarak 24 gram diyet lifi bulunur. Yetişkin bir insanın günlük diyet lifi gereksinimi ise 25 gramdır. Diyet lifi sindirim sistemimizde salgılanan enzimler tarafından hidrolizlenemeyen polisakkarit ve lignin gibi bileşiklerden oluşmaktadır. Diyet lifi kabızlık, apandisit, diş hastalıkları, şişmanlık, şeker hastalığı, kronik kalp hastalıkları ve klon kanseri gibi hastalıkların oluşum riskini azaltmakta ve bağırsakların düzenli çalışmasını sağlamaktadır [6].

2.1.4 Kayısının Kükürtlenmesi

Kayısı meyvesi, kurutma sırasında rengi en çok değişen meyvelerden biri olarak sayılmaktadır. Kurutma sırasında kararırma şeklinde ortaya çıkan renk değişikliğini önleyerek kayısının doğal rengini korumak ve depolama sırasında mikroorganizmaların neden olacağı zararın önüne geçmek ve daha uzun süre depolamak amacıyla yaş meyveler kükürtlendikten sonra kurutulmaktadır. Kükürt dioksit (SO_2), sebze ve meyvelerde hem enzimatik hem de enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının oluşumunu önlemektedir. Koruyucu olarak ya doğrudan SO_2 gazı veya parçalandığı zaman SO_2 veren çeşitli kükürt tuzları (sulfidler) kullanılmaktadır (Asma, 2000).

Barbanti ve Mastrocola (1991) çalışmalarında kurutulmuş ürünlerde, kükürt dioksit kullanımını yeteri kadar azaltabilmek için kurutma öncesi uygulamalarda çeşitli ön işlemleri denemişlerdir. Deney materyali olarak elma ve şeftali kullanmışlardır. Ön işlemlerde üç saat briketlik glukoz ve fruktoz şurubunda 25°C doğrudan ozmoz, 80°C 'de üç saat glukoz ve fruktoz şurubunda ozmotik haşlama, 90°C 'de iki dakika suda haşlama ve 100°C 'de iki dakika buharda haşlama yapmışlar. Kurutma sırasında ürünlerin kuruma hızını ve kurutulan ürünlerin kalitelerini değerlendirmişler. Enzimatik esmerleşmeyi engellemek amacıyla kükürtlemeye alternatif buharda veya suda ve ozmotik haşlamayı önermiştir. Ama Hanter L

değerleri bakımından karbon dioksit haşlamalara göre daha yüksek değerleri gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Barbanti ve Mastrocola (1995), çalışmalarında Stanley, Blue free ve Ente 707 erik çeşitlerinin kuruma karakteristikleri üzerine ön işlem ve kurutma havası sıcaklığı gibi bazı işlem parametrelerinin kurutmaya karşı etkilerini incelemişler. Deney sonucunda sodyum hidroksit bandırma çözeltilisine bandırılarak kurutulan erik çeşitlerinin kuruma zamanının önemli ölçüde azalma gösterdiği ve oda sıcaklığında depolanmış kurutulmuş eriklerin incelenerek, % 20'den daha az nem içeren kurutulmuş eriklerin 5 aydan fazla raf ömrü olduğu belirlenmiştir.

A.Akyıldız (1999), çalışmasında Amasya Golden Delicious ve Starkrimson delicious elma çeşitlerini dilimleyerek farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış kükürt dioksit, askorbik asit ve bunların çözeltilerine 2 dakika süreyle daldırdıktan sonra kurutmuştur. Kurutma tepsili, hava akımlı laboratuvar tipi kurutucuda gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi yaklaşık 5 saat süreyle 75 °C değerinde gerçekleşmiştir. Deneyler sonucunda kurutulmuş elma cipslerinin nem içerikleri % 2.5 ile % 4.0 arasında değişmiştir. Sonuç olarak en yüksek elma cipsi verimi Golden çeşidine ait olduğunu, Amasya çeşidinin rehidrasyon kapasitesinin yüksek olduğunu , kurutulmuş elma cipsi örneklerinde en açık renkli ürün veren çözeltilinin karbon dioksit çözeltilisi olduğunu belirlemiştir ve en açık renge sahip cipslerin Golden çeşidine ait olduğunu belirlemiştir. Kurutulmuş elma cipsleri arasında Amasya çeşidinin en gevrek yapılı olduğunu tespit etmiştir. Duyusal değerlendirmeye göre elma çeşitlerinin karbon dioksit çözeltilisine tutulan dilimlerine ait elma cipsleri en çok beğeni kazandığını tespit etmiştir.

Kayıslara nüfuz eden SO₂ miktarı: sıcaklığa, kükürtleme zamanına, kükürtdioksit konsantrasyonuna, meyvelerin olgunluk derecesine ve boyutlarına göre farklılık gösterir. Kayıslarda bulunması gerekli SO₂ miktarı, depolama sıcaklığına göre değişir. Kükürtlemede en önemli sorun kükürt oranının ayarlanmasıdır. Ancak Malatya'da kayısının meyve renginin açılmadan 3-4 yıl ve daha uzun süre saklayabilmek amacıyla kükürt oranı yüksek tutulmaktadır. Bu da kayısının tat ve kalitesini olumsuz etkilemektedir [7]. Kuru Kayısı Standardı'na göre kükürtlenmiş kuru kayısılar, kurutmadan önce veya kurutmadan sonra kükürtlenmiş olmalı, bunlarda SO₂ oranı 2500 mg/kg'ı geçmemelidir (TS 485).

Kayısı kükürtlenmesinde toz kükürdün yanı sıra kükürdün suda çözünebilen bileşiklerinden sodyum meta bi sülfid, sodyum bi sülfid ve sodyum sülfid de kullanılmaktadır. Sodyum meta bi sülfidin %6, %8 ve %10'luk hazırlanan çözeltilerine 20, 25, 30 dakika süreyle yaş kayısıların bandırılması ile kükürtleme işlemi yapılmaktadır. Fakat bu yöntem ile kayıslara

daha yüksek miktarda kükürt verilmek istendiğinde daha yüksek kükürt konsantrasyonu sahip çözelti hazırlanması veya kayısların çözelti içerisinde daha uzun süre bekletilmesi gerekmektedir (Asma, 2005).

2.1.5 Kayısının Kurutulması

Dünya’da ve Türkiye’de yetiştirilen kayısının büyük bir bölümü kurutulmuş ürün olarak değerlendirilmektedir. Kurutma işlemi yetiştirilen kayısının üretim aşamasından tüketiciye ulaşması sürecine kadar olan zaman aralığında sağlıklı olarak muhafaza edilmesi açısından önemlidir.

Kükürtlenmiş kayıslar güneşte veya suni kurutma tesislerinde sıcak hava ile kurutulmaktadır. Güneş altında kurutma yönteminde kükürtleme odasından çıkartılan kayıslar kerevet veya bez üzerine tek sıra halinde dizilerek % 25 nem kalıncaya kadar güneşte kurutulmaktadır. Natürel kurutmada kükürtleme işlemine tabi tutulmadan kurutulmaktadır. Bu tür kurutmada kükürtleme işlemi yapılmadığından enzimlerin etkisi ile meyvenin sarı rengi esmerleşir ve kolay bozulduğundan depoda 3-4 aydan fazla bekletilmemelidir. Natürel kurutmada kuru kayısı nem oranı % 15-18’e düşünceye kadar kurutulmaktadır. Daha temiz ve kaliteli ürün elde edilmesi, kurutmanın daha kısa sürede yapılabilmesi için suni kurutma sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Asma, 2000).

Wang ve Chao (2002), çalışmalarında meyve ve sebzelerin sıcak hava ile yavaş üfleyerek kurutulmasının, kurutulan ürünün daha uzun süre muhafaza edilebilmesini, daha kaliteli olmasını sağlayacağını belirlemişlerdir.

Kurutmalık kayısı çeşitlerinde kuru kayısı randımanının yüksek olması istenir. Kuru kayısı randımanı kayısı çeşitlerine göre değişim göstermektedir. Kurutma sonucu kayısların içerdikleri C vitamini miktarı azalır ve A vitamini miktarı yükselir (Asma, 2005).

2.1.6 Kayısların Kurutulması İle İlgili Yapılmış Araştırma Çalışmaları

Akbaba (1985), yaptığı çalışmada *Prunus armeniaca* L türü kayısların içinde yer alan Royal ve Tokaloğlu çeşitlerini ön işlemsiz ve ön işlem uygulayarak bütün olarak, %2 ‘lik SO₂ çözeltisine 5 dakika süreyle bırakmıştır. Çözeltiden alınan kayıslar ikiye bölünüp çekirdek çıkartıldıktan sonra % 1 ‘lik SO₂ çözeltisinde bir dakika süreyle tutulmuşlardır. Yarım kayıslar 4 dakika süreyle 100 °C ‘ deki su buharına tutulduktan sonra kurutucuda kayısların kuruması sağlanmıştır. Kurutucu olarak infrared ışını ile kurutma cihazı kullanılmıştır. Tokaloğlu ve Royal kayısı çeşitlerini 50 °C, 60 °C ve 70 °C değerlerindeki sıcaklıklarda

kurutmuştur. Sonuç olarak kayısıların kurutulması sırasında oluşan tüm değişimlerin kurutma sıcaklığı, kurutma zamanı meyve tipi, olgunluk, şeker ve nem içeriği gibi etmenlere bağlı olduğunu belirtmiştir. Tokaloğlu çeşidinin hızlı kurumasına rağmen, kuruyan kayısının duyu kalitesinin düşük olduğunu ve Royal çeşidinin yavaş kurduğunu, ama iyi duyu nitelik taşıdığını tespit etmiştir.

Özel ve Özl (1987) yaptıkları çalışmada doğal şartlar altında güneş enerjisiyle sergide ve sıcak hava akımlı indirekt tip dolaplı bir güneşli kurutucu kullanarak kayısı, üzüm ve biber kurutmuşlardır. Yapıldığı denemeler sonucunda doğal şartlarda kayısı 7, üzüm 10-15 ve biber 5-10 günde kurutulduğunu, kontrollü şartlarda güneşli kurutucuda kayısının 2, üzümün 5 ve biberin 3 günde istenilen nemliliğe düşürüldüğünü tespit etmişler.

Güner (1991) yaptığı çalışmada raf tipi güneşli meyve kurutucu kullanarak kayısı kurutmada 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200 ve 400 l/s hava debisi değerlerinde, kayısının kuruma zamanı, kuruma hızı ve kuruma için ihtiyaç olan hava ve sıcaklık miktarlarını belirlemeye çalışmıştır. Deneme sonucunda; kuruma zamanının hava sıcaklığı arttıkça azaldığını, hava debisi arttıkça kütle transferinin arttığını ve kuruma zamanının azaldığını, kuruma hızının arttığını, raflı kurutucularda güneş ışınımından çok hava akımının özelliklerinin etkili olduğunu tespit etmiştir.

Pala vd. (1996) kayısı örneklerini karbon dioksit + etil oleat bandırma çözeltisine bandırdıktan sonra güneşte kurutmuşlar. Kayısıların kuruma sırasında nem içeriği ve hacminde meydana gelen değişimleri takip ederek incelemişler. Çalışma sonucunda kayısıların kurutma öncesi çözeltiye bandırılmasının kuruma hızını etkileyerek arttırdığını ve rengi üzerinde önemli etki gösterdiğini tespit etmişler.

Mengeş'in (1999) yaptığı çalışmada Konya'da yetiştirilen kayısı, elma, vişnelerin kuruma karakteristiklerini belirlemeye çalışmıştır. Denemelerde hava sıcaklığı olarak 60 °C, 70 °C, 80 °C, hava hızı olarak 1,0 m/s, 2,0 m/s, 3,0 m/s kullanılmıştır. Elma, kayısı ve vişne örnekleri hiçbir ön işlem uygulamadan, erik örnekleri % 2'lik NaOH çözeltisine bandırılıp sonra kurutulmuşlar. Çalışmada kurutmada kullanılacak hava şartlarını kontrollü olarak düzenleyebilen ve değişik özellikteki ürünlerin kuruma mekanizmalarını incelenebilmesine imkan veren deney düzeneğini oluşturmuştur. Deneme düzeni 3 bölümden oluşturulmuştur : kurutma havasını sağlayan fan ve hava debisi ayar düzeni, kurutma hava sıcaklığını düzenleyen elektriksel ısıtıcıların ve sıcaklık kontrol ünitesinin bulunduğu kısım, kurutma bölümü. Denemeleri sonucunda, hava sıcaklığının, hava hızının ve ön işlemin, ürünlerin kuruma hızı üzerine olan etkisini belirlemiştir.

İpek (2001), çalışmasında Elazığ bölgesinde yetişen kayısıların o bölge şartları altında güneş enerjisi yardımıyla kurutulmasında kayısı yüzey sıcaklığını deneysel olarak tespit etmiş. Deneylerinde havalı güneş kolektörü ve dikey konumlu, tepsili kurutucu kullanmış. Deney düzeneği havalı güneş kolektöründen, şartlandırma odasından (tepsili kurutucu), hava akımını sağlayan radyal fan, sıcaklık ölçebilmek için kanal seçicisi termokupllar ve mikro voltmetreden oluşturulmuştur. Çalışmasında havalı güneş kolektör olarak ondülin yüzey profilli yeni bir tip kolektör tasarlamıştır. Kurutma ortamındaki hava sıcaklığı, hava debisinin ayarlanması ile değiştirerek tepsili kurutucuya girişte hava sıcaklığı 27⁰C ile 49⁰C aralığında değiştirilmiştir. Deneyleri boyunca kayısıları sürekli tartarak kayısısındaki nem kaybını tespit etmiş ve kurutulan ürünün renk, koku ve tat değişimlerini sürekli kontrol altında tutmuştur.

Koç (2001), araştırmasında Kabaası kayısı çeşidi kullanarak mikrodalga ve endüstriyel kurutma metotları uygulamış. Püre ve bütün haldeki kayısının iki farklı metotla kurularak fiziksel ve kimyasal incelemeler yaparak kurutma yöntemlerinin etkisini incelemeye çalışmıştır. Endüstriyel kurutma metodu ile kurutulmuş püre halindeki kayısısındaki nem miktarının mikrodalga ile kurutulmuş püre halindeki kayısısındaki nem miktarına göre daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Araştırmada kayısı çekirdeği çıkartılmış ve kükürtlenmiş olup fabrikasyon (endüstriyel) kurutma ve ev tipi (20lt iç hacimli) mikrodalga fırında kurutma tekniklerine uygun olarak kurutmuştur. Metotlarında mikrodalga kurutma ile SO₂ ve nem miktarlarında endüstriyel kurutmaya göre daha fazla azalma olduğunu tespit etmiş. Sonuç olarak mikrodalga ve endüstriyel yöntemlerle kurutulan kayısının fiziksel ve kimyasal olarak genelde benzer sonuçlar aldığı ve mikrodalga uygulamasının kayısılar üzerinde olumsuz etkisinin olmadığını saptamıştır.

Çilek (2001), çalışmasında Malatya'da üretilen, kükürtlü ve kükürtsüz olarak saklanan kayısılarda aflatoksin kontaminasyonunun varlığını araştırmıştır. Farklı hasat, kurutma ve depolama yöntemleri uygulanmış örnekler ile bazı kayısı işletmeleri ve bölgeden toplanan kuru kayısı örneklerinden, toprak üzerinde kurutulan kükürtsüz kuru kayısı örneklerinde bez üzerinde kurutulmuş kuru kayısı örneklerinden daha fazla aflatoksin bulunduğu tespit edilmiştir.

Sarsılmaz (2002), kayısı kurutmanın genellikle geniş toprak zeminler üzerine serilerek gerçekleştirilmesinde kuruma süresinin uzadığını, homojen kuruma sağlanmadığını, ürün kaybına ve kalite düşümüne sebep olduğunu belirterek, çalışmasında belirtilen olumsuzlukları ortadan kaldırmak için özel dizayn edilen, konveksiyon etkisi artırılmış havalı güneş kolektörü ve döner sütunlu silindirik kurutucu geliştirmiştir. Sistem üç bölümden

oluşmaktadır: 1- üfleme bölgesi (fan), 2-havayı ısıtma bölgesi (kolektör), 3-kurutma bölgesi (kurutucu odası). Böylece kurutucuda kurutulan kayısıların nem değişimleri karşılaştırılmış, deneyler sonucunda açıkta kurutulan kayısıların yaş bazda nem oranının 4 gün içerisinde % 25'e düştüğünü ve buna karşılık döner sütunlu silindirik kurutucuda ise aynı nem oranının yaklaşık 2 günde elde edildiği görülmüştür.

2.1.7 Yaş ve Kuru Kayısı Üretim Durumu

Dünya yaş kayısı ihracatı 150-250 bin ton, kuru kayısı ihracatı ise 40-60 bin ton arasındadır. Son yıllarda kayısı yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı coğrafik alanlar Akdeniz ülkeleri ve Avrupa'dır. Bunların dışında ABD, Bağımsız Devletler Topluluğu, Çin, İran, Güney Afrika, Avustralya, Arjantin ve Şili'de önemli miktarlarda kayısı yetiştirilmektedir. Dünya yaş kayısı üretiminde Türkiye birinci sırada yer alırken Türkiye'yi, İran, İtalya ve Fransa takip etmektedir. Gıda Tarım Teşkilatı'nın (Food Agricultural Organization) hazırladığı rapora göre yetiştiricilik ve üretim açısından Dünya ortalama kayısı istatistikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Dünya kayısı dikim alanı, üretim miktarı ve verimi

	1993-1995			1996-1998			1999-2001			2002		
	Dikim Alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)	Dikim Alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)	Dikim Alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)	Dikim Alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)
Türkiye	55.365	340.000	6,1	60.178	362.333	6,0	63.375	491.333	7,8	63.500	580.000	9,1
İran	23.602	169.446	7,2	27.329	227.655	8,3	29.226	262.012	9,0	30.620	282.890	9,2
İtalya	13.782	149.06	10,8	14.722	125.196	8,5	15.278	202.406	13,2	15.316	209.114	13,7
Fransa	14.937	111.316	7,5	16.013	138.083	8,6	15.839	140.996	8,9	14.956	171.801	11,5
Pakistan	11.303	173.791	15,4	12.053	189.294	15,7	12.808	123.688	9,7	13.015	124.675	9,6
İspanya	23.267	182.967	7,9	24.264	163.172	6,7	24.255	144.667	6,0	24.500	119.200	4,9
Suriye	8.300	50.547	6,1	10.070	61.732	6,1	12.440	69.270	5,6	12.612	100.902	8
Fas	14.167	95.333	6,7	13.733	102.833	7,5	13.916	114.266	8,2	12.600	85.300	6,8
Dünya	382.952	2.319.052	6,5	389.717	2.493.630	6,4	386.484	2.604.617	7,0	380.547	2.708.010	7,1

Türkiye yaş kayısı üretiminin yaklaşık % 50'si Malatya bölgesinden sağlanmaktadır. Malatya'da üretilen kayısının yaklaşık % 90-95'i kurutularak ihraç edilmektedir (Asma, 2000). Türkiye'nin taze ve kuru kayısı ihracatı Çizelge 2.3'te verilmiştir. Türkiye'nin kayısı üretimi yapılan diğer illeri Erzincan, Elazığ, Kayseri, Kahramanmaraş, Konya, Ankara, Sivas

ve Nevşehir’dir. Bu bölgeler içerisinde Malatya, Elazığ, Erzincan bölgesi dışındaki bölgelerde yetiştirilen kayısı sofralık tüketime yöneliktir.

Çizelge 2.3 Türkiye taze ve kuru kayısı ihracatı

Yıllar	Kuru kayısı		Taze kayısı	
	Miktar (Mt)	Değer (1000\$)	Miktar (Mt)	Değer (1000\$)
1998	49.870	119.190	2.254	1.879
1999	55.402	126.169	738	768
2000	70.252	110.379	3.689	2.543
2001	85.670	88.106	5.740	3.769
2002	66.763	113.271	4.600	3.524
2003	73.014	150.343	6.110	7.501
2004	81.292	197.704	7.931	9.578

2004 yılı kuru kayısı ihracat gelirimizde 2003 yılına göre % 30.7 oranında artış sağlandığı ve ihracatın ise % 10 artarak 80.154 tona çıktığı açıklanmıştır [8].

2001 yılından bu yana Türkiye, Dünya kuru kayısı ihracatının % 86’sını karşılamaktadır.

3. KURUTMA

Türkiye’de üretilen kayısının büyük bir çoğunluğu kurutulmuş ürün olarak değerlendirilmekte ve kurutulan kayısının büyük bir çoğunluğu ise yurt dışına ihraç edilmekte ve ülke ekonomisine büyük oranda katkı sağlamaktadır. Kurutma genel olarak basit bir işlem olarak görülse de elde edilecek kuru kayısı ürünün kalitesi ve ulusal ve uluslar arası standartlara uygunluğu açısından önem taşımaktadır. Dünya’da kayısı ve diğer meyve yada bitkilerin kurutulması, kurutma teknikleri açısından önem kazanmaktadır. Kurutma yöntemlerinin tartışılmasından önce kurutma teorilerinin açıklanması, kurutma yöntemlerinin daha iyi algılanması açısından faydalı olacaktır. Bu nedenle bir sonraki bölümde kurutma temelleri hakkında bilgiler sunulmuştur.

3.1 Kurutmanın Temelleri

Kurutma, ürünlerin içerdiği suyu belirli bir sınıra kadar buharlaştırıp üründen uzaklaşmasını sağlayan işlemdir.

Kurutma yöntemleri genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır:

Birinci grup kurutmada yöntemlerinin esasını, kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması için gerekli ısının transfer şekli oluşturmaktadır. Buna göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- Konveksiyon kurutma; ısının taşınım yolu ile kurutulacak maddeye iletilmesidir
- Kondüksiyon kurutma; kurutulacak maddeye ısının iletim yolu ile gerçekleştirilmesi
- Radyasyon kurutma; ısı ışıınımı yolu ile maddeye iletilmesi

İkinci grup kurutmada ise, ısıtma işlemi, güneş enerjisinin kullanım şekline göre sınıflandırılmıştır:

- Doğal sistemler; meyve, sebze ve tahıl ürünlerinin direkt güneş ışınları altında serilerek kurutulması
- Pasif sistemler; sistemde ek enerji olmadan kurutma
- Aktif sistemler; kurulan sisteme ek enerji verilerek kurutma

Kurutucu havanın özellikleri, kuruma şartları açısından önemli rol oynamaktadır. Bunlar kurutma için kullanılan kuru havanın sıcaklığı, basıncı, özgül nemidir.

Gıdalarda bulunan suyun miktarı, kendini çevreleyen havanın bağıl nemi ile ilişkilidir. Ayrıca gıdalarda bulunan su değişik fiziksel özelliklerdedir. Gıdalardaki suyun miktarı, suyun

özeliklerine etki eden en önemli faktördür. Her gıdanın belli koşullarda ulaştığı çevresindeki ortam ile bağımlı denge nemi farklı ve kendine özgü olmaktadır (Cemeroğlu, 1986).

3.2 Kurutma Süreçleri

Ürünün taşıdığı su kütlesinin ürünün kütlesine oranına nem oranı adı verilmektedir. Nem oranı kuru ve yaş bazdaki nem oranı olarak ifade edilebilir.

Kuru baza göre nem oranı ($x_{k,b}$), üründeki su kütlesinin, ürünün kuru kütlesine oranı olarak tanımlanır:

$$x_{k,b} = \frac{(m_{top} - m_k)}{m_k} = \frac{m_s}{m_k} \quad (3.1)$$

Yaş baza göre nem oranı, üründeki su kütlesinin ürünün toplam kütlesine oranıdır:

$$x_{y,b,nem} = \frac{m_s}{m_{top}}$$

(3.2)

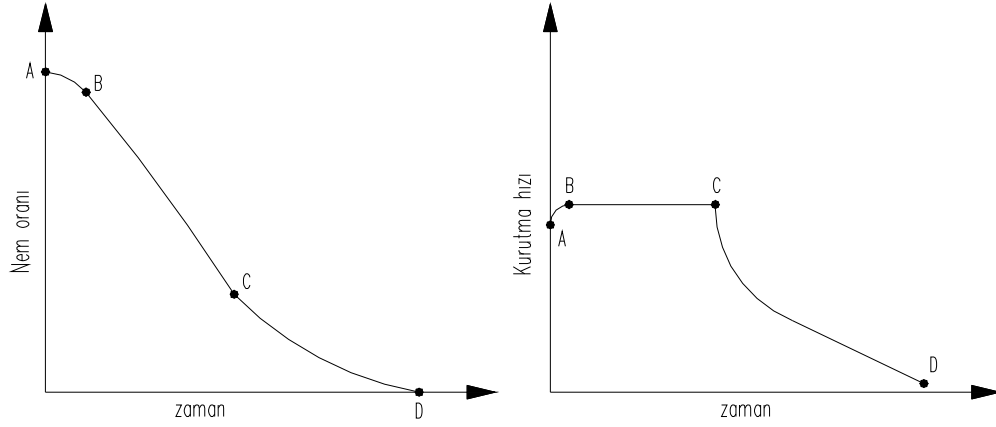
Burada m_s ürünün içerdiği su kütlesini, m_k ürünün içerdiği kuru kütlesini ve m_{top} maddenin toplam kütlesini ifade etmektedir.

Kuru ve yaş baza göre nem oranları aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla birbirine çevirilebilir:

$$x_{k,b} = \frac{x_{y,b,nem}}{1 - x_{y,b,nem}} \quad (3.3)$$

Maddeyi çevreleyen havadaki su buharı ile madde içerisindeki nemin denge durumuna gelmesi ile teorik olarak maddenin kurutulması sona erer. Bu nem oranına denge nemi adı verilir.

Şekil 3.1’de bir maddenin kurutulması sırasında zamana göre nem oranı ve kuruma hızı değerlerindeki genel değişim görülmektedir.



Şekil 3.1 Zamana bağlı nem oranı ve kuruma hızı değişimleri

Şekil 3.1’den izleneceği üzere, kurutma sürecinde; A-B ısınma süreci, B-C sabit kurutma hızı süreci ve C-D ise azalan hız süreci olarak adlandırılır. C, kritik nokta olarak nitelendirilir. Sabit kuruma koşullarında havanın sıcaklığı, nemi, hızı ve havanın akış yönü sabittir. Bu süreçte maddeden birim zamanda uzaklaşan su miktarı sabittir (Yüzgeç, 1999). Maddedeki su miktarı zamanla belirli bir düzeye indiğinde sabit kuruma hızı süreci sona ererek, “azalan kuruma hızı” süreci başlar.

3.3 Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler

Kurutulmakta olan maddenin, birim zamanda kaybettiği nem miktarı kuruma hızı olarak tanımlanmaktadır;

$$\frac{dx_{kb}}{dt} = \left(\frac{x_{t+dt} - x_t}{dt} \right) \quad (3.4)$$

Burada x_t , t anındaki kuru baza göre nem içeriği ve x_{t+dt} , t+dt anındaki kuru baza göre nem içeriği olarak ifade edilir.

Kurutma hızına etki eden faktörler aşağıda verilmiştir;

- Fiziksel özellikler: Ürünün büyüklüğü, geometrisi, kurutucuya yerleştirilme şekli ve yüzey alanı
- Kimyasal özellikler: Üründeki şeker, tuz içerikleri ve madde cinsi
- Hava hızı: Kurutmada hava hızı değişimi ve kütle transferini etkilemektedir
- Hava sıcaklığı: Kurutmada sıcaklık değişimi ısı ve kütle transferini etkilemektedir

- Kurutma havasının özgül nemi: Kurutma havasının özgül nemi ısı ve kütle transferini etkilemektedir

3.4 Kurutma Yöntemleri

Kurutulacak ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre kurutma yöntemleri değişmektedir. Kurutmada kullanılan bazı yöntemler aşağıda verilmiştir:

- Dondurarak kurutma; bu yöntemde ürün, dondurulduktan sonra kurutulur. Dondurulan malzemeye iletim veya ışınım ile ısı verilir. Bu tip kurutmada genellikle -10°C ile -40°C arasındaki sıcaklıklar uygulanır.
- Mikrodalga kurutma; bu tip kurutmada elektriksel güç kaynağı kullanılır. Bu tür kurutma yöntemi, şerit şeklindeki ince malzemelerin kurutulmasında uygulanır.
- Vakumda kurutma; kurutma düşük basınçlarda, suyun düşük sıcaklıklarda buharlaşması ile gerçekleştirilir. Bu tür kurutma yöntemi; şeker, kimyasal madde, kauçuk, patlayıcı gibi maddelerin üretiminde kullanılmaktadır.
- Püskürtme yolu ile kurutma; püskürterek kurutma yöntemi; meyve, süt tozları, kahve, deterjan gibi ürünlerin elde edilmesinde uygulanmaktadır. Bu tip kurutmada kurutma bölümüne önceden hazırlanmış olan ürün ekstrağı (özütü) püskürtülerek reaksiyon yüzeyi arttırılarak verilir.
- Dielektrik kurutma; bu yöntemde ısı ürünü yüksek frekanslı bir elektromanyetik alana yerleştirilir ve sonra ürünün içerisinde termal enerji üretilir. Bu şekilde nem maddenin içerisinden dış kısmına doğru yönelerek , maddenin nem profili düzenlenir.

4. KURUTMA HAVASININ $h - x$ DİYAGRAMINDA GÖSTERİLMESİ

4.1 Buhar Basıncı

Kapalı bir kaptaki su ısıtılırsa, belirli bir sıcaklığa ulaşıldığında buharlaşma başlar. Bu andan itibaren suyun tamamen buhara dönüşmesine kadar su-buhar karışımının sıcaklığının değişmediği görülür. Su ve buharın denge halinde bulunduğu bu duruma doyma hali denir. Belirli sıcaklıktaki buharlaşma basıncına ise doymuş buhar basıncı (P_b) denir. Bu deney farklı basınçlar altında tekrarlanırsa, her basınç için farklı bir buharlaşma sıcaklığı bulunur.

4.2 Nemli Havanın Özellikleri

Yeterli derecede kuru hava su ile temasa getirildiğinde su buharlaşmaya başlar. Buhar-hava karışımı doymuş hale gelinceye kadar, yani karışımdaki kısmi buhar basıncı P_b suyun aynı sıcaklıktaki doymuş buhar basıncına eşit oluncaya kadar buharlaşma devam eder. 1 kg kuru havada bulunan su buharı kütlesi havanın özgül nemi olarak adlandırılır ve x ile gösterilir.

$$x = \frac{m_b}{m_h} \quad (4.1)$$

Nem miktarının kuru hava kütlesine orantılı olarak ifade edilmesinin nedeni nemlendirme veya tersi olarak havanın kurutulmasında su buharı-hava karışımındaki kuru hava kütlesinin değişmemesidir.

Bağıl nem ise belli bir sıcaklıktaki havanın içinde bulundurabileceği su buharı miktarının, aynı sıcaklıktaki doymuş havadaki su buharı miktarına oranıdır. Havanın ısıtılması ile bağıl nem azalır, soğutulması ile bağıl nem artar.

Kurutma işlemlerinde hava kullanıldığında, hava-su buharı karışımının bazı özellikleri psikometrik diyagram yardımı ile hesaplanabilmektedir. Psikometrik diyagramlar, hava-su buharı karışımları ile ilgili temel özellik bağımlılıkları ile ilgili bazı parametrelerin grafik şeklinde sunulmaları ile elde edilen diyagramlardır.

Nemli havanın sabit basınçtaki özgül ısı C_{pn} aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$C_{pn} = C_{ph} + C_{pb}x \quad (4.2)$$

Burada , C_{pb} (kcal/kg 0C) su buharının sabit basınçtaki özgül ısı, C_{ph} (kcal/kg 0C) kuru havanın sabit basınçtaki özgül ısı, x ise havanın özgül nemidir.

Atmosfer basıncında su buharı-hava karışımı ideal gaz olarak kabul edilirse, Dalton Kanununa göre su buharı kısmi basıncının, kuru hava kısmi basıncına oranı su buharı mol sayısının kuru hava mol sayısı oranına eşit olur ve

$$\frac{P_b}{P_h} = \frac{P_b}{P - P_b} = \frac{m_b / \bar{M}_b}{m_h / \bar{M}_h} = \frac{\bar{M}_h}{\bar{M}_b} \cdot x$$

$$x = \frac{\bar{M}_b}{\bar{M}_h} \cdot \frac{P_b}{P - P_b} \quad (4.3)$$

bulunur. Burada P su buharı-hava karışımının toplam basıncı, $\bar{M}_h$ ve $\bar{M}_b$ hava ile su buharının moleküler kütleleridir.

$$(M_b = 18 \text{ kg / kmol}, \quad M_h = 29 \text{ kg / kmol})$$

Sonuç olarak nemli havanın özgül nemi için

$$x = \frac{18}{29} \cdot \frac{P_b}{P - P_b} = 0.662 \cdot \frac{P_b}{P - P_b} \quad (4.3a)$$

bağıntısı bulunur.

Su buharı-hava karışımının birim hacimdeki su buharı kütlesi ρ_b 'nin aynı sıcaklık ve basınçta doymuş haldeki karışımdaki su buharı kütlesi ρ''_b 'ye oranı havanın bağıl nemi olarak ifade edilir.

Bağıl nem ϕ ile gösterilir ve su buharı-hava karışımının doyma derecesinin bir ölçüsü olur.

$$\phi = \frac{\rho_b}{\rho''_b} = \frac{P_b}{P''_b} \quad (4.4)$$

Burada P''_b doymuş haldeki karışımın su buharı kısmi basıncıdır. (1+x) kg nemli havanın entalpisi, kuru havanın entalpisi h_h ile su buharının entalpisi $x \cdot h_b$ 'nin toplamına eşit olur.

$$h_{1+x} = h_h + x \cdot h_b \quad (4.5)$$

Kuru havanın sabit basınçtaki özgül ısı C_{ph} kullanılarak t sıcaklığındaki entalpisi,

$$h_h = C_{ph} \cdot t$$

olarak hesaplanır. Havanın özgül ısı için ortalama olarak $C_{ph} = 1,005 \text{ kJ / kgK}$ kullanılabilir.

Su buharının entalpisi için 0°C sıcaklıktaki atmosfer basıncında 0°C sıcaklıktaki suyun buharlaşma gizli ısısını $r = 2500\text{kJ/kg}$ olarak, kızgın su buharının entalpisi hesaplanır;

$$h_b = r + C_{pb} \cdot t = 2500 + C_{pb} \cdot t$$

Burada su buharının özgül ısısı ortalama olarak $C_{pb} = 1,842\text{kJ/kgK}$ kullanılarak, doymamış nemli havanın entalpisini veren bağıntı bulunur (Bosnjakovich, 1965).

$$h_{1+x} = 2500 \cdot x + (1,005 + 1,842) \cdot t \quad (4.6)$$

4.3 Havanın Mollier Diyagramı

Nemli havanın durum değişimi Mollier tarafından geliştirilen h,x-Diyagramında gösterilir. Kurutmada genellikle sıcak hava kullanılarak yaş malzemeden suyun alınması söz konusu olduğundan Mollier Diyagramı önem kazanır. Bu diyagramda sabit sıcaklık ve sabit entalpi eğrilerini hesaplayabilmek için (4.6) denklemi kullanılır, izotermilerin eğim açısı

$$\frac{dh_{1+x}}{dx} = 2500 + 1,842 \cdot t = h_b \quad (4.7)$$

sabit olduğundan izotermier diyagramda doğrularla gösterilir. Ancak suyun buharlaşma gizli ısısının değeri yüksek olduğundan bu izotermierin eğim açıları çok dik olmaktadır.

Bu mahzuru gidermek maksadıyla Mollier eğik eksenli bir diyagram kullanmış ve $t = 0^{\circ}\text{C}$ izotermi x-ekseninin üzerine düşecek şekilde kaydırmış ve böylece yatay birer doğru olan $h_{1+x} = st$ doğrularını aşağıya doğru eğik duruma getirmiştir.

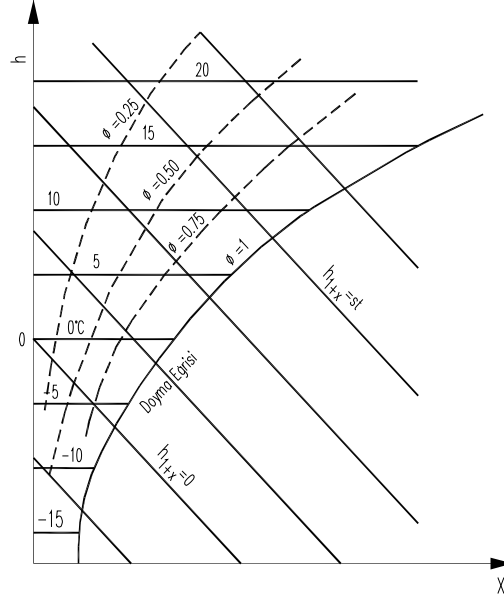
(4.3.a) bağıntısında P_b yerine belirli bir sıcaklıktaki doymuş buhar basıncı P_b'' kullanılırsa, o zaman doymuş haldeki su buharı-hava karışımının özgül nemi x'' bulunur.

Bu hesaplar farklı sıcaklıklar için tekrarlanınca doyma eğrisi $\phi = 1$ elde edilir (Şekil 4.1).

Daha sonra (4.3.a) bağıntısında bağıl nem kullanılarak P_b yerine $\phi \cdot P_b''$ yazılırsa

$$x = 0,622 \frac{\phi \cdot P_b''}{P - \phi \cdot P_b''} \quad (4.8)$$

bulunur. Bu son bağıntıyı kullanarak $\phi < 1$ için yani doymamış nemli hava için $\phi = st$ eğrileri çizilir.



Şekil 4.1 Doyma eğrisi ve sabit bağıl nem eğrileri

Mollier Diyagramı karışımın belirli bir toplam basıncına göre çizilmiştir. Bu basınç genellikle atmosfer basıncı olur. Nemli hava ideal gaz olarak kabul edilirse, basıncın entalpiyi etkilemeyeceği, dolayısıyla farklı basınçlarda izotermelerin şeklinde bir değişiklik olmayacağı görülür. Ancak su buharı kısmi basıncı P_b toplam basınç P ile ilgili olduğundan (4.4) bağıntısına göre bağıl nem ϕ 'nin değişmesi beklenir. Diyagramdan okunan atmosfer basıncındaki ϕ değerini kullanarak

$$\frac{\phi_1}{\phi} = \frac{P_1}{P} \quad (4.9)$$

bağıntısına göre herhangi bir P_1 basıncındaki ϕ_1 değeri hesaplanabilir (Bosnjakovich, 1965).

4.4 Nemli Havaya Su veya Su Buharının İlavesi

$\dot{m}_h (1 + x_1)$ kütledeki nemli havaya $\Delta \dot{m}_s$ kadar su ilave edilince, su ilavesinden önceki durum için 1 ve su ilavesinden sonraki durum için 2 indislerini kullanarak kütle balansı yapılırsa,

$$\dot{m}_h (1 + x_1) + \Delta \dot{m}_s = \dot{m}_h \cdot (1 + x_2) \quad (4.10)$$

bulunur. Su ilavesi esnasında dışarıyla ısı alışverişi olmazsa işlem adyabatik olur ve Termodinamiğin 1.Kanununa göre enerji balansı aşağıdaki gibi yazılır.

$$\dot{m}_h \cdot (1 + x_1) + \Delta \dot{m}_s = \dot{m}_h \cdot h_{1+x} \quad (4.10a)$$

$$h_{1+x)_2} - h_{1+x)_1} = \frac{\Delta m_s}{m_h} \cdot h_s \quad (4.11)$$

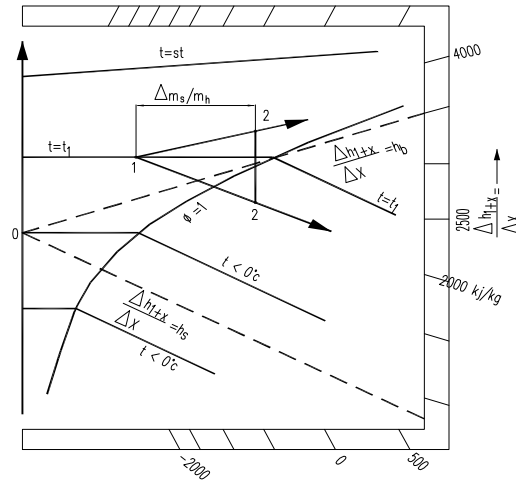
Bu son bağıntı bir evvelki ile bölünürse,

$$\frac{h_{1+x)_2} - h_{1+x)_1}}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h_{1+x}}{\Delta x} = h_s \quad (4.12)$$

bağıntısı bulunur.

$\Delta h_{1+x} / \Delta x$ eğimi Mollier'in h,x-diyagramında çerçeve ölçeği olarak gösterilmiştir. (Şekil 4.2)

Bundan yararlanarak h,x-diyagramı üzerinde bir nemlendirme işleminin gelişme yönü tesbit edilebilir. Bu diyagramda çerçeve ölçeğinin merkezi ordinattaki $t = 0^\circ\text{C}$ noktası olur ve farklı $\Delta h_{1+x} / \Delta x = st$ değişim doğruları bu doğrudan geçer.



Şekil 4.2 Çerçeve ölçekli h-x diyagramında nemli havaya su veya su buharı ilavesinin gösterilmesi

Nemli havaya su veya su buharının ilavesi sonucu elde edilen karışımın durumu

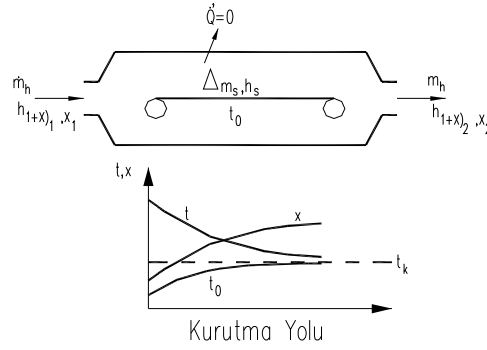
h-x diyagramında kolaylıkla gösterilebilir.

Örneğin; 1 durumundaki nemli havaya su ilave edildiği zaman işlem 1 durumundan geçen ve

$\Delta h_{1+x} / \Delta x = h_s$ değişim doğrusuna paralel bir doğru üzerinde bulunacaktır. 1 ve 2 durumları arasındaki özgül nem farkı $x_2 - x_1 = \Delta m_s / m_h$ bilinirse 2 durumunun yeri belirlenir, nemli havaya suyun sıvı veya buhar şeklinde ilave edilmesi uygulamada bir fark yapmaz, yeter ki entalpi için suyun h_s 'si veya su buharının h_b 'si kullanılsın (Ackermann, 1970).

4.5 Yaş Termometre Sıcaklığı ve Adyabatik Doyma Sıcaklığı

Bir termometrenin haznesi üzerine yaş bir kılıf geçirildiği zaman ve bu şekilde hazne üzerine hava üflenirse termometre sıcaklığı belirli bir dereceye kadar düşer ve burada sabit kalır. Bu sıcaklığa yaş termometre sıcaklığı (t_y) denir. Üflenen havanın hızı artsa bile termometre sıcaklığı artık değişmez. Benzer şekilde yaş malzemeye kurutma amacıyla sıcak hava üflendiği zaman ve çevre ile kondüksiyon ve radyasyon ısısı alışverişi yoksa, yüzey üzerinde ve yüzeyin her yerinde yaklaşık olarak t_y sıcaklığına eşit bir sıcaklık oluşur. Bu arada havanın malzeme yüzeyi ile teması sonucu nemlenerek, sıcaklığın düştüğü ve yeterli uzunlukta bir yüzeyle temas sağlandığında hava sıcaklığının malzeme yüzey sıcaklığına asimptomik olarak yaklaştığı görülür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Hava ile kurutmada sıcaklık dağılımı

Kurutma havasının yaklaştığı bu sınır sıcaklığa adyabatik doyma sıcaklığı (t_k) denir. Hava sıcaklığı adyabatik doyma sıcaklığına eriştiği zaman hava doymuş durumda olup, hava ile malzeme arasında bir dengeleme durumu oluşmuştur (Kneule, 1975).

Kurutma başlangıcında malzeme sıcaklığının adyabatik doyma sıcaklığına eşit olduğu kabul edilirse,

$$t_1 = t_k + t_2$$

olup, o zaman $h_{k1} = h_{k2}$ ve $h_{s1} = h_{s2} = h_{sk}$ olacaktır.

Burada h_{sk} malzemedeki suyun adyabatik doyma sıcaklığındaki entalpisidir. Sonuç olarak yukarıdaki kurutma olayı için enerji balansı,

$$\dot{m}_h \cdot [h_{1+x}_2 - h_{1+x}_1] + (m_{s2} - m_{s1}) \cdot h_{sk} = 0$$

ve kütle balansı,

$$m_{s1} - m_{s2} = \dot{m}_h (x_2 - x_1)$$

şeklinde yazılınca, bu iki bağıntıyı kullanarak h_{sk} hesaplanabilir.

$$h_{sk} = \frac{h_{1+x)_2} - h_{1+x)_1}}{x_2 - x_1} \quad (4.13)$$

Görüldüğü gibi adyabatik doyma sıcaklığı t_k ve buna bağlı olarak entalpi h_{sk} kurutucuya giriş koşullarındaki $h_{1+x)_1}$ ve x_1 değerlerinin fonksyonu olmaktadır. Belirli bir kurutma havası durumuna göre belirli bir malzeme yüzey sıcaklığı (t_k) bulunur. Bunun sonucu olarak belirli sıcaklıktaki bir malzemenin kurutulmasında kullanılabilecek farklı durumdaki kurutma havaları (h,x) diyagramında aynı $t_k = st$ doğrusu üzerine bulunacaktır. Değer taraftan 4.13 bağıntısının daha önce bulunan,

$$\frac{h_{1+x)_2} - h_{1+x)_1}}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h_{1+x}}{\Delta x} = h_s \quad (4.14)$$

bağıntısına benzer olması, yukarıdaki kurutma olayının, kurutma havası bakımından nemli havaya t_k sıcaklığında suyun püskürtülmesi işlemine benzediğini gösterir.

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi kurutma yolu yeteri kadar uzun olunca kurutma havası da doymuş hale gelir ve o zaman $t_2 = t_y = t_k$ olur. Bu koşullarda kurutma havasının buhar içeriği malzeme yüzeyindeki havanın buhar içeriğine eşittir (Kneule, 1975).

Yani $x_2 = x''_k$ olur. Ayrıca kurutma havasının entalpisi $h_{1+x)_2} = h_{1+x)_k}$ olmuştur. Malzemedeki suyun entalpisi için de

$h_{sk} = c_s \cdot t$ yazılınca, görülür ki (4.13) bağıntısı bu sefer

$$h_{1+x} = h''_{1+x} + (x - x'') \cdot c_s \cdot t \quad (4.14)$$

bağıntısına dönüşür. Yani sisli bölgedeki izotermilerin bağıntısına benzer bir şekil alır. Buna göre (h-x) diyagramında adyabatik doyma sıcaklığı $t_k = st$ doğrularını elde etmek için sisli bölge izotermelerini doymamış bölge içersine uzatmak yeterli olur.

Kurutma havası doymuş hale gelince ve sıcaklığı da adyabatik doyma sıcaklığına eşit olunca $t_2 = t_k$ (4.13) bağıntısı,

$$\frac{h''_{1+x)_k} - h_{1+x)_1}}{x''_k - x_1} = h_{sk} \quad (4.15)$$

şeklini alır. Buraya (4.6) bağıntısına göre entalpi için,

$$h_{1+x} = r \cdot x + (C_{ph} + x \cdot C_{pb})t \quad (4.6)$$

ve (4.6) bağıntısına göre özgül nem için,

$$x = \frac{M_b}{M_h} \cdot \frac{\phi \cdot P''_b}{P - \phi \cdot P''_b} \quad (4.8)$$

yerleştirilirse,

$$\frac{r_k \cdot x''_k + (C_{ph} + C_{pb} \cdot x''_k) \cdot t_k M - r_1 \cdot x_1 - (C_{ph} + C_{pb} \cdot x_1) \cdot t_1}{\frac{M_b}{M_h} \cdot \left(\frac{P''_{bk}}{P - P''_{bk}} - \frac{P_{b1}}{P - P_{b1}} \right)} = C_s \cdot t_k \quad (4.16)$$

bulunur. Burada nemli havanın ortalama özgül ısısı için,

$$\bar{C}_p = C_{ph} + x_1 \cdot C_{pb} \quad (4.17)$$

sabit değeri kullanılırsa ve buharlaşma gizli ısısı için $r_1 = r_k$ kabul edilirse ve gerekli yerleştirmeler yapıldıktan sonra,

$$t_k - t_1 = \frac{M_b}{M_h} \cdot \frac{C_s \cdot t_k - r_k}{\bar{C}_p} \cdot \frac{P''_{bk} - P_{b1}}{P - P''_{bk}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{P_{b1}}{P}} \quad (4.18)$$

elde edilir. Buharlaşma gizli ısısına kıyasla $C_s \cdot t_k$ ihmal edilecek mertebede olduğundan, hava giriş sıcaklığı ile adyabatik doyma sıcaklığı arasındaki farkı veren bağıntı,

$$t_k - t_1 = \frac{M_b}{M_h} \cdot \frac{r_k}{\bar{C}_p} \cdot \frac{P''_{bk} - P_{b1}}{P - P''_{bk}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{P_{b1}}{P}} \quad (4.19)$$

şeklini alır. Bu bağıntının paydasındaki $M_h C_p \frac{1}{1 - \frac{P_{b1}}{P}}$ terimi nemli havanın moleküler özgül

ısısına eşit olacaktır:

$$M_h \bar{C}_p \left(1 - \frac{P_{b1}}{P}\right) = M_h C_{ph} \left(1 - \frac{P_{b1}}{P}\right) + M_b \cdot C_{pb} \frac{P_{b1}}{P} = \bar{C}_p \cdot \bar{M} \quad (4.20)$$

Neticede adyabatik doyma sıcaklığını hesaplamak için kullanılacak bağıntı bulunur (Kneule, 1975).

$$t_1 - t_k = \frac{M_b \cdot r_k}{\bar{C}_p \cdot \bar{M}} \cdot \frac{P''_{bk} - P_{b1}}{P - P''_{bk}} \quad (4.20)$$

Psikometre kullanarak, çift termometre vasıtasıyla havanın kuru termometre sıcaklığı (t) ve yaş termometre sıcaklığı (t_y) ölçülürse, bu değerler ile h,x-diyagramında nemli havanın yerini

tesbit etmek mümkün olur. h,x -diyagramında $t = st$ doğrusu ile $t_k = st$ doğrusunun kesiştiği nokta nemli havanın durumunu belirleyen nokta olur.

5. BUHAR BASINCI

5.1 Dış Kuvvetlerin Buhar Basıncına Etkisi

Denge koşullarında, bir sıvının üzerinde yalnız kendi buharı bulunduğu zaman sıcaklığa bağlı olarak belirli bir buhar basıncının oluştuğu ve buna da doymuş buhar basıncı P_b'' adı verildiği belirtilmiştir.

Nem içeriği yüksek olan malzeme üzerindeki buhar basıncı da doymuş buhar basıncına eşit olur. Malzeme nem içeriği düşük olunca, malzeme üzerindeki buhar basıncının doymuş buhar basıncının altına düştüğü görülür. Malzeme nemi içeriğinin buhar basıncına etkisini sıvı ile sıvıyı sınırlayan malzeme gözenek duvarları arasındaki kuvvetler belirler.

Sıvı ve buhar fazlarının denge halinde bulunması için, her iki fazın serbest entalpilerinin eşit olması ve bir fazda meydana gelen sonsuz küçük serbest entalpi değişiminin diğer fazda sonsuz küçük bir basınç değişimi olarak ortaya çıkması gereklidir (Krischer, 1954). Bu durumda sıvı üzerindeki buhar basıncını, sıcaklıktan başka sıvıya tesir eden dış kuvvetler de etkileyecektir. Bu da dış basınç olur. Sıvıya tesir eden dış basınç P_s , sıvı üzerindeki buhar basıncı P_b ve sıvı ile buharın özgül hacimleri v_s, v_b ile gösterilirse, her iki fazın sıcaklıkları eşit olduğu zaman Gibbs Denkleminde göre;

$$v_b \cdot dP_b = v_s \cdot dP_s \quad (5.1)$$

yazılır. Burada su buharı gaz karışımının ideal gaz kabulü ile $v_b = R_b T / P_b$ kullanılırsa,

$$\frac{dP_b}{P_b} = \frac{v_s \cdot dP_s}{R_b T} \quad (5.2)$$

bulunur. Yukarıdaki bağıntının intergrasyonu sonucu dış basınç $P_s = 0$ olduğu zaman buhar basıncı $P_b = P_b''$ olacağı kabul edilince, özgül nem ile dış basınç arasındaki ilişkiyi veren

$$\ln \frac{P_b}{P_b''} = \frac{v_s P_s}{R_b T} \quad (5.3)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntının sıcaklığa göre türevi alınınca,

$$\frac{d(\ln \frac{P_b}{P_b''})}{d(\frac{1}{T})} = \frac{v_s \cdot P_s}{R_b} = \frac{\Delta h_s}{R_b} \quad (5.4)$$

bulunur. Sabit sıcaklıkta sistem iç enerjisi değişmeyeceğinden bu bağıntıda $(v_s \cdot P_s)$ çarpımı h_s 'ye eşit yazılmıştır.

h_s ıslatma entalpisi olarak tanınır. Yaş malzemede olduğu gibi sıvı katı yapıya bağlı olunca, sıvının buharlaşması güçleşir. Özgül nemin azalmasıyla malzeme içerisindeki sıvının buharlaşması için gerekli ısı da artış gösterir. Bu durumda gözenekler içerisindeki sıvıyı buharlaştırmak için buharlaşma gizli ısının üstünde bir ısıya gerek olur. Bu fazla ısıya ıslatma entalpisi denir.

Neticede gözenekli malzemedeki sıvıyı buharlaştırmak için gerekli ısı,

$$\Delta h = r + \Delta h_s$$

olarak hesaplanır (Krischer, 1954).

5.2 Kapiler Yüzey ve Sıvı Damlası üzerindeki Buhar Basıncı

Yüzey gerilmesinin etkilediği çekme ve basınç kuvvetleri dış kuvvet olarak kabul edilir. Kapiler sıvı halinde, sıvı yüzeyi iç bükey olunca çekme kuvvetleri ve damla halinde sıvı yüzeyi dış bükey olunca basınç kuvvetleri söz konusu olur. Bu nedenle kapiler sıvı üzerinde buhar basıncında düşme, damla üzerinde buhar basıncında ise yükselme meydana gelir. Ancak basınç farkının belirgin olabilmesi için kapiler yüzey veya damla yarıçapının çok küçük olması gerekir. Bu durum çok küçük gözenekli malzemede veya püskürtme sonucu elde edilen çok küçük damlacıklarda görülür. Buradaki çekme kuvveti sıvının mekanik olarak gözeneklerden uzaklaştırılması için tatbik edilmesi gereken kuvvete eşit olur.

Çok ufak gözeneklerde bu kuvvet çok yüksek olacağından mekanik kurutma yetersiz olur ve termik kurutma yapılması gerekir (Steinbach, 1972).

5.3 Adsorbe Edilen Gaz üzerindeki Buhar Basıncı

Çok ufak gözenekli malzemede kapiler sıvının buhar basıncı kurutulan malzemenin sıcaklığına tekabül eden buharın doymuş buhar basıncından küçük olur. Kurutmanın devamı süresince buhar basıncı daha da azalır. Sonuçta buharlaşma yetersiz olur (Steinbach, 1972). Sıvı ufak gözenekler içerisinde hapis kalır. Bu tür malzemelere higroskopik madde denir (tahta, kağıt, selüloz, sebze, meyve ve birçok organik maddeler gibi). Bir higroskopik madde üzerinde sıvı buharı bulunursa ve madde ile sıvı buharı arasında herhangi bir kimyasal reaksiyon olmazsa, denge oluşuncaya kadar madde yüzeysel olarak sıvı buharını emer. Bu olaya adsorbsion denir.

5.4 Absorbe Edici üzerindeki Buhar Basıncı

Buhar basıncının doymuş buhar basıncı değerin altına düştüğü görülen diğer bir olay da absorpsiyon olayıdır. Burada bir maddenin bir sıvıda çözülmesi söz konusudur. Bu çözülme esnasında kimyasal bir reaksiyon ile birleşme meydana gelir. Sonuçta farklı bir çözücü elde edilir (H_2SO_4 , NH_3 , $CaCl_2$ ve $NaCl$ 'nın suda çözülmeleri gibi). Çözülen parçacıkların (iyonlar) çözücüde az miktarda bulunması yani çözeltinin derişikliğinin düşük olması çözelti üzerindeki buhar basıncının doymuş buhar basıncına yaklaşmasını sağlar. Ayrıca $CaCl_2$ tuzu, H_2SO_4 ve %98 'lik Gliserin+Su karışımı nemli havanın kurutulmasında da kullanılabilir. Bu maddeler nemli hava ile temas neticesinde havadaki su buharını absorbe ederler. Absorpsiyon kurutmasında nemli havanın hangi mertebeye kadar kurutulması gerekeceği dikkate alınmalıdır (Steinbach, 1972).

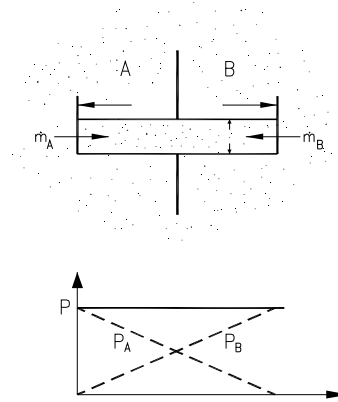
6. KÜTLE TRANSFERİ

Konveksiyonla ısı transferinde olduğu gibi maddenin bir yüzeyden, yüzey üzerinde hareket halindeki bir ortama taşınması veya ters yönde, ortamdan yüzeye taşınması olayına kütle transferi denir. Yaş bir yüzey yüzeyinde oluşan buharın akmakta olan bir gaz karışması veya higroskopik bir malzemenin üzerinde bulunan bir buharı absorbe etmesi birer kütle transferi olayıdır. Kütle transferinde buharın gaza difüzyonu gaz akışına dik yönde ve buharın konveksiyon ile taşınması gaz akışı yönünde olur. Bu iki olay bir arada meydana gelir.

6.1 Difüzyon

6.1.1 Gazlar Arasında Çift Yönlü Difüzyon

Aynı sıcaklık ve basınçta bulunan A ve B gazları bir duvarla ayrılmış olsun ve duvarda kesit alanı a , uzunluğu l olan bir irtibat borusu bulunsun (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 Gazların çift yönlü difüzyonu

Gazların akış hızı v_a, v_b olursa, Stefan'a göre karşılıklı hareket eden moleküller arası çekici

kuvvet bağıl hız $(V_A - V_B)$, molar yoğunlukları $\frac{\rho_A}{M_A}, \frac{\rho_B}{M_B}$ ile gazların özelliklerini içeren C_{AB}

sabiti ile orantılı olacaktır. Ayrıca gazların hareket edebilmesi için itici kuvvet olan kısmi basınç gradianlarının moleküller arası çekici kuvveti yenmesi gerekir. Toplam basınç

$P_A + P_B = P$ sabit olursa, kısmi basınç gradianları için

$$-\frac{dP_A}{dl} = +\frac{dP_B}{dl}$$

yazılabilir ve Stefan'ın moleküller arası kuvvet ifadesine uygun olarak aşağıdaki bağıntı elde edilir (Brauer, 1971).

$$-\frac{dP_A}{dl} = +\frac{dP_B}{dl} = C_{AB} \frac{\rho_A}{M_A} = -\frac{\rho_B}{M_B} \cdot (V_A - V_B) \quad (6.1)$$

Avagardo kanununa göre aynı sıcaklık ve basınçta belirli bir hacmi dolduran gazların mol sayıları eşittir. O halde A ve B hacimlerinde basıncın değişmemesi için irtibat borusundan A'dan B'ye geçen mol sayısı B'den A'ya geçen mol sayısına eşit olmalıdır. Başka bir deyimle her iki gazdan irtibat borusundan birim zamanda geçen molekül sayıları eşit olmalıdır (Brauer, 1971).

$$\frac{V_A \cdot \rho_A}{M_A} = -\frac{V_B \cdot \rho_B}{M_B} \quad (6.2)$$

Bu eşitlikten yararlanarak (4.1) bağıntısı aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\frac{dP_A}{dl} = C_{AB} \frac{V_A \cdot \rho_A}{M_A} \left(\frac{\rho_B}{M_B} + \frac{\rho_A}{M_A} \right) = \frac{dP_B}{dl} = -C_{AB} \frac{V_B \cdot \rho_B}{M_B} \cdot \left(\frac{\rho_A}{M_A} + \frac{\rho_B}{M_B} \right) \quad (6.3)$$

Bu bağıntıda ideal gazlar kanununa göre $\rho_A = P_A / R_A \cdot T$, $\rho_B = P_B / R_B \cdot T$, ve universal gaz sabiti IR yerleştirilirse

$$-\frac{dP_A}{dl} = \frac{C_{AB} \cdot V_A \cdot \rho_A \cdot P}{M_A} \text{ bulunur. Boru içinde difüzyonla A'dan B'ye ve B'den A'ya geçen}$$

gaz debileri, akışkanların süreklilik kanuna göre;

$$\dot{m}_A = a \cdot V_A \cdot \rho_A = -a M_A \frac{IR \cdot T}{C_{AB} \cdot P} \cdot \frac{dP_A}{dl}$$

$$\dot{m}_B = a \cdot V_B \cdot \rho_B = -a M_B \frac{IR \cdot T}{C_{AB} \cdot P} \cdot \frac{dP_B}{dl}$$

olduğundan, burada $M_A = IR/R_A$, $M_B = IR/R_B$ olarak kullanılırsa gaz debilerini veren bağıntılar bulunur.

$$\dot{m}_A = -a \frac{1}{R_A \cdot T} \cdot \frac{(IR \cdot T)^2}{C_{AB} \cdot P} \cdot \frac{dP_A}{dl} \quad (6.4)$$

$$\dot{m}_B = -a \frac{1}{R_B \cdot T} \cdot \frac{(IR \cdot T)^2}{C_{AB} \cdot P} \cdot \frac{dP_B}{dl} \quad (6.5)$$

Her iki gazın difüzyon akısı bağıntılarındaki ortak büyüklük $(IR \cdot T)^2 / (C_{AB} \cdot P)$ difüzyon katsayısı D (m^2/s) olarak adlandırılır (Brauer, 1971).

$$D = \frac{(IR \cdot T)^2}{C_{AB} \cdot P} \quad (6.6)$$

Görüldüğü gibi difüzyon katsayısı sıcaklık basınç ve gazların özelliklerini içeren bir katsayıdır. Kurutmada olduğu gibi, su buharının havada difüzyonu sonucunda meydana gelen karışım ideal bir karışım olduğundan derişikliğin difüzyon katsayısına etkisi ihmal edilir (Brauer, 1971). Difüzyon katsayısı kullanılarak (6.4) ve (6.5) bağıntıları aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\dot{m}_A = -a \cdot \frac{D}{R_A T} \cdot \frac{dP_A}{dl}$$

$$\dot{m}_B = -a \cdot \frac{D}{R_B T} \cdot \frac{dP_B}{dl}$$

6.1.2 Buharın Gaz İçinde Tek Yönlü Difüzyonu

Buharın sıvı yüzeyinden difüzyonla sıvı üzerindeki bir gaza taşınmasına buğulaşma denir. Buğulaşmanın buharlaşmadan farkı, buğulaşmada sıvı üzerindeki buharın gazla karışım halinde bulunmasıdır. Bu koşullarda buhar basıncı karışım toplam basıncından ufak olur. Buharlaşmada ise sıvı üzerinde yalnız sıvının kendi buharı bulunur ve buhar basıncı toplam basınca eşittir.

Kurutma tekniğinde genellikle malzemedeki nemin çevre havasına taşınması buğulaşma şeklinde olur.

Malzeme üzerindeki havanın hareketsiz olduğu ($V_h = 0$) kabul edilirse ve hava için (h), su buharı için (b) indisleri kullanılırsa, Stefan'ın çift yönlü difüzyon bağıntısı (6.1) buğulaşmaya uygulanırsa,

$$-\frac{dP_B}{dl} = C_{bh} \cdot \frac{\rho_b}{M_b} \cdot \frac{\rho_h}{M_h} \cdot v_b$$

yazılabilir ve buradan da a kesitinden birim zamanda difüzyonla yayılan buhar kütlesini veren bağıntı bulunur;

$$\dot{m}_b = a \cdot v_b \cdot \rho_b = -a \frac{M_b \cdot M_h}{C_{bh} \cdot \rho_h} \cdot \frac{dP_b}{dl}$$

İdeal gaz kanuna göre $\rho_h = P_h / R_h \cdot T$ ve universal gaz sabiti IR kullanılırsa

$$\dot{m}_b = -a \cdot \frac{1}{R_b \cdot T} \cdot \frac{(IR \cdot T)^2}{C_{bh} \cdot \rho_h} \cdot \frac{dP_b}{dl}$$

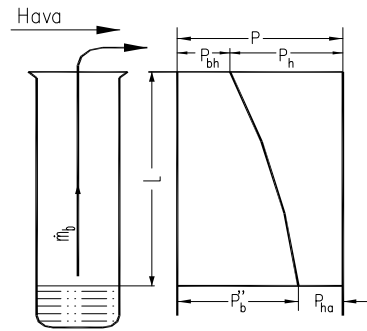
olur ve burada $P_h = P - P_b$ kullanarak buhar akısı veya buğulaşma hızı için aşağıdaki bağıntı bulunur.

$$\dot{m}_b = -a \cdot \frac{D}{R_b \cdot T} \cdot \frac{P}{P - P_b} \cdot \frac{dP_b}{dl} \quad (6.7)$$

Stefan'ın buhar difüzyonu kanunu olarak bilinen bu bağıntı, gözenek duvarları ara mesafesi, buhar moleküllerinin ortalama serbest yolundan büyük olduğu durumlarda uygulanır (Schirmer, 1938). Bu koşullardaki buhar hareketi Stefan difüzyonu olarak adlandırılır.

Buğulaşma, sıvının toplam basınçtaki buharlaşma sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta meydana gelirse, o zaman yüzey üzerindeki kısmi buhar basıncı yaklaşık olarak toplam basınca eşit olur. $P_b = P$ halinde olay artık bir buharlaşma olayıdır. Bu koşullarda hareketi sağlayan itici kuvvet artık kısmi buhar basınçları farklı değildir ve buhar akışını sağlamak için bir dış kuvvete gerek vardır.

Bir tüp içerisinde L derinliğinde bulunan su yüzeyinden buğulaşma meydana gelince tüp içerisinde bir kısmi buhar basıncı oluşacaktır. (Şekil 6.2)



Şekil 6.2 Tüp İçerisinde tek yönlü difüzyon (Buğulaşma)

Boru içerisinde su yüzeyindeki buhar basıncı suyun sıcaklığına karşılık gelen doymuş buhar basıncı P'_b olur. Hava içindeki kısmi buhar basıncı P_{bh} ile gösterirsek, denge koşullarında boru kesitinden birim zamanda geçen, buhar kütlesi (6.7) bağıntısı kullanılarak hesaplanabilir.

$$\dot{m}_b = -a \cdot \frac{D}{R_b \cdot T} \cdot P \cdot \frac{d[\ln(P - P_b)]}{dl}$$

$$\dot{m}_b = -a \cdot \frac{D}{R_b \cdot T} \cdot \frac{P}{l} \cdot \ln \frac{P - P_{bh}}{P - P''_b} \quad (6.8)$$

Kısmi buhar basıncı P_{bh} difüzyon yolu boyunca değişmektedir. Ancak kısmi buhar basınçları P''_b ve P_{bh} küçük olursa $\ln$ ifadesi yerine yaklaşık olarak $\ln$ serisinin birinci terimi ile yetinebilir.

Bu koşulla Stefan difüzyonunda buğulaşan buhar kütlelerini veren denklem aşağıdaki şekil alır;

$$\dot{m}_b = \frac{a}{l} \cdot \frac{D}{R_b T} \cdot P \cdot \frac{P''_b - P_{bh}}{P - P_{bm}} \quad (6.9)$$

Burada ortalama kısmi buhar basıncı P_{bm} için aritmetik ortalama kullanılabilir (Schirmer, 1938).

$$P_{bm} = \frac{P''_b + P_{bh}}{2}$$

6.2 Kütle Transferi Katsayısı

Buharın yüzey üzerindeki gaza difüzyonu kondüksiyon ısı transferi gibi moleküler bir olaydır. Bu sebepten benzeri kanunlara tabidir. Difüzyonun meydana geldiği ortamda sıcaklık farkları bulunmazsa, A yüzeyinden birim zamanda bu yüzeye dik olarak alınan s yönünde akan madde kütlesi veya yüzeyden gaza buhar difüzyonu, Fick Kanununa göre aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\dot{m} = -A \cdot D \cdot \frac{d\rho}{ds} \quad (6.10)$$

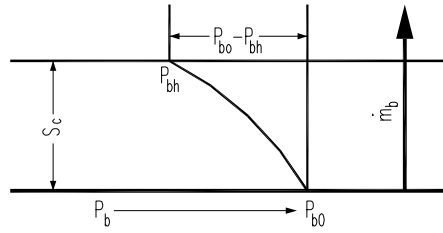
Burada ρ derişiklik ve $d\rho/ds$, s yönündeki derişiklik gradiyeni D difüzyon katsayısıdır. Difüzyonun meydana geldiği sınır tabaka içersinde buhar-gaz derişiklik farkı $(\rho_0 - \rho_h)$ olduğu zaman yukarıdaki denklem aşağıdaki şekli alır:

$$\dot{m}_b = A \cdot \frac{D}{S_c} (\rho_0 - \rho_h) = A \cdot \beta (\rho_0 - \rho_h) \quad (6.11)$$

Burada, β kütle transferi katsayısı S_c derişiklik sınır tabakası kalınlıdır. Bu denklem bu şekliyle konveksiyon ısı transferinden bilinen Newton'un Soğutma Kanununa benzer. Yalnız burada film katsayısı α 'nın yerine kütle transfer katsayısı β kullanılmıştır.

Difüzyonun meydana geldiği ortamda sıcaklık farkı bulunursa, ideal gazlar kanununa göre $\rho = P_b / R_b T$ kullanarak buhar difüzyonunda kütle transferinin genel denklemi elde edilir.

$$\dot{m}_b = A \frac{\beta}{R_b \cdot T} (P_{bo} - P_{bh}) \quad (6.12)$$

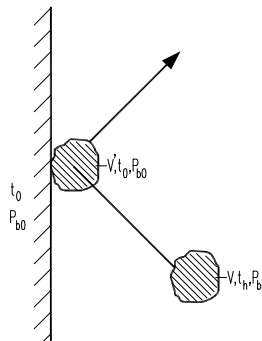


Şekil 6.3 Buharın sınır tabaka içinde difüzyonunda kısmi buhar basıncı gradiyeni

Isı transferinde ısıнын yayılmasına sebep olan itici kuvvet sıcaklık farkı iken kütle transferinde buharın yayılmasını sağlayan itici kuvvet derişiklik farkı veya kısmi buhar basıncı farkı olmaktadır.

6.3 Türbölanslı Taşınımında Kütle Transfer Katsayısı ile Konveksiyon Isı Transfer Katsayısı Arasındaki Bağımlılık

Türbölanslı harekete tabi olan V hacminde t_h sıcaklığında buhar bulunan bir duvara çarptığı bu esnada ısı verdiği ve akabinde bir miktar buhar alarak doymuş durumda akış halindeki gaza karıştığı kabul edilsin. (Şekil 6.3a)



Şekil 6.3a Tam türbölanslı ısı ve kütle transferi

Türbülanslı harekette partikelin hava içeriği değişmez, fakat sıcaklığı ve buhar içeriği değişir. Duvardan ayrılan partikelin hacmine V' diyelim. Duvara çarpan V hacmindeki partikelin beraberinde getirdiği hava kütlesi m_h ve buhar kütlesi m_b ideal gazlar kanununa göre hesaplanabilir:

$$m_h = \frac{P - P_{bh}}{R_h \cdot T_h} \cdot V \quad m_b = \frac{P - P_{bh}}{R_b \cdot T_h} \cdot V$$

Benzer olarak duvara çarptıktan sonra V' hacmindeki doymuş durumdaki partikelin götürdüğü hava için

$$m_h = \frac{P - P_{b0}}{R_h \cdot T_0} \cdot V'$$

yazılınca ve partikelin hava içeriği değişmediğine göre V' hacmi için,

$$V' = \frac{P - P_{bh}}{P - P_{b0}} \cdot \frac{T_0}{T_h} \cdot V$$

bulunur. Duvara çarptıktan sonra partikelin götürdüğü buhar kütlesi,

$$m'_b = \frac{P_{b0}}{R_b \cdot T_0} V' = \frac{P_{b0}}{R_b \cdot T_h} \cdot \frac{P - P_{bh}}{P - P_{b0}} \cdot V$$

olacağından, sonuçta partikeldeki buhar kütlesi artışı hesaplanabilir:

$$\Delta m_b = m'_b - m_b = \frac{P}{R_b \cdot T_h} \cdot \frac{P_{b0} - P_{bh}}{P - P_{b0}} \cdot V$$

Buhar kütlesindeki artışı, kütle transferi genel denklemi ile ifade edilirse ve sıcaklık olarak da T_h kullanılırsa,

$$m_b = A \cdot \frac{\beta}{R_b T_h} (P_{b0} - P_{bh})$$

bulunur. Bu denklem bir evvelki bağıntı ile karşılaştırılırsa, kütle transferi katsayısını veren bağıntı elde edilir:

$$\beta = \frac{V'}{A} \cdot \frac{P}{P - P_{b0}} \quad (6.13)$$

V hacmindeki partikelin duvara çarpmasıyla enerjisinde bir miktar değişme olacaktır. Partikelin duvara çarpmadan önce ve çarptıktan sonraki entalpileri arasındaki fark, partikelden duvara taşınan ısıya eşit olacağından,

$$\dot{Q} = (\dot{m}_h \cdot C_{ph} + \dot{m}_b \cdot C_{pb})(t_h - t_0) = A \cdot \alpha \cdot (t_h - t_0)$$

olur. Buradan konveksiyon ısı transfer katsayısı α için

$$\alpha = \frac{V'}{A} (C_{ph} \cdot \rho_h + C_{pb} \cdot \rho_b) = \frac{V'}{A} C_p \cdot \rho \quad (6.14)$$

Bu bağıntıdaki (ρ , C_p) partikelin ısı kapasitesini ifade eder. Tam türbülant taşınımında ısı transfer katsayısının kütle transfer katsayısına oranı ise,

$$\frac{\alpha}{\beta} = \rho \cdot C_p \frac{P - P_{b0}}{P} \quad (6.15)$$

elde edilir. Kısmi buhar basıncı çok ufak olunca ($P_b \ll P$), bu oran aşağıdaki şekil alır:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \rho \cdot C_p \quad (6.16)$$

Yukarıdaki bağıntılar teorik olarak elde edilmiş olup, tam türbülant taşınım için geçerlidir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, türbülant taşınımında α/β oranının genel olarak en uygun şekilde

$$\frac{\alpha}{\beta} = \rho \cdot C_p \cdot Le^{0.58} \quad (6.17)$$

bağıntısı ile ifade edilebileceğini göstermiştir (Krischer, 1963).

6.4 Hava ile Kurutmada Yaş Malzemenin Yüzey Sıcaklığı

Hava ile kurutmada hava aynı zamanda ısı taşıyıcı olup, hava ile yaş malzeme arasında konveksiyonla transfer olmaktadır.

Havadan malzeme yüzeyine, buğulaşma sonucu malzemeden $\dot{m}_b$ kadar buharın serbest kalması için taşınması gereken ısı $\dot{Q}$ kadar olacaktır.

Malzeme yüzeyi tamamen yaş olduğu zaman malzeme yüzeyindeki kısmi buhar basıncı, malzeme yüzey sıcaklığı t_0 'a tekabül eden doymuş buhar basıncı P_{b0} olacaktır.

Bu esnada ısı akışı,

$$\dot{Q} = A \cdot \alpha \cdot (t_h - t_0) = \dot{m}_b \cdot r_0$$

ve buhar akışı

$$\dot{m}_b = A \cdot \frac{\beta}{R_b T} \cdot p \cdot \ln \frac{P - P_{bh}}{P - P_{b0}} = A \cdot \frac{\beta}{R_b T} \cdot p \cdot \ln \left[1 + \frac{P_{b0} - P_{bh}}{P - P_{b0}} \right]$$

bağıntısı kullanarak

$$\dot{Q} = A \cdot \frac{\beta}{R_b T} \cdot p \cdot \ln \left[1 + \frac{P_{b0} - P_{bh}}{P - P_{b0}} \right] \cdot r_0 = A \cdot \alpha (t_h - t_0)$$

yazılır. Bu bağıntıda ln serisinin yalnızca birinci terimi ile yetinilirse,

$$A \cdot \frac{\beta}{R_b T} \cdot p \left(\frac{P_{b0} - P_{bh}}{P - P_{b0}} \right) \cdot r_0 = A \cdot \alpha (t_h - t_0)$$

$$t_h - t_0 = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{r_0}{R_b T} \cdot \frac{P_{b0} - P_{bh}}{P - P_{b0}} \cdot P \quad (6.18)$$

bulunur. Hava sıcaklığı t_h ve kısmi buhar basıncı P_{bh} belirli olunca, yukarıdaki bağıntıdan malzeme yüzey sıcaklığı t_0 bulunur. Bu ifadeden görüleceği üzere α/β oranı yağ malzeme yüzey sıcaklığını etkilemektedir.

Türbülanslı akımda α/β oranını veren,

$$\frac{\alpha}{\beta} = \rho \cdot C_p \cdot Le^{0.58}$$

bağıntısı (6.18) ifadesinde kullanılırsa,

$$t_h - t_0 = \frac{r_0}{\rho \cdot C_p \cdot Le^{0.58}} \cdot \frac{P}{R_b T} \cdot \frac{P_{b0} - P_{bh}}{P - P_{b0}} \quad (6.19)$$

Ortalama sıcaklık $t_m = (t_h + t_0)/2$ ve ortalama kısmi buhar basıncı $P_{bm} = (P_{b0} + P_{bh})/2$ 'deki havanın ve buharın özellikleri kullanılarak, karışım için,

$$\begin{aligned} C_p \cdot \rho &= C_{ph} \cdot \rho_h + C_{pb} \cdot \rho_b = C_{ph} \cdot \frac{P - P_{bm}}{R_h \cdot T} + C_{pb} \cdot \frac{P - P_{bm}}{R_b \cdot T} \\ &= \frac{P}{IR \cdot T} \left[\left(1 - \frac{P_{bm}}{P} \right) C_p \cdot \bar{M}_h + \frac{P_{bm}}{P} \cdot C_p \cdot \bar{M}_b \right] \end{aligned}$$

bulunur ve

$$C_p \cdot \rho \cdot \frac{IR \cdot T}{P} = (1 - \frac{P_{mb}}{P}) \cdot C_{ph} \cdot \bar{M}_h + \frac{P_{mb}}{P} \cdot C_{pb} \cdot \bar{M}_b = C_p \bar{M}$$

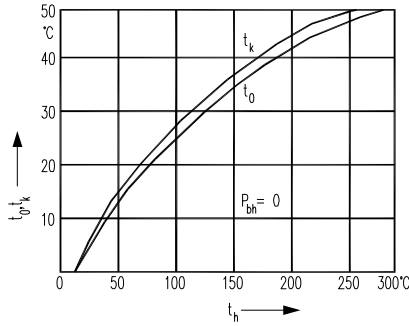
elde edilir. Bu ifade (6.19) denkleminde kullanılırsa,

$$t_h - t_0 = \frac{r_0}{Le^{0.58}} \cdot \frac{\bar{M}_b}{C_p \cdot \bar{M}} \cdot \frac{P_{b0} - P_{bh}}{P - P_{b0}} \quad (6.20)$$

hava ve malzeme yüzey sıcaklıkları arasındaki farkı veren bağıntı elde edilir (Kirschbaum, 1951).

Bu son bağıntı daha önce bulunan adyabatik doyma sıcaklığı bağıntısı ile karşılaştırılsa her iki bağıntının da benzer olduğu görülür. Yalnız adyabatik doyma sıcaklığından farklı olarak, malzeme yüzey sıcaklığını $Le = Sc/Pr$ sayısının, yani akış ve sınır tabaka parametrelerinin etkilediği görülür. $Pr = Sc$ olunca her iki sıcaklıkta birbirine eşit olur.

Su buharı hava karışımı için sınır değer olarak $P_{bh}=0$ kabul edilerek hesaplanan adyabatik doyma sıcaklıkları ve malzeme yüzey sıcaklıkları hava sıcaklığı t_h 'nin fonksiyonu olarak Şekil 6.4'de görülmektedir.



Şekil 6.4 Adyabatik doyma sıcaklıkları (t_k) ve malzeme yüzey sıcaklıkları (t_0)'nın hava sıcaklığı (t_h)'nin fonksiyonu ($P_{bh}=0$)

Malzeme yüzey sıcaklığı bağıntısı ve adyabatik doyma sıcaklığı bağıntısı birlikte yazılır,

$$t_h - t_0 = (t_h - t_k) \left(\frac{Pr}{Sc} \right)^{0.58} \cdot \frac{P - P_{bk}}{P_{bk} - P_{bh}} \cdot \frac{P_{b0} - P_{bh}}{P - P_{b0}}$$

ve burada $P - P_{bk} \cong P - P_{b0}$ kabul edilirse,

$$t_h - t_0 = (t_h - t_k) \left(\frac{Pr}{Sc} \right)^{0.58} \cdot \frac{P_{b0} - P_{bh}}{P_{bk} - P_{bh}} \quad (6.21)$$

elde edilir. Bu son bağıntıdan,

$$Pr > Sc \text{ olunca } t_0 < t_k$$

$$Pr < Sc \text{ olunca } t_0 > t_k$$

olması gerektiği anlaşılmaktadır.

x,h-diyagramında A noktasında bulunan havanın nemlenmesi işlemi, $Pr \neq Sc$ olduğu zaman $t_k =$ sabit doğrusunu takiben değişmez, değişim yüzey sıcaklığı t_0 yönünde olur. Diğer taraftan, kurutma süresince yüzey sıcaklığı sabit kalmayacak ve adyabatik doyma sıcaklığı t_k 'ya yaklaşacaktır. Sonuçta kurutma havasının durum değişimi Şekil 6.5'de görüldüğü gibi bir eğriyi takiben gerçekleşir. Ancak su buharı-hava karışımında, bu eğri $t_k = st$ doğrusundan çok az bir sapma gösterir ve bu karışımın durum değişiminin $t_k = st$ doğrusu üzerinde meydana geldiği kabul edilebilir. Belirli bir yüzey sıcaklığındaki malzemenin kurutulmasında kullanılacak farklı durumdaki havalar $t_k = st$ doğrusu üzerinde durum değiştirirler (Pilhofer, 1972). Havanın malzeme yüzeyine taşınan $\dot{Q}$ ısısı sonucu malzeme yüzeyinden $\dot{m}_b$ kadar buharın serbest kaldığı ve bunun da havaya taşındığı kabul edilirse, Newton'un Soğuma Kanunu ile ısı transferi genel denklemi kullanılarak malzeme yüzey sıcaklığı için,

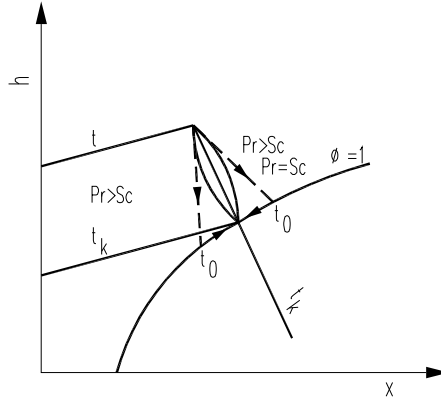
$$Q = A \cdot \alpha(t_h - t_0) = m_b \cdot r_0 = A \cdot \frac{\beta}{R_b T} (P_{b0} - P_{bh}) \cdot r_0$$

$$t_h - t_0 = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{r_0}{R_b T} (P_{b0} - P_{bh}) \quad (6.22)$$

bulunur. Bu bağıntıyı en uygun şekilde bir $t_h - t_0$, t_0 - diyagramında gösterelim (Şekil 6.6). Diyagramda ordinattaki herhangi bir $t_h - t_0 = t_h$ noktası, absisteki $t_h - t_0 = 0$ noktası ile birleştiren doğru $t_h = st$ doğrusu olur. Belirli bir P_{bh} basıncı için

$$\left(\frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{r_0}{R_b T} (P_{b0} - P_{bh}) \right) \text{ teriminin } t_0 \text{ 'ya bağılı olarak değişmesini gösteren eğrinin } t_h = st \text{ doğrusunu}$$

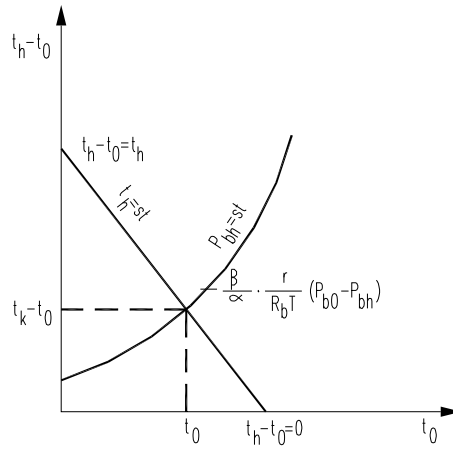
kestiği nokta absiste malzeme yüzey sıcaklığı t_0 'yu verir.



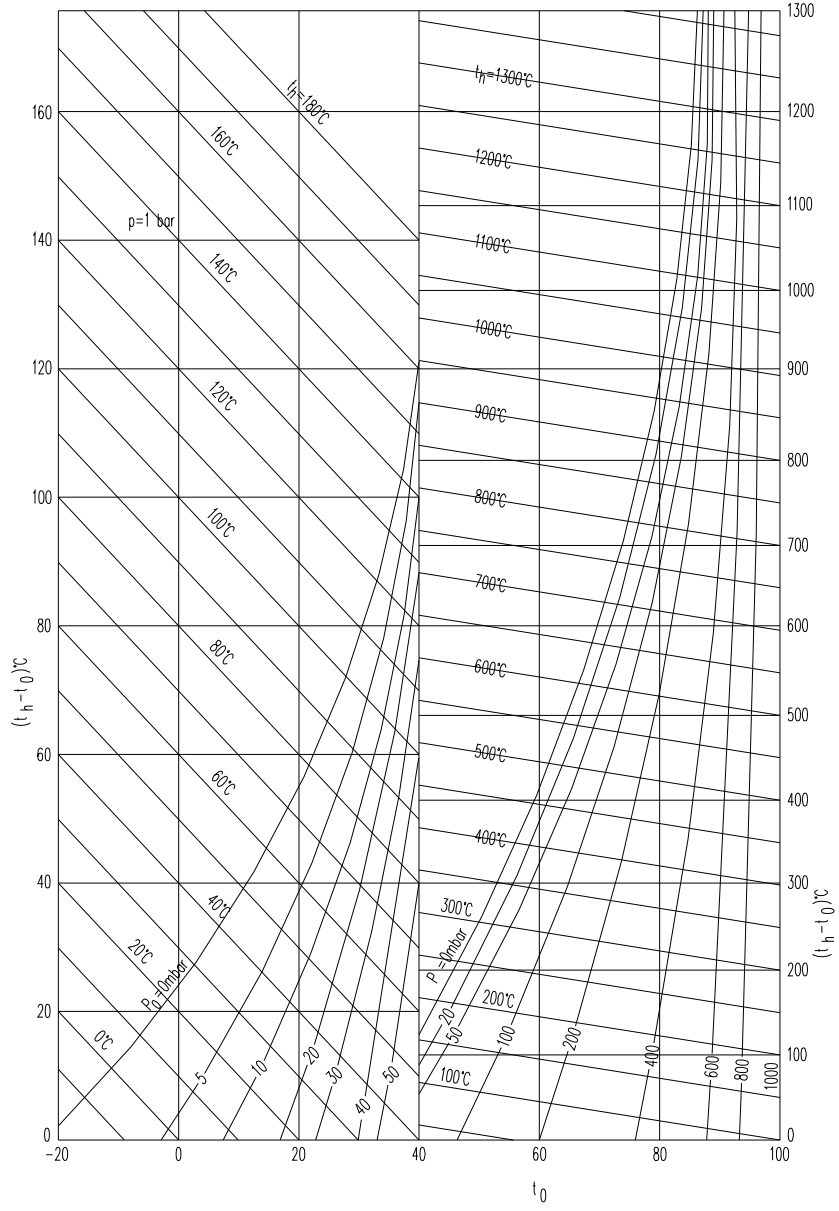
Şekil 6.5 h,x-diagramında kurutma havasının durum değişimi

Su buharı-hava karışımı için (6.22) bağıntısının grafik çözümünü veren ve malzeme yüzey sıcaklığı t_0 'nın hesaplanmasını mümkün kılan diyagram Şekil 6.7'de verilmiştir.

Bu diyagramlar belirli bir P toplam basınç için geçerlidir. Yüzey sıcaklığını tesbit etmek için kısmi buhar basıncı P_{bh} ve hava sıcaklığı t_h 'nin bilinmesi yeterli olmaktadır.



Şekil 6.6 Malzeme yüzey sıcaklığının tespiti



Şekil 6.7 Yüzey nemi kurutmasında, $P = 1$ bar toplam basıncında su buharı-hava karışımı için malzeme yüzey sıcaklığı (t_0)'nın P_{bh} ve t_h bağımlılığı

7. KAYISI KURUTMA DENEYSEL ÇALIŞMALARI

7.1 Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Malzeme Ve Yöntem

7.1.1 Deneylerde kullanılan kayısı çeşitleri

Araştırılan çalışma kapsamında, deneyisel çalışmalarda kullanılmak üzere Malatya’da yetişen Hacihaliloğlu ve Kabaası kayısı çeşitleri kullanılmıştır.

Kayısı çeşitleri kuruma işlemi için uygun olgunlukta toplanmıştır ve bir adet kayısının ortalama ağırlığı 20 gr olarak ölçülmüştür. Kayısının çekirdek ağırlığı ortalama 2 ± 2.2 gr’dır.

7.1.1.1 Deneylerde kullanılan araçlar ve ölçüm cihazları

Deneyisel kurutma işlemi sırasında kullanılan araçlar ve ölçüm cihazlarının bazı teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- *Kurutma Kanalı*
- *Tartımda Kullanılan Ölçüm Cihazı;*

Çizelge 7.1 Tartımda kullanılan ölçüm cihazına ait özellikler

Ölçüm aralığı	0.1gr ÷15kg
Voltaj	220 V
Ölçüm hassasiyeti	± 0.01 gr

- *Sıcaklık Kontrol Cihazı*

Çizelge 7.2 Sıcaklık kontrol cihazına ait özellikler

Okuma Hassasiyeti	$\pm 0.01^{\circ}\text{C}$
Sıcaklık Aralığı	-200 -1200 $^{\circ}\text{C}$

- *Hava Hızı Ölçer;* Deneyisel çalışmalarda, kurutma havası hızını ölçmek amacıyla 0 - 15 m/s ölçüm aralığında ve % 0.1 hata sınırında ölçüm yapabilen anemometre kullanılmıştır.
- *Bağıl Nem Kontrol Cihazı;* Deneyisel çalışmalarda, kurutma havası bağıl nemini ölçmek amacıyla 605 – H1 tipi TESTO marka, bağıl nem ölçüm cihazı kullanılmıştır.

- *Kurutma Fırını*

Çizelge 7.3 Kurutma fırınına ait özellikler

Sıcaklık sınırı	250 °C
Çalışma Gerilimi	220 V, 50 Hz

7.1.2 Yöntem

7.1.2.1 Kayısı numunelerine uygulanan ön işlemler

Kayısılar boyutlandırılarak terazide ölçülüp, yıkandıktan sonra sodyum metabisülfite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) çözeltisinde 20 dakika süreyle bırakılmıştır. %6'lık çözelti 20 gr $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 'in 1 lt suda çözündürülmesi ile elde edilmiştir. Çözeltiden çıkartılan kayısılar üzerindeki çözeltilerin sızdırılması sağlandıktan sonra çekirdekleri uzaklaştırılarak kurutmaya alınmışlardır.

7.1.2.2 Kurutma deneyleri sonrası kuru ürünlerin analiz değerlendirilmesi

Gerçekleştirilen kurutma deneyleri sonrasında, elde edilen kuru kayısıların standartlara uygunluğunun belirlenmesi amacıyla; duyuşal, fiziksel analizler, SO_2 içerikleri ve nem ölçüm analizleri gerçekleştirilmiştir.

- *Duyuşal analizlerde;* kurutulmuş kayısıların kurutma havası sıcaklıklarına bağlı olarak; tat, koku, renk ve görünüş kriterleri (şekil kriteri) saptanmıştır.
- *Fiziksel analizlerde;* farklı kurutma sürelerinde farklı kurutma hava sıcaklıkları uygulanarak, kurutulmuş kayısı numuneleri üzerinde; ortalama kayısı ağırlığı ve boyut analizleri yapılmıştır.
- *SO_2 analizlerinde;* Bilindiği üzere; kurutulmuş kayısılarda arzu edilen SO_2 içeriği 2500 mg/kg'dan daha düşük olmalıdır. Bu sebeple kurutulmuş olan kayısı örnekleri üzerinde SO_2 içeriği analizi gerçekleştirilmiştir. Laboratuvara getirilen kayısılar masaya serildikten sonra numune alma esaslarına göre numune alınmış ve kayısı doğrama makinesinde çekilmiştir. Kıyılmış kayısı poşete konarak homojenlik elde etmek için iyice yoğurulduktan sonra kayısının yüzey kısmından bıçakla ince bir tabaka alınıp, hassas terazide tartılarak 25 gr temsili numune alınmıştır. Alınan 25 gr kayısı numunesi cam balona konulup üzerine 280 ml saf su, 40 ml HCl ilave edilmiştir. Üstteki cam tübe 10 ml

H₂O₂ konulduktan sonra ısıtma maksimum ısı derecesinde açılmış ve kaynamaya başladığında ısıtıcı kısılarak hafifçe kaynaması sağlanmış ve bu kaynama yaklaşık 20-25 dakika devam ettirilmiştir. Sonra soğutucudan geçip sıvıya dönüşen kükürt , cam balon içersinde kükürtdioksit olarak toplanmaya başlamıştır. İşlem yaklaşık 1 saat devam etmiştir. Proses bitince üst cam tüpteki 10 ml H₂O₂ cam tüpe alınıp üzerine boğaz seviyesine kadar saf su koyulmuştur (2 kez). Brom fenol indikatöründen 2 damla eklenerek koyu mavi renk elde edilinceye kadar NaOH ile titre edilmiştir.

Titre edildikten sonra harcanan NaOH miktarı (ml) not edilip aşağıdaki formülün yardımı ile kayısının kükürtdioksit miktarı ($\dot{m}_{SO_2}$) ppm cinsinden hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{SO_2} = \frac{(3200 \times Z)}{Y} \quad (\text{ppm}) \quad (7.1)$$

Z – titre edilen NaOH miktarı, ml

Y – kayısı numune miktarı, gr

SO₂ analizleri yapılması sırasında titrasyon için kullanılan çözeltilerin hazırlanması ise aşağıdaki gibi olmuştur,

NaOH; normalitesi 0,1 olan çözelti 1 lt cam balona konulup çizgiye kadar saf su ile tamamlanmıştır.

HCl ; %37 asitten 410 ml alınıp 1 lt cam balonu konulup çizgiye kadar saf su eklenmiştir.

- *Nem Ölçümü*; Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra , kuru kayısı neminin belirlenmesi için kayısılar tartılıp, elektrikli sabit sıcaklıkta çalışan etüvde 110 °C sabit sıcaklık kontrollü ile işleme sokulmuş ve her yarım saatte bir tartım alınmıştır. İşlem, sabit tartıma gelinceye kadar devam ettirilmiştir. Etüv çıkışı kuru kayısı ağırlığı, işlem öncesindeki yaş kayısı ağırlıkları farkından taze kayısındaki su miktarı belirlenmiştir. Elde edilen değerler kuru kütleyle bölünmesiyle kuru bazda nem miktarı ilk kütleyle bölünmesiyle yaş bazda nem miktarı tespit edilebilmektedir. Bu tür işlemler taze ve kuru kayısılar için yapılarak yaş ve kuru bazdaki nemlilikleri bulunabilmektedir. Buna göre kuru ve yaş bazdaki nem ve kütle oranı yaş (m_s) ve kuru (m_k) kütlelerin dikkate alınmasıyla (3.1), (3.2) ve (3.3) denklemleri yardımı ile hesaplanmıştır.

7.1.2.3 Deney Düzeneği

Bu çalışmada, kayısılar kapalı hijyenik ortamda hava ile konveksiyon kurutmaya tabi tutulmuş kurutma daha kısa sürelerde gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte, kurutma hava özellikleri ve kurutma havası hızının kurutma süresi ve ürün kalitesine olan etkileri incelenmiş ve ürünün kurutma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

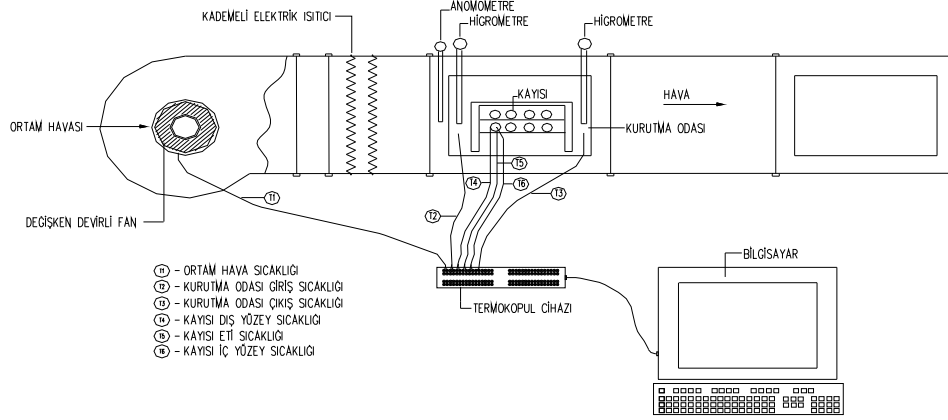
Bu amaçla kurutmada kullanılan hava şartlarını kontrol altına alarak kayısıların kuruma karakteristiklerini ve mekanizmalarını inceleyebilmek için aşağıda verilen ana bölümlerden oluşan deney düzeneği oluşturulmuştur. Deney düzeneğinin genel görünüşü şekil 7.1, şematik görünüşü ise şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.1 Kurutucunun genel görünüşü

Kurutma ortamı olarak kullanılan hava kurutma kanalı girişine yerleştirilmiş olan değişken debili fan tarafından sağlanmaktadır. Hava kanalı içerisinde yer alan kademeli elektrikli ısıtıcılar yardımıyla, hava istenilen sıcaklığa kadar ısıtılabilir. Kanaldaki teller üzerine yerleştirilmiş kayısıların içinden geçerek kanalın diğer ucundan çıkmaktadır. Deney düzeneğinin son bölümü ürünlerin kurutulduğu kurutma odasıdır (Şekil 7.1). Kurutma odası üzerinde 16x25 ebatlarında cam kapak bulunmaktadır.

Kapak açılarak ürünler kurutma odasına konulup alınabilmektedir. Kurutma kanalının belirli noktalarında hava hızları dijital anemometre kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 7.2 Deney setinin şematik görünüşü

Deneysel çalışmalarda kullanılan, Hacihaliloğlu ve Kabaası kayısı çeşidi örnekleri, ön işlem uygulandıktan sonra farklı sıcaklık (40°C , 50°C , 60°C , 70°C) ve farklı hava hızı (1,5 m/s, 2,5 m/s, 3,5 m/s) koşullarında kurutulmuştur. Şekil 8.34'te kurutma işlemi sonrasında elde edilen kayısı numunelerinin görünüşleri verilmiştir.

Kurutma odasında kurutma işlemine tabii tutulan numune kayısılar üzerinde, ilk iki saat için yarım saatte, iki saatlik işlem sonrası ise birer saatlik zaman aralıklarında terazi yardımıyla tartımlar gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapıldığı ortam sıcaklığı, kurutma odası giriş ve çıkış sıcaklıkları, kayısı içi ve kayısı dış yüzey sıcaklıkları $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ hassasiyetli termokupullar (ısı çiftler) ile ölçülerek bilgisayar programı yardımıyla kayıt edilmiştir.

Kurutma odası içerisindeki ve giriş-çıkışlarındaki ortam havasının nem ölçümü dijital higrometre ile yapılmıştır.



Şekil 7.3 Kayıların kurutulması

8. KAYISI KURUTMA DENEY SONUÇLARI

8.1 Kurutma Sürecinde, Ortam ve Kurutucu İç Ortam Sıcaklığı ile Bağlı Nemi Değerlerindeki

Değişimler

Daha önce belirtildiği gibi kuruma hızına; kurutma hava sıcaklığı, kurutma hızı ve ortamın bağlı nemi etki etmekte ve bunlar dış faktörler olarak bilinmektedir.

Ürünlerde kurutma hava sıcaklığının artışı, hava bağlı neminin düşmesine neden olmakta ve dolayısıyla kayısların % nem değişimi değerlerinin azalmasına yardımcı olmaktadır.

Kurutma işlemi sırasında deney ortamının ve kurutucu ortamın sıcaklık ve bağlı nem değerleri ilk 2 saat için yarım saatte bir ve sonrası için her saat başı ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak, 1.5, 2.5 ve 3.5 m/sn hava hızları için sırasıyla Çizelge 8.1-8.3'da verilmiştir.

Çizelge 8.1 Hacıhaliloğlu ve Kabaası çeşidi kayıslarının kurutma sırasında kullanılan 1.5 m/s hızındaki havanın psikometrik özellikleri

Kurutma süresi (saat)	Ortam Havası			Kurutucu Ortam Havası			
	Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Bağlı Nem (%)	Kurutucu Giriş Sıcaklığı (°C)	Kurutucu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Kurutucu Çıkış Bağlı Nemi (%)
1	30.2	23.8	59.6	40	39.5	26.5	36.4
26	30.3	23.6	58.1	40	40	26.3	34.5
1	29	22.8	59.8	50	49.8	28.6	20.8
23	29.8	22.7	55.6	50	49.6	28.7	21.3
1	28.9	22.3	57.1	60	59.9	30.7	12.7
20	30.1	22.9	55.2	60	59.7	30.4	12.5
1	27.8	21.8	59.6	70	69.8	32.6	8.2
16	28.2	21.7	57.6	70	69.9	32.5	8.0

Çizelge 8.1'te görüldüğü gibi, örneklerin kurutulmasında 40 °C kurutma havası için elde edilen değerler incelendiğinde; ortam hava sıcaklığı 30.2 °C ve ortam bağlı nemi % 59.6 şartlarında, hava sıcaklığı kayısların kurutucuya yerleştirilmesinden önce 40 °C'ye kadar çıkartılmıştır. Kurutma işlemi sırasında kurutucu içi sıcaklığı 40 °C $\pm$ 2 sınırı içinde muhafaza edilmiştir. Kurutucuyu terk eden hava sıcaklığı ortalama 39.5 °C'i göstererek, kurutucu içindeki nem oranı ise ortalama % 36.4'i göstermiştir. 70 °C için belirlenen değerlerde ise kurutucuyu terk eden hava sıcaklığı ortalama 69.9 °C, kurutucu içindeki nem oranı ortalama % 8.0 seviyesinde kalmıştır.

Çizelge 8.2 ile 8.3'te sırasıyla 2.5 m/s ve 3.5 m/s hızındaki 50 °C, 60 °C, 70 °C sıcaklık değerlerindeki kurutma havasının bazı psikometrik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 8.2 Hacıhaliloğlu ve Kabaası çeşidi kayısıların kurutma sırasında kullanılan 2.5 m/s hızındaki havanın psikometrik özellikleri

Kurutma süresi (saat)	Ortam Havası			Kurutucu Ortam Havası			
	Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Kurutucu Giriş Sıcaklığı (°C)	Kurutucu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Kurutucu Çıkış Bağıl Nemi (%)
1	29.6	22.9	57.6	50	49.7	28.6	20.9
20	28.4	21.5	55.1	50	49.9	28.9	21.3
1	27.6	21.7	59.7	60	59.6	30.5	12.7
17	28.8	21.8	55	60	59.9	30.6	12.6
1	28.9	22.3	57.1	70	69.8	32.6	8.2
13	27.6	21.0	56	70	70	32.6	8.0

Çizelge 8.3 Hacıhaliloğlu ve Kabaası çeşidi kayısıların kurutma sırasında kullanılan 3.5 m/s hızındaki havanın psikometrik özellikleri

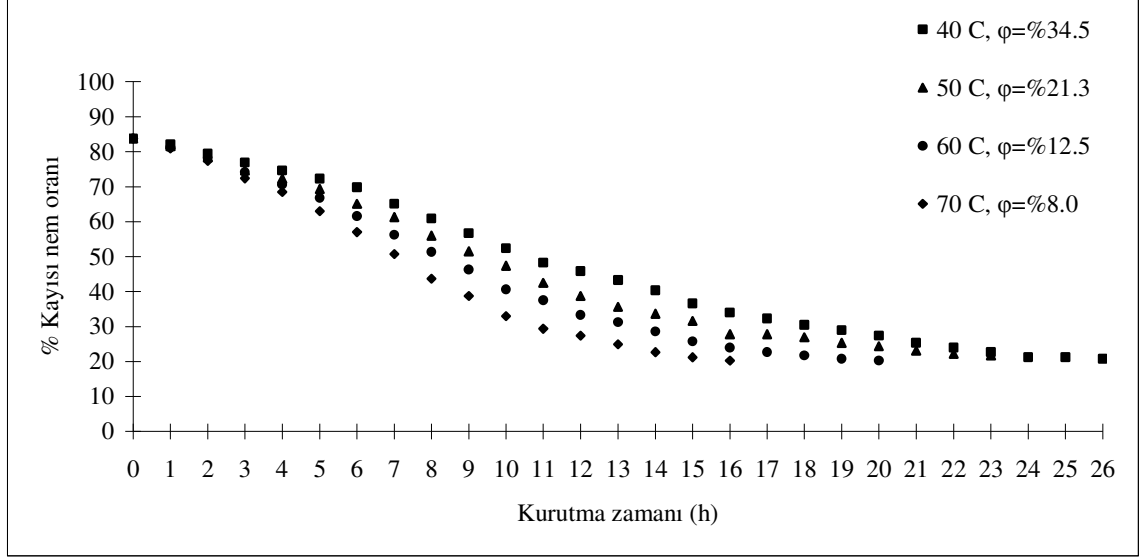
Kurutma süresi (saat)	Ortam Havası			Kurutucu Ortam Havası			
	Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Kurutucu Giriş Sıcaklığı (°C)	Kurutucu Çıkış Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Kurutucu Çıkış Bağıl Nemi (%)
1	27.8	21.7	59.2	50	49.7	28.6	21.0
17	27.9	21.0	55	50	49.9	28.9	21.4
1	30.1	23.4	57.2	60	59.8	30.6	12.7
14	28.3	21.4	55.2	60	59.9	30.7	12.7
1	28.8	22.6	59.3	70	69.8	32.6	8.1
11	30.3	23.5	56.8	70	70	32.6	8.0

8.2 Kurutma Havası Sıcaklığının Kayısı Örneklerinin Kurumasına Olan Etkisi

Yüksek hava sıcaklıkları malzemeye olan ısı transferi ve yüzey suyu buharlaşma hızlarının artmasını sağlayarak nemin daha hızlı bir şekilde uzaklaşmasına yardımcı olur. Kurutma sıcaklıklarının artışı ile ürünün iç yüzeyine olan ısı transfer hızı artarak, yüzey nemi daha

yüksek hızla buharlaşmaktadır. Böylece, elde edilen sonuçlara göre kurutma hava sıcaklıklarının artması ile kuruma sürelerinde azalma gözlemlenmektedir.

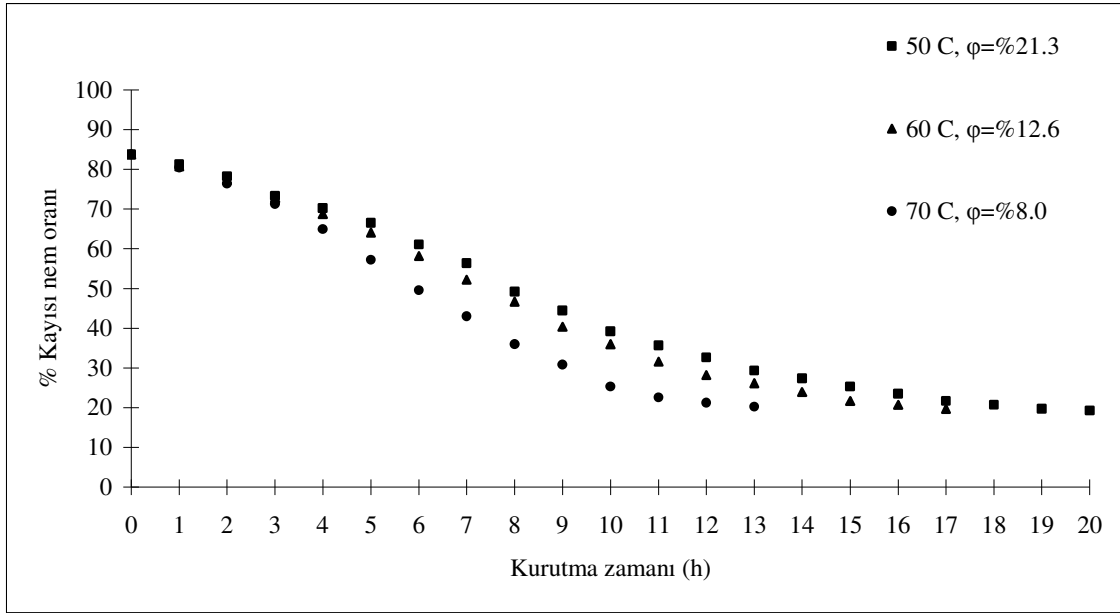
Ürünlerin kurutulmasında, uygulanan farklı kurutma havası sıcaklıklarının, farklı hava hızı koşullarında, yaş ağırlığa göre nem değişimi üzerine olan etkileri Şekil 8.1-8.7’de gösterilmiştir. İlgili şekiller, Ek Çizelge 1-5’ de verilmiş olan değerlere göre oluşturulmuştur.



Şekil 8.1 1.5 m/s hava hızında kurutulan Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin zamana bağlı olarak nem oranı değişimi

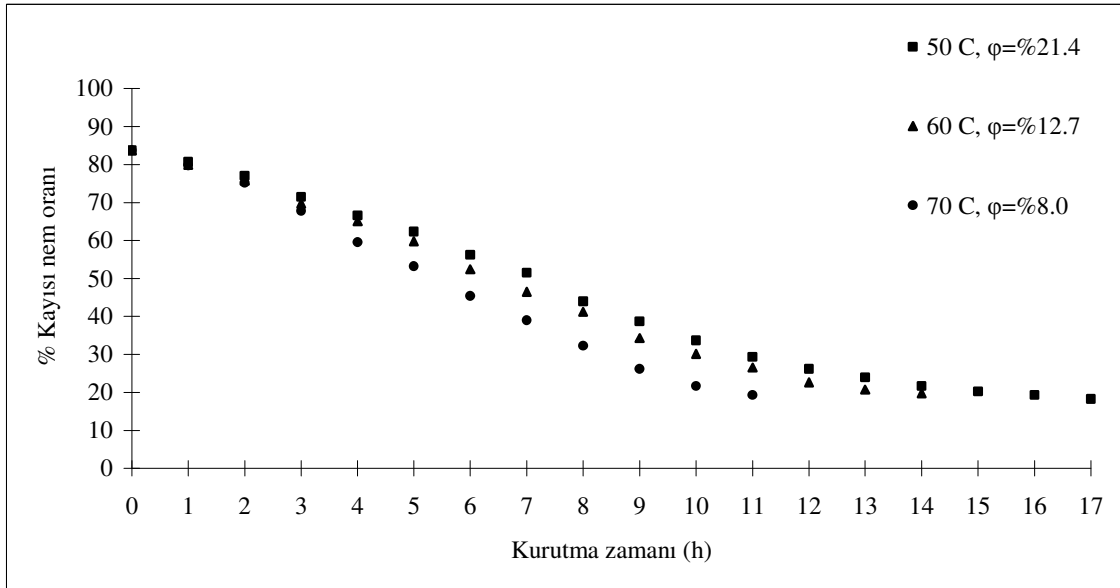
Şekil 8.1-8.4'ten izleneceği üzere, deneylerde en hızlı kuruma şartları 70 °C ve en yavaş kuruma şartları ise 40 °C'de gerçekleşmiştir.

Şekil 8.1'den anlaşıldığı üzere, 1.5 m/s sabit hava hızı şartlarında, 5 saatlik kurutma sonrasındaki nem değerleri; Hacihaliloğlu çeşidi için 40 °C 'de % 72.28 iken, 50 °C'de % 69.34, 60 °C 'de % 66.75, 70 °C 'de ise % 62.96 olarak saptanmıştır.



Şekil 8.2 2.5 m/s hava hızında kurutulan Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin zamana bağlı olarak nem oranı değişimi

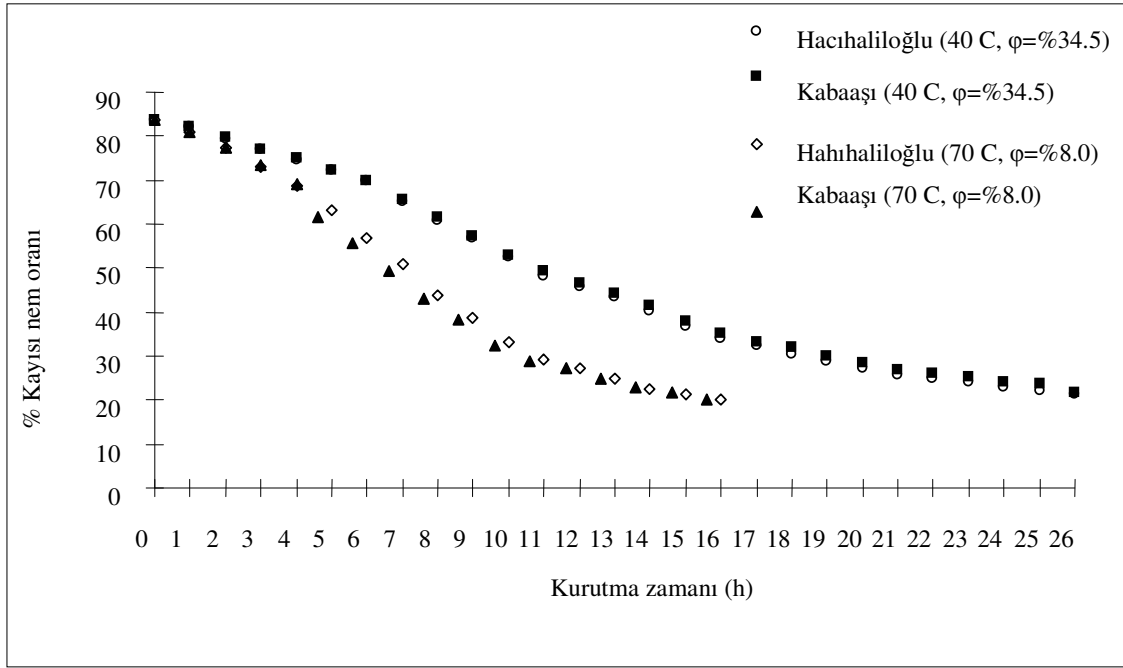
Şekil 8.2’de ise 2.5 m/s sabit hava hızında, aynı çeşit kayısı örneklerinin 5 saatlik işlem sonrasında % nem oranları 50 °C’de % 66.49, 60 °C’de % 64.09, ve 70 °C’de % 57.24 olarak saptanmıştır.



Şekil 8.3 3,5 m/s hava hızında kurutulan Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin zamana bağlı olarak nem oranı değişimi

Şekil 8.3’ de Hacıhaliloğlu çeşidinin, 3.5 m/s sabit hava hızı ve farklı kurutma havası sıcaklıkları için 5 saatlik işlem sonrasındaki % nem oranları 50 °C’de % 62.32, 60 °C’de % 59.75, 70 °C’de ise % 53.24 olarak saptanmıştır.

Daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere, Kabaaşı kayısı çeşidinin dış yüzeyinin Hacıhaliloğlu çeşidine göre daha sert olmasından dolayı kurutmada nem kaybı daha uzun sürelerde gerçekleşmektedir. Her iki çeşidin yaş ağırlığına göre % nem değişim değerleri Şekil 8.4’te gösterilmiştir.



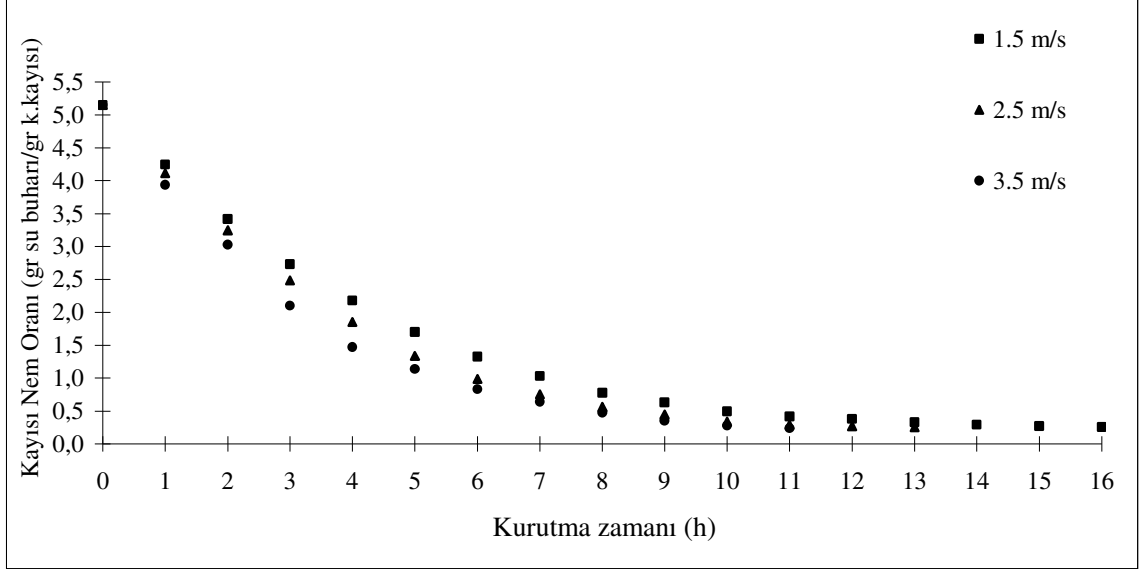
Şekil 8.4 1.5 m/s hava hızında kurutulan kayısı örneklerinin zamana bağlı olarak nem oranı değişimi Şekil 8.4’ten izleneceği üzere; 1.5 m/s sabit hava hızı şartlarında, 10 saatlik işlem sonrasındaki nem değerleri, Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi için 40 °C’de % 52.38, 70 °C’de ise % 32.99, Kabaaşı çeşidi için, 40 °C’de % 52.55, 70 °C’de ise % 33.33 olarak saptanmıştır.

Şekil 8.1, 8.2, 8.3 ve 8.4’ten izlendiği üzere, sıcaklık ve hızın artışı ile kayısı örneklerinin % nem değerlerinin azaldığı görülmektedir.

8.3 Kayısların Kurutulması Sırasındaki Nem Değişimleri

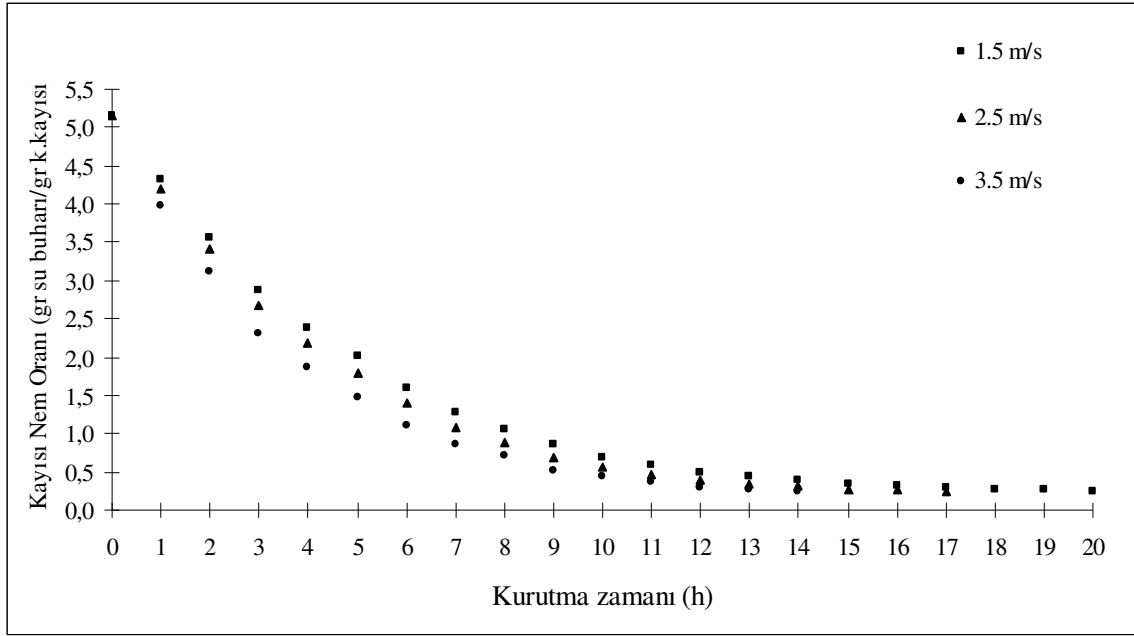
Kayısı çeşitlerine; farklı kurutma havası sıcaklıklarında ve değişik kurutma havası hızında yapılan kurutma işlemlerinde, ürünlerin kurutma süresine bağlı olarak serbest nem değişimleri Şekil 8.5-8.8 ve 8.9-8.14’te verilmiştir. Şekil 8.5-8.7’de Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi için sırasıyla 70, 60 ve 50 °C’de izlenen serbest nem değişiklikleri, Şekil 8.8’de her iki kayısı

çeşidi için 40 °C’de izlenen serbest nem değışiklikleri, Şekil 8.9-8.11 ve Şekil 8.13’te Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi için değışik kurutma havası hızlarında, kurutma havası sıcaklığına bağılı olarak serbest nem değışiklikleri ve Şekil 8.10-8.12 ve Şekil 8.14’de Kabaası kayısı çeşidi için değışik kurutma havası hızlarında, kurutma havası sıcaklığına bağılı olarak serbest nem değışiklikleri verilmektedir.



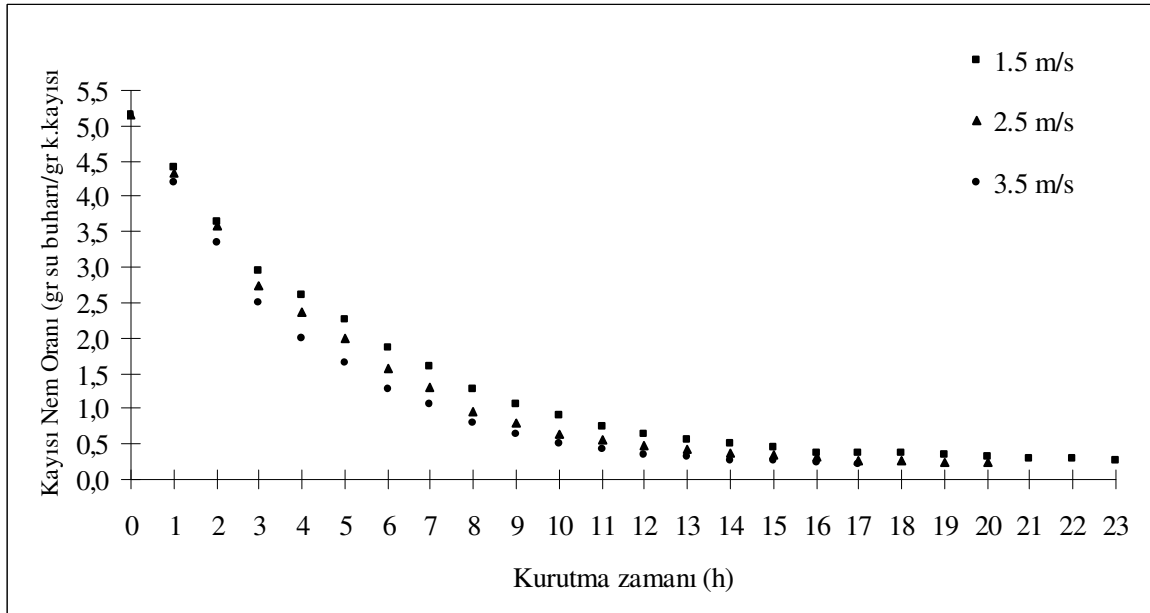
Şekil 8.5 70 °C ‘de kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değeri değışimi

Şekil 8.5’te görüldüğü gibi, 70 °C kurutma sıcaklığı değeriinde her hava hızında, ürünün nem oranında yaklaşık 5.saate kadar hızlı düşüş gözlemlenmiştir. İstenilen nemin elde edilmesi için en uzun süre 1.5 m/s hızında gerçekleşmiş ve bu süreç 16 saat sürmüştür.



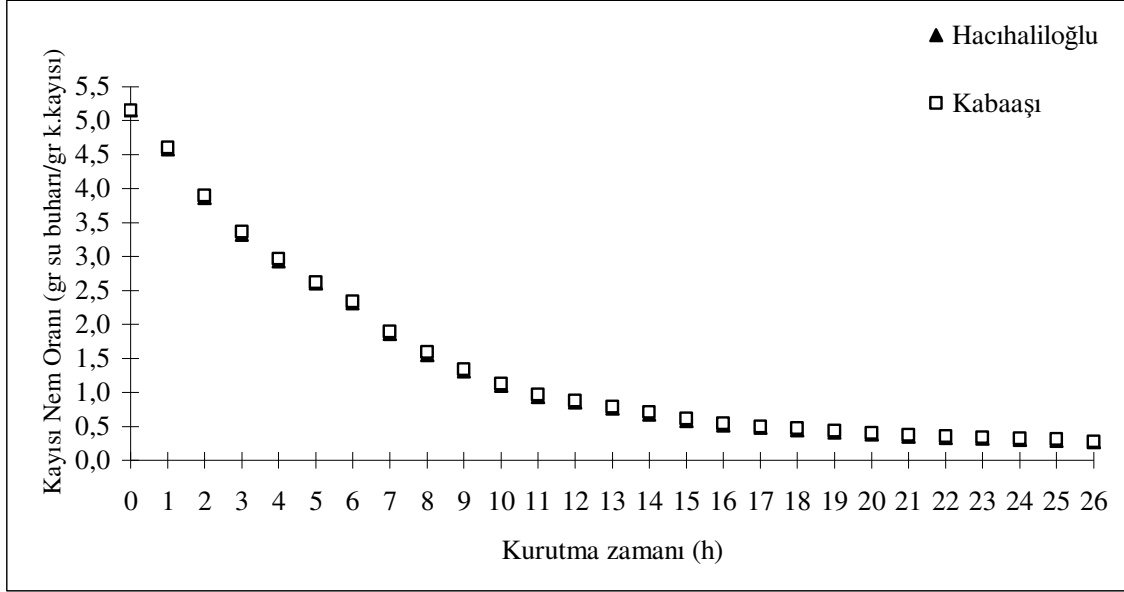
Şekil 8.6 60 °C'de kurutulan Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza nem değerleri değişimi

Şekil 8.6'da ise 60 °C kurutma sıcaklığında, nem oranı değerleri ortalama 6.saate kadar hızlı düşüş göstermiştir ve sonraki süreçte nem değeri yavaş düşüş göstermiştir.



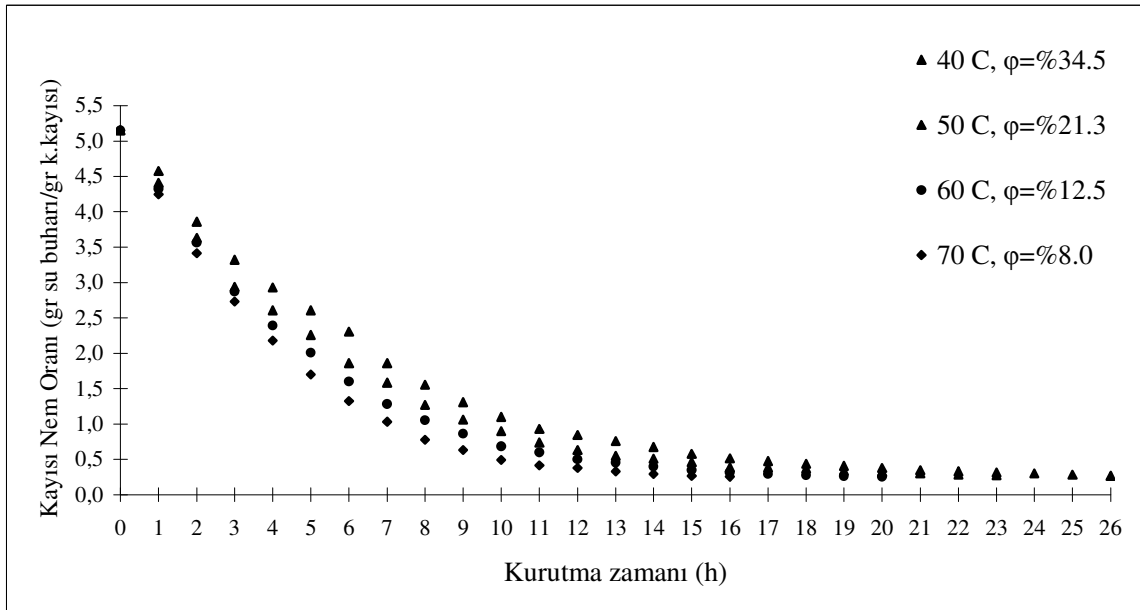
Şekil 8.7 50 °C'de kurutulan Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi

Şekil 8.7’de görüldüğü üzere; 50 °C kurutma sıcaklığında, 1.5 ve 2.5 m/s hava hızları 7.saate kadar hızlı nem düşümü saptanmıştır. Son süreç 3.5 m/s hızında 17 saat sürerken 1.5 m/s hızında ise 23 saatte tamamlanmıştır.

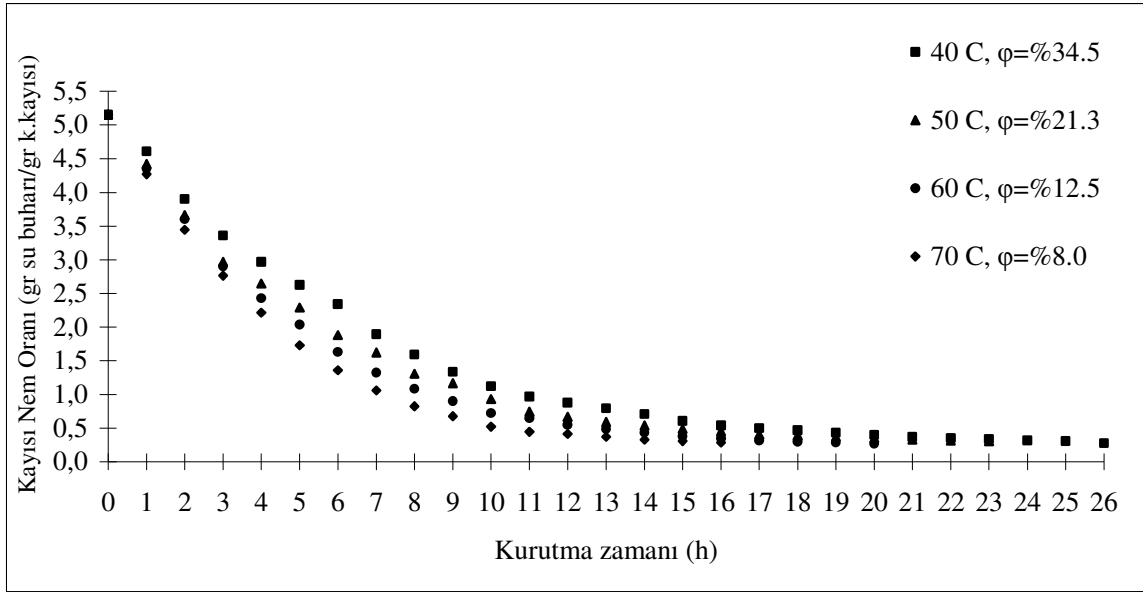


Şekil 8.8 1.5 m/s hava hızında 40 °C’de kurutulan kayısı örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi

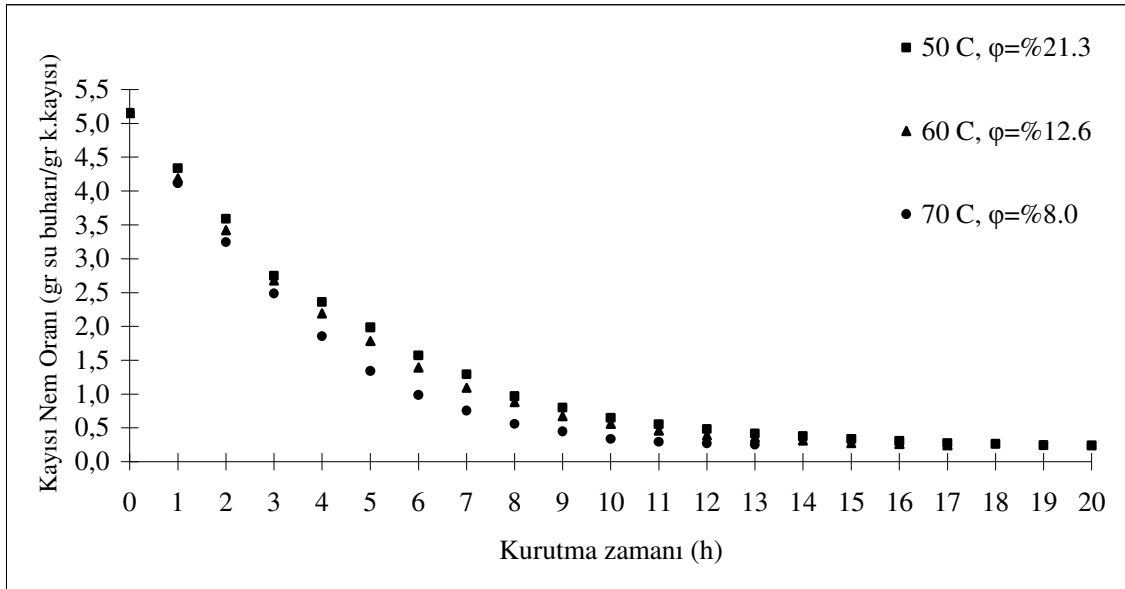
Şekil 8.8’de ise 40 °C kurutma sıcaklığında 1.5 m/s hava hızında kurutulan kayısı örneklerinin nem düşüş hızı, 10.saate kadar hızlı bir şekilde ve sonrası yavaş düşüşle gerçekleşmiştir.



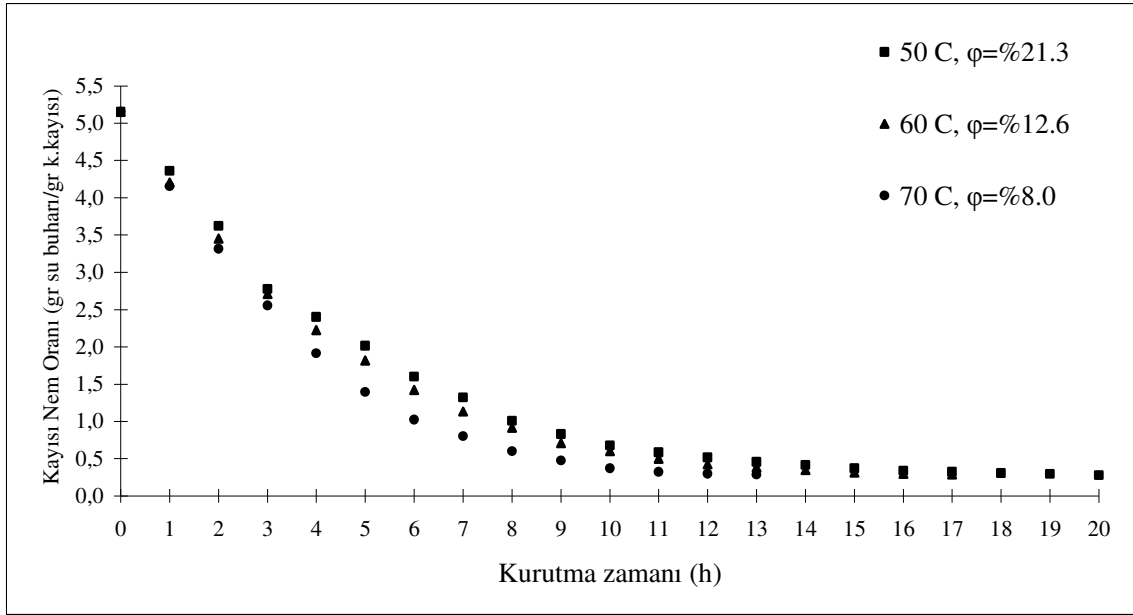
Şekil 8.9 1.5 m/s hava hızında kurutulan Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin değişik sıcaklıklarda kuru baza göre nem değerleri değişimi



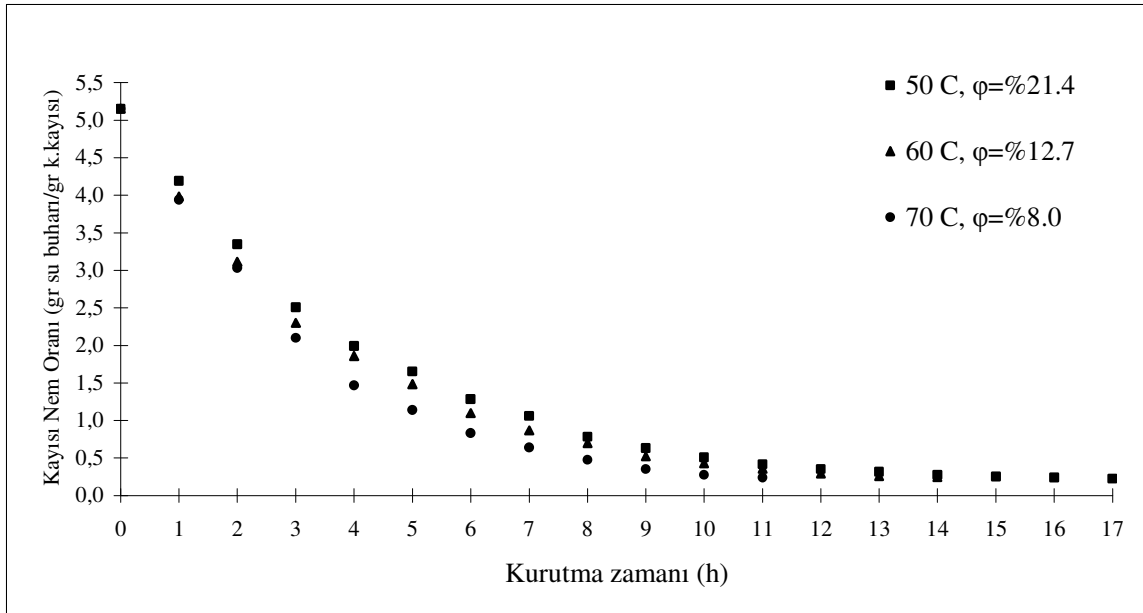
Şekil 8.10 1.5 m/s hava hızında kurutulan Kabaaş kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi



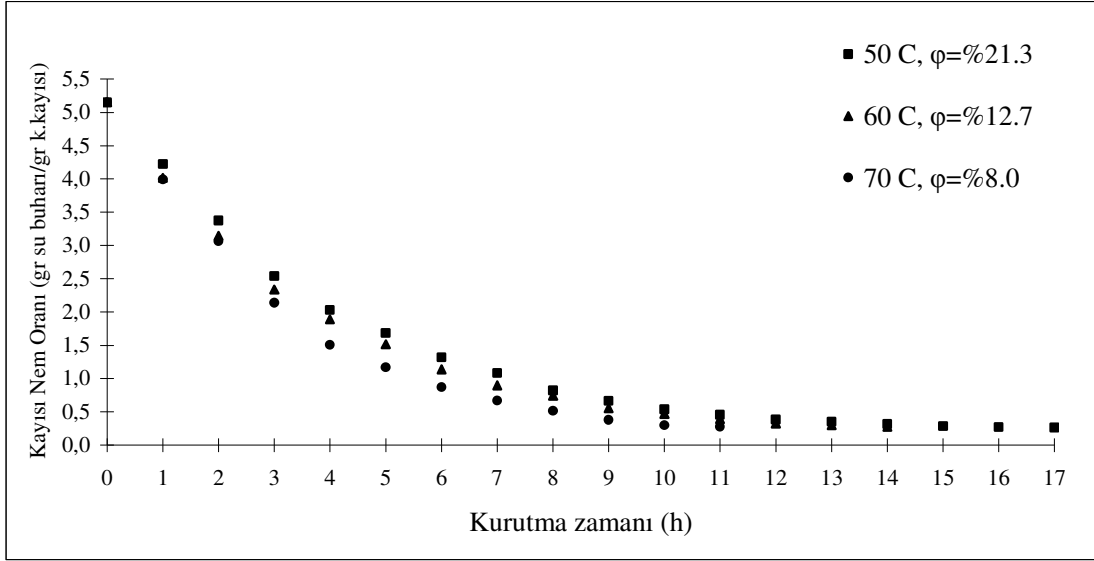
Şekil 8.11 2.5 m/s hava hızında kurutulan Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi



Şekil 8.12 2.5 m/s hava hızında kurutulan Kabaaş kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi



Şekil 8.13 3.5 m/s hava hızında kurutulan Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi



Şekil 8.14 3.5 m/s hava hızında kurutulan Kabaası kayısı çeşidi örneklerinin kuru baza göre nem değerleri değişimi

Değişik kurutma sıcaklık ve kurutma hızlarında gerçekleştirilen deneylerde en hızlı kuruma 70 °C, en yavaş kuruma 40 °C'de gerçekleşmiştir.

Örneğin; 40 °C'de 1,5 m/s hızında kuruma süresi 26 saatte gerçekleşmiş ve Hacıhaliloğlu çeşidinde nem % 27, Kabaası çeşidinde ise nem % 28 oranlarına inmiştir. 70 °C'de, 1,5 m/s hızında kuruma 16 saatte gerçekleşmiş ve Hacıhaliloğlu'nda nem oranı % 25, Kabaası'nda ise % 28'e inmiştir.

Buradan, kuruma hızının yükseltilmesi ile kuruma süresinin yaklaşık 3 kata kadar indirebileceği saptanmıştır.

8.4 Kuruma Hızlarının Belirlenmesi

Kuru bazdaki nem içeriğindeki değişimin zamana göre türevi alınarak kuruma hızı elde edilmiştir ve zamana bağlı olarak değişimi grafik halinde verilmiştir.

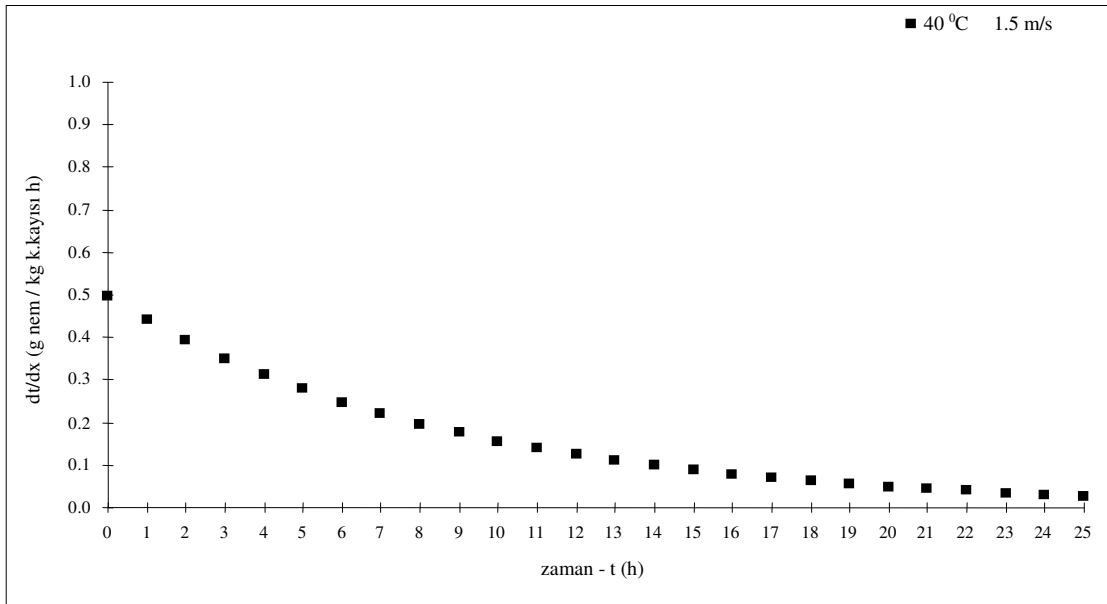
Aşağıdaki grafiklerden görüldüğü gibi kurutma havası sıcaklığının artması ile kuruma hızı da artmaktadır. Kuruma hızı, kurutma işleminin ilk safhalarında daha hızlı ve belirli bir zamandan sonra ise yavaş olarak gerçekleşmektedir.

Şekillerin incelenmesinden de anlaşıldığı üzere; hava hızı ve kurutma sıcaklığının artışının kayısıların kuruma hızı üzerinde bir artışa neden olmakta, kurutma sıcaklığı ve hava hızının artırılması ile kuruma süresi azalmaktadır.

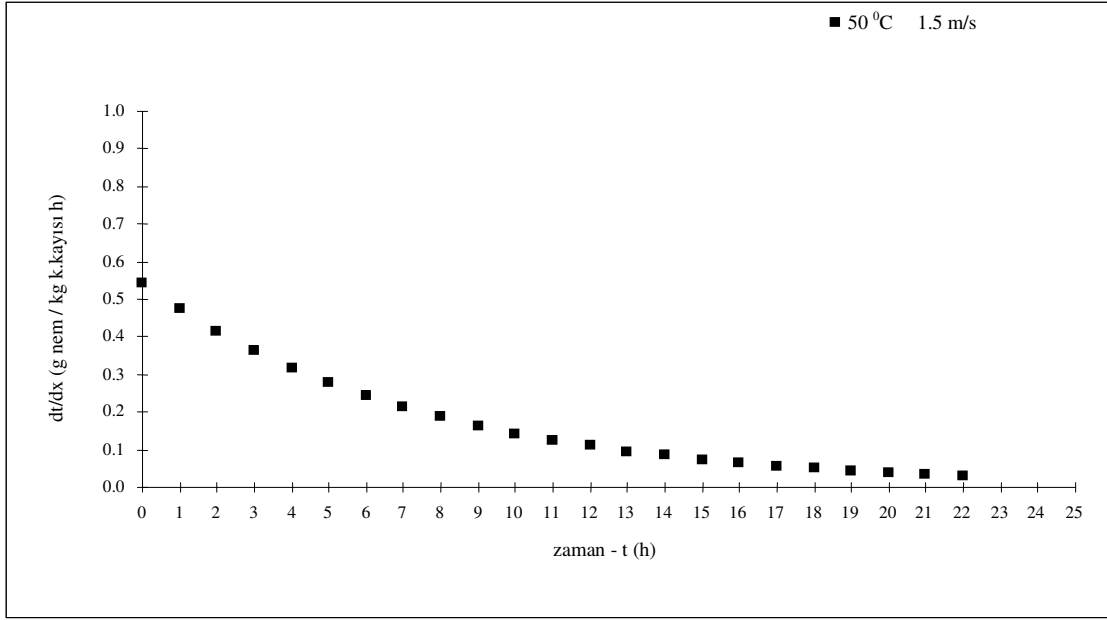
Deneysel çalışmalara tabii tutulan ürünlerin kurutulmasında, kuruma hızı, ürünün ölçüm yapılan ana kadar kaybettiği nem ile o ana kadar geçen süre dikkate alınarak üründen buharlaşan nem miktarı, ürünün kuru ağırlığı ve birim buharlaşma yüzey alanı cinsinden ifade edilmektedir.

Zamana bağlı olarak, 1.5 m/sn kurutma havası hızında, farklı kurutma sıcaklıklarına göre kuruma hızı değişimleri Şekil 8.15-8.18’de verilmiştir. Şekil 8.19-8.20’da ise zamana bağlı olarak kuruma hızı değişiminin, 1.5 m/sn kurutma havası hızında, farklı kurutma sıcaklıklarına göre birleştirilmiş sonuçları verilmiştir.

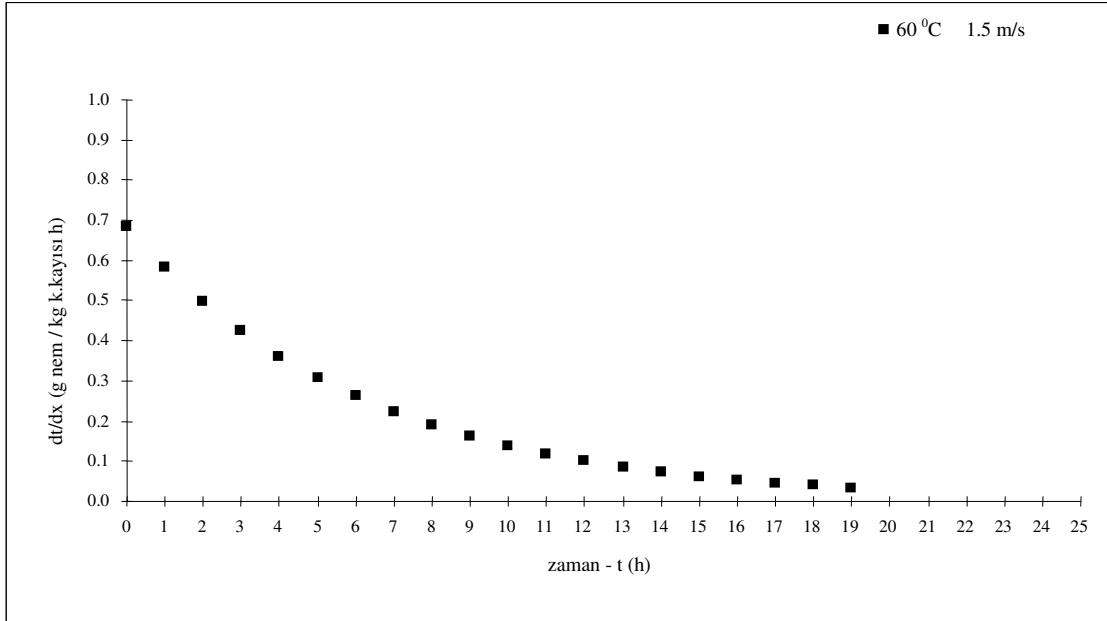
Deneysel çalışmalarda kullanılan her iki kayısı çeşidinin, 1.5 m/sn kurutma havası hızı, 40 °C kurutma havası sıcaklığında saptanan kuruma hızlarının göre kıyaslaması Şekil 8.21’te yapılmıştır.



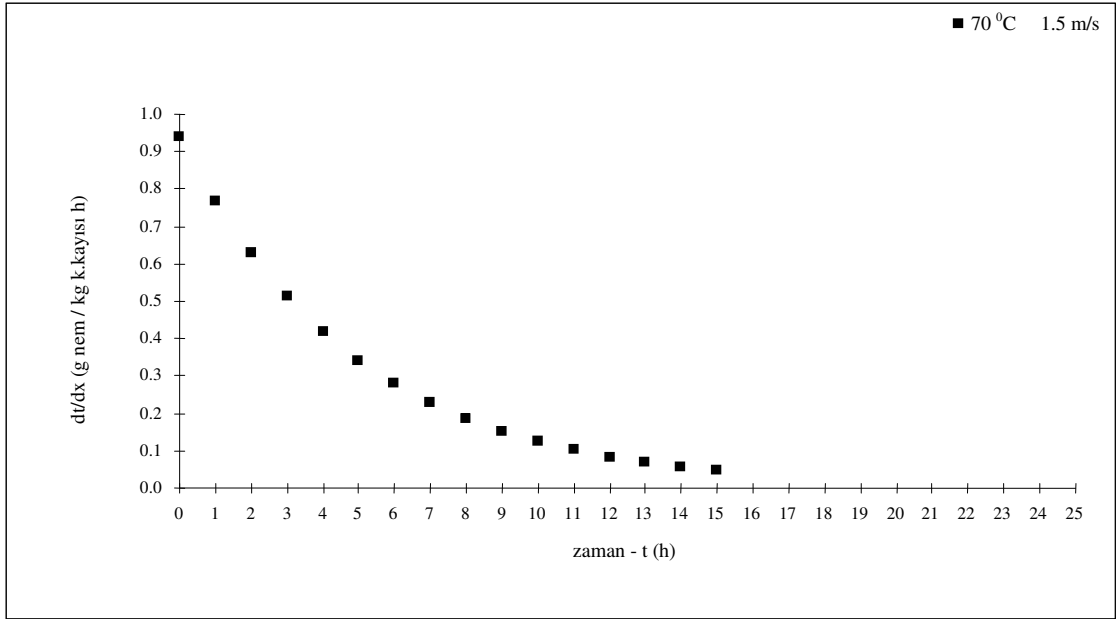
Şekil 8.15 Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 40 °C sıcaklık ve $\phi = \% 34.5$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



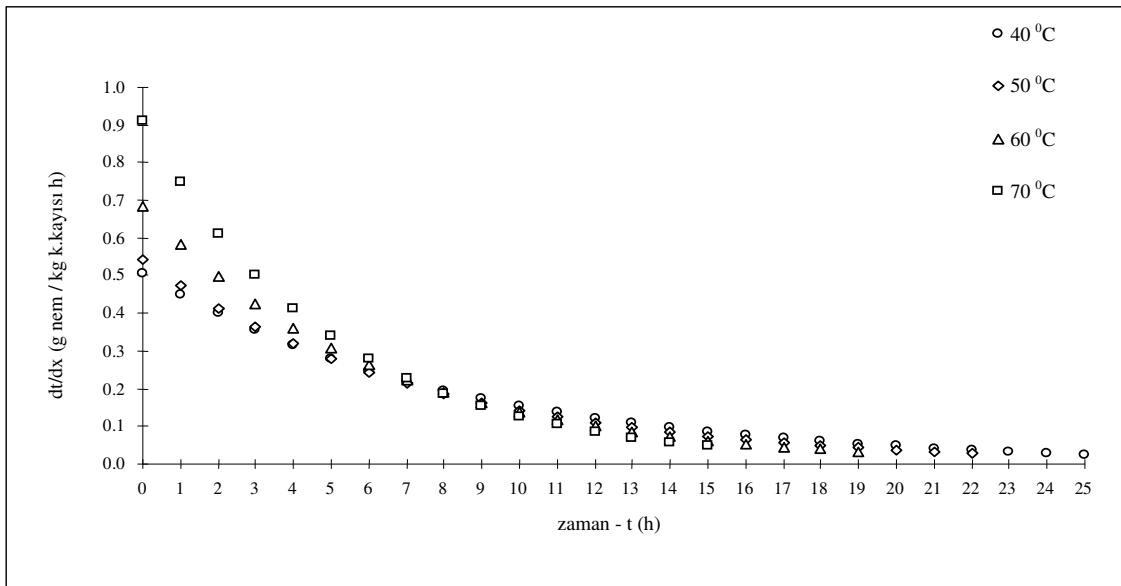
Şekil 8.16 Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 50 °C sıcaklık ve $\phi = \%21.3$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



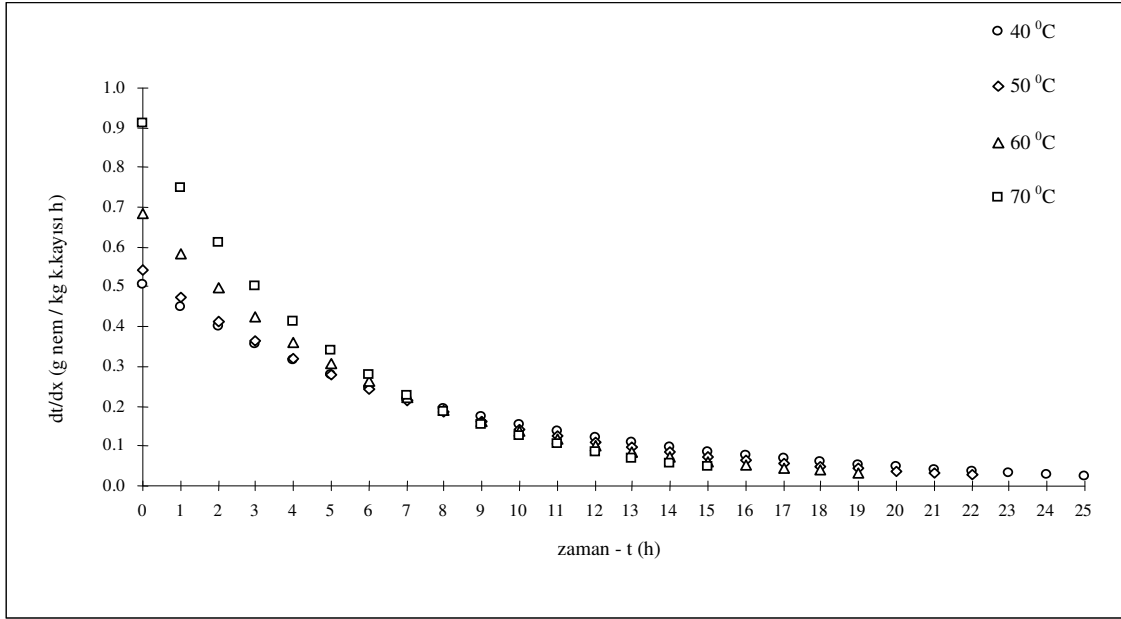
Şekil 8.17 Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 60 °C sıcaklık ve $\phi = \% 12$. bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



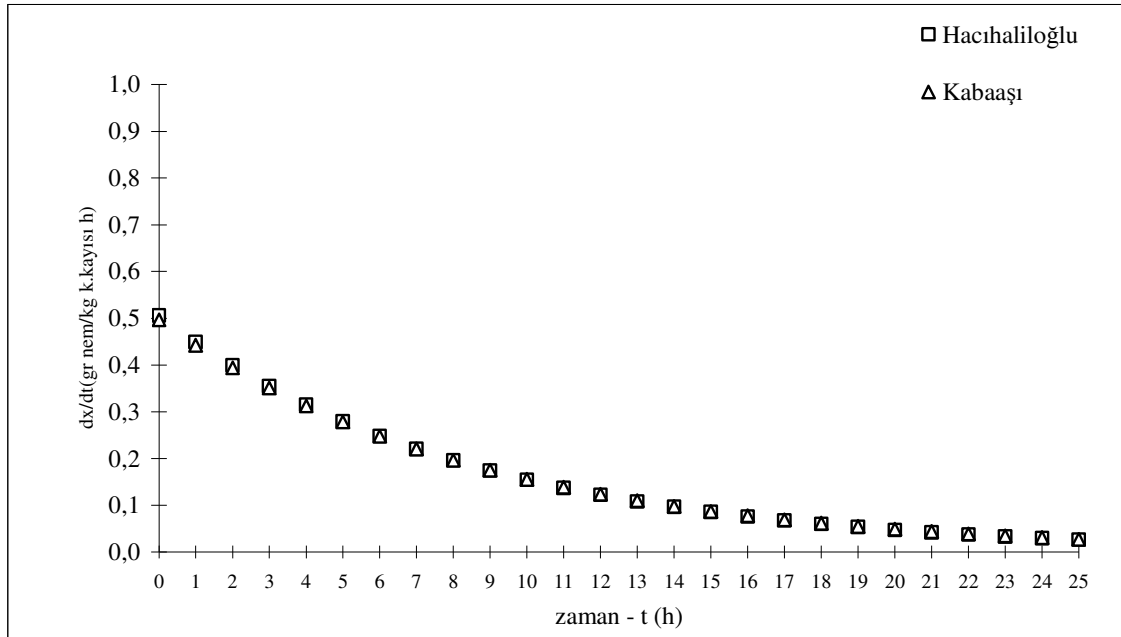
Şekil 8.18 Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 70 °C sıcaklık ve $\phi = \% 8.0$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



Şekil 8.19 Hacihaliloğlu örneklerinin 1.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana göre kuruma hızı değişimi



Şekil 8.20 Kabaası örneklerinin 1.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana göre kuruma hızı değişimi



Şekil 8.21 Kayısı örneklerinin 1.5 m/s hava hızında 40 °C sıcaklık ve $\phi = \% 34.5$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi

Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 1.5 m/s hava hızında değişik kurutma sıcaklıklarda belirlenen kuruma hızı eğrileri denklemleri:

$$(dx/ dt)_{40C} = 0.5698e^{-0.1189t} \quad (8.1)$$

$$(dx/ dt)_{50C} = 0.6179e^{-0.1329t} \quad (8.2)$$

$$(dx/ dt)_{60C} = 0.803e^{-0.1598t} \quad (8.3)$$

$$(dx/ dt)_{70C} = 1.1485e^{-0.2016t} \quad (8.4)$$

Kabaaşı kayısı çeşidi örneklerinin 1.5 m/s hava hızında değişik kurutma sıcaklıklarda belirlenen kuruma hızı eğrileri denklemleri:

$$(dx/ dt)_{40C} = 0.5578e^{-0.1161t} \quad (8.5)$$

$$(dx/ dt)_{50C} = 0.5903e^{-0.1281t} \quad (8.6)$$

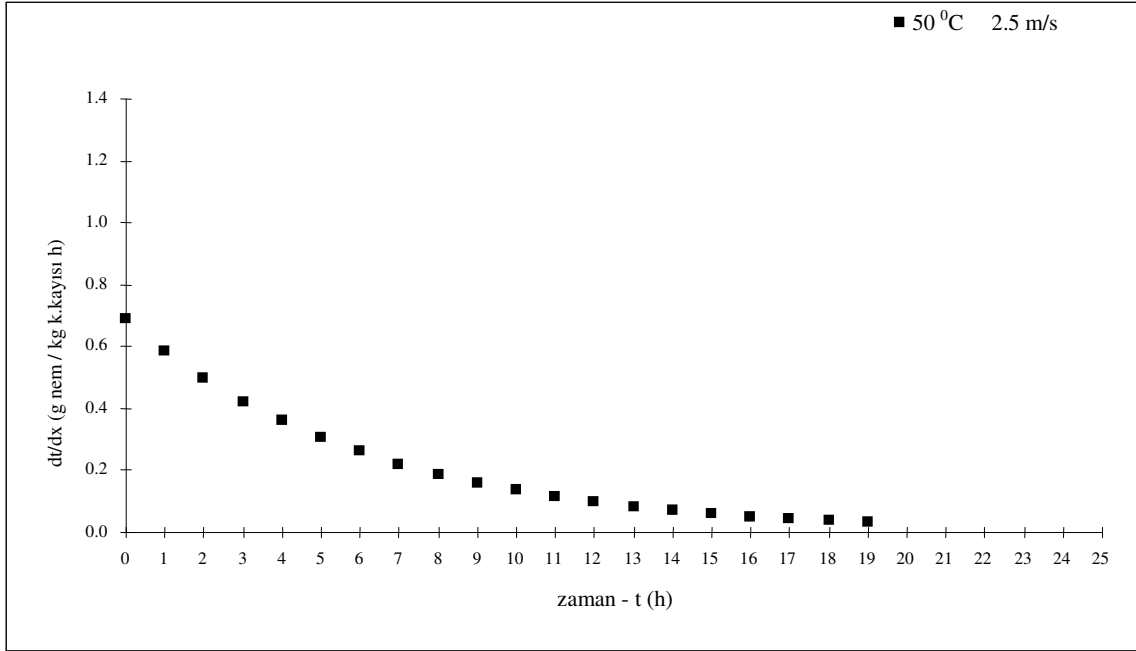
$$(dx/ dt)_{60C} = 0.7776e^{-0.1552t} \quad (8.7)$$

$$(dx/ dt)_{70C} = 1.1101e^{-0.1978t} \quad (8.8)$$

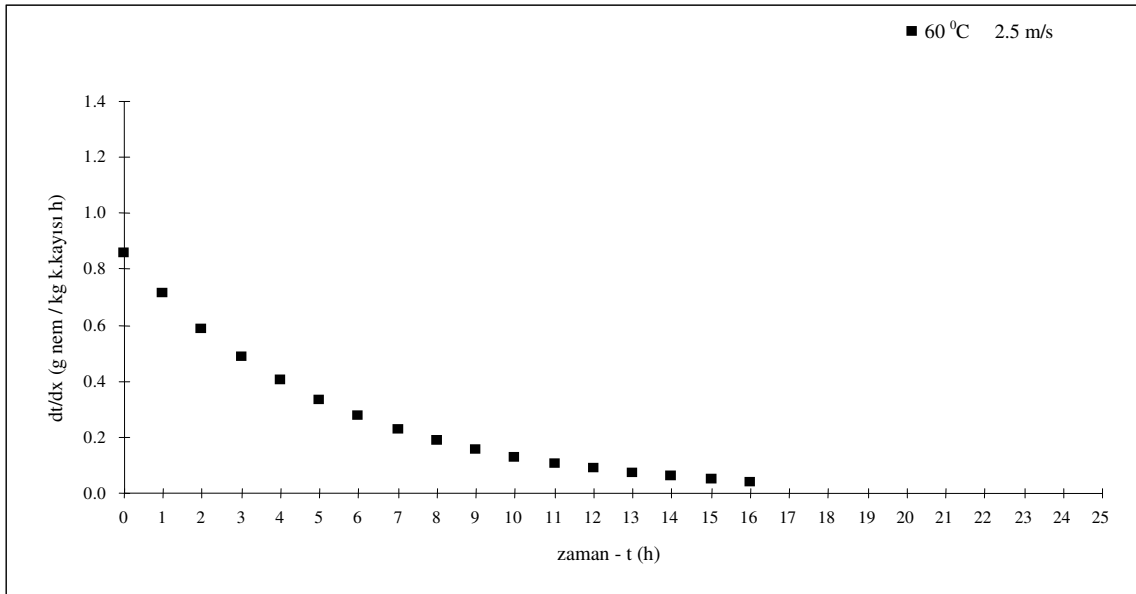
olarak saptanmıştır.

Zamana bağlı olarak, 2.5 m/sn kurutma havası hızında, farklı kurutma sıcaklıklarına göre kuruma hızı değişimleri Şekil 8.22-8.24'de verilmiştir. Şekil 8.25-8.26'da ise zamana bağlı olarak kuruma hızı değişiminin, 2.5 m/sn kurutma havası hızında, farklı kurutma sıcaklıklarına göre birleştirilmiş sonuçları verilmiştir.

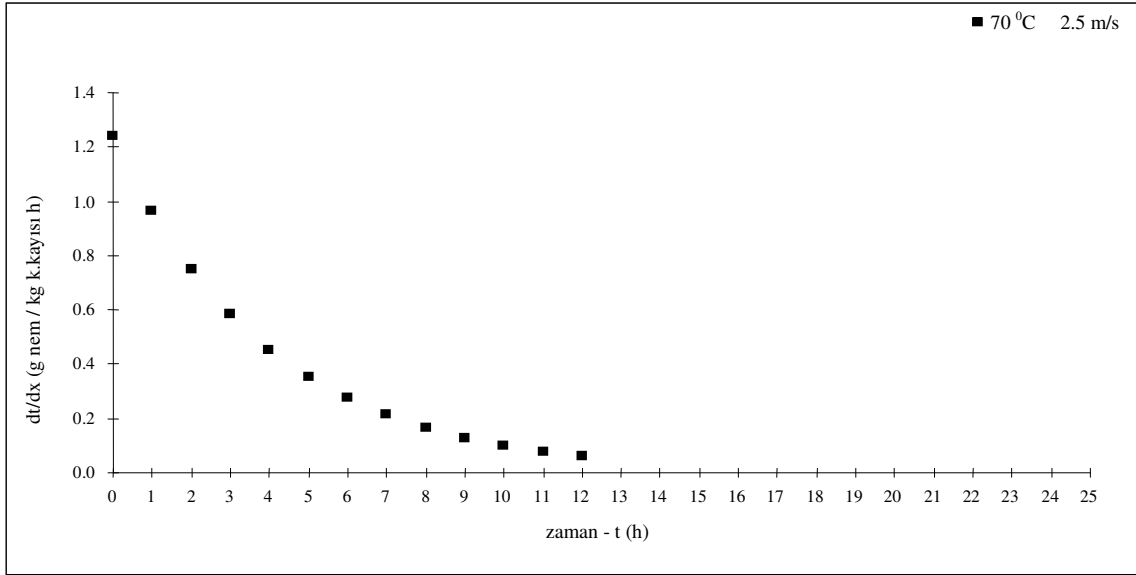
Deneyisel çalışmalarda kullanılan her iki kayısı çeşidinin ,2.5 m/sn kurutma havası hızı, 50 °C kurutma havası sıcaklığında saptanan kuruma hızlarının göre kıyaslaması Şekil 8.27'de yapılmıştır.



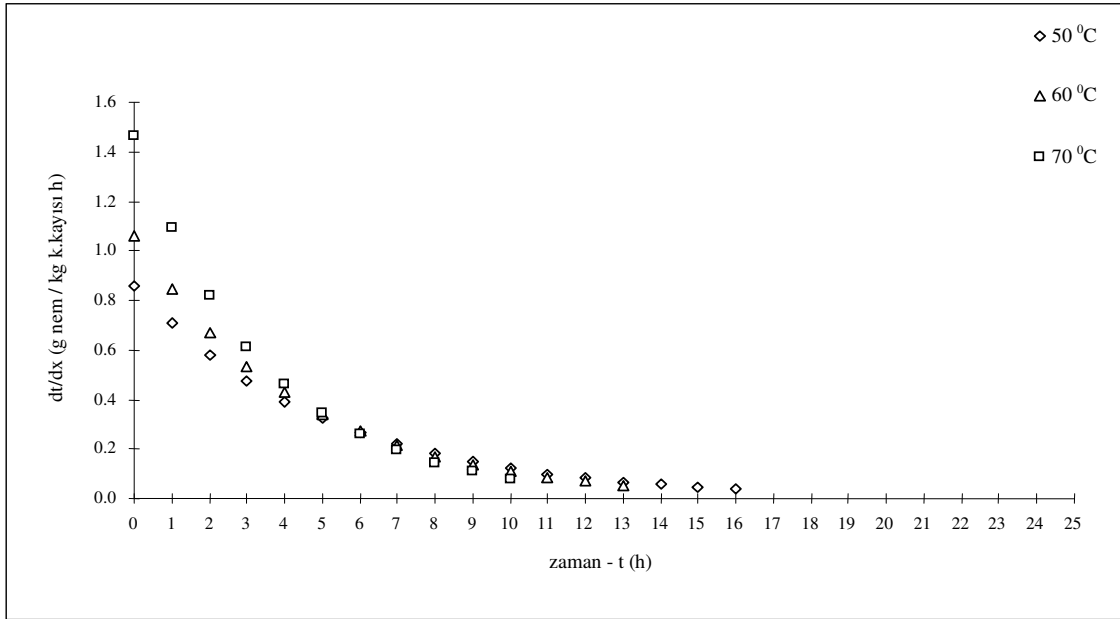
Şekil 8.22 Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 50 °C sıcaklık ve $\varphi = \% 21.3$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



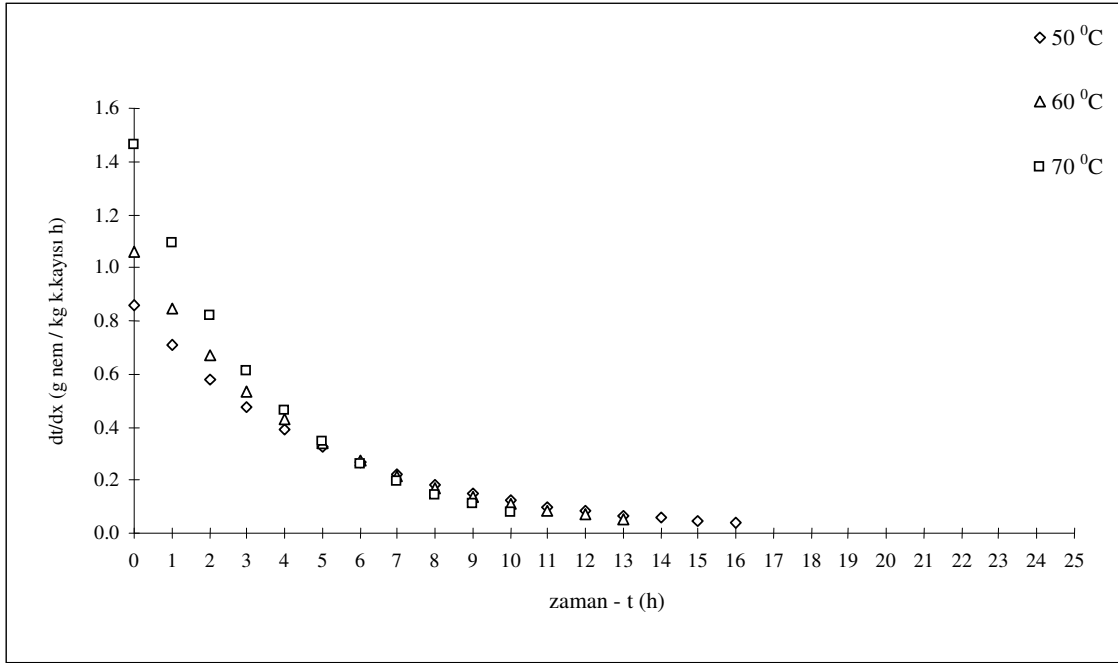
Şekil 8.23 Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 60 °C sıcaklık ve $\varphi = \% 12.6$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



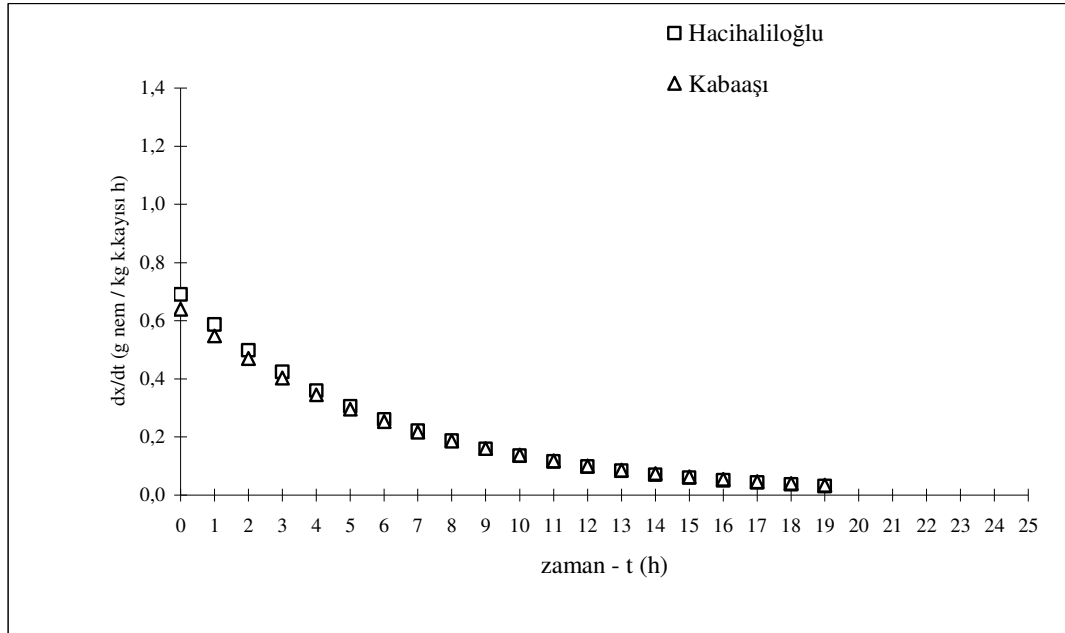
Şekil 8.24 Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 70 °C sıcaklık ve $\phi = \% 8.0$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



Şekil 8.25 Hacihaliloğlu örneklerinin 2.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana göre kuruma hızı değişimi



Şekil 8.26 Kabaası örneklerinin 2.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana göre kuruma hızı değişimi



Şekil 8.27 Kayısı örneklerinin 2.5 m/s hava hızında 50 °C sıcaklık ve $\phi = \% 21.3$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kurutma hızı değişimi

Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 2.5 m/s hava hızında değişik kurutma sıcaklıklarda belirlenen kuruma hızı eğrileri denklemleri:

$$(dx/ dt)_{50C} = 0.8119e^{-0.1627t} \quad (8.9)$$

$$(dx/ dt)_{60C} = 1.0396 e^{-0.1898t} \quad (8.10)$$

$$(dx/ dt)_{70C} = 1.5986e^{-0.2517t} \quad (8.11)$$

Kabaaşı kayısı çeşidi örneklerinin 2.5 m/s hava hızında değişik kurutma sıcaklıklarda belirlenen kuruma hızı eğrileri denklemleri:

$$(dx/ dt)_{50C} = 0.7458e^{-0.1541t} \quad (8.12)$$

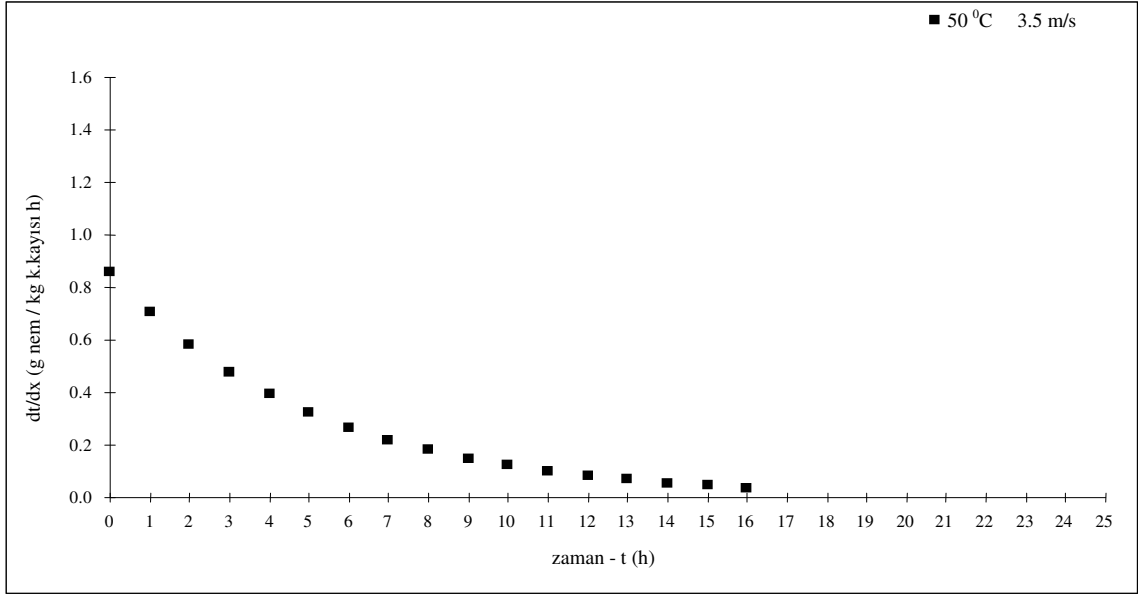
$$(dx/ dt)_{60C} = 0.9716e^{-0.1816t} \quad (8.13)$$

$$(dx/ dt)_{70C} = 1.5274e^{-0.243t} \quad (8.14)$$

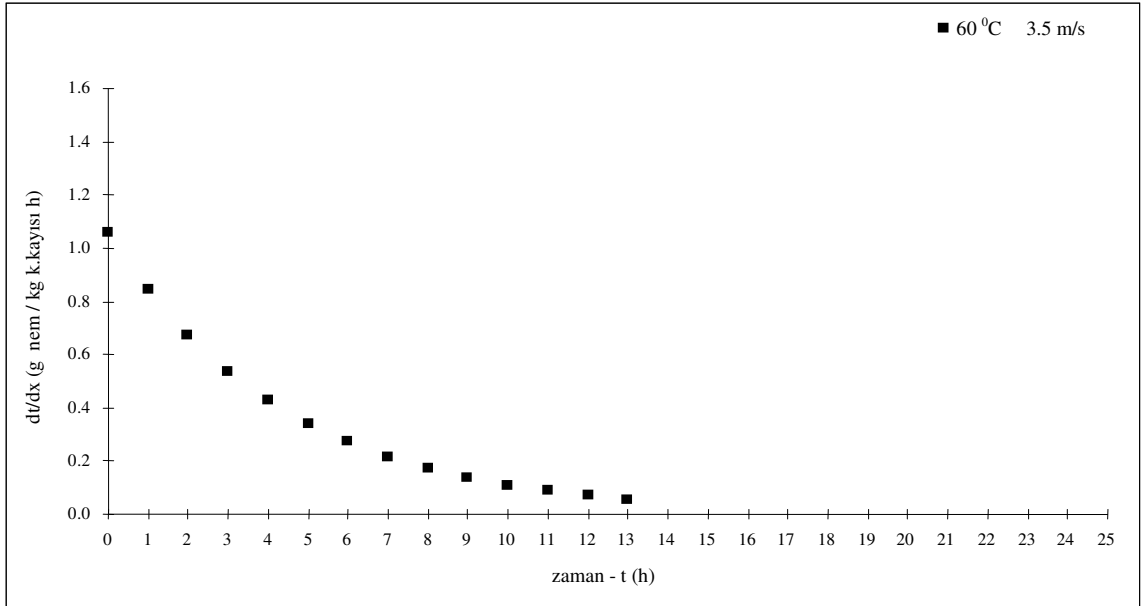
olarak saptanmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan her iki kayısı çeşidinin , 3.5 m/s kurutma havası hızı, 50 °C kurutma havası sıcaklığında saptanan kuruma hızlarının göre kıyaslaması Şekil 8.33'te yapılmıştır.

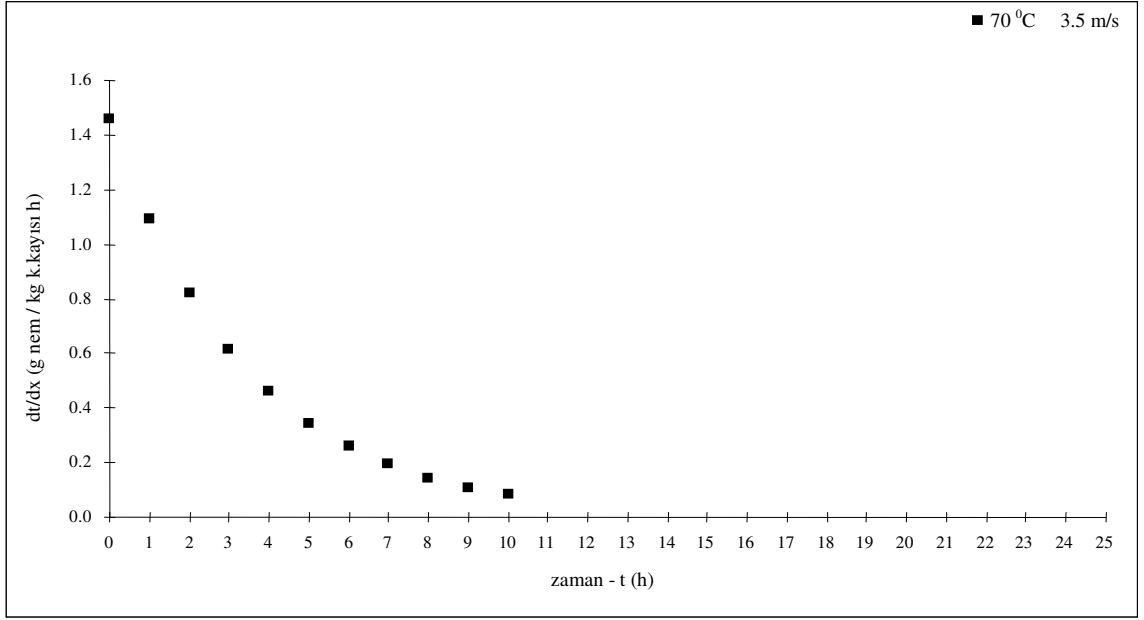
Zamana bağlı olarak, 3.5 m/sn kurutma havası hızında, farklı kurutma sıcaklıklarına göre kuruma hızı değişimleri Şekil 8.28-8.30'da verilmiştir. Şekil 8.31-8.32'de ise zamana bağlı olarak kuruma hızı değişiminin, 3.5 m/sn kurutma havası hızında, farklı kurutma sıcaklıklarına göre birleştirilmiş sonuçları verilmiştir.



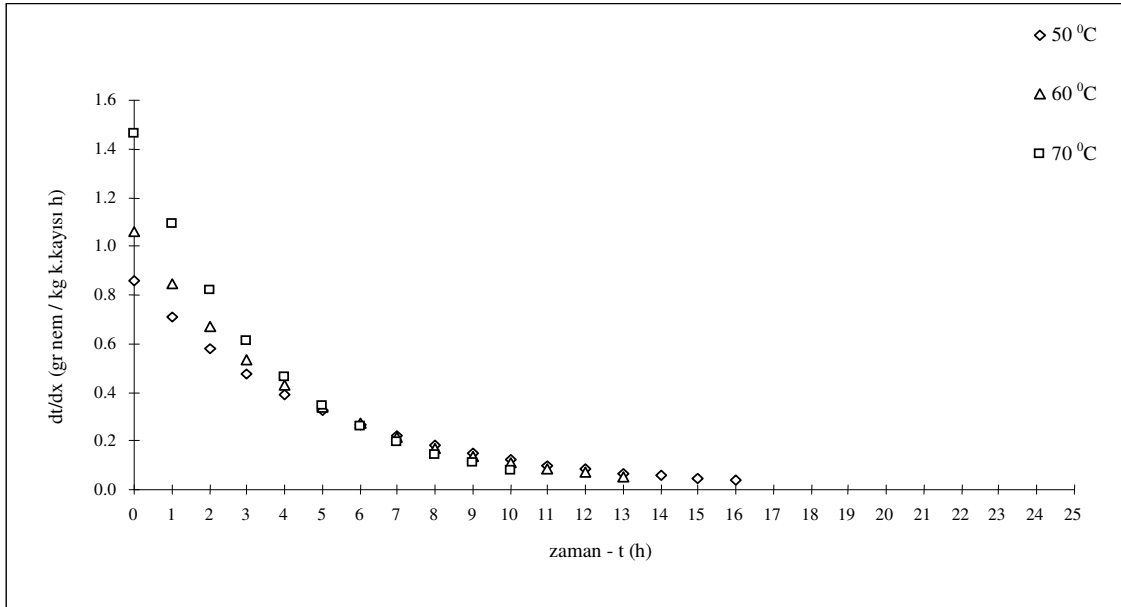
Şekil 8.28 Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 50 °C sıcaklık ve $\varphi = \% 21.4$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



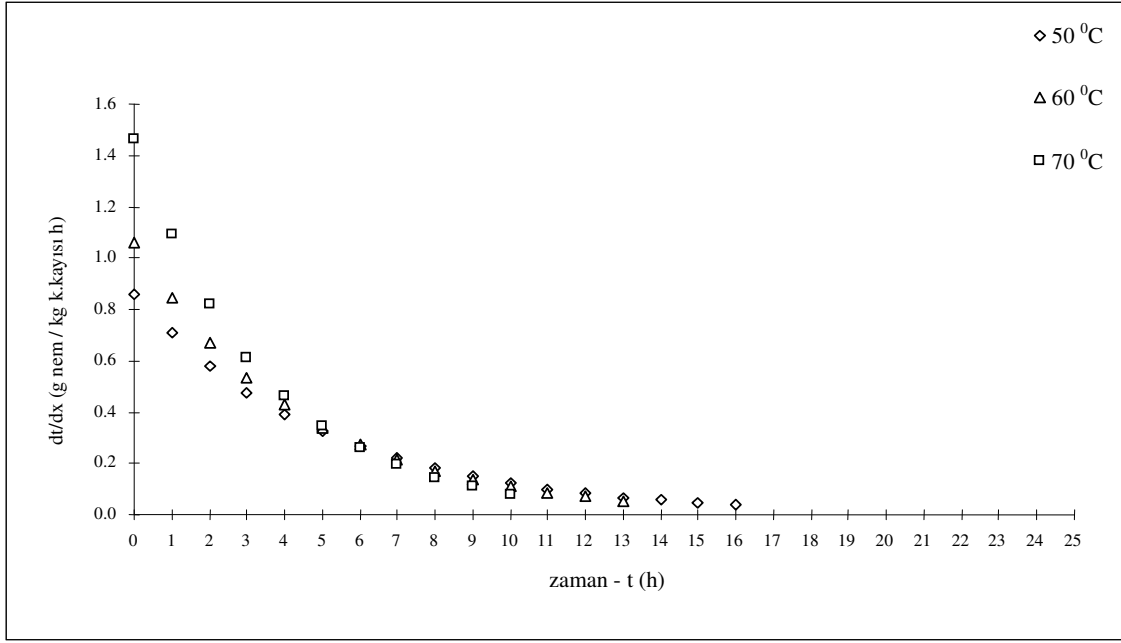
Şekil 8.29 Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 60 °C sıcaklık ve $\varphi = \% 12.7$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



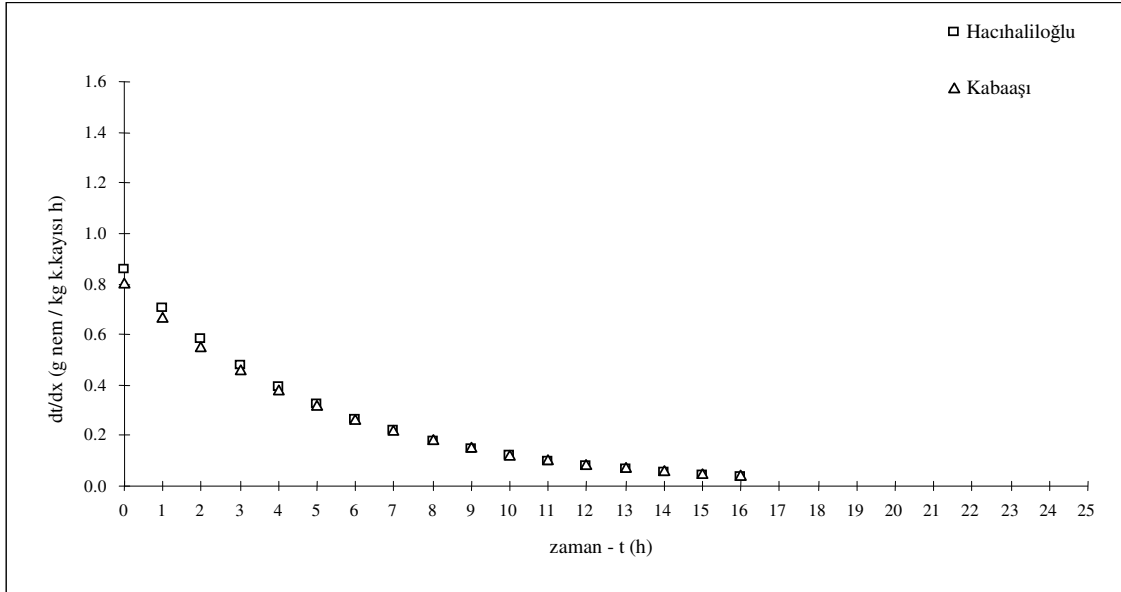
Şekil 8.30 Hacihaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 70 °C sıcaklık ve $\phi = \% 8.0$ bağıl nemli hava ile kurutmada zamana bağlı kuruma hızı değişimi



Şekil 8.31 Hacihaliloğlu örneklerinin 3.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana bağlı kuruma hızı değişimi



Şekil 8.32 Kabaası örneklerinin 3.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklar için zamana bağlı kuruma hızı değişimi



Şekil 8.33 Kayısı örneklerinin 3.5 m/s hava hızında 50 °C sıcaklık ve $\phi = \% 21.4$ için zamana bağlı kuruma hızı değişimi

Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 3.5 m/s hava hızında değişik kurutma sıcaklıklarda belirlenen kuruma hızı eğrileri denklemleri:

$$(dx/ dt)_{50C} = 1.0431e^{-0.1953t} \quad (8.15)$$

$$(dx/ dt)_{60C} = 1.3299 e^{-0.227t} \quad (8.16)$$

$$(dx/ dt)_{70C} = 1.951e^{-0.2895t} \quad (8.17)$$

Kabaaşı kayısı çeşidi örneklerinin 3.5 m/s hava hızında değişik kurutma sıcaklıklarda belirlenen kuruma hızı eğrilerinin denklemleri:

$$(dx/ dt)_{50C} = 0.9684e^{-0.1852t} \quad (8.18)$$

$$(dx/ dt)_{60C} = 1.2465e^{-0.2181t} \quad (8.19)$$

$$(dx/ dt)_{70C} = 1.8401e^{-0.2791t} \quad (8.20)$$

olarak saptanmıştır.

İlgili şekillerden; hava hızı ve kurutma sıcaklığının artışı kayısıların kuruma hızına etki ederek bir artışa neden olmuş, kurutma sıcaklığı ve hava hızının artırılması ile kuruma süresinin azaldığı saptanmıştır.

8.5 Deneysel Ölçülen Kayısı Yüzey Sıcaklığı Tesbiti

Yüzey buharlaşma teorisine göre kayısı yüzey sıcaklığı kısmi buhar basıncı P_{bh} ve hava sıcaklığı t_h 'nin yardımı ile Şekil 6.7 kullanılarak tesbit edilmiştir.

Çizelge 8.4 1,5 m/s hava hızında kurutma odası hava psikometrik şartlarına göre yüzey buharlaşması teorik hesap yöntemi ve Hacıhaliloğlu, Kabaası kayısı çeşitlerinin deneysel ölçülen yüzey sıcaklıkları karşılaştırma tablosu

Kurutma Süresi (saat)	Kurutma Hava Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)											
	40 $^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 0,36$			50 $^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 0,21$			60 $^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 0,127$			70 $^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 0,08$		
	Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)		Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)		Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)		Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	
		1	2		1	2		1	2		1	2
0	25	27,5	27,1	29	31,8	31,2	32,0	33,9	32,1	36	39,4	38,4
1	25	28,9	28,2	29	33,6	33,0	32,0	36,1	36,0	36	44,6	44,1
2	25	29,9	29,0	29	34,1	33,5	32,0	39,6	39,6	36	51,6	51,0
3	25	30,6	29,8	29	35,6	34,2	32,0	41,8	42,2	36	52,6	52,0
4	25	31,6	30,8	29	36,4	35,2	32,0	45,2	44,6	36	54,2	54,1
5	25	32,0	31,8	29	37,2	37,0	32,0	46,4	45,3	36	57,9	55,8
6	25	32,4	32,6	29	38,6	37,7	32,0	47,2	46,6	36	58,0	57,1
7	25	32,5	32,2	29	38,6	37,8	32,0	47,2	46,6	36	58,6	57,9
8	25	32,9	32,6	29	38,9	37,8	32,0	48,3	47,2	36	58,0	58,0
9	25	32,8	32,6	29	39,3	38,4	32,0	49,2	48,3	36	57,5	58,2
10	25	32,8	32,5	29	39,5	38,6	32,0	50,2	49,6	36	58,9	58,8
11	25	32,8	32,5	29	39,6	38,7	32,0	49,2	48,3	36	59,8	59,5
12	25	33,0	32,5	29	39,4	38,8	32,0	51,1	51,0	36	58,9	59,7
13	25	33,2	32,6	29	39,4	38,8	32,0	51,3	51,0	36	60,2	60,0
14	25	33,2	32,6	29	39,5	38,7	32,0	51,3	51,0	36	59,9	60,1
15	25	33,5	32,4	29	39,5	38,7	32,0	51,4	51,0	36	60,1	60,2
16	25	33,5	32,5	29	39,6	38,8	32,0	51,5	51,0	36	61,2	60,8
17	25	33,5	32,5	29	39,6	38,9	32,0	51,5	51,0			
18	25	33,5	32,5	29	39,6	38,9	32,0	51,5	51,1			
19	25	33,6	32,6	29	39,6	38,9	32,0	51,5	51,1			
20	25	33,0	32,6	29	39,6	38,9	32,0	51,5	51,1			
21	25	33,6	32,5	29	39,6	38,9						
22	25	33,6	32,6	29	39,6	38,9						
23	25	33,6	32,4	29	39,6	38,9						
24	25	33,6	32,6									
25	25	33,6	32,7									
26	25	33,6	32,7									

1- Hacıhaliloğlu çeşidi

2- Kabaası çeşidi

Çizelge 8.5 2,5 m/s hava hızında kurutma odası hava psikometrik şartlarına göre yüzey buharlaşması teorik hesap yöntemi ve Hacıhaliloğlu, Kabaası kayısı çeşitlerinin deneysel ölçülen yüzey sıcaklıkları karşılaştırma tablosu

Kurutma Süresi (saat)	Kurutma Hava Sıcaklığı (°C)								
	50 °C, $\varphi = 0,21$			60 °C, $\varphi = 0,127$			70 °C, $\varphi = 0,08$		
	Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı (°C)		Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı (°C)		Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı (°C)	
		1	2		1	2		1	2
0	29	32,4	31,3	32	34,2	34,0	36	41,6	42,3
1	29	34,1	33,0	32	37,3	38,5	36	48,9	47,4
2	29	36,3	35,9	32	40,8	39,5	36	56,4	55,9
3	29	37,4	36,2	32	42,9	41,6	36	58,6	57,2
4	29	38,6	37,0	32	44,6	43,7	36	59,5	58,6
5	29	39,2	37,9	32	46,8	46,0	36	59,8	59,0
6	29	39,7	38,8	32	47,8	46,6	36	60,3	60,2
7	29	40,1	38,9	32	48,9	47,2	36	60,8	60,8
8	29	40,1	39,3	32	49,6	48,4	36	61,9	60,9
9	29	40,2	39,6	32	51,0	49,6	36	62,2	61,2
10	29	40,2	39,6	32	52,2	51,7	36	62,2	61,6
11	29	40,2	39,7	32	52,2	51,9	36	62,2	61,9
12	29	40,3	39,7	32	52,2	52,0	36	62,2	61,9
13	29	40,4	39,7	32	52,3	52,0	36	62,2	61,9
14	29	40,4	39,7	32	52,3	52,0			
15	29	40,4	39,7	32	52,3	52,0			
16	29	40,5	39,7	32	52,3	52,0			
17	29	40,4	39,7	32	52,3	52,0			
18	29	40,6	39,8						
19	29	40,6	39,8						
20	29	40,6	39,8						

Çizelge 8.6 3,5 m/s hava hızında kurutma odası hava psikometrik şartlarına göre yüzey buharlaşması teorik hesap yöntemi ve Hacıhaliloğlu, Kabaası kayısı çeşitlerinin deneysel ölçülen yüzey sıcaklıkları karşılaştırma tablosu

Kurutma Süresi (saat)	Kurutma Hava Sıcaklığı (°C)								
	50 °C, $\varphi = 0,21$			60 °C, $\varphi = 0,127$			70 °C, $\varphi = 0,08$		
	Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı (°C)		Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı (°C)		Yüzey Buharlaşması Teorisine Göre Kayısı Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ölçülen Kayısı Dış Yüzey Sıcaklığı (°C)	
		1	2		1	2		1	2
0	29	32,6	31,7	32	34,5	34,5	36	42,5	42,8
1	29	34,5	33,3	32	37,7	38,5	36	49,1	49,6
2	29	36,5	35,9	32	40,9	39,8	36	56,8	57,2
3	29	37,8	36,4	32	42,9	41,6	36	58,2	58,7
4	29	38,6	37,7	32	44,6	43,7	36	59,8	59,8
5	29	39,2	37,9	32	46,9	46,2	36	60,7	59,2
6	29	39,7	38,8	32	47,8	46,7	36	60,9	61,2
7	29	40,4	38,9	32	48,9	47,2	36	61,9	61,8
8	29	40,4	39,8	32	49,7	48,3	36	62,2	62,1
9	29	40,5	39,8	32	51,6	49,6	36	62,4	62,8
10	29	40,5	39,6	32	52,4	51,8	36	62,5	62,6
11	29	40,5	39,7	32	52,2	51,9	36	62,5	62,6
12	29	40,5	39,9	32	52,5				
13	29	40,5	39,9	32	52,7				
14	29	40,5	39,9						
15	29	40,5	39,9						
16	29	40,5	39,9						
17	29	40,4	39,9						

Yüzey buharlaşması teorik hesap sonuçlarına göre bulunan kayısı yüzey sıcaklıkları değerlerinin deneysel ölçüm değerlerinden küçük bulunması, buharlaşmanın kayısı iç bölgelerinde oluştuğunu göstermekte olduğundan kayısı kurutmasında yüzey buharlaşması olmadığı belirlenmiştir.

8. 6 Kurutulan Kayısı Örnekleri Üzerine Yapılan Analizler

Kurutma işlemi sırasında bazı iç ve dış faktörler kuruma hızı üzerinde etkili olmaktadır. Kurutulan ürünün nem içeriği; ürünün özelliğine, şekline, tipine, yüzey alanına göre değişir ve bu özelliklere bağlı olan fiziksel ve kimyasal faktörler iç faktörler olarak bilinmektedir.

Kurutma deneyleri sonrasında elde edilen kuru kayısı örneklerinin, Kuru Kayısı Standardı TS 485'te verilen parametrelere uygun olup olmadığını görmek amacı ile elde edilen kuru kayısı örnekleri, Kalemoglu Tarım Ürünleri- Kuruyemiş Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından analiz edilmiştir.

8. 6.1 Duyusal analiz

Kuru kayısıların üzerinde gerçekleştirilen duyusal analiz sonuçları Çizelge 8.4'de verilmiştir.

Çizelge 8.7 Kurutulan kayısı örnekleri üzerine yapılan duyusal analiz sonuçları

Kayısı Çeşidi	Kurutma Hava Sıcaklığı	Tat Kriteri	Koku Kriteri	Renk Kriteri	Görünüş Kriteri
Hacıhaliloğlu	40 °C	Tatlı	kokusuz	sarı-kızıl	yuvarlak-oval
Kabaaşı		Tatlı	kokusuz	portakal-kızıl	yuvarlak-oval
Hacıhaliloğlu	50 °C	Tatlı	kokusuz	portakal-kızıl	yuvarlak-oval
Kabaaşı		Tatlı	kokusuz	portakal-kızıl	yuvarlak-oval
Hacıhaliloğlu	60 °C	Tatlı	kokusuz	sarı-portakal	yuvarlak-oval
Kabaaşı		Tatlı	kokusuz	portakal-kızıl	yuvarlak-oval
Hacıhaliloğlu	70 °C	Tatlı	kokusuz	sarı-portakal	yuvarlak-oval
Kabaaşı		Tatlı	kokusuz	portakal-kızıl	yuvarlak-oval

8. 6. 2 Fiziksel analiz

Deneysel çalışmalarda kullanılan Hacıhaliloğlu ve Kabaaşı kayısı çeşitlerine ait, kurutma hava hızları ve sıcaklıklarına göre saptanan fiziksel analiz sonuçları Çizelge 8.8, 8.9 ve 8.10'da verilmiştir.

Çizelge 8.8 1.5 m/s hızında kayısıların kurutma öncesi ve sonrasındaki fiziksel özellikleri

Kayısı Çeşidi	Kurutma Hava Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (saat)	Ortalama Kayısı Ağırlığı (gr)		Ortalama Kayısı Eni (mm)		Ortalama Kayısı Boyu (mm)	
			Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
Hacıhaliloğlu	40	26	80	16.4	2.7	3.1	3.3	3.3
Kabaaşı			80	16.5	2.8	3.2	3.5	3.4
Hacıhaliloğlu	50	23	80	16.6	2.8	3.3	3.2	3.5
Kabaaşı			80	16.7	2.7	3.2	3.2	3.4
Hacıhaliloğlu	60	20	80	16.3	2.6	3.3	3.3	3.5
Kabaaşı			80	16.4	2.8	3.1	3.4	3.5
Hacıhaliloğlu	70	16	80	16.3	2.7	3.2	3.3	3.4
Kabaaşı			80	16.4	2.9	3.2	3.3	3.5

Çizelge 8.9 2.5 m/s hızında kayısların kurutma öncesi ve sonrasındaki fiziksel özellikleri

Kayısı Çeşidi	Kurutma Hava Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (saat)	Ortalama Kayısı Ağırlığı (gr)		Ortalama Kayısı Eni (mm)		Ortalama Kayısı Boyu (mm)	
			Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
Hacıhaliloğlu	50	20	80	16.1	3.0	3.1	3.2	3.4
Kabaaşı			80	16.3	2.7	3.2	3.4	3.6
Hacıhaliloğlu	60	17	80	16.2	2.9	3.3	3.4	3.5
Kabaaşı			80	16.4	2.8	3.1	3.2	3.4
Hacıhaliloğlu	70	13	80	16.5	2.8	3.2	3.3	3.6
Kabaaşı			80	16.7	2.9	3.3	3.3	3.5

Çizelge 8.10 3.5 m/s hızında kayısların kurutmadan önceki ve sonraki fiziksel özellikleri

Kayısı Çeşidi	Kurutma Hava Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (saat)	Ortalama Kayısı Ağırlığı (gr)		Ortalama Kayısı Eni (mm)		Ortalama Kayısı Boyu (mm)	
			Önce	Sonra	Önce	Sonra	Önce	Sonra
Hacıhaliloğlu	50	17	80	15.9	3.1	3.3	3.2	3.5
Kabaaşı			80	16.1	2.9	3.1	3.2	3.4
Hacıhaliloğlu	60	14	80	16.2	2.9	3.2	3.3	3.6
Kabaaşı			80	16.3	2.8	3.3	3.4	3.6
Hacıhaliloğlu	70	11	80	16.1	2.8	3.1	3.2	3.4
Kabaaşı			80	16.2	2.9	3.2	3.3	3.6

Çizelge 8.8, 8.9 ve 8.10’da görüldüğü gibi kurutma süresi, kurutma hava sıcaklığı ve hava hızına göre kurutulan kayısların ortalama eni 3.1 ile 3.3 cm, boyu 3.4 ile 3.6 cm ve ağırlığı 15.9 ile 16.7 gr arasında değişim göstermiştir.



Şekil 8.34. Kurutulan kayısı numuneleri

Kayısılarda Hacıhaliloğlu çeşidinin Kabaası çeşidine göre meyve kabuğu ince olmasından dolayı aynı şartlar altında ağırlık kaybının biraz daha hızlı olduğu saptanmıştır.

8. 6.3 SO₂ analizi

Bölüm 7.1.2.2.'de detaylı olarak verilmiş olan yöntem ve ekipmanlar kullanılarak hesaplanan SO₂ analiz değerleri aşağıdaki gibi saptanmıştır.

$$SO_2 = \frac{(3200 \times 23.3)}{33.891} \quad (8.21)$$

$$SO_2 = 2200 \text{ ppm} \quad (8.22)$$

Kurutulan kayısı çeşitlerinin içerdiği kükürt dioksit ortalama 2200 ppm bulunmuştur. Görüldüğü üzere, kurutulan kayısı numuneleri içerisindeki SO₂ miktarı istenilen sınır olan 2500 ppm sınırının altında kalmıştır.

9. SONUÇLAR

Kabaaşı ve Hacıhaliloğlu cinsi kayısıların hava ile konveksiyon kurutulması deneysel olarak araştırılmıştır.

Araştırmada farklı hava koşulları ve farklı hava hızlarında kurutma sonuçları elde edilmiş, bu sonuçlar diyagramlarda gösterilmiş ve ampirik denklemler halinde de verilmiştir.

Yapılan deney sonucu elde edilen kuru kayısı analiz sonuçlarına göre tüm farklı koşullarda kurutulan kuru kayısıların ulusal ve uluslararası standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

Deneyler sonucunda kurutma hava sıcaklığı ve hızı arttıkça kuruma hızı artarak, kurutma süresi düşmekte olduğu görülmüştür. Örneğin 1,5 m/s kurutma hızında 40 °C’de, kurutma süresinin 15.saatinde Hacıhaliloğlu kayısı çeşidinde nem % 58, 50 °C ‘de nem % 46, 60 °C’de nem % 35, 70 °C’de ise nem % 27’e inmiştir.

Kurutmada kayısı dış yüzey sıcaklığı 62,2 °C ’ye kadar yükseltilebilmiştir. Bu sıcaklıkta kayısının aromasında herhangi bir bozulma olmamıştır. Kısa süreli yüksek sıcaklıkta gerçekleşen kurutma yöntemleri ürünlere, uzun süreli düşük sıcaklıkta kurutma yöntemlerinden, ürünün içerdiği besin madde açısından, daha az zarar vermektedir. Kurutma süresinin kısaltılması konveksiyon kurutmada temel amaç olmalıdır.

Yüzey buharlaşması teorik hesap sonuçlarına göre bulunan kayısı yüzey sıcaklıkları değerlerinin deneysel ölçüm değerlerinden küçük bulunması, buharlaşmanın kayısı iç bölgelerinde oluştuğunu göstermekte olduğundan kayısı kurutmasında yüzey buharlaşması oluşmadığı belirlenmiştir. Kurutma hızlarının kurutma süresince sabit kalmayıp sürekli azaldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, kayısı kurutmasında yüzeydeki serbest nem kurutmasının söz konusu olmadığı, ürün içindeki nemin kurutma zamanına bağlı azalan değişken kurutma hızında uzaklaştırıldığı anlaşılmıştır.

Kurutma ürün kapasitesine göre kurutma cihazı dizayn edilirken enerji gereksinimleri de göz önüne alınarak ekonomik optimizasyon yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akaryıldız E., (1988), Pnömatik Nakil Metoduyla Tahıl Kurutulmasının Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE , İstanbul.
- Akbaba H., (1985), Kayısların Kurutma Karakteristikleri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, FBE , İzmir.
- Akbolat D., Yıldız Y., (1997), “Bazı Tarımsal Ürünlerin Sorpsiyon İzotermelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma”, Tarımsal Mekanizasyon, 17-21, Konya.
- Ackermann D., (1970), “Erweiterung des i,x – Diagrammes zur psychrometrischen Feuchtheitsbestimmung, bei hohen Dampfgehalten Kaltetechnik-Klimatisierung”.
- Akpınar E., (2002), Tarımsal Ürünler İçin Siklon Tipi Bir Kurutucunun Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Akpınar E., (2002), “Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Siklon Tipi Bir Kurutucunun Kullanılabilirliği”, Mühendis Ve Makine Dergisi, 515: 25-34.
- Akpınar, E. K., (2004), “Mathematical modelling of a thin layer drying of apricots in a solar energized rotary dryer”, International Journal of Energy Research 28, 739–752
- Akyıldız.A., (1999), Kurutulmuş Elma Cipsi Üretim Tekniği Üzerine Araştırma, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Altuğ T., (2000), “Gıda Kalite Kontrolü”, Ege Üniv., 12-21: 89-92 Bornova-İzmir.
- Andonov K., & İvanova D., (2001), “Analytical and experimental study of combined fruit and vegetable dryer” , Journal of Food Engineering :83-88 , Bulgaria.
- Anomymous S., (1996), Tarımsal Yapı (Üretim,Fiyat, Değer), T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.
- Anomymous S., (1998), Üretim Değerleri Raporları, Tarım İl Müdürlüğü, Konya.
- Asma B., (2000), “Kayısı Yetiştiriciliği”, İnönü Üniversitesi Yayınları, Malatya.
- Asma B., (2005), “Kayısı Yetiştiriciliği”, İnönü Üniversitesi Yayınları, Malatya.
- Asma B., Öztürk K., (1998), “Kayısı Yer Kaynakları”, Ara sonuç raporu, Meyvecilik Araştırma Enstitüsü, Malatya.
- Barbanti D., Mastrocola D., (1991), “Air Drying of Fruit: Effects of different pre-treatments on drying rate and product quality”, Drying, 91, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Barbanti D.,Mastrocola D., (1995), “Air Drying of plums influence of some process parametres on the spesific drying cinetics”, Sciences-des Aliments, 15, Italy.
- Bosnjakovic F., (1965), “Technische Thermodynamik”, Teil II, 4. Auflage, Dresden, Leipzig.
- Brauer H., (1971), “Stoffaustausch”, Aarau/ Frankfurt am in Main.
- Çelik.K., (2001), “Kuru Kayısıda muhtemel Aflatoksin Oluşumu ve Düzeylerinin Tespiti” Yüksek Lisans Tezi, Malatya.
- Cemeroğlu B., Acar A., (1985), “Meyve ve Sebze İşlemi Teknolojisi”, Güven Yayıncılık, Gıda Teknolojisi Derneği – Yayın No 6, Ankara.

Dalgıç A., (1999), ACD-HACCP, s.2-8.

Doymaz I., (2004), "Convective air drying characteristics of thin layer carrots", Journal of Food Engineering 61, pp. 359–364.

Dölekoğlu C., (2003), "Gıdalarda Kalite Güvenlik Sistemleri", TEAE – Bakış.

Ertekin C., (1998), "Mısırın Kurutulmasında Güneş Enerjisinden Faydalanma Olanaklarının Araştırılması", 6.Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, Ankara.

"Gıda İşletmelerinde HACCP Uygulamaları ve Denetimi" (2003), Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü , Ankara.

Güner B., (1991), "Raf Tipi Güneşli Bir Meyve Kurutucunun Matematiksel Modellenmesi ve Optimizasyonu", Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı, 451-460.

Ipek B., (2001), "Yeni Tasarlanan Havalı Kollektör Yardımı ile Elazığ Yöresi Kayısılarının Kurutulmasında, Kayısı Yüzey Sıcaklığının Tespiti", Malatya Meyvecilik Araştırma Enstitüsü yayınları.

ISO 9000, (2003), HACCP ve EUREPGAP Semineri, Uludağ Birlik, Bursa: 25-26

Kanarya, A., (2002), Akışkan Yataklı Kurutma Prosesinin Matematiksel Modellemesi. GYTE Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.

Kaşka, N., (1994), Türkiye’de Sofralık Kayısı Yetiştiriciliği. Standart. Kayısı Özel Sayısı. 54-60.

Karathanos V.T., (1999), "Determination of water content of dried fruits by drying kinetics", Journal of Food Engineering 39, pp. 337–344.

Keskin, H., (1959), Gıda Kimya Gıda Maddeleri Bileşenleri Teknolojisi Analizleri ve Metabolizması, 82 s. Yayın No: 822, Fen Fak. No: 25, Şirketi Müretibiye Basımevi, İstanbul.

Kochneva S.V., (1999), "Intencification Spray Drying the Food-stuffs", Technical University, 2- 8, Bishkek, Kyrgyzstan.

Koç K., (2001), "Mikrodalga ve Endüstriyel Kurutma Metotlarının Kayısının Fizikokimyasal ve Duyusal Özellikleri Üzerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Malatya.

Krischer O., (1954), "Trocken in Fortschritte der Verfahrenstechnik" 1952/53 Weinheim.

Martin, H., (1996), "Theoretical Approach to Predict the Performance of Chevron-Type PHEs", Chemical Engineering and Processing , 35:301-310.

Mastrocola D., (1995), "Air Drying of Plums Influence of Some Proses Parametres on the Spesific Drying Kinetics", Sciences - des Aliments, 15. Italy.

Markus.V., (1981), "Polyphenol Oxidise and peroxidise Activiteis of Apricots", Qual plant food.Hum Nutr, 31:45 -58, Budapest.

Mengeş H., (1999), "Konya Bölgesinde Yetiştirilen Bazı Meyvelerin Kontrollü Şartlar Altında Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Misra, R. S., (1993), "Evaluation of Economic and Thermal Performance of Closed Loop Solar Hybrid air and Water Heating Systems for Indian Climates", Energy Conversion and Management. v. 34, n. 5, May 1993, 363-372.

Monr, K. H., Can, A., 1992. Kurutma Koşullarında Biyolojik Ürünler İçinden Nem Transportunun Kinetiği. Mühendis ve Makine Dergisi: 33, 392-395.

Özbalta N., (1997), “Endüstriyel Kurutma Sistemleri”, Kongre Teskon.

Özbalta, N., Güngör, A., (1988), Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Güneş Enerjisinin Kullanım Olanakları.

Özel.S., (1997), “Kurutmada Güneş Enerjisinin Kullanılması”, TMMOB MMO Müh.ve Mak. dergisi, Ankara.

Özel S., Özil E., (1987), Kurutmada Güneş Enerjisinin Kullanımı, TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi: 327, Ankara.

Pala M., Mahmutolu T., Saygı B., (1996), “Effect of Pretreatments on the Quality of Open-air and Solar Dried Apricots”, Nahrung, 40 (3):137.

Pehlivan, D., Togrul I.T., (2003), “Modelling of drying kinetics of single apricot”, Journal of Food Engineering 58, pp. 23–32.

Pilhofer Th., (1972), “Simulation der Verdunstung einer Flüssigkeit in ein Gas”, Verfahrenstechnik, 182-8.

Resmi Gazete, N24511, (2.09.2001), “Sebze ve Meyvelere ait mikrobiyolojik Değerler”, 7.

Resmi Gazete N24857, (25.08.2002), “Gıda kodeksleri”.

Sarsılmaz, C., Yıldız, C., Biçer, Y., (1998), “Elazığ İli Meteorolojik Şartlarının Sebze ve Meyve Kurutma Hızına Etkisi” Harran Üniv. Mühendislik Kongresi. Urfa, 309-316.

Sarsılmaz C., Yıldız C., Pehlivan D., (2000), “Drying of Apricot in a Rotary Column Cylindrical Dryer Supported With a Solar Energy”, Renewable Energy 21, 117-127.

Schirmer R., (1938), “Die Diffusionszahl von Wasserdampf-Luft-Gemischen und die Verdampfungs-geschwindigkeit”, Z. VDI-Beih. Verfahrenstechnik.

Steinbach G., (1972), “Ergebnisse neuerer Untersuchungen über Sorptionsisothermen im Gefrierbereich, vorgetragen beim VTC-Aussch. Trocknungstechnik in Bensheim”, Auerbach.

Togrul İ.T., Pehlivan D., (2002), “Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers”, Journal of Food Engineering 51, pp. 209–216.

Türk Standartları Enstitüsü, (1992) Kayısı Kurutma Yerleri Sınıflandırma, Özellikler ve Kurutma Kuralları. TSE 9951/Mart, Ankara.

Türk Standartları, (2002), “Kuru Kayısı 2002”, TS 4585. ICS67.080.10.

Tsami E., (1991), “Net isosteric heat of sorption in dried fruits”, Journal of Food Engineering 14, pp. 327–335

Uğur E., (2003), “Gıda Güvenliği”, Araştırma ve Meslekleri Geliştirme Müdürlüğü Bülteni.

Vrac.N & Gruner M., (1994), “Effect of Fluidized Bed Drying on Properties of Dehydrated Apples”, Die Nahrung, 38:149-160.

Yağcıoğlu A., (1999), “Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği”, Ege University Press of Agricultural Faculty No: 536, 148.

Yaldız O., Ertekin C., (2000), “Bazı Sebzelerin Güneş Enerjili Kurutucular ile Kurutulma Olanakları Üzerine Araştırmalar”, Tarımsal Mekanizasyon, 19.Ulusal Kongresi, 332-337 Erzurum.

Yunus A., Michael A., (1996), “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, McGraw-Hill Yayıncılık , İstanbul.

ELEKTRONİK KAYNAKLAR

- [1] www.eurep.org
- [2] www.kkgm.gov.tr
- [3] www.malatyatb.tobb.org.tr
- [4] www.tzob.org.tr.
- [5] www.malatyakayisi.html.
- [6] www.malatya.sitemynet.com.
- [7] www.kayisi.htm.
- [8] www.gidasanayii.com
- [9] www.kimyamuhendisi.com
- [10] www.dnv.ru
- [11] www.sciencedirect.com

Ek 1 Kayısı örneklerinin 40⁰C 'de 1,5 m/s hava hızında ağırlık ve kütle değerleri

Zaman (saat)	Hava Hızları			
	1.5 m/s			
	Hacıhaliloğlu		Kabaası	
	Kayısı ağırlığı gr	Kütle değişimi gr	Kayısı ağırlığı gr	Kütle değişimi gr
0	80	1,00	80	1,00
1	72,5	0,91	72,6	0,91
2	65,3	0,82	65,4	0,82
3	60,2	0,75	60,3	0,75
4	55,6	0,70	55,7	0,70
5	51,2	0,64	51,3	0,64
6	46,5	0,58	46,6	0,58
7	42,6	0,53	42,7	0,53
8	38,1	0,48	38,3	0,48
9	35,8	0,45	35,9	0,45
10	32,5	0,41	32,6	0,41
11	30,9	0,39	31,1	0,39
12	28,2	0,35	28,3	0,35
13	27,3	0,34	27,4	0,34
14	26,3	0,33	26,5	0,33
15	25,4	0,32	25,5	0,32
16	24,2	0,30	24,4	0,31
17	23,3	0,29	23,4	0,29
18	22,4	0,28	22,5	0,28
19	21,4	0,27	21,6	0,27
20	20,5	0,26	20,6	0,26
21	19,8	0,25	19,9	0,25
22	19,1	0,24	19,3	0,24
23	18,4	0,23	18,6	0,23
24	17,7	0,22	17,8	0,22
25	17,2	0,22	17,4	0,22
26	16,7	0,21	16,9	0,21

Ek 2 Kayısı örneklerinin 50⁰C ‘de değişik hızlarda ağırlık ve kütle değerleri

[illegible]

Ek 3 Kayısı örneklerinin 60 °C' de değişik hızlarda ağırlık ve kütle değerleri

[illegible]

Ek 4 Kayısı örneklerinin 70 °C 'de değişik hızlarda ağırlık ve kütle değerleri

Zaman (saat)	Hava Hızları											
	1.5 m/s				2.5 m/s				3.5 m/s			
	Hacıhaliloğlu		Kabaaşı		Hacıhaliloğlu		Kabaaşı		Hacıhaliloğlu		Kabaaşı	
	Kayısı ağırlığı gr	Kütle değişimi gr	Kayısı ağırlığı gr	Kütle değişimi gr	Kayısı ağırlığı gr	Kütle değişimi gr	Kayısı ağırlığı gr	Kütle değişimi gr	Kayısı ağırlığı gr	Kütle değişimi gr	Kayısı ağırlığı gr	Kütle değişimi gr
0	80	1,00	80	1,00	80	1,00	80	1,00	80	1,00	80	1,00
1	68,2	0,85	68,5	0,86	66,5	0,83	67	0,84	64,2	0,80	64,9	0,81
2	57,4	0,72	57,8	0,72	55,2	0,69	56,1	0,70	52,4	0,66	52,8	0,66
3	48,5	0,61	48,9	0,61	45,3	0,57	46,2	0,58	40,3	0,50	40,8	0,51
4	41,3	0,52	41,8	0,52	37,1	0,46	37,9	0,47	32,1	0,40	32,6	0,41
5	35,1	0,44	35,5	0,44	30,4	0,38	31,1	0,39	27,8	0,35	28,2	0,35
6	30,2	0,38	30,7	0,38	25,8	0,32	26,3	0,33	23,8	0,30	24,3	0,30
7	26,4	0,33	26,8	0,34	22,8	0,29	23,4	0,29	21,3	0,27	21,7	0,27
8	23,1	0,29	23,7	0,30	20,3	0,25	20,8	0,26	19,2	0,24	19,7	0,25
9	21,2	0,27	21,8	0,27	18,8	0,24	19,2	0,24	17,6	0,22	17,9	0,22
10	19,4	0,24	19,8	0,25	17,4	0,22	17,8	0,22	16,6	0,21	16,9	0,21
11	18,4	0,23	18,8	0,24	16,8	0,21	17,2	0,22	16,1	0,20	16,6	0,21
12	17,9	0,22	18,4	0,23	16,5	0,21	16,9	0,21				
13	17,3	0,22	17,8	0,22	16,3	0,20	16,7	0,21				
14	16,8	0,21	17,3	0,22								
15	16,5	0,21	17	0,21								
16	16,3	0,20	16,7	0,21								

Ek 5 Kayısı örneklerinin 40 °C için 1,5 m/s hava hızında yaş ağırlığına göre hesaplanan nem değerleri

Zaman (saat)	Hava Hızları	
	1.5 m/s	
	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı
	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı
0	5,15	5,15
1	4,58	4,61
2	3,86	3,90
3	3,32	3,36
4	2,93	2,97
5	2,61	2,62
6	2,31	2,34
7	1,86	1,89
8	1,55	1,59
9	1,31	1,34
10	1,10	1,12
11	0,93	0,97
12	0,85	0,88
13	0,76	0,79
14	0,68	0,71
15	0,58	0,61
16	0,52	0,54
17	0,48	0,50
18	0,44	0,47
19	0,41	0,43
20	0,38	0,40
21	0,35	0,37
22	0,33	0,35
23	0,32	0,34
24	0,30	0,32
25	0,28	0,31
26	0,27	0,28

Ek 6 Kayısı örneklerinin 50 °C için değişik hızlarda yağ ağırlığına göre hesaplanan nem değerleri

Zaman (saat)	Hava Hızları					
	1.5 m/s		2.5 m/s		3.5 m/s	
	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı
	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı
0	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15
1	4,41	4,42	4,34	4,36	4,19	4,22
2	3,63	3,66	3,59	3,62	3,35	3,38
3	2,94	2,97	2,75	2,78	2,51	2,54
4	2,61	2,65	2,36	2,40	1,99	2,03
5	2,26	2,29	1,98	2,02	1,65	1,68
6	1,86	1,88	1,57	1,60	1,28	1,32
7	1,58	1,62	1,29	1,32	1,06	1,08
8	1,27	1,31	0,97	1,01	0,78	0,82
9	1,06	1,17	0,80	0,83	0,63	0,66
10	0,90	0,93	0,65	0,68	0,51	0,54
11	0,74	0,75	0,55	0,58	0,42	0,45
12	0,63	0,67	0,48	0,52	0,35	0,38
13	0,55	0,59	0,42	0,45	0,32	0,35
14	0,51	0,54	0,38	0,42	0,28	0,32
15	0,46	0,49	0,34	0,37	0,25	0,28
16	0,38	0,45	0,31	0,34	0,24	0,27
17	0,38	0,41	0,28	0,32	0,22	0,26
18	0,37	0,39	0,26	0,31		
19	0,34	0,37	0,25	0,29		
20	0,32	0,35	0,24	0,28		
21	0,30	0,33				
22	0,28	0,32				
23	0,28	0,31				

Ek 7 Kayısı örneklerinin 60 °C için değişik hızlarda yaş ağırlığına göre hesaplanan nem değerleri

Zaman (saat)	Hava Hızları					
	1.5 m/s		2.5 m/s		3.5 m/s	
	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı
	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı
0	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15
1	4,32	4,35	4,19	4,21	3,98	4,02
2	3,56	3,60	3,42	3,45	3,12	3,15
3	2,87	2,90	2,68	2,71	2,30	2,34
4	2,39	2,43	2,19	2,22	1,86	1,89
5	2,01	2,04	1,78	1,82	1,48	1,52
6	1,60	1,63	1,39	1,42	1,10	1,14
7	1,28	1,32	1,09	1,13	0,87	0,90
8	1,05	1,08	0,88	0,92	0,70	0,74
9	0,86	0,90	0,68	0,71	0,52	0,55
10	0,68	0,72	0,56	0,60	0,43	0,47
11	0,60	0,65	0,46	0,50	0,36	0,39
12	0,50	0,55	0,39	0,42	0,29	0,32
13	0,45	0,48	0,35	0,38	0,26	0,30
14	0,40	0,43	0,32	0,35	0,25	0,28
15	0,35	0,38	0,28	0,32		
16	0,32	0,35	0,26	0,29		
17	0,29	0,32	0,25	0,28		
18	0,28	0,30				
19	0,26	0,28				
20	0,25	0,27				

Ek 8 Kayısı örneklerinin 70 °C sıcaklık için değişik hızlarda yaş ağırlığına göre hesaplanan nem değerleri

Zaman (saat)	Hava Hızları					
	1.5 m/s		2.5 m/s		3.5 m/s	
	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı
	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı	Kuru baza göre nem gr su buharı /gr k.kayısı
0	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15
1	4,25	4,27	4,12	4,15	3,94	3,99
2	3,42	3,45	3,25	3,32	3,03	3,06
3	2,62	2,66	2,48	2,55	2,10	2,14
4	2,18	2,22	1,85	1,92	1,47	1,51
5	1,70	1,73	1,34	1,39	1,14	1,17
6	1,32	1,36	0,98	1,02	0,83	0,87
7	1,03	1,06	0,75	0,80	0,64	0,67
8	0,78	0,82	0,56	0,60	0,48	0,52
9	0,63	0,68	0,45	0,48	0,35	0,38
10	0,49	0,52	0,34	0,37	0,28	0,30
11	0,42	0,45	0,29	0,32	0,25	0,28
12	0,38	0,42	0,27	0,30		
13	0,33	0,37	0,25	0,28		
14	0,29	0,33				
15	0,27	0,31				
16	0,25	0,28				

Ek 9 Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 1.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklara göre kuruma hızı

Zaman (saat)	Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h		Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h		Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h		Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h	
	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı
0								
1	0,48	0,52	0,54	0,53	0,68	0,68	0,93	0,91
2	0,43	0,46	0,47	0,47	0,58	0,58	0,76	0,75
3	0,38	0,41	0,41	0,41	0,50	0,49	0,62	0,61
4	0,34	0,36	0,36	0,36	0,42	0,42	0,51	0,50
5	0,30	0,32	0,32	0,32	0,36	0,36	0,42	0,41
6	0,27	0,28	0,28	0,28	0,31	0,31	0,34	0,34
7	0,24	0,25	0,24	0,24	0,26	0,26	0,28	0,28
8	0,21	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23
9	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
10	0,17	0,18	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15
11	0,15	0,16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,13
12	0,13	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,10	0,10
13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,08	0,08
14	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,07	0,07
15	0,09	0,10	0,08	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06
16	0,08	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05
17	0,07	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05		
18	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05		
19	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04		
20	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03		
21	0,04	0,05	0,04	0,04				
22	0,04	0,04	0,03	0,03				
23	0,04	0,04	0,03	0,03				
24	0,03	0,03						
25	0,03	0,03						
26	0,02	0,03						

Ek 10 Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 2.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklara göre kuruma hızı

Zaman (saat)	Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h		Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h		Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h	
	50 °C		60 °C		70 °C	
	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı
0						
1	0,69	0,66	0,86	0,84	1,37	1,36
2	0,59	0,57	0,71	0,70	1,05	1,05
3	0,50	0,48	0,59	0,58	0,81	0,81
4	0,42	0,41	0,49	0,48	0,62	0,62
5	0,36	0,35	0,40	0,40	0,48	0,48
6	0,31	0,30	0,33	0,33	0,37	0,37
7	0,26	0,26	0,28	0,27	0,28	0,28
8	0,22	0,22	0,23	0,23	0,22	0,22
9	0,19	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17
10	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13
11	0,14	0,14	0,13	0,13	0,10	0,10
12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,08	0,08
13	0,10	0,10	0,09	0,09	0,06	0,06
14	0,08	0,08	0,07	0,07		
15	0,07	0,07	0,06	0,06		
16	0,06	0,06	0,05	0,05		
17	0,05	0,05	0,04	0,04		
18	0,04	0,04				
19	0,04	0,04				
20	0,03	0,03				
21						
22						
23						
24						
25						
26						

Ek 11 Hacıhaliloğlu kayısı çeşidi örneklerinin 3.5 m/s hava hızında değişik sıcaklıklara göre kuruma hızı

Zaman (saat)	Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h		Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h		Kuruma hızı gr nem/kg kuru kayısı h	
	50 °C		60 °C		70 °C	
	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı	Hacıhaliloğlu	Kabaaşı
0						
1	0,85	0,83	1,06	1,04	1,46	1,43
2	0,70	0,69	0,84	0,83	1,09	1,08
3	0,58	0,57	0,67	0,66	0,82	0,81
4	0,48	0,47	0,54	0,53	0,61	0,61
5	0,39	0,39	0,43	0,42	0,46	0,46
6	0,32	0,32	0,34	0,34	0,34	0,34
7	0,26	0,26	0,27	0,27	0,26	0,26
8	0,22	0,22	0,22	0,22	0,19	0,19
9	0,18	0,18	0,17	0,17	0,14	0,15
10	0,15	0,15	0,14	0,14	0,11	0,11
11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,08	0,08
12	0,10	0,10	0,09	0,09		
13	0,08	0,08	0,07	0,07		
14	0,07	0,07	0,06	0,06		
15	0,06	0,06				
16	0,05	0,05				
17	0,04	0,04				
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	31.07.1976	
Doğum yeri	Bişkek / Kırgızistan	
Lise	1983-1993	No 10 Öğrenci Okulu / Bişkek
Lisans	1993-1997	Kırgız Teknik Üniversitesi / Bişkek Gıda Cihazları ve Mak. Müh. Anabilim Dalı
Yüksek Lisans	1997-1998	Kırgız Teknik Üniversitesi / Bişkek Gıda Cihazları ve Mak. Müh. Anabilim Dalı
TÖMER	2001-2002	Türkçe Öğrenim Merkezi Gazi Üniversitesi / Ankara
Doktora	2002- 2007	Yıldız Teknik Üniversitesi / İstanbul Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı