

46948

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEFNE YAPRAĞININ HAVA
ŞARTLANDIRILARAK HIZLI
KURUTULMASININ ARAŞTIRILMASI**

Mak. Yük. Müh. Turhan YÜCEL

F.B.E.Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan
46948
DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı: Prof.Dr.Doğan ÖZGÜR

İSTANBUL, 1995

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TEZ YAKLAŞIM MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEŞEKKÜR	I
ÖZET	II
SUMMARY	III
GİRİŞ	IV
KULLANILAN SEMBOLLER	
BÖLÜM 1. KURUTMA TEORİSİ	1
1. Kurutmanın Tanımı	1
1.1. Sabit Kurutma Periyodu	3
1.2. Azalan Hız Periyodu	3
1.3. Nem İçeriği	3
1.4. Nem Gradyanı	3
1.5. Denge Nemi	3
1.6. Kuru Tabana Göre Nem Yüzdesi	3
1.7. Yaş Tabana Göre Nem Yüzdesi	3
1.8. Kritik Nem	4
1.9. Kılcal Akış	4
1.10. Higroskopik Malzeme	4
1.11. Psikrometri	5
1.12.1. Kurutma Zamanı	14
1.12.2. Sabit Kurutma Hızı	16
1.12.3. Hava İle Kurutmada Yaşmadde Sıcaklığı	18
1.12.4. İçten Dolaşımli Kurutma	24
1.12.5. Azalan Hız Periyodu Kurutma Zamanı	26
1.12.5a. Kılcal Akış	26
1.12.5b. Kılcal Boru İçinde Sıvı Hareketi	28
1.12.5c. Kütle Hareketi	30
1.12.5d. Difüzyon	33
1.12.6. Sorpsiyon İzotermli	40
BÖLÜM 2.	
2.1. Defne Yaprağı	41
2.2. Kurutma Ön Çalışmaları	42
2.3. Kurutma Deneyleri	43

2.3.1. Fırında Kurutma	43
2.3.2. Oda Havası Şartlarında Desikatörde Kurutma	44
2.3.3. Oda Havası Şartlarında Açıkta Kurutma	44
2.3.4. Kabinde Hava Verilerek Kurutma	44
2.3.5. Değişik Hava Şartlarında Deneyler	45
2.3.6. Deney Seti	46
 BÖLÜM 3.	
3.1. Defne Yaprağı Fiziksel Bulguları	51
3.2. Termodinamik Bulgular	55
3.2.1. Deney Seti Isı İhtiyacı	56
3.2.2. Yalnız Yaprağın Kuruması İçin Gerekli Isı	57
3.2.3. Buharlaşmanın Kontrolü	62
3.2.4. Kurutma Zamanı	65
3.2.5. Kullanılan Ölçme Cihazları	66
3.3. Kurutma Modeli	73
 SONUÇ	
ÖZGEÇMİŞ	79
KAYNAKLAR	80
EK-I. Defne Yaprağı Sorpsiyon İzotermi	82

TEŞEKKÜR

Araştırmalarımnda, çalışmalarımnda ve tüm imkanlarını zorlayarak deney setinin yapılmasında, çalışmalarımı değerli fikirleriyle yönlendiren Sayın Prof.Dr.Doğan ÖZGÜR'e, bu çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof.Dr.Ertuğrul BİLGİN'e ve değerli mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.



Turhan YÜCEL

ÖZET

Defne yaprağı genel olarak yaş ve kuru halde yemeklere hoş koku verilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Oysa ki, yaprak içersindeki hoş koku veren yağlar konsantrelerde, konservelede vb. anti oksidant olarak kullanılır. Ancak ülkemizde yaprak yağının elde edilmesi ve kullanılması yok denecek kadar azdır.

Bu tezdeki çalışmalar, yaprağın hızlı kurutma yöntemlerinin ve şartlarının araştırılmasını kapsar. 120°C'a kadar havayı ısıtabilen bir deney seti kurulmuş ve kurutma ön deneyleri yapılmış, bazı ölçümler yapılarak elde edilen kuru ürünün kullanıma uygun olduğu görülmüştür. Öncelikle, teorik araştırmalar yapılmış ve yaprağa uygulanacak matematik modeller aranmıştır. Fakat literatürde benzer bir model rastlanmamıştır. Deneylerde, diffüzyon incelenmiş, hava hızı-zaman-sıcaklık değişkenlerinin farklı değerlerindeki kütle transferi tesbit edilmiş, bu değerlerin birbirleriyle ilişkilerini belirleyen diyagramlar hazırlanarak, matematik modeller oluşturulmuştur.

SUMMARY

Generally, consumed fresh or dry, bay leaf is used to give a nice flavor to prepared dishes. Nevertheless, the oils which give nice flavor from leaf is also used as an antioxidant in extracts and canned food etc. However it can be said that the production and usage of the leaf oil is rare in our country. Studies in this thesis cover the research of the methods and conditions of fast drying of bay leaf. Experimental apparatus in which the air is heated up to 120°C has been set up and Pre-experiments for drying have been carried out; by taking some measurements, it has been observed that the resultant dry product is suitable for consumption. First of all, theoretical analysis has been achieved and a mathematical model which could be applied to the leaf has been sought. A similar model has not been encountered in literature. During the experiments, diffusion has been investigated; mass transfer under different values of air velocity-time and temperature has been found.

The relationship between the mentioned values are plotted on diagrams and a mathematical model was developed.

GİRİŞ

Ürün'ün kurutulmasının bir çok amacı vardır. En önemlisi belirli hava şartlarında uzun süre dış etkenlerden koruma ve yapısındaki kimyasal maddelerin zamanla reaksiyonları sonucu ürün bünyesindeki bozunmayı önlemektir. Kurutulan üründe nem ve mikrobiyal gelişme ve diğer reaksiyonlar sınırlandırarak zararsız seviyeye düşürülür.

Bu sayede ürünün hoş kokusu, lezzeti ve besin değerinin de korunması sağlanır. Depolama, ambalajlama, nakliye açısından da oldukça tasarruf sağlar.

Kuruma olayının doğada kendiliğinden de olduğu görülür. Fakat bu takdirde kuruma uzun süreli ve kontrolden uzak, toz, yabancı maddeler ve hatta bazı ufak canlıların da ürün içersinde çoğaldığı görülmektedir. Doğadaki kurutmada dış hava şartları zamana göre değişir. Gece-gündüz şartları değişik olduğu gibi günlük meteorolojik değişimler de aynı kalitede kuru ürün almamızı mümkün kılmaz.

Oysa ki aynı şartlardaki bir hava ile yapılan kurutma sonucu alınan ürün hangi saat, gün ve ayda olursa olsun sonuç standarttır. Bu nedenle sıcak hava ile cihazlarda yapılan kurutma, ürünün kalitesini ve diğer özelliklerini sabit tutar ve olayın sürecini minimuma indirir.

KULLANILAN SEMBOLLER

A	= Yüzey	m^2
$\bar{A}$	= Kurutma Alanı	$\frac{m^2}{m^3}$ (Yatak Hacmi)
a	= Yüzey	m^2
b	= Hareket Katsayısı	
c_p	= Hava-Subuharı Özgül Isısı	$\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$
c_{ph}	= Kuru havanın Özgül Isısı	$\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$
$c_{p_{su}}$	= Suyun Özgül Isısı	$\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$
c_{ps}, c_{pb}	= Su Buharı Özgül Isısı	$\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$
c_y	= Yaş Yaprığın Özgül Isısı	$\frac{kJ}{kg^{\circ}C}$
D_v	= Buhar Difüzyon Katsayısı	$\frac{m^2}{s}$
D_{bh}	= Hava-Subuharı Difüzyon Katsayısı	$\frac{m^2}{s}$
D_{AB}	= A ve B Gazları Arasında Difüzyon Katsayısı	$\frac{m^2}{s}$
D_p	= Ortalama Parçacık çapı	m
$\bar{d}$	= Çap	m
d	= Yarıçap	m
G	= Hava Subuharı Gaz Sabitleri oranı	
G_h	= Kuru Hava Kütleli hızı	$\frac{kg}{m^2 s}$
g	= Yerçekimi ivmesi	$\frac{m}{s^2}$

h = Entalpi $\frac{kJ}{kg}$

h_c = Konveksiyon iletim katsayısı $\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$

h_t = Toplam Film ısı İletim Katsayısı $\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$

h_r = Işınım Isı İletim Katsayısı $\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$

h_h = Kuru hava Entalpisi $\frac{kJ}{kg}$

h_g = Doymuş Buhar Entalpisi $\frac{kJ}{kg}$

k_f = Gaz filminin ısııl Kondüktivitesi $\frac{W}{kgm^2 \text{ } ^\circ C}$

k_m = Kütle iletim katsayısı $\frac{kg}{s.m^2.atm.}$

k_t = Kütle Transfer Katsayısı $\frac{m}{s}$

L, ℓ = Uzunluk m

M = Gaz moleküler kütlesi $\frac{kg}{kmol}$

M_b = Subuharı Moleküler Kütlesi $\frac{kg}{kmol}$

M_h = Kuru Hava Moleküler Kütlesi $\frac{kg}{kmol}$

M_y = Yaş Madde Kütlesi kg

$\bar{m}$ = Gaz kütlesi kg

m_b = Buhar Kütlesi kg, $\frac{kg}{s}$

m_y = Yaprak Kütlesi kg

N_b = Transfer Edilen Buhar Miktarı $\frac{kg}{m^2 s}$

P = Basınç $\frac{N}{m^2}$

P_h = Kuru Havanın Kısmi Basıncı $\frac{N}{m^2}$

P_s, P_{sb} = Subuharı Kısmi Basıncı $\frac{N}{m^2}$

P_{sd}, P_{bd} = Doymuş Subuharı Kısmi Basıncı $\frac{N}{m^2}$

R = Gaz Sabiti $\frac{j}{kg K}$

R_o = Genel Gaz Sabiti $\frac{j}{k.mol K}$

R_b, R_s = Subuharı Gaz Sabiti $\frac{j}{kg K}$

r = Buharlaşma Gizli Isısı $\frac{kJ}{kg}$

r_{ad} = Adyabatik Doyma Sıcaklığında Buharlaşma Gizli Isısı $\frac{kJ}{kg}$

r_y = Yüzey Sıcaklığında Buharlaşma Gizli Isısı $\frac{kJ}{kg}$

T = Sıcaklık K

T_s = $1 m^3$ Hacimde Bulunan Sıvı Yoğunluğu $\frac{kg}{m^3}$

t = Sıcaklık $^{\circ}C$

t_{ya} = Yaprığın Kuruma Esnasındaki Sıcaklığı $^{\circ}C$

t_{oy} = Yaprığın İlk Sıcaklığı $^{\circ}C$

$$V = \text{Hacim } m^3$$

$$\bar{V} = \text{Hız } \frac{m}{s}$$

$$v = \text{Özgöl Hacim } \frac{m^3}{kg}$$

$$v_{sb} = \text{Su buharı özgöl hacmi } \frac{m^3}{kg}$$

$$v_h = \text{Kuru hava özgöl hacmi } \frac{m^3}{kg}$$

$$X = \text{Özgöl Nem } \frac{kg}{kg}$$

$$X_h = \text{Havanın Belirli Şartta İçerdiği Su buharı Kütlesi } \frac{kg}{kg}$$

$$X_y = \text{Yüzey Filmindeki Su Buharı Kütlesi } \frac{kg}{ky}$$

$$\bar{X} = \text{Su Kütlesi } kg$$

$$X = \text{Uzunluk } m$$

$$\dot{X} = \text{Kılcal İletim Katsayısı}$$

$$v = \text{Kinematik Viskozite } \frac{m^2}{s}$$

$$\eta = \text{Dinamik Viskozite } \frac{kgm}{h}$$

$$\rho = \text{Yoğunluk } \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_s, \rho_{sb} = \text{Su Buharı Yoğunluğu } \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_h = \text{Kuru Hava Yoğunluğu } \frac{kg}{m^3}$$

1. BÖLÜM

KURUTMA TEORİSİ

1. KURUTMANIN TARİFİ

Bir madde içersindeki nemin maddeden alınması işlemi olarak tanımlanabilir. Madde içersindeki sıvı, pres ile veya santrifüj ile maddeden uzaklaştırılıyorsa mekanik kurutma, eğer buharlaştırılarak uzaklaştırılıyorsa termik kurutma olarak adlandırılır.

Maddeye değişik yöntemlerle ısı verilerek yapılan kurutmada önce malzemedeki sıvı buhar haline getirilir ve sonra buhar malzemeden uzaklaştırılır. Bu uygulamada hal değişikliği söz konusudur, bu da buharlaşma şeklinde gerçekleşir ve buhar, malzemeden difüzyon yolu ile uzaklaştırılır. Buharın kurutulan malzeme üzerinde bulunan gaz içindeki bu difüzyon hareketini, gaz içinde bulunan kısmı buhar basıncı farkı sağlar. Malzeme üzerinde yalnız sıvının serbest kalan kendi buharını uzaklaştırabilmek için bir aspiratör ile basınç farkı yaratılması gerekir. Maddenin kurutulması esnasında karşılaşılan olayların başında ;

- a) Sıvıyı buharlaştıracak ısının iletimi,
- b) Buhar ve iç sıvı'nın kütle iletimi gelir.

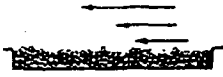
Kurutma olayında bu iki işlem aynı zamanda oluşur ve toplam kurutma hızını tayin ederler. Madde içerisindeki nemin maddeden alınması sıvıyı buhar haline getirecek ısının uygulanış şekline göre farklı yöntemler tarif edilebilir.

- a) Konveksiyon Kurutması : Madde üzerinden sıcak ve bağıl nemi düşük havanın akması sonucu ısıtılması.

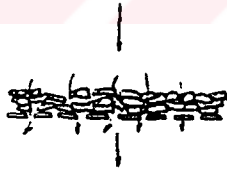
- b) Kondüksiyon Kurutması : Maddenin sıcak bir yüzeyle teması yolu ile ısıtılması.
- c) Maddenin, maddeyi çevreleyen sıcak yüzeylerin ışıınımı ile ısıtılması Radyasyon kurutması olarak adlandırılır.
- d) Dielektrik Kurutması : Maddenin yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalarla ısıtılması.

Yukarıdaki esaslar dahilinde kurutma olayında kullanılan metodların seçimi de bu işlemin başarısında etkin rol oynamaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir ; [7]

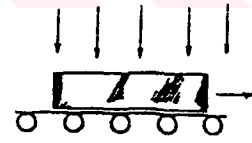
- | | |
|-------------------------|-----------|
| a. Paralel Akış | Şekil 1.a |
| b. İçten Dolaşımlı Akış | Şekil 1.b |
| c. Dikey Akış | Şekil 1.c |
| d. Pinomatik Konveyör | Şekil 1.d |
| e. Püskürtmeli Kurutma | Şekil 1.e |
| f. Döner Kurutucu | Şekil 1.f |



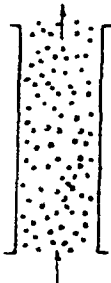
Şekil 1.a



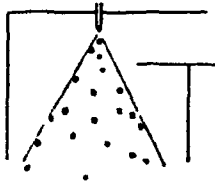
Şekil 1.b



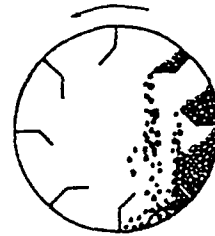
Şekil 1.c



Şekil 1.d



Şekil 1.e



Şekil 1.f

Kurutma işlemlerinde kullanılan bağıntı, formül, şekil ve diagramların da iyi anlaşılması için bu literatürde verilen tarif ve deyimlerin aşağıda çıkarıldığı şekilde tanınması uygun olacaktır.

- 1.1. Sabit Kurutma Periyodu : Kurutma esnasında birim yüzeyden buharlaşan nem miktarının sabit kaldığı zaman süreci.
- 1.2. Azalan Hız Periyodu : Sabit kurutma Periyodu'nun bittiği zaman sonunda başlar. Kurutma hızı artık azalmaya başlar. İstenilen kuru madde nemine ulaşıldığında periyod tamamlanır.
- 1.3. Nem İçeriği : Birim kütledeki kuru veya yaş maddenin içersindeki su veya su buharı miktarı.
- 1.4. Nem Gradyanı : Kurutma süresince herhangi bir anda maddenin içersindeki su veya su buharı dağılımı.
- 1.5. Denge Nemi : Belirli sıcaklık ve nem şartlarında sağlanabilecek en düşük nem miktarıdır. Yüzde olarak verilir.
- 1.6. Kuru Tabana Göre Nem Yüzdesi : Maddedeki nem miktarının birim kütle ya da hacimdeki maddenin kuru kütlelerine ya da hacmine oranı olarak hesaplanır.

M_k - Kuru madde kütlesi

$\bar{X}$ - Yaş madde halinde iken su kütlesi ise

Kuru tabana göre nem yüzdesi :

$$\psi_k = \frac{\bar{X}}{M_k} \quad \text{Bu oran \% 100'den büyük olabilir.} \quad (1.1)$$

- 1.7. Yaş Tabana Göre Nem Yüzdesi : Maddedeki nem miktarının birim hacim veya kütledeki maddenin (Yaş + Kuru) kütlelerine ya da hacmine oranıdır.

ψ_k - Kuru tabana göre nem yüzdesi

ψ_y - Yaş tabana göre nem yüzdesi

M_y - Yaş madde kütlesi

M_k - Kuru madde kütlesi

$\bar{X}$ - Yaş madde halinde iken su kütlesi

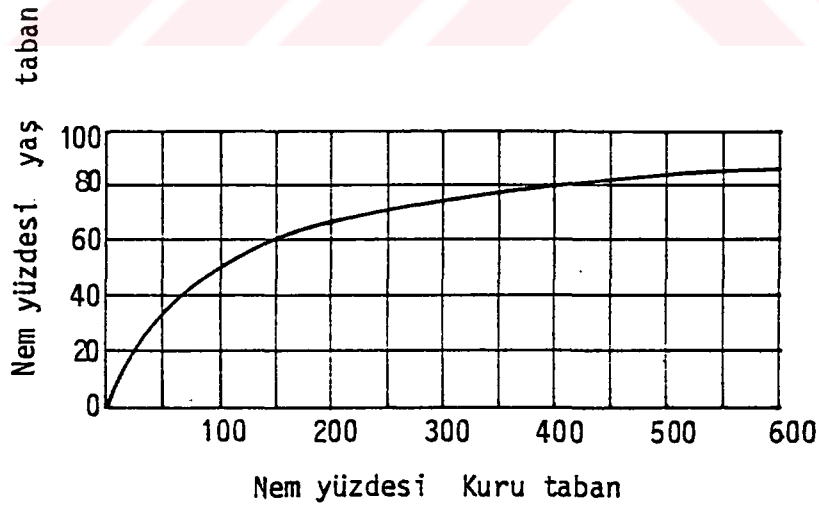
$$\psi_y = \frac{\bar{X}}{X + M_k} \text{ dır ve \% 100 den küçüktür.} \quad (1.2)$$

$$\frac{\bar{X}}{\psi_k} = M_k \text{ olur (1.1)'den}$$

M_k (1.2)'de yerine konarak

$$\psi_y = \frac{\psi_k}{1 + \psi_k} \quad \psi_k = \frac{\psi_y}{1 - \psi_y} \text{ elde edilir.} \quad (1.3)$$

Aşağıdaki diagramda olay gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kuru ve yaş tabana göre nem yüzdeleri. [7]

1.8. Kritik Nem : Sabit hız periyodu sonunda nem miktarı (% olarak)

1.9. Kılcal Akış : Sıvı - katı arası moleküler çekim kuvvetleri etkisinde katının tane sınırları arasında ya da yüzeyi üzerinde yer alan sıvı akışı

1.10. Higroskopik Malzeme : Nem tutabilen malzemedir.

Bir maddenin kuruması iç sıvı akışına, sıcaklık ve rutubet derece ve miktarlarına bağlı olduğu gibi hava hareketleri gibi dış etkenlere de duyarlıdır. Sıvı hareketin incelenmesi gereği kadar, buna neden olan dış havanın da özelliklerinin belirtilmesinde fayda vardır. Su buharı ve hava arasındaki termodinamik ilişkilerin incelenmesi Psikrometri olarak bilinmektedir. Psikrometride kullanılan terimlerin benzeri olmadığından proseslerin yeterli açıklamalarının yapılmasından önce kısaca incelenmesi ve sunulması gereklidir.

1.11. Psikrometri

Hava incelenirken anlaşılması gereken en önemli şey üzerinde çalışılan akışkanın iki farklı gazın karışımı olduğudur. Bunlardan biri kuru hava diğeri su buharıdır (doymuş ya da doymamış durumdaki buhar). Hava, su buharının ayrı ayrı ele alınması Dalton'un kısmi basınçlar kanununda vardır ve tanımında fiziksel özellik yer alır.

İdeal gaz kanunları özellikle yüksek basınçta tam geçerli değildir. Önceleri geçerli kabul edilmesine rağmen molekül içi kuvvetlerin hesaba katılmaması hassas sonuçları vermediği düşünülmektedir.

İdeal gaz kanunları hala fazla hassas olmayan, standart olmayan basınçlarda da tablolar hazırlamak için kullanılır. İdeal gaz kanunları gerçek gazların davranışını göstermez, bunun için Boyle, Charles, Dalton, Avagadro, Joule, Galussak kanunları tam doğru değildir. Bunlarda ideal gaz kanunlarıdır.

İdeal gaz demek, moleküllerarası mesafeleri molekül çapına oranla çok büyük olan ve bu nedenle karşılıklı aralarında çekim kuvveti bulunmayan gazlardır.

Artık anlaşılmıştır ki sabit sıcaklıkta basınç ve hacim değişimini basit cebrik denklemlerle göstermek imkansızdır. Bu nedenle araştırmacılar kendi adları ile anılan, içersinde bir takım katsayılar (Virial katsayılar) bulunan denklemler teklif etmişlerdir. [5]

Fakat hava ile kurutma olaylarında ideal gaz kanunlarını kullanarak büyük hatalar yapılmaz. Çünkü atmosfer basıncı hiçbir zaman uygulama alanlarında sabit kalmaz. Her olay deniz seviyesinde gerçekleşmez. Sıcaklıklar günün her saatinde değişkendir. Buna benzer sebepler dolayısıyla bizi hiç kimse ideal gaz kanunları ile hesap yapmamızı engelmeyemez. Yapılan hatalar da düşük değerlerdedir.

Yine de Psikrometri tablo ve diagramlarının gerçekleştirilmesinde mümkün olduğunca araştırılmış ve doğruluğuna inanılmış değer ve bağıntılar baz alınarak yapılan çalışmalar diğerlerinden daha hassas olacaktır.

1.11.1. Psikrometri tablo ve diagram değerlerinin çıkartılmasında kullanılan bağıntı ve kabuller :

Kuru Hava Özelliği :

Çok düşük değerde olan yerel değişimler göz önüne alınmayarak kuru hava bileşimini deniz seviyesinden itibaren 15.000 metre yüksekliğe kadar sabit bir yapıda kabul edebiliriz. Esas olarak bu bileşim ;

Bileşen Adı	Hacmi	Kütlesi	Moleküler Kütlesi
Azot	% 78.03	% 75.47	28.02
Oksijen	% 20.99	% 23.19	32.00
Argon	% 0.94	% 1.30	39.91
CO ₂	% 0.03	% 0.04	44.00
H ₂	% 0.01	% 0.00	2.02

değerlerinde kabul edilmiştir. [9]

Kuru havanın moleküler kütlesi :

$$M_h = 28.02 \times \% 78.03 + 32 \times \% 20.99 + 39.91 \times \% 0.94 + 44 \times \% 0.03 + 2.02 \times 0.01$$

$$M_h = 28.97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \quad (1.4)$$

$$\text{Universal gaz sabiti } R_o = 8314.69 \frac{\text{J}}{\text{kmol K}} \quad \left(\frac{\text{Nm}}{\text{kmol K}} \right) \quad (1.5)$$

$$R_h = \frac{R_o}{M_h} = \frac{8314.69}{28.97} \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \quad (1.6)$$

$V_m = 1 \text{ kmol}$ gazın m^3 hacmi $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \right)$ aynı basınç ve sıcaklıkta bütün gazlar için aynı değerdedir.

$$V_m = 22.4145 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

$$P = \text{Atmosfer basıncı ve } 101325 \text{ N/m}^2 \text{ (Deniz seviyesi)}$$

$$T = \text{Atmosfer sıcaklığı } 273.16 \text{ K (} 0^\circ\text{C alınarak)}$$

İdeal gaz kanunları gereğince ;

$$P \cdot V_m = R_o \cdot T \text{ şeklinde yazılır.} \quad (1.7)$$

$P \cdot V_m = R_o \cdot T$ de her iki taraf moleküler kütleye bölünürse

$$\frac{P \cdot V_m}{M_{\text{mol}}} = \frac{R_o \cdot T}{M_{\text{mol}}} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \cdot \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} = \frac{\text{Nm}}{\text{kmol K}} \cdot \text{K} \cdot \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \right)$$

v = Gazın özgül hacmi ise $(\frac{m^3}{kg})$

$P.v = RT$ ve gaz kütlesi gözönüne alınırsa

$$P.V = \bar{m}RT \text{ olur. } \bar{m} = \text{gaz kütlesi kg, } V = \text{gaz hacmi } m^3 \quad (1.9)$$

Dalton Kanunu

Birbirleri üzerinde kimyasal etkileri olmayan ideal gazların karışımı basıncı, karışım hacmini tek başına ayrı ayrı işgal ettiği farzedilen ve karışım sıcaklığında bulunan bu gazların kısmi basınçlarının toplamına eşittir.

$$\text{Havanın Barometrik basıncı } P = P_h + P_s \quad (1.10)$$

$$P_h = \text{Kuru hava basıncı} \quad P_s = \text{Su buharı basıncı}$$

Buhar Basıncı

Eğer kapalı bir kapta sabit basınçta su ısıtılırsa belirli bir t sıcaklığında suyun buharlaştığı izlenir ve su tamamen buharlaşana kadar t sıcaklığının değişmediği görülür. Bu duruma doyma hali denir. t sıcaklığındaki buharlaşma basıncına doymuş buhar basıncı (P_{sd}) denir. Bu deney farklı basınçlarda tekrarlanırsa her basınç için ayrı bir t sıcaklığı bulunur.

Bağıl Nem

Belirli bir miktar nemli hava içindeki su buharı basıncının, aynı sıcaklıkta doyma halindeki maksimum su buharı kısmi basıncına oranıdır. % olarak ifade edilir. Sembolü ψ 'dir.

$$\psi = \frac{P_s}{P_{sd}} \quad (1.12) \quad (1.11)$$

Özgül Nem

Birim ağırlıktaki nemli havanın içerdği su buharı miktarıdır ve birimi

$\frac{\text{kg}}{\text{kg kuru hava}}$ dır. Diagramlarımızda $\frac{\text{gr}}{\text{kg kuru hava}}$ olarak gösteril-

miştir. Sembolü X'dir. (1.13)

Su buharı yoğunluğu ile kuru hava yoğunluğunun (kendi kısmi basınçlarında hesap yoğunlukları) oranına eşittir.

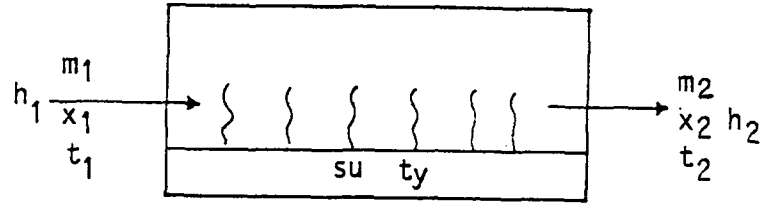
$$X = \frac{\rho_{sb}}{\rho_h} = \frac{v_h}{v_{sb}} = \frac{R_h \cdot T \cdot P_{sb}}{R_s \cdot T \cdot P_h} = G \cdot \frac{P_{sb}}{P_h} \quad (1.12)$$

Yaş Termometre Sıcaklığı

Eğer civalı veya ispiertolu bir termometrenin haznesine pamuk veya keçe sarıp su ile ıslatarak üzerinden 4.5 m/s hızında hava geçirirsek bu termometre üzerindeki ıslak pamuk su kaybeder. Yani buharlaşır ve termometrenin haznesini soğutur. Böylece termometreden okunan değer yaş termometre sıcaklığıdır.

Adyabatik Doyma Sıcaklığı

Havanın nem alması esnasında ortam ile ısı alışverişi olmadan havanın doyma durumuna geldiği sıcaklıktır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3

m_1, m_2 = Belirli şartlardaki kuru hava miktarı kg/s

X_1 = m_1 içersindeki su buharı miktarı

t_1 = m_1 havasının sıcaklığı

X_2 = m_2 içersindeki su buharı miktarı

t_2 = m_2 havasının sıcaklığı

h_1 = m_1 havasının entalpisi

h_2 = m_2 havasının entalpisi

t_y = m_1 havasının nemlenme esnasında aldığı suyun sıcaklığı

r = Buharlaştırma gizli ısısı

$c_{p_{su}}$ = Suyun ısıtma ısısı

$$\text{Isı dengesi} \quad h_1 + (X_2 - X_1) \cdot t_y \cdot c_{p_{su}} = h_2$$

$$h_2 = t_2 \cdot c_{p_{hava}} + X_2 \cdot t_2 \cdot c_{p_{su \text{ buharı}}} + r \cdot X_2 \quad [9] \quad (1.13)$$

Buradan t_2 çözülürse adyabatik doyma sıcaklığı bulunmuş olur.

Tablo ve Diagram oluşturulmasında kullanılan bazı değerler.

Doymuş su buharı basıncı P_{sd} :

$$(0^{\circ}\text{C üzerinde}) \quad \text{Log } P_{sd} = 28.59051 - 8.2 \text{ Log } (t + 273.16) + 0.0024804$$

$$(t + 273.16) - \frac{3142.31}{t+273.16} \quad (P_{sd} = \text{Bar}) \quad [5]$$

$$(0^{\circ}\text{C altında}) \quad \text{Log } P_{sd} = 10.5380997 - \frac{2663.91}{(273.16+t)} \quad (P_{sd} = \text{Bar}) \quad [5]$$

Kuru Havanın Özgül Hacmi :

(Beattie - Bridgeman'ın modifiye edilmiş bağıntısı)

$$v_h = \frac{R_h T}{P} \quad (1.14)$$

$$v_h = v_1 - v_2 \quad v_1 = \frac{287.T}{P}$$

$$v_2 = \left| -0.0225 + \frac{13.06}{1.8(t + 273.16)} + \frac{387 \times 10^5}{1.8^{-3}(t + 273.16)^3} \right| .0.6243 \quad [6]$$

Kuru Havanın Sabit Basıncıdaki Özgül Isısı c_{ph} :

$$c_{ph} = 4.1868 \left| 0.2397 + 4.08 (10^{-6}) (1.8 t + 32) + 9.24 (10^{-9}) (1.8 t + 32)^2 \right| \quad [6]$$

(Bu eşitlik, Johnston ve Davis - Johnston ve Walker tarafından sıcaklığa bağlı olarak verilmiştir).

Kuru Hava Entalpisi (Beattie - Bridgeman): [6]

$$h_h = h_1 - h_2 \quad (1.15)$$

$$h_1 = \int_0^t c_p^0 dt - h_{h_0}$$

$$h_{h_0} = - 0.3177 \left(\frac{J}{kg} \right)$$

$$h_2 = Ba. 7,279.4,1868$$

$$Ba = (- 0,0225 + \frac{26,12}{1.8(t + 273.16)} \times 4,1868 + \dots)$$

$$(Genel olarak kuru hava için h_h = 1005 \frac{J}{kg \text{ kuru hava}})$$

Nemli hava için ortalama $h = 1005 t + (2500 + 1,89 t) X$ alınmaktadır.

Doymuş Buhar Entalpisi h_g :

20°C altında

$$h_g = 2500,8 - 2,3488 t \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad [6] \quad (1.16)$$

20°C üzerinde

$$h_g = 2505,12 - 2,4702 t \quad [6] \quad (1.17)$$

Suyun ve buzun entalpileri h_{buz}, h_{su} :

$$h_{\text{buz}} = - 334,1032 + 2,0096 \, t \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad [6] \quad (1.18)$$

$$h_{\text{su}} = t. 4,1868 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad [6]$$

Not :

Özgül nemin bulunmasına yardımcı olan

$$G = \frac{R_h}{R_s} = 0,622 \quad \text{sabit değeri aslında değişkendir.}$$

$$R_s = \frac{P_s \cdot v_s}{T} \quad \text{değeri basınç ve sıcaklıkla değiştiğinden değeri sabit değildir.}$$

Örneğin

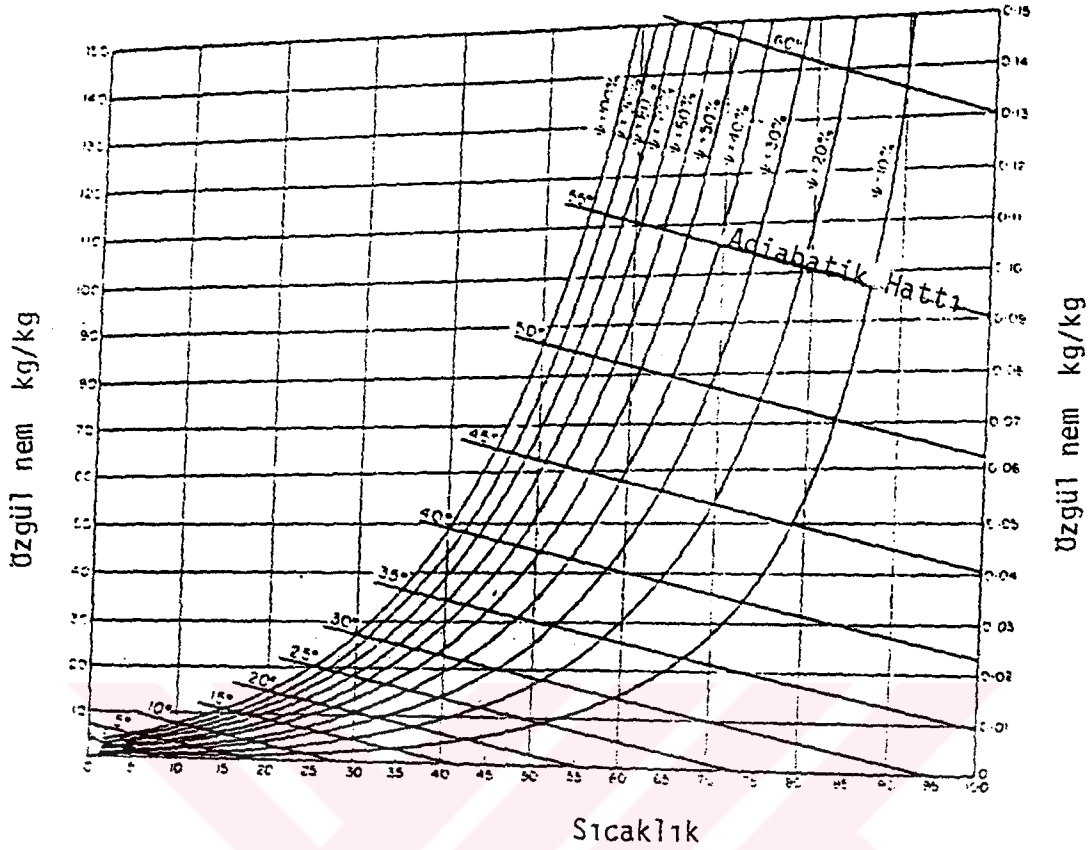
$$10^{\circ}\text{C} \quad \text{sıcaklıkta} \quad G = 0,6225$$

$$50^{\circ}\text{C} \quad \text{sıcaklıkta} \quad G = 0,6240$$

$$90^{\circ}\text{C} \quad \text{sıcaklıkta} \quad G = 0,6300$$

dır.

Su buharı ideal gaz kanunlarına tam olarak uymaz. Bu nedenle basınç ve sıcaklıkla değişime uğrar. [6]

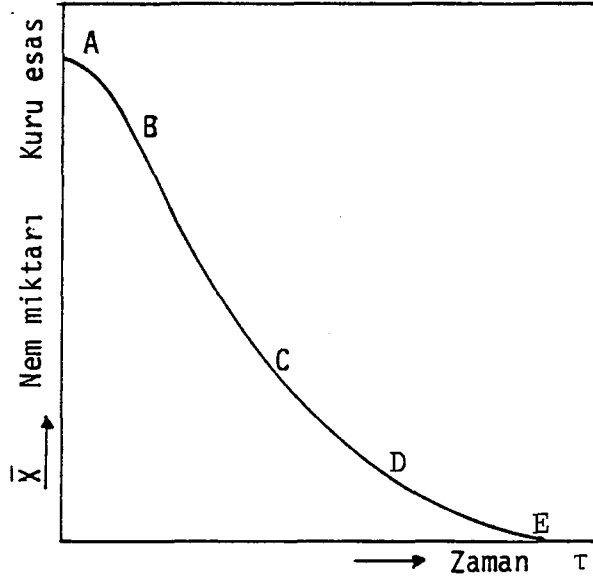


Şekil 1.4. Psikrometri Diagramı.

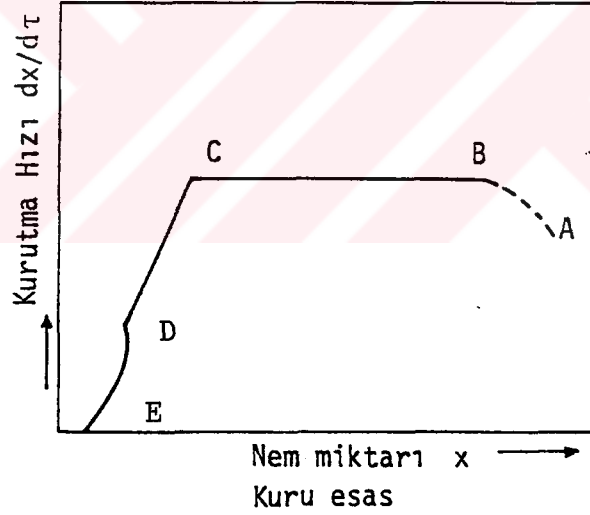
1.12.1. Kurutma Zamanı

Kurutma teorisinde karşılaşılan dış değişkenler, sıcaklık, nem, hava akışı, karıştırma, maddenin taşınması ya da madde ile sıcak yüzey arasındaki temaslardır. Maddeye kurutma işlemi uygulandığında iki kurutma periyodu gözlemlenmiştir. Bunlardan biri belirli zaman aralığında buharlaşma miktarının (Maddenin su kaybı) sabit kaldığıdır. İkincisi ise, belirli zaman aralığında buharlaşma miktarının zamana göre azaldığıdır. Birincisi SABİT KURUTMA HIZI PERİYODU, İkincisi ise AZALAN KURUTMA HIZI PERİYODU olarak tarif edilmiştir.

Aşağıdaki şekillerde yaş maddenin tipik bir kurutma-zaman grafiğinde ($\bar{X}$) nem içeriği ve τ zaman ilişkisi değişik koordinatlara göre düzenlenmiştir. [7]

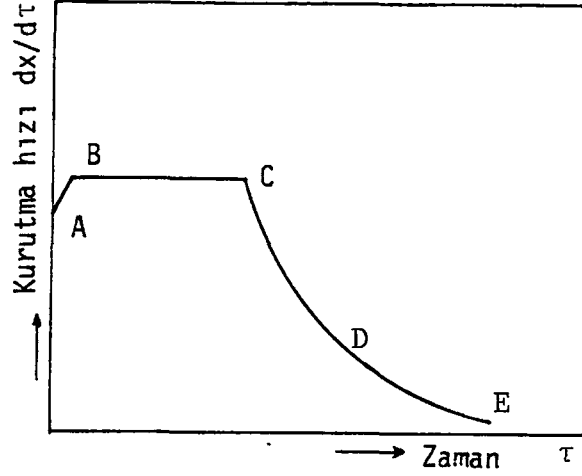


Şekil 1.5. Nem-zaman grafiği.



Şekil 1.6. Kurutma hızı-Nem Grafiği

Deneyssel kurutma verilerinin gösterildiği bu grafiklerde AB ısıtma veya soğutma bölgesini, BC sabit kurutma hızı bölgesini, CDE azalan hızda kurutma bölgesini sembolize etmektedir. Şekil 1.5'de nem içeriği zamanın bir fonksiyonu gibi gösterilmiştir. Esas olan Şekil 1.6'daki kurutma hızı-nem grafiği değerleridir. Şekil 1.7'de görülen kurutma hızı zaman grafiği de yine aynı verilerin değişik koordinatlara uygulanmasıdır.



Şekil 1.7. Kurutma hızı-zaman grafiği.

1.12.2. Sabit Kurutma Hızı

Islak maddenin yüzeyinde bulunan serbest su, yüzeyindeki buharlaşmaya eşdeğerdir. Nemli ve ıslak maddenin dış yüzünde doymuş hava filmi oluşmaktadır. Bu periyotdaki kurutma hızı hava filmindeki buhar difüzyonu hızına bağlıdır ve sabit buharlaşma hızında maddenin yüzey sıcaklığı (Dış Isıl Etkenler olmadığında) havanın yaş termometre sıcaklığına eşit kabul edilir.

Eğer madde yüzeyine konveksiyondan başka kondüksiyon ve diğer ısı etkenler (radyasyon) ile ısı akışı olursa yüzey sıcaklığı havanın kuru termometre ve yaş termometre değerleri arasında bir yerde sabit kalır. Bu periyotda madde üzerindeki sıvının buharlaştırılması üzerinden akan sıcak bir gaz tarafından sağlanıyorsa, madde yüzeyine birim zamanda iletilen ısı miktarı ile birim zamanda buharlaşan su miktarı arasında dinamik bir denge oluşur.

Bu denge ;

$$\frac{dX}{d\tau} = \frac{h_t \cdot A \cdot \Delta t}{r_y} = k_m \cdot A \cdot \Delta P \quad [7] \quad (1.19)$$

bağıntısıyla belirlenir.

$$\frac{dX}{d\tau} = \text{Kurutma hızı} \quad \frac{\text{kg}_{\text{su}}}{\text{s(saniye)}}$$

$$h_t = \text{Toplam film ısı iletim katsayısı} \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = \text{Yüzey m}^2$$

$$r_y = \text{Yüzey sıcaklığındaki suyun buharlaşma gizli ısısı} \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\Delta t = t - t_y \quad ^\circ\text{C} \quad (t \text{ hava sıcaklığı, } t_y \text{ yüzey sıcaklığı})$$

$$k_m = \text{Kütle iletim katsayısı} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s.m}^2 \text{ .atm.}}$$

$$\Delta p = P_{sb} - P_s \quad P_{sb} = \text{Yüzey sıcaklığında buhar basıncı (atm)}$$

$$P_s = \text{Hava içersindeki kısmi buhar basıncı (atm)}$$

Eğer konveksiyon iletim katsayısı h_c , yaş termometre t_{yt} olarak gösterilirse ;

$$h_c = h_t \quad t_y = t_{yt} \quad \text{ve} \quad P_{sb} = P_{sb} \quad \text{olur.}$$

$$P_{sd} \rightarrow t_{yt} \text{ 'deki doymuş buhar basıncı}$$

Radyasyon (ışınım) ile ısı veriliyorsa ; $h_t = h_c + h_r$

($h_r = \text{Işınım ısı iletim katsayısı}$) ve $t_y > t_{yt}$ olur.

Hava hızının etkisi ile h_c ve k_m artar.

$$h_c = 0,0205 \cdot G_h^{0,8} \text{ olarak belirlenir. [7]}$$

$$G = \text{Kuru hava kütleseel hızı} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Kurutma madde yüzeyinden akan hava ile ve konveksiyonla yapılıyorsa

$$\frac{dX}{d\tau} = 0,0205 \cdot G_h^{0,8} \cdot \frac{A}{r_y} \cdot (t - t_{yt}) \quad [7] \quad (1.20)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Yukarıdaki bağıntıda yüzey sıcaklığını yaş termometre sıcaklığı olarak almak hatalı sonuçların elde edilmesine sebep olabilir. Eğer yüzey sıcaklığı ölçülemiyorsa aşağıdaki şekilde hesaplanmalıdır.

1.12.3. Hava İle Kurutmada Yaş Madde Sıcaklığı

Bu yöntem ile kurutmada hava aynı zamanda ısı taşıyıcı olduğu ve başka cisimlerden radyasyon, kondüksiyon ısı iletimi bulunmadığı kabul edilecektir. Buharlaşma sonucu maddeden m_b kadar buharın serbest kalmasına neden olan ısı Q olacaktır. Malzeme tamamen yaş olduğunda madde yüzeyindeki kısmi buhar basıncı malzeme yüzey sıcaklığı t_y 'ye tekbül eden doymuş buhar basıncı P_{bd} olacaktır ve ısı akışı ile buhar akışı bağıntıları kullanılarak ;

$$m_b = A \cdot \frac{k_t}{R_b \cdot T} \cdot P \ln \frac{P - P_s}{P - P_{bd}} \quad \text{Buhar Akışı [8]} \quad (1.22)$$

$$Q = A \cdot \frac{h_c \cdot r_y}{c_{p_b}} \cdot \ln \left| 1 + \frac{c_{p_b}}{r_y} \cdot (t - t_y) \right| \quad \text{Isı Akışı [8]} \quad (1.23)$$

m_b - Buhar akışı $\frac{kg}{s}$

k_t - Kütle transfer katsayısı $\frac{m}{s}$

t_{ad} - Adyabatik doyma sıcaklığı $^{\circ}C$

t_y - Yüzey sıcaklığı

r_{ad} - Adyabatik doyma sıcaklığında buharlaşma gizli ısı $\frac{kJ}{kg}$

M_b - Buharın moleküler kütlesi $\frac{kg}{k_{mol}}$

M - Sınır tabakadaki ortalama moleküler kütle $\frac{kg}{k_{mol}}$

P_r - Prandtl sayısı

S_c - Schmidt sayısı

h_c - Yüzey film ısı transfer katsayısı $\frac{W}{m^2 \text{ } ^{\circ}C}$

Hava ile madde yüzey sıcaklıkları arasındaki farkı veren bağıntı ;

$$t - t_y = \frac{r_y \cdot M_b}{c_p M} \cdot \left(\frac{P_r}{S_c} \right)^{1-n} \cdot \frac{P_{bd} - P_s}{P - P_{bd}} \quad [8] \quad (1.24)$$

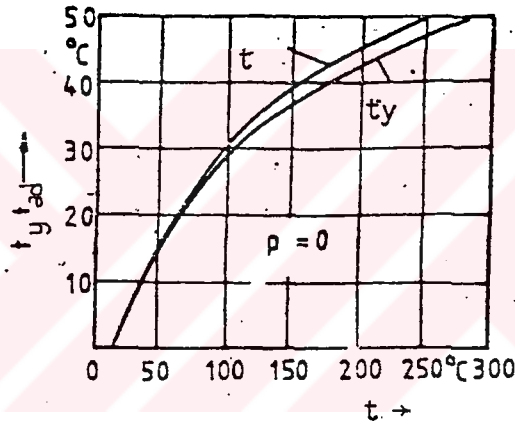
Adyabatik doyma sıcaklığı bağıntısı ;

$$t - t_{ad} = \frac{M_b r_{ad}}{c_p M} \cdot \frac{P_{ad} - P_b}{P - P_{ad}} \quad [8] \quad (1.25)$$

şeklindedir.

$t-t_y$ 'nin bu bağıntısı Adyabatik doyma bağıntısı ile karşılaştırıldığında, her iki bağıntının benzerliği gözlenir. Farklı olan Le ve aşikar olarak P_r ve S_c sayılarının yüzey sıcaklığını etkilediği görülür. $P_r = S_c$, $n = 1$ olunca Adyabatik doyma sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı birbirine eşit olur. Su buharı hava karışımında bu sıcaklıklar arasındaki fark çok küçüktür. $t < 100^\circ\text{C}$ olduğunda fark ihmal edilebilir. Su buharı hava için $n = \frac{1}{3}$ ve sınır değer olarak

$P_s = 0$ kabul edilerek hesaplanan Adyabatik doyma sıcaklıkları ve madde yüzey sıcaklıkları, hava sıcaklığı t 'nin fonksiyonu olarak Şekil 1.8'de görülmektedir.



Şekil 1.8. Adyabatik doyma sıcaklığı t_{ad} , Madde yüzey sıcaklığı t_y , Hava sıcaklığı t

Adyabatik doyma sıcaklığı ve maddi yüzey sıcaklığı bağıntılarının birleştirilmesi sonucu

$$t-t_y = (t-t_{ad}) \cdot \left(\frac{P_r}{S_c} \right)^{1-n} \cdot \frac{P-P_{bda}}{P_{bda}-P_s} \cdot \frac{P_{bd}-P_s}{P-P_{bd}}$$

P_{bda} = Adyabatik doyma sıcaklığındaki kısmi buhar basıncı

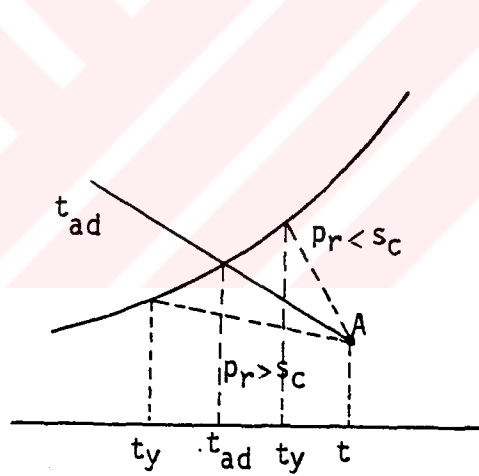
$P - P_{bda} = P - P_{bd}$ kabul edilerek ;

$$t - t_y = (t - t_{ad}) \cdot \left(\frac{P_r}{S_c} \right)^{1-n} \cdot \frac{P_{bd} - P_s}{P_{bda} - P_s} \quad (1.26)$$

elde edilir. Bu son bağıntıdan ;

$P_r > S_c$ olunca $t_y < t_{ad}$

$P_r < S_c$ olunca $t_y > t_{ad}$ olacaktır.



Şekil 1.9. Psikrometride Durum Değiştirme. [8]

1-n üssünün değişimi t_y sıcaklığının fazla değişimine neden olmaz. Bu üssün değeri 0.667 (Laminer sınır tabaka hali) ile 0,58 (Türbülant taşınımında) değerleri arasında olur. Konveksiyon kurutmalarında 1-n değerinin 0,667 olarak alınması tavsiye edilmektedir. Havadan malzeme yüzeyine taşınan Q ısısı sonucu yüzeyden m_b kadar buharın serbest kaldığı ve bunun da havaya taşındığı kabul edilirse, ısı transferi genel denklemi ve Newton'un soğuma kanunu kullanılarak madde yüzey sıcaklığı için ;

$$m_b = A \cdot \frac{k_t}{R_b T} \cdot (P_{bd} - P_s) \quad [8] \quad (1.27)$$

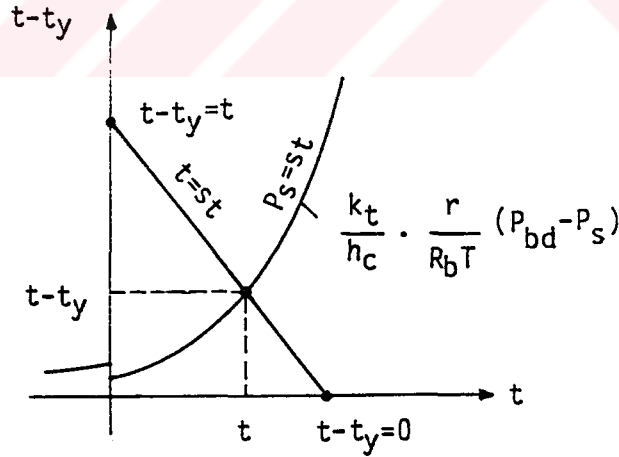
$$Q = A \cdot h_c \cdot (t - t_y) = m_b \cdot r_y = A \cdot \frac{k_t}{R_b T} \cdot (P_{bd} - P_s) \cdot r_y$$

$$t - t_y = \frac{k_t}{h_c} \cdot \frac{r_y}{R_b T} \cdot (P_{bd} - P_s) \quad \text{bulunur.} \quad (1.28)$$

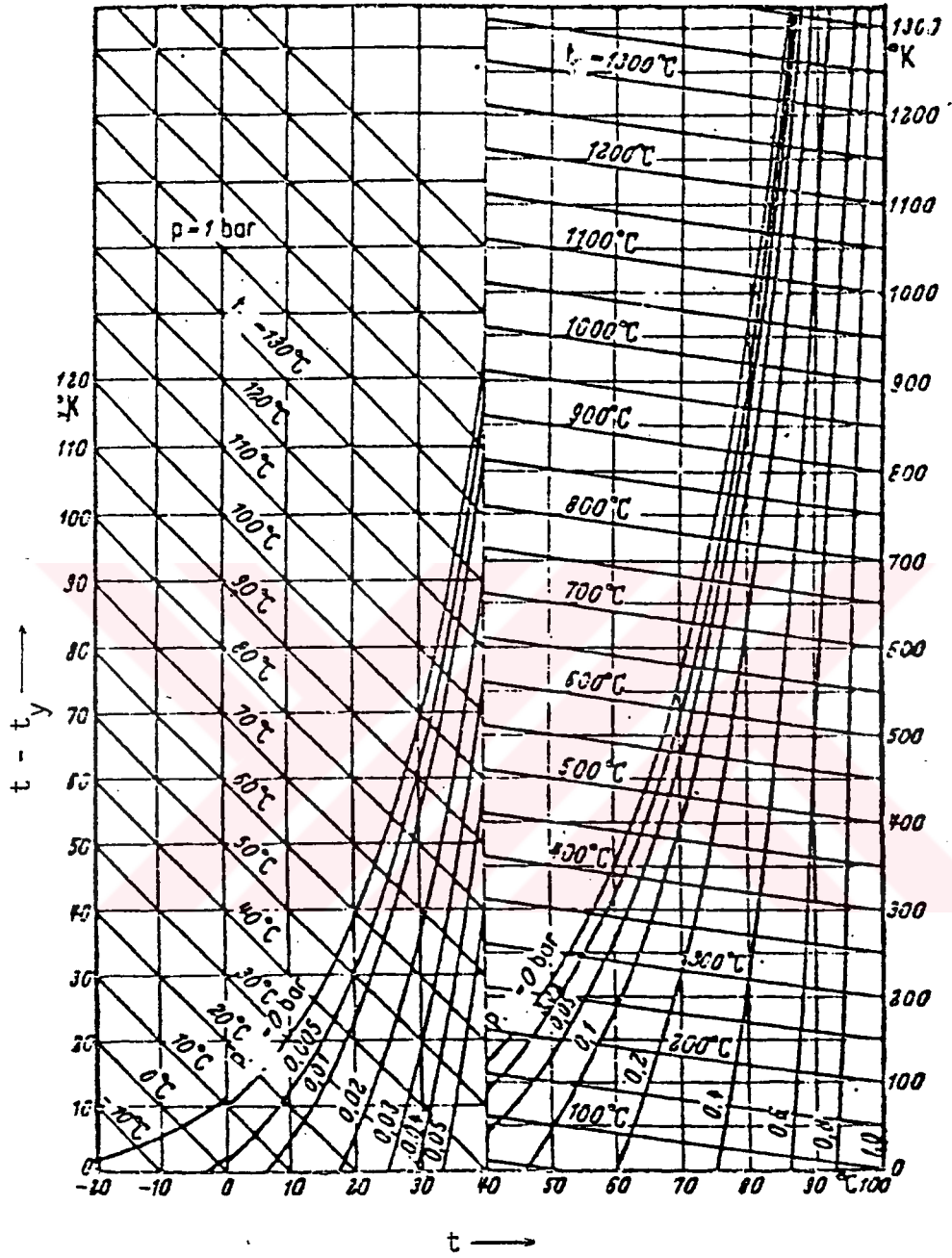
Bu bağıntı aşağıda verilen $t - t_y$, t_y diagramında gösterilebilir. Ordinattaki herhangi bir $t - t_y = t$ noktasını absiste $t - t_y = 0$ noktası ile birleştiren doğru $t = st$ doğrusu olur. Belirli bir P_s basıncı için

$\frac{k_t}{h_c} \cdot \frac{r_y}{R_b T} \cdot (P_{bd} - P_s)$ teriminin t_y 'ye bağlı olarak değişmesini

gösteren eğrinin $t = st$ doğrusunu kestiği nokta absiste madde yüzey sıcaklığı t_y 'yi verir.



Şekil 1.10. Malzeme yüzey sıcaklığının tesbiti. [8]



Su-buhar hava karışımında malzeme yüzey sıcaklığı [8]

Toplam basınç $P = 1 \text{ bar}$

1.12.4. İçten dolaşımli kurutmada sabit kurutma hızı zamanı

Hava sıcaklığı, hava hızı, parçacık büyüklüğü ve maddenin fiziksel büyüklüğüne bağlı olarak ;

$$\frac{dX}{d\tau} = \frac{0.435 \cdot c_p \cdot \bar{A} \cdot G_h^{0,59} \cdot (\Delta t)_m}{\rho_s \cdot D_p^{0,41} \cdot r} \quad [7] \quad (1.29)$$

bağıntılarıyla hesaplanabilir.

$$\frac{dX}{d\tau} = \text{Sabit kurutma hızı} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\bar{A} = \text{Kurutma alanı} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \quad \text{Yatak hacmi}$$

$$G_h = \text{Kütlesel hava hızı} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

$$\bar{\rho}_s = \text{Kuru taneli yatağın kütle yoğunluğu} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$D_p = \text{Ortalama parçacık çapı m}$$

$$(\Delta t)_m = \text{Yatağa giren ve çıkan hava ile yaşı termometre sıcaklığı arasındaki logaritmik fark } ^\circ\text{C}$$

$$c_p = \text{Havanın özgül ısısı} \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$r = \text{Buharlaşma gizli ısısı} \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Yukarıdaki denklem $D_p G_h / \mu > 300$ için geçerlidir.

(μ Viskozite kg m/h (saat))

Püskürtmeli kurutmada $D_p G / \mu > 10$ bağıntısını sağlayan küresel parçacıklar için damlacığı çeviren gaz filminde ısı iletim katsayısı

$$h = \frac{2 \cdot k_f}{D_p} \quad (1.30)$$

$$h = \text{Damlacık ısı iletim katsayısı} \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$D_p = \text{Parçacık çapı (m)}$$

$$k_f = \text{Gaz filminin ısııl kondüktivitesi} \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Bu denklem Reynolds sayısı 10'dan küçük olan sıvı damlacıkları için geçerlidir. Damlacıkta buharlaşma hızı ısı iletimi ya da kütle iletimi cinsinden belirtilir. Isı iletimi cinsinden

$$\frac{dX}{d\tau} = \frac{2 \pi \cdot K_f \cdot D_p}{R} (t - t_y) \quad [7] \quad (1.31)$$

Kütle iletimi cinsinden

$$\frac{dX}{d\tau} = \frac{2 \pi \cdot M_b \cdot D_v \cdot D_p}{RT} (P_p - P_s) \quad [7] \quad (1.32)$$

$$D_v = \text{Buhar difüzyon katsayısı } m^2/s$$

$$R = \text{Gaz sabiti}$$

$$M_b = \text{Su buharı molekül kütlesi}$$

$$P_p = \text{Parçacık yüzey sıcaklığındaki buhar basıncı}$$

$$P_s = \text{Kurutulan ortamdaki sıvının buhar basıncı}$$

Parçacık çapı sabit kabul edilip integral alınırsa buharlaşma süresi

$$\tau = \frac{r \cdot X \cdot \bar{\rho}_p \cdot D_p^2}{12 \cdot k_f \cdot (t - t_p)} \quad [7] \quad (1.33)$$

$t-t_p$ = Gaz ve damlacık sıcaklık farkı

$\bar{\rho}_p$ = Kuru partikül yoğunluğu

Buharlaştırma ilerledikçe parçacık çapı değişiyorsa buharlaştırma süresi bu denklemle hesaplanır.

$$\tau = \frac{r \cdot \rho_L \cdot (D_{p1}^2 - D_{p2}^2)}{8 \cdot k_f (t - t_p)} \quad (\text{saniye}) \quad [7] \quad (1.34)$$

$\bar{\rho}_L$ = Buharlaştırılan sıvının yoğunluğu kg/m^3

1.12.5. Azalan Hız Periyodu Kurutma Zamanı

Sabit hız periyodu sonunda başlar. Bu kurutmanın başlangıç noktası (Şekil 1.6, 1.7) C noktası olup bu noktadaki nem "Kritik Nem" olarak adlandırılır. Maddenin yapısına bağlı olarak, maddi içi sıvı ve buhar akışları genel kanunları bu periyot içinde yürürlüktedir. Konunun daha iyi anlaşılması için Kılcal Akış, Buhar Difüzyonu gibi iç hareketleri yönlendiren olayların incelenmesi gerekir.

1.12.5.a. Kılcal Akış

İçinde sürekli akış için kanalcıklar bulunan bir katı maddede tane sınırları arasında yüzeyi kaplayan sıvı ile hücre boşlukları içindeki serbest sıvı yer çekimi ve kılcal etkilerle artar. Gözenek ne kadar ufak olursa sıvıdaki çekme kuvveti o kadar büyük olur. Homojen nem dağılımlı bir maddenin bir yerinde kuruma başlayınca, o yerdeki nem azalması daha ziyade büyük gözeneklerden sıvı emilmesine sebep olur ve kılcal sıvı hareketi meydana gelir.

Kapiler sıvı hareketini formüle etmek için hareket eden sıvı içersindeki basınç dağılımının bilinmesi gerekir. Ancak gözenekler arası

hareketi olan sıvının basıncının ölçülmesi mümkün değildir. Kılcal sıvı hareketi sonucu olarak bir nem gradyanı meydana gelecek ve bu nem değişiminin ölçülmesi mümkün olacaktır. Sonuçta denge koşullarında gözenekli malzemede Z yönündeki harekette birim zamanda geçen sıvı kütlesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır ; [8]

$$m_s = - A\dot{X} \cdot \frac{dT_s}{dz} = - A\dot{X} \cdot \rho_{sv} \cdot \frac{d\Lambda_s}{dz} = - A\dot{X} \cdot \rho_{kv} \cdot \frac{dX}{dz}$$

Burada $T_s = 1 \text{ m}^3$ toplam hacimde bulunan sıvı kütlesi $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$\Lambda_s = 1 \text{ m}^3$ toplam hacimde bulunan sıvı hacmi $\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$

$X =$ Kuru maddenin 1 kg'ına izafe edilen sıvı kütlesi $\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$

$\rho_{sv} =$ Sıvı yoğunluğu $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$\rho_{kv} =$ Kuru maddenin hacımsal yoğunluğu (1 m^3 toplam hacimde bulunan kuru madde kütlesi) $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

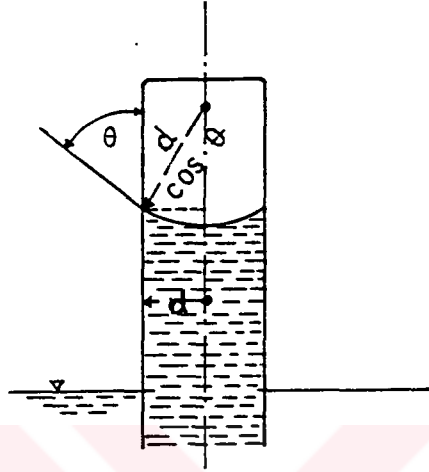
$\dot{X} =$ Kılcal iletim katsayısı $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Farklı birimler kullanılan yukarıdaki formüllerde aşağıdaki bağıntıya göre dönüşüm yapılabilir.

$$T_s = \rho_{sv} \Lambda_s = \rho_{kv} X$$

Kılcal iletim katsayısı kurutma esnasında sabit kalmaz değişkendir ve $0 - \infty$ arasında değer alır.

1.12.5.b. Kılcal Boru İçerisindeki Sıvı Hareketi



$$H = \frac{2\sigma \cos \theta}{g \cdot \rho_s \cdot d}$$

Şekil 1.11.

Yarıçapı d olan bir boru su içine daldırılınca suyun boru içersinde H seviyesine yükseldiği görülür. Bu yükseklik (Kılcal Yükseklik) olarak adlandırılır.

H yüksekliği hesap değerini veren bağıntıda ;

$$H = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{g \cdot \rho_s \cdot d} \quad (1.36)$$

σ = Suyun yüzey gerilmesi N/m

θ = Mekanik kenar açısı

g = Yer çekimi ivmesi $\frac{m}{s^2}$

ρ_s = Suyun yoğunluğu $\frac{kg}{m^3}$

Görüldüğü gibi suyun kılcal boru içersinde yükselmesi, su yüzeyinin negatif bir basınç etkisinde olduğunu belirtir. Bu basınç ;

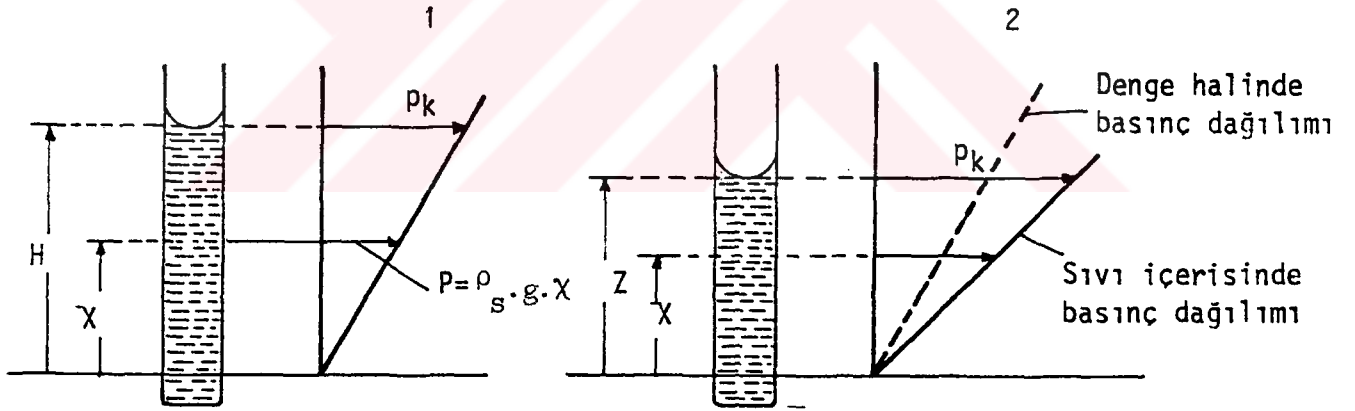
$$P_k = H \cdot g \cdot \rho_s = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{d} \text{ bağıntısı ile hesaplanır.} \quad (1.37)$$

Kılcal borudaki sıvı yükselmesi sonunda denge durumu oluşur ve menisk yarım küre şeklini alır.

$\frac{\cos \theta}{d}$ maksimum değere ulaşır. Negatif basınç P_k 'yi yalnız kılcal borunun çapı etkiler.

Düsey kılcalda negatif çekme kuvveti ve yer çekimi kuvveti denge halinde gelince sıvı sütununun hareketi durur. Bu durumda kılcal içerisindeki basınç dağılımı lineerdir.

Eğer kılcal içerisindeki hareketin laminar olduğu kabul edilirse bu anda menisk z durumunda ise ve bu olay bir t anında oluyorsa basınç dağılımı yine lineerdir. Ancak denge halindeki basınç doğrusundan farklı bir doğru elde edilir. Sıvı içerisindeki basınç ile hidrostatik denge halindeki basınç arasındaki fark X noktasında sıvının yükselmesini sağlayan efektif basıncı verir. (P_e)



Şekil 1.12. Kapiler sıvı içerisinde basınç dağılımı

1- Hareketsiz sıvı sütunu

2- Yükselen sıvı sütunu

$$P_e = \frac{P_k - g \cdot \rho_s \cdot Z}{Z} \cdot \chi \quad [8] \quad (1.38)$$

Bütün akış olaylarında olduğu gibi kılcal hareketlerde sıvı içi basınç dağılımının, denge halindeki basınç dağılımından farklı olması "Kılcal hareket" nedeni olacaktır.

$$m_b = - a k_p \rho_s \cdot \frac{dP_e}{dz} \quad [8] \quad (1.39)$$

genel olarak kullanılan bağıntıdır.

P_e efektif basınç bulununca z yönünde hareket halinde a yüzeyinden birim zamanda m_s sıvı kütlesinin geçeceği anlaşılır.

k_p = transport katsayısı olarak adlandırılır.

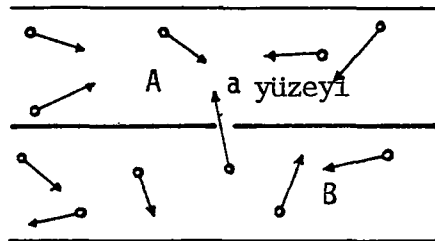
$$k_p = \frac{d^2}{8\eta} \quad \text{olarak verilir.}$$

η = Dinamik viskozitedir.

1.12.5.c. Kütle Hareketi, Difüzyon

Moleküler Hareket :

Eğer madde içersindeki gözeneklerde nem su buharı olarak bulunuyorsa buhar hareketi oluşur. Gözenek duvarları ara mesafesi buhar moleküllerinin ortalama serbest yolundan ufak olursa nem hareketi Knutsen'in moleküler difüzyon kanununa uygun bir hareket olur. Kurutmada genel olarak buhar hareketi ufak boşluklarda gerçekleştiğinden difüzyon ile buhar akışını ayırt etmek mümkün olmaz.



Şekil 1.13. Küçük bir delik aralığında molekül hareketi (a yüzeyinden)

A ve B boşluklarında bulunan moleküller çok ince bir duvarla birbirlerinden ayrılmış olsunlar. Bu duvarda bir a deliği düşünelim. Moleküllerin ortalama serbest yolu a deliğinin çapından büyük olduğunda sıcaklıklar T_A , T_B , Basınçlar P_A , P_B bilindiğinde gazların kinetik teorisine göre A yüzeyine düşen molekül sayısı hesaplanabilir.

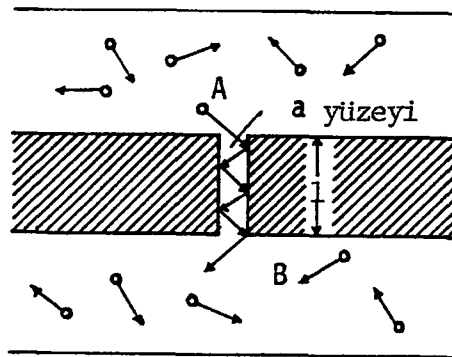
Ayrıca duvar kalınlığı ihmal edilecek kadar ince olursa a deliği kesitine düşen moleküllerin tümü delikten geçerek A ve B boşluğuna transfer olurlar.

A'dan B'ya ve B'den A'ya geçen kütle debileri

$$\begin{aligned} \text{A'dan B'ye, } M_A &= a \cdot \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \cdot \frac{P_A}{\sqrt{R_A T_A}} \\ \text{B'den A'ya, } M_B &= a \cdot \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \cdot \frac{P_B}{\sqrt{R_B T_B}} \end{aligned} \quad [8] \quad (1.40)$$

şeklinde ifade edilirler.

Eğer ayırıcı duvar ihmal edilemez kalınlıkta olursa moleküler hareket kesit alanı a ve uzunluğu ℓ olan boru içersinde yer alır.



Şekil 1.14. Dar bir boru içinde moleküllerin hareketi.

İnce duvar halindeki geçiş düşünülürse ancak boru iç yüzeyinin pürüzsüz olması gerekir. Boru çapı moleküllerin ortalama serbest yolundan ufak olduğunda, boru duvarlarının pürüzlülmüş gibi davrandığı anlaşılr. Duvarlara çarpan moleküller harekete karşıt yönde yansıyacaktır. Yansıyan moleküller ℓ boyu ile orantılıdır. Çapı $\bar{d}$ ve alanı a olan borudan geçen gaz kütlesi (Birim zaman için)

$$M_A = a \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{\bar{d}}{\ell} \cdot \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \cdot \frac{P_A}{\sqrt{R_A \cdot T_A}}$$

$$M_B = a \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{\bar{d}}{\ell} \cdot \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \cdot \frac{P_B}{\sqrt{R_B \cdot T_B}}$$

ifadeleriyle hesaplanır.

A ve B boşluklarında aynı gaz bulunduğu ve sıcaklıklarının eşit olduğu düşünülürse $R_A = R_B = R$ $T_A = T_B = T$ ve farklı P_A, P_B basınç etkisi altında A ve B boşluklarındaki gaz molekülleri arasındaki kütle mübadelesi ;

$$M = M_A - M_B = a \cdot \frac{4}{3} \cdot \bar{d} \cdot \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \cdot \sqrt{\frac{1}{RT}} \cdot \left(\frac{P_A - P_B}{\ell} \right)$$

Kısa boru uzunluğu $d \ll \ell$, küçük basınç farkı $P_A - P_B = d_p$

$R_o(\text{universal}) = 8315 \frac{\text{j}}{\text{kmol}^\circ\text{K}}$ alındığında

$$M = - a \cdot \frac{4}{3} \cdot \sqrt{\frac{1}{2\pi R_o}} \cdot \sqrt{\frac{M}{T}} \cdot \frac{d_p}{d \ell} \quad (1.41)$$

M = Gaz moleküler kütlesi.

Yukarıdaki ifadeye göre P'nin toplam veya kısmi basınç oluşu bir fark meydana getirmez. Moleküler hareket halinde difüzyon ve buhar akışı ayırt edilmez.

Krischer'e göre, hareketin meydana geldiği ortamın ve akışkanın özelliklerini içeren bir katsayı kullanmak suretiyle, sabit sıcaklık ve tek yönlü hareket halinde, kütle hareketi genel denklemi ;

$$M = - a.b. \frac{dp}{dl} \quad (1.42)$$

şeklinde yazılabilir. b = Hareket katsayısı olarak tanımlanmıştır.

$$b_{mol} = \frac{4}{3} \cdot \bar{d} \cdot \sqrt{\frac{1}{2\pi R_o}} \cdot \frac{M}{T} = 5,83 \cdot 10^{-3} \cdot \bar{d} \cdot \frac{M}{T} \quad (1.43)$$

olarak hesaplanır. [8]

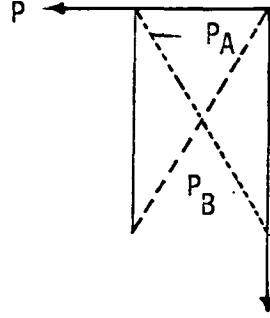
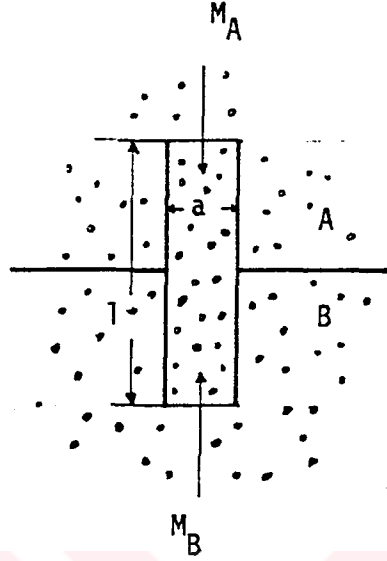
1.12.5.d. Difüzyon

Kısmi basınç farkının veya değişiklik farkının sebep olduğu moleküller harekete difüzyon denir. 3 farklı şekilde meydana gelir.

- 1- Çökeltilerde farklı değişiklikler bulunduğunda, sıvı difüzyonu gerçekleşir.
- 2- Katı maddelerin yüzeyinde yutulan sıvıda, buna yüzey difüzyonu denir.
- 3- Gaz ve buharlarda, buna gaz difüzyonu denir. Kurutmada karşılaşılan difüzyon türü bilhassa gaz difüzyonudur.

Gazlar Arasında Çift Yönlü Difüzyon

A ve B gazlarının basınçları ve sıcaklıkları aynı olsun. Bu iki gaz birbirinden bir duvarla ayrılsın ve kesiti a boyu l olan bir irtibat borusu ile birleştirilsin.



Şekil 1.15. Gazların çift yönlü difüzyonu.

Akış hızları $\bar{V}_A$, $\bar{V}_B$ olan gazların, Stefan'a göre karşılıklı hareket eden moleküller arası çekici kuvveti ; Bağlı hız $(\bar{V}_A - \bar{V}_B)$, mol yoğunluğu ρ_A/M_A , ρ_B/M_B ve gazların özelliklerini içeren C_{AB} sabiti ile orantılıdır.

Gazların hareket edebilmesi için itici kuvvet olan kısmi basınç gradyanlarının moleküller arası çekim kuvvetini yenmesi gerekir.

Sabit toplam basınçta $P_A + P_B = P$ kısmi basınç gradyanları için ;

$$-\frac{d P_A}{d l} = + \frac{d P_B}{d l} \quad (1.44)$$

yazılabilir ve Stefan'ın moleküllerarası kuvvet ifadesine uygun olarak

$$-\frac{d P_A}{d l} = + \frac{d P_A}{d l} = C_{AB} \cdot \frac{\rho_A}{M_A} \cdot \frac{\rho_B}{M_B} \cdot (\bar{V}_A - \bar{V}_B) \quad (1.45)$$

bağıntısı elde edilir.

Sabit sıcaklık ve basınçta belirli bir hacmi dolduran gazların mol sayıları eşittir (Avagadro Kanunu). A ve B hacimlerindeki basıncın değişmemesi için irtibat borusundan A'dan B'ye geçen mol sayısı B'-den A'ya geçen mol sayısına eşit olmalıdır. Bu demektir ki her iki gazın irtibat borusundan geçen molekül sayısı eşit olmalıdır.

$$\frac{\bar{V}_A \cdot \rho_A}{M_A} = - \frac{\bar{V}_B \cdot \rho_B}{M_B} \text{ ve bu eşitlikten yararlanarak}$$

$$- \frac{d P_A}{d \ell} = C_{AB} \cdot \frac{\bar{V}_A \cdot \rho_A}{M_A} \cdot \left(\frac{\rho_B}{M_B} + \frac{\rho_A}{M_A} \right) = \frac{d P_B}{d \ell} = -C_{AB} \cdot \frac{\bar{V}_B \cdot \rho_B}{M_B} \left(\frac{\rho_A}{M_A} + \frac{\rho_B}{M_B} \right)$$

Bu bağıntıda ideal gazlar bağıntıları göz önüne alınıp kullanılarak

$$- \frac{d P_A}{d \ell} = C_{AB} \cdot \frac{\bar{V}_A \cdot \rho_A}{M_A} \cdot \left(\frac{P_A}{R_O T} + \frac{P_B}{R_O T} \right) = \frac{d P_B}{d \ell} = C_{AB} \cdot \frac{\bar{V}_B \cdot \rho_B}{M_B} \cdot \left(\frac{P_A}{R_O T} + \frac{P_B}{R_O T} \right)$$

$$- \frac{d P_A}{d \ell} = \frac{C_{AB} \cdot \bar{V}_A \cdot \rho_A \cdot P}{M_A \cdot R_O \cdot T} = \frac{d P_B}{d \ell} = C_{AB} \cdot \frac{\bar{V}_B \cdot \rho_B \cdot P}{M_B \cdot R_O \cdot T} \text{ bulunur.} \quad (1.46)$$

Boru içinde difüzyonla A'dan B'ye B'den A'ya geçen gaz debilerini hesaplamak için ;

$$M_A = - a \cdot \bar{V}_A \cdot \rho_A = - a \cdot M_A \cdot \frac{R_O \cdot T}{C_{AB} \cdot P} \cdot \frac{d P_A}{d \ell}$$

$$M_B = - a \cdot \bar{V}_B \cdot \rho_B = a \cdot M_B \cdot \frac{R_O \cdot T}{C_{AB} \cdot P} \cdot \frac{d P_B}{d \ell}$$

bağıntıları yürürlüktedir. İdeal gaz bağıntılarından M_A ve M_B yerine R_O/R_A , R_O/R_B konularak

$$M_A = -a \cdot \frac{1}{R_A \cdot T} \cdot \frac{(R_O \cdot T)^2}{C_{AB} \cdot P} \cdot \frac{d P_A}{d \ell}$$

$$M_B = a \cdot \frac{1}{R_B \cdot T} \cdot \frac{(R_O \cdot T)^2}{C_{AB} \cdot P} \cdot \frac{d P_B}{d \ell} \quad (1.47)$$

elde edilir.

Her iki gazın difüzyon akışı bağıntılarında ortak büyüklük $(R_O \cdot T)^2 / C_{AB} \cdot P$, difüzyon katsayısı D (m^2/s) olarak adlandırılır.

$$D = \frac{(R_O \cdot T)^2}{C_{AB} \cdot P} \left(\frac{m^2}{s} \right) \quad (1.48)$$

Difüzyon katsayısı sıcaklık, basınç ve gazların özelliklerini içeren bir katsayıdır.

Kurutmada olduğu gibi su buharının havada difüzyonu sonucu meydana gelen karışımın ideal bir karışım olduğundan değişikliğin difüzyon katsayısına etkisi ihmal edilir. Difüzyon katsayısı kullanılarak yukarıdaki kütle akış bağıntıları ;

$$M_A = -a \cdot \frac{D}{R_A \cdot T} \cdot \frac{d P_A}{d \ell}$$

$$M_B = a \cdot \frac{D}{R_B \cdot T} \cdot \frac{d P_B}{d \ell} \quad (1.49)$$

şeklını alır.

Su buharı-hava karışımının 20 - 90°C arasında difüzyon katsayısı Schirmen'in formülü ile hesaplanabilir.

$$D_{bh} = \frac{22,6 \cdot 10^{-6}}{P} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1,81} \left(\frac{m^2}{s} \right) \quad [8] \quad (1.50)$$

P, bar olarak alınacaktır.

Buharın Gaz İçersinde Tek Yönlü Difüzyonu

Buhar sıvı yüzeyinden difüzyonla sıvı üzerindeki bir gaza taşınıyorsa bu olay buğulaşma olarak adlandırılır. Buğulaşmanın buharlaşmadan farkı, buğulaşmada sıvı üzerindeki buharın gazla karışım halinde bulunmasıdır. Bu koşullarda buhar basıncı karışımın toplam basıncından ufak olur. Buharlaşmada ise sıvı üzerinde yalnız sıvının kendi buharı bulunur ve buhar basıncı toplam basınca eşit olur. Kurutma tekniğinde genellikle maddedeki nemin çevre havasına taşınması buğulaşma şeklinde olur. Madde üzerindeki havanın hareketsiz olduğu yani $V_h = 0$ kabul edilirse hava için h su buharı için b indisi kullanılırsa, Stefan'ın çift yönlü difüzyon bağıntısı buğulaşmaya uygulanınca ;

$$- \frac{d P_b}{d \ell} = C_{bh} \cdot \frac{\rho_b}{M_b} \cdot \frac{\rho_h}{M_h} \cdot \bar{V}_b \quad \text{yazılabilir.} \quad (1.51)$$

a kesitinden birim zamanda difüzyonla yayılan buhar kütlesi ;

$$M_b = a \cdot \bar{V}_b \cdot \rho_b = - a \cdot \frac{M_b M_h}{C_{bh} \cdot \rho_h} \cdot \frac{d P_b}{d \ell}$$

Yine ideal gaz bağıntıları kullanılarak

$$M_b = -a \cdot \frac{1}{R_b T} \cdot \frac{(R_o \cdot T)^2}{C_{bh} \cdot \rho_h} \cdot \frac{d P_b}{d \ell}$$

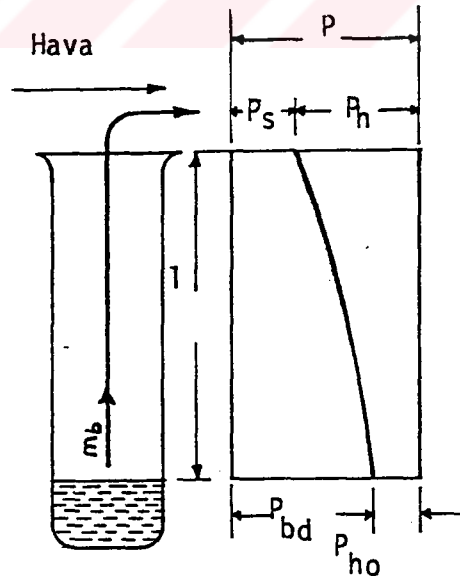
olur. $P_h = P - P_b$ olunca

$$M_b = -a \cdot \frac{D}{R_b \cdot T} \cdot \frac{P}{P - P_b} \cdot \frac{d P_b}{d \ell} \quad \text{şeklini alır.} \quad (1.52)$$

Yukarıdaki bağıntı gözenek duvarları ara mesafesi buhar molekülleri ortalama serbest yolundan büyük olduğu durumlarda uygulanır.

Buğulaşma sıvısının buharlaşma sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta meydana gelirse, yüzey üzerindeki kısmi buhar basıncı yaklaşık olarak toplam basınca eşit olur. $P_b = P$ halinde hareket katsayısı $b_{buh} = \infty$ olur.

Bu olay buharlaşma olayıdır. Artık bu durumda buhar akışı bir dış kuvvetle sağlanır. Bir tüp içersinde ℓ derinliğinde bulunan su yüzeyinde buğulaşma meydana gelince tüp içersinde bir kısmi buhar basıncı oluşacaktır.



Şekil 1.16. Tüp içersinde tek yönlü difüzyon buğulaşma.

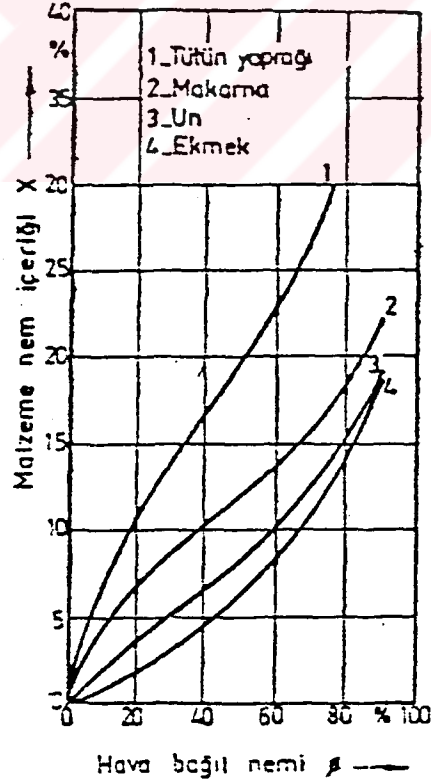
Tüp içersindeki su yüzeyindeki buhar basıncı, suyun sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı P_{bd} olur. Hava içindeki buhar kısmi basıncı P_s ile gösterilirse, tüp kesitinden birim zamanda geçen buhar kütlesi

$$M_b = - a \cdot \frac{D}{R_b T} \cdot P \cdot d \cdot \frac{\ln(P - P_b)}{d \ell} = a \cdot \frac{D}{R_b T} \cdot \frac{P}{\ell} \ln \frac{P - P_s}{P - P_{bd}}$$

P_s difüzyon yolu boyunca değişmektedir. P_{bd} ve P_s küçük değerlerde olursa, aralarındaki fark da büyük olmazsa, yukarıdaki bağıntı ;

$$M_b = \frac{a}{\ell} \cdot \frac{D}{R_b T} \cdot P \cdot \frac{P_{bd} - P_s}{P - P_{bm}} \text{ şeklini alır.} \quad (1.53)$$

$$P_{bm} = \frac{P_{bd} + P_s}{2} \text{ olarak (ortalama kısmi buhar basıncı) alınır.}$$



Şekil 1.17. Sorpsiyon izotermin.

Amerikan literatüründe $P_{bm} = P_{bd}$ alınmakta, ısı ve kütle transferinin birlikte hesaplanmasında büyük kolaylık sağlamaktadır.

1.12.6. Sorpsiyon İzotermi

Madde içersindeki sıvı miktarı (Nem) ile malzeme üzerinde su buharı gaz karışımının bağıl nemi arasındaki ilişkiyi veya diğer bir deyimle malzemedeki sıvı miktarı ile gazdaki buhar basıncı arasındaki dengeyi gösteren eğriye "Sorpsiyon izotermi" denir. Sıvının katı yapıya bağlı kaldığı higroskopik malzemede kurutma sonucu tayininde sorpsiyon izotermi bilinmesi oldukça yararlıdır.

Sorpsiyon izotermi madde iç yapısı şekline göre eğriler şeklinde çizilir, ancak bu eğriler deneysel olarak elde edilen verilere göre düzenlenir. Maddenin çevreden sıvı alması (adsorpsiyon) veya kurutma da olduğu gibi maddeden sıvı çekilmesi (desorpsiyon) hali için elde edilen

$$x = f(\psi)$$

sorpsiyon eğrileri de farklı olur. Buna sebep olarak kılcal sıvı hareketinin farklı olacağı gösterilebilir.

Belirli bir ψ değeri için sıcaklık artışının sebep olacağı nem içeriği değişimi yaklaşık olarak

$$\left(\frac{\partial X}{\partial T} \right)_P = -AX \quad [8] \quad (1.54)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Burada A faktörü hava nem miktarına bağlı olarak değişir. Sorpsiyon izotermi S eğrileri şeklinde olurlar. Üzerinde çalışılan maddenin sorpsiyon izotermi biliniyorsa benzer bir maddenin sorpsiyon izoterm-lerinden faydalanılabilir.

2. BÖLÜM

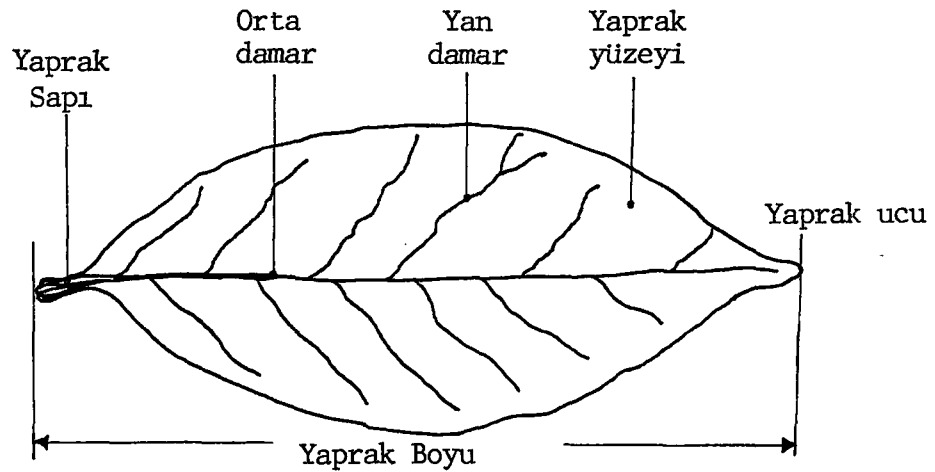
DEFNE YAPRAĞININ KURUTULMASI

2.1. Defne Yaprığı

Defne yaprağı, deri gibi esnek, dar elips biçiminde kenarları hafif ondüle ucu sivri veya küt saplı üst yüzü yeşil, alt yüzü sarıya yakın yeşil renktedir. Kurutulduğunda ise yumuşak üst yüzü parlak alt yüzü mat renkte olmalı, damarlar üst yüzden hafif, alt yüzden belirgin olarak görülmelidir. Yaprak ezildiğinde kendine özgü hoş kokusu ve buruk acı tadı olmalıdır. [12]

Yaprağın Kimyasal Özellikleri :

Toplam kül miktarı (Kuru madde ağırlıkça)	% 7 max
Suda çözünmeyen kül miktarı (Kuru madde ağırlıkça)	% 6 max
Uçucu yağ miktarı (Kuru madde ağırlıkça)	% 2 max
Ham selüloz miktarı (Kuru madde ağırlıkça)	% 30
Standartlara göre yaprak boyu en az 25 mm	
En çok 100 mm, eni ise en az 20, ençok 45 mm olmalıdır.	



Şekil 2.1. TS 1017'ye göre tanımlanan yaprak.

TSE'ye göre kurutulmuş Defne Yapağı extra, birinci sınıf, sıra malı, kalburaltı olmak üzere dört sınıfa ayrılır. Bu sınıfları ;

Kırık yaprak miktarı	Ağırlıkça % olarak
Yaprak kırığı miktarı	Ağırlıkça % olarak
Yırtık yaprak miktarı	Ağırlıkça % olarak
Yaprak pulu miktarı	Ağırlıkça % olarak
Lekeli yaprak miktarı	Ağırlıkça % olarak
Yabancı madde miktarı	Ağırlıkça % olarak

belirleyen özelliklerdir. [12]

Kırık yaprak, yüzeyinin en çok 1/4'ü kopmuş yapraktır. Yaprak kırığı max 18 x 18 mm delikten geçmeyen yapraktır. Yırtık yaprak, yüzey dokusu orta damara kadar yırtılmış yapraktır. Yaprak pulu, max 18x18 mm delikten geçen yaprak parçasıdır. Lekeli yaprak, yüzeyinin 1/5'inden çoğunda benek, renk farkı vb. olan yapraktır. Yabancı madde; a) kendi sapı, çiçeği, dalı ve kabuğu, b) Başka bitkisel hayvansal mineral maddelerdir).

Sınıf özellikleri Ağırlıkça % olarak ;

	Extra	Birinci	Sıra Malı	Kalburaltı
Kırık yaprak	5	15	40	Sınırsız
Yaprak kırığı	5	15	40	Sınırsız
Yırtık yaprak	5	15	Sınırsız	Sınırsız
Yaprak pulu	0	5	15	Sınırsız
Lekeli yaprak	6	10	Sınırsız	Sınırsız
Yabancı madde a)	0,5	1	2	10
Yabancı madde b)	0,05	0,1	0,5	1,5 [12]

2.2. Kurutma Ön Çalışmaları

Literatürde kurutma ve saklama evrelerinde meydana gelen değişimler hakkında bilgi bulunmamaktadır. Yaptığımız deneylerde saklama evresinde koku ve havanın geçemeyeceği bir madde ile ambalajlamanın ya-

pılması gereği görülmüştür. Naylon torbalara koyulan kuru yapraklar zamanla flavonoid compoundlar'ı ortama iletmekte ve özelliklerini bir süre sonra kaybetmektedirler. Jelatin kağıdı ile yapılan ambalajlama bu konuda daha isabetli davranıldığını göstermiştir.

Bilindiği gibi biber, karanfil, zencefil vb. flavonoid compoundlar içeren baharatlar gıda ürünlerinin sadece ömrünü uzatmakla kalmaz oksidatif proseslere de engel olurlar. Dolayısıyla yağlarda, konservelerde ve konsantrelerde anti oxidant olarak kullanılırlar. Defne yaprağındaki phenolik compoundların kompozisyonunun incelenmesi sonucu catechin ve flavonol bulunmuştur. [15]

Yapılan ön kurutma işlemlerinde Defne yapraklarının aynı ağaçtan toplanmasının doğru sonuca gidilmesini kolaylaştıracağı ve yaprakların kış aylarında daha çok "Flavonoid Compound" içerdiği tesbit edilmiştir. Zira bahar aylarında yeni yaprakların çıkması, ağaçların çiçek açması yapraklarda "Koku Azalması" sonucunu getirdiği görülmüştür.

Flavonoid compoundlar genç ve yeni yapraklarda az, yaşlı yapraklarda (1 yaş ve 2 yaş yapraklarda) daha çok olduğu "Koklama" yöntemiyle de rahatlıkla anlaşılmaktadır.

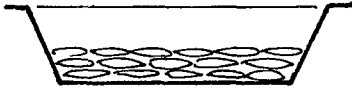
Deneylerimizi kış aylarında (Kasım-Şubat aylarında) topladığımız yapraklarla gerçekleştirerek, değişik kurutma sistemleri uygulanarak sonuçlar irdelenmiş ve uygun sistem seçilmiştir.

2.3. Kurutma Deneyleri

2.3.1. Fırında Kurutma

- a) Defne yaprakları kafes telden yapılmış tava içerisine, yaklaşık 4 cm yükseklik oluşturacak şekilde koyularak, fırında değişik sıcaklıklarda kurutulmuştur. Kurutma, belirli aralıklarla kontrol edilmiş ve sonuçta tavanın üst ve alt kısmındaki yapraklar daha hızlı, orta kısımda kalanlar daha yavaş kurumuştur.

- b) Yapraklar yine tavaya koyulmuş, fakat bu sefer yapraklar tek sıra halinde üst üste gelmeyecek şekilde düzenlenmiştir. Kurutma homojen bir şekilde gerçekleşmiştir.



a Deneyi



b Deneyi

Şekil 2.2

Yaprakların kütlelerine oranla yüzeylerinin daha fazla olduğu göz önüne alınırsa (1 m^2 yaprak yaklaşık 0.250 kg kütleindedir). Fırında kurutmanın ekonomik olmayacağı aşikardır.

2.3.2. Oda Havası Şartlarında Desikatörde Kurutma (20°C ve $0,40$ Bağıl Nem)

Desikatör içerisine yerleştirilen yaprakların kurummasına yardımcı olması amacıyla, desikatör haznesine nem alıcı silikajel koyulmasına rağmen çok düşük kurutma hızı görülmüştür.

2.3.3. Oda Havası Şartlarında Açıkta Kurutma (20°C ve $0,52$ Bağıl Nem)

Oda şartlarındaki kurutma uzun zaman almakta ve kalitesiz kuru yaprak elde edilmektedir. Bu yöntem ile yapraklar yaklaşık 15 gün içerisinde kurumuştur.

2.3.4. Kabinde Hava Verilerek Kurutma (70°C ve $0,04$ Bağıl Nem)

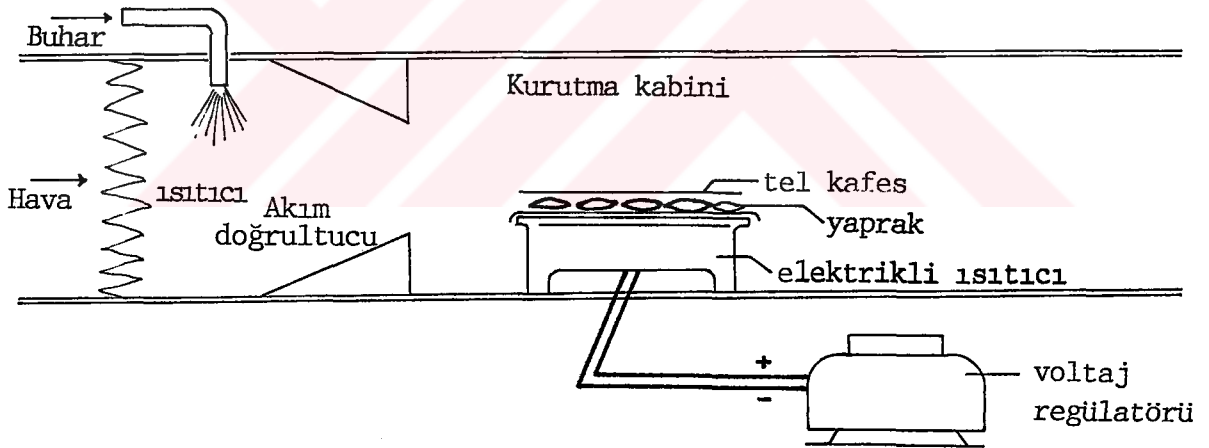
- a) Değişik sıcaklıklarda hava verilerek delikli tavaya koyulup kurutulan yapraklar üst üste olduklarında, üst ve alt yapraklar hızlı, aradaki yapraklar ise yavaş kurumuştur. Kurutma esnasında kontrol edilen aradaki yaprakların üzerinde su damlacıkları görülmüştür.

Bu gözlem bize hızlı kurutmanın ancak yaprak yüzeylerinin serbest olabileceği ve hava ile temas edebileceği bir yöntem ile gerçekleştirilebileceği şartını vermiştir.

Sıcak havanın yaprak yüzeylerine teması sağlanırsa yüzeydeki buharlaşan yaprak "suyu" yoğunlaşmadan hava içersine karışacak veya hava ile sürüklenerek yaprağı terkedecektir.

2.3.5. Değişik Hava Şartlarında Deneyler

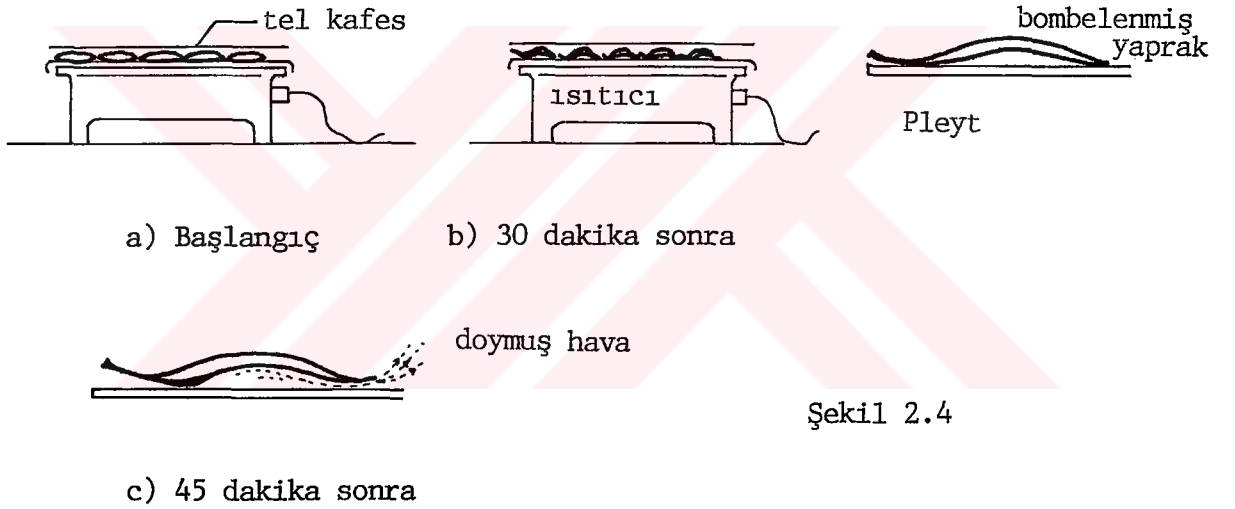
Kabin havası buharla doyurulup 25°C , % 100 Bağıl nem şartlarına getirilmiştir. Yapraklar yüzey sıcaklığı $\sim 70^{\circ}\text{C}$ ' yükseltilmiş bir Pleyt üzerine koyulmuş ve hava akımından uçuşmamaları için üzerine tel kafes örtülmüştür, Şekil 2.2.



Şekil 2.3

Başlangıçta yapraklar, bir voltaj regülatörü ile sıcaklığı ayarlanan elektrik ocağı üzerine koyulmuş çelik Pleyt'in yüzeyine tam olarak temas ediyor. Deney başlangıcından 30 dakika sonra yaprakların kenarları Pleyt'e teması devam ediyor, yaprağın orta kısmı ise bombe- lenerek yüzeyden ayrılıyor.

Temas eden kenarları kuruyor orta kısım ise yaş kalıyor. Bu durum gözlemlendiğinde yaprak incelenirse; yaprağın bombeli ve Pleyt'e bakan yüzeyinde su damlacıkları görülür. Bu damlacıklar nedeniyle yaprak orta kısmı ile Pleyt arasındaki hava doymuş durumdadır. Deneye devam edildiğinde yaprakların kenarlarında kırılmaların oluştuğu görülmüştür. Kıvrılan yapraklar arasından ortama çıkan, yaprak ile Pleyt arasındaki doymuş hava yerine ortam havası giriyor ve Pleyt'in yüzey sıcaklığı etkisiyle ısınıyor, bağıl nem azaldığından doyma isteği artıyor ve yaş yüzeyden buhar alarak ortamı terk ediyor. Böylece orta kısımlar da kurumaya başlıyor. Bu deney de bize yaprak yüzeyindeki buharın hava tarafından sürüklenmesi ve yaprağı terketmesine yardımcı olduğundan hava akımlarının gerekli olduğunu kanıtlıyor.



Şekil 2.4

Bir diğer deneyde yapraklara Doymuş Buhar Banyosu uygulanmış ve bu deney sonucunda yaprakların nem aldığı tesbit edilmiştir.

Yine bir başka deneyde kurutma kabinine sıcak hava ile birlikte buhar verilmiş ve bağıl nem % 8'den % 40'a yükseltilmiş, kurutma sonunda yaprakta belirgin bir değişiklik tesbit edilmemiştir.

2.3.6. Deney Seti

Yukarıdaki deneylerin sonuçları bize kurutma sistemi konusunda yeterli bilgileri vermiştir :

- 1- Kurutma, Hava akımı ile oluşturulmalı,
- 2- Kurutma, sıcak hava ile oluşturulmalı,
- 3- Kurutma havası kısmi buhar basıncı yaprağın yüzeyinde oluşan doymuş buhar basıncından farklı olmalı.

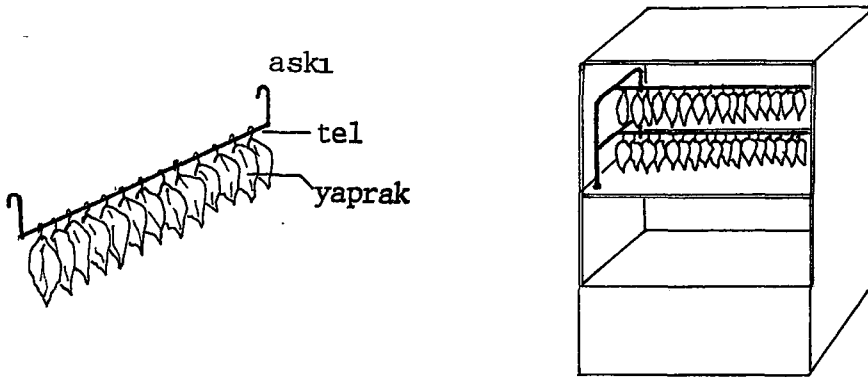
Bu şartlara uyarak, aynı ağaçtan, aynı yönde toplanan yapraklar, ip veya tel'e dizilerek askıya alınıp kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Değişik sıcaklıklarda yapılan kurutmalar sonucunda yaprak yüzeylerinin kanverengine yakın bir renk aldığı görülmüştür ve bu yapraklar kırılıp ufalandığında kokularının zayıfladığı dikkat çekmiştir.

Bazı sebzelere kurutulmadan evvel buhar banyosu uygulanmaktadır.

Buharlama sonucunda sebzelerin renklerinin fazla değişmediği, minerallerin, vitaminlerin vs. ve aromasının korunduğu bilinmektedir. [11]

Defne yaprağına aynı yöntemin uygulanması gereği olduğundan yaprak bir kabin içerisinde doymuş buhar ile 2-3 dakika "Buharlama"ya tabi tutulmuştur. Buharlandıktan sonra kurutulan yaprakların istenen tüm özelliklere sahip olduğu tesbit edilmiştir.



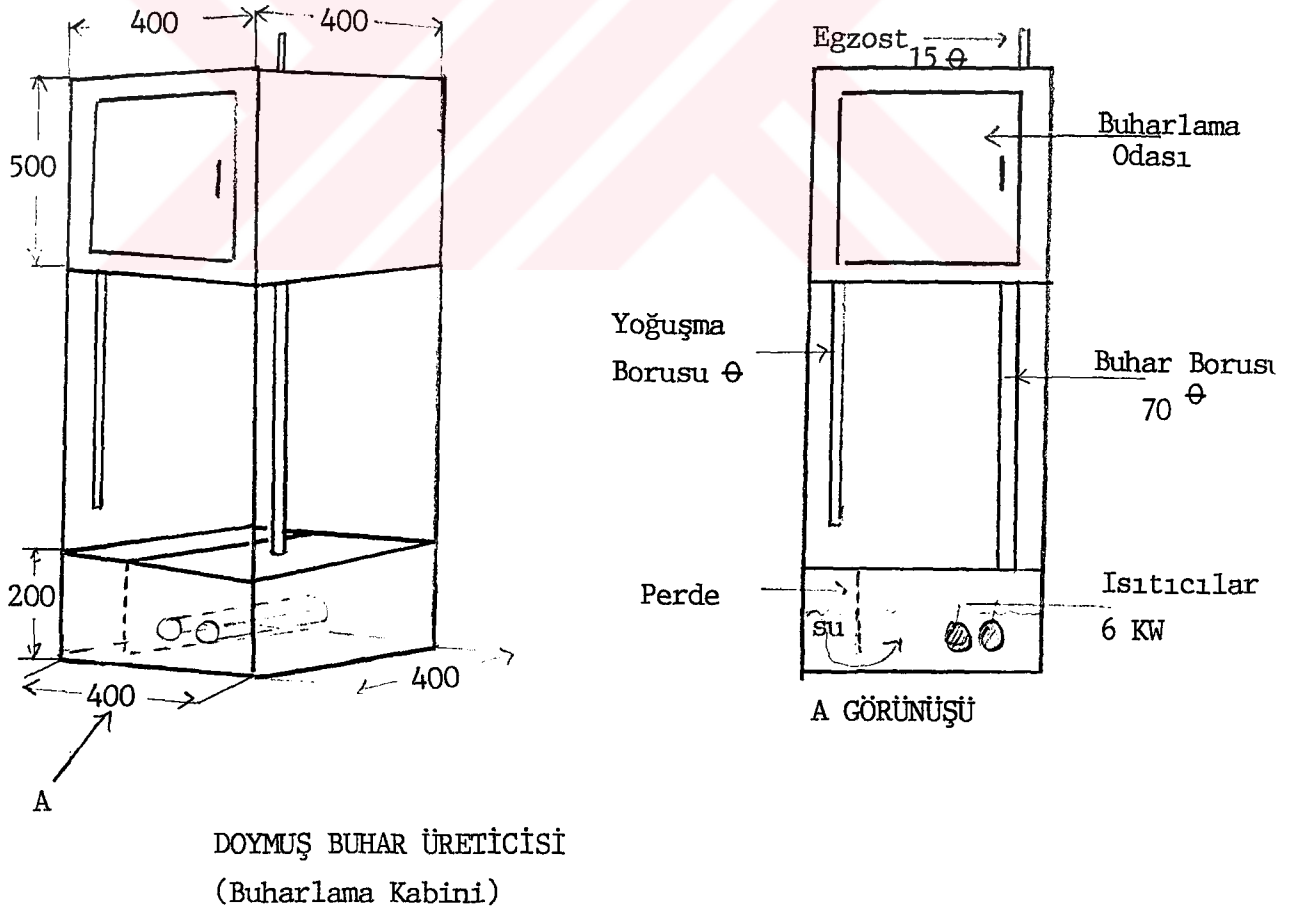
1- Tele veya ipe dizilmiş yapraklar

2- Buharlama

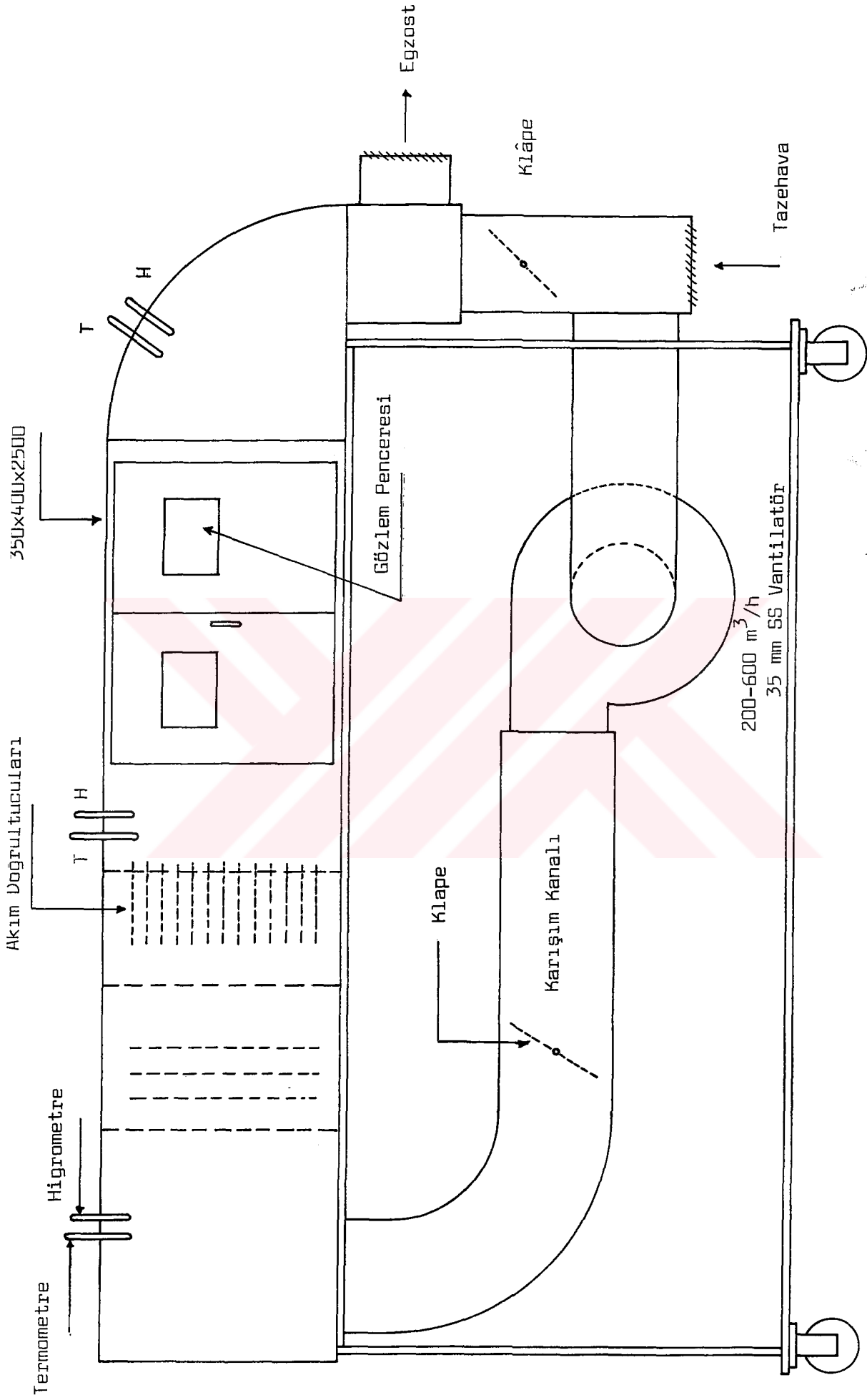
Şekil 2.5

Deney seti Şekil 2.6 ve 2.7'de görüldüğü gibi düzenlenmiştir. Kurutma kabininin kademeli ısıtıcısı 0.5, 1, 1,5 KW ısıtma kapasitelidir. Hava sirkülasyonu $500 \text{ m}^3/\text{h}$ debili bir vantilatör ile sağlanmaktadır. Cam yünü levhalarla izole edilmiştir. Deney setinde hava hızı, sıcaklık nem kontrolleri yapılabilmekte, gereğinde de bunlara müdahale edilebilmektedir.

Doymuş buhar üreten buharlama cihazı 10 dakikada devreye giriyor ve 6 KW gücündedir.



Şekil 2.6



KURUTMA CİHAZI.

Şekil 2.7.

3. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLARI

3.1. Defne Yaprağı Fiziksel Bulguları

Yaprakların değişik bölgelerinden kesilen toplam 10 cm² yaprak parçaları tartılmış, bulunan değer m²/kg olarak dönüştürülmüştür.

Yine bir başka bütün yaprak alınmış 7 cm boyunda 2,5 cm genişliğindeki yaprak milimetrik kağıt üzerine koyularak kapladığı alan tesbit edilmiş, daha sonra tartılan yaprak ile yüzey oranlanmıştır. Sonuçta yaprak yüzeyi ortalama 4,25 m²/kg olarak bulunmuştur.

Bu işlem için 0,0001 gram hassasiyetli elektronik tartı aleti kullanılmıştır. Yaş yapraklar 95°C sıcaklığında bir fırına koyulup 6 saat zaman içersinde kurutulmuş ve kuru kütlesi tesbit edilmiştir.

Kuru Kütle	<u>0,365 kg (Tam Kuru Kütle)</u>
	1 kg (Yaş Kütle)

Bu durumda kuru kütle içersinde koku veren maddeler çoğunlukla kaybolmaktadır.

Yapılan araştırmalarda Defne yaprağının kuru kütlesinin % 15 (max) Flavonoid Compound'ları içerdiği tesbit edilmiştir. Bu oran kurutma süresi ile orantılıdır. Kısa sürede kurutulan yapraklarda % 100 oranına yakın bir değer bulunur. [10], [11]

Ön deneylerde tesbit edildiği üzere 70°C üzerindeki hava ile kurutmaların sonucu yaprak renk değiştirmekte ve kimyasal özelliklerini kaybetmektedir. Bu durumu da görsel olarak tesbit edilmiştir.

T.S.E.'de kuru defne yapraklarının rutubetinin % 8 olması istenir. Bu değer 1 kg kurutulmuş yaprak için 80 gramdır. 1 kg yaş yaprağın kurutulması sonucu, kurutulmuş yaprak kütlesindeki su miktarını şöyle buluruz ;

$\frac{H_2O}{2}$ (son) , H_2O (Son) - Kurutulmuş yaprak içinde
Tam kuru yparak + H_2O (Son) kalan nem miktarı

$$\frac{H_2O}{Kuru Yap.+ H_2O} = 0.08$$

Fırında Tam kurumuş yaprak kütlesi $\frac{0.365 \text{ kg (Kuru)}}{1 \text{ kg (Yaş)}}$

olduğundan;

$$\frac{H_2O \text{ kg}}{0.365 + H_2O \text{ kg}} = 0.08$$

$H_2O \text{ kg} = 0.032 \text{ kg}$ olmalıdır.

Deneyler 30°C ile 70°C arasındaki değerlerde gerçekleştirilmiştir.
Deney sonuçları Tablo 1, 2, 3, 4, 5, 6'da verilmiştir.

GÖRÜLECEĞİ GİBİ HIZLI KURUTMA VE T.S.E.'NİN İSTEDİĞİ NEM MİKTARI
DEĞERLERİNİ SAĞLAYAN İDEAL HAVA SICAKLIĞI 70°C ve BAĞIL NEMİ
% 4'DÜR. KURUTMA 200 DAKİKADA GERÇEKLEŞMEKTEDİR.

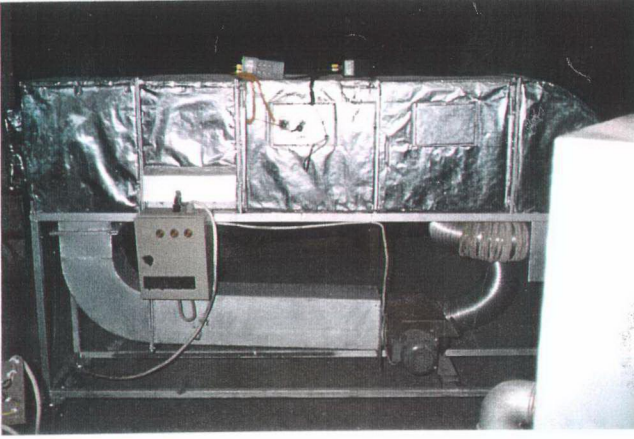
Kurutma işleminde yapraklar ipe dizilirken dikkat edilecek husus
cm'ye yaklaşık 7-8 yaprak olmasıdır. Sıkışık dizilen yaprak demetle-
rinde aradaki bazı yaprakların tam kurumadığı görülmüştür.

Resim 2 ve Resim 3'de bu durum görülmektedir.

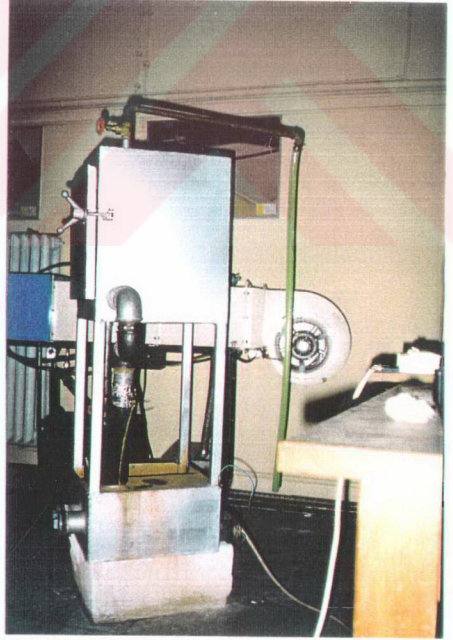
Resim 2. a) 70°C 'te kurutulan yaprak alt ve üst yüzeyleri
(Buharlama yapılmış)

Resim 2. b) Isıtılmış Pleyt üzerinde kurutmada yaprak alt ve üst
yüzeyleri(koyu renk kurumamış bölge)

Resim 2. c) Yaş Yaprak



1-a Kurutma Kabini



1-b Buharlama Kabini



2-a

2-b



2-c

2-d



3-a

3-b

3-c



3-e

3-f

- Resim 2. d) Buharlamadan yapılan kurutmada yaprak alt ve üst yüzeyi
- Resim 3. a) Deney setinde sık dizilerek kurutulan yaprakların arasında kalan tam kurumayan yaprak (koyu leke kurumamış bölge)
- Resim 3. b) Deney setinde tavanın içerisinde kurutulan yaprakların arasında kalan tam kurumamış yaprak (koyu leke kurumamış bölge)
- Resim 3. c) % 40 bağıl nem ve 70°C sıcaklıkta kurutulan yaprakların alt ve üst yüzeyi
- Resim 3. d) Oda şartlarında kurutulan yaprakların alt ve üst yüzeyleri
- Resim 3. e) 85°C sıcaklıkta kurutulan yaprakların alt ve üst yüzeyleri

Kurutma yarı zamanından sonra yaprakların kıvrıldığı gözlenmiştir. Kıvrılmalar yaprağın üst yüzeyine doğru oluşmuştur.

(Ağaçta güneşe bakan yüzey üst yüzeydir). Bu gözlem buharlaşmanın yaprağın alt yüzeyinden oluştuğunu gösterir.

Suyun buharlaştığı yüzey alt yüzeydir ve 1 kg yaprak için 4,25 m² dir. Kurutma süresince her 10 dakikada bir ölçüm yapılmış, yaprağın kaybettiği su miktarı tesbit edilmiştir. Yaprak yüzey sıcaklığı Kane-May marka sıcaklık ölçer elektronik aletin yüzey ölçme proplarıyla gerçekleştirilmiş, ölçümlerde yaprak yüzey sıcaklığının hava sıcaklığından 4°C daha düşük olduğu tesbit edilmiştir. Yüzey ölçümleri, yaprak demetleri deney cihazından çıkarılmadan bir-iki saniye sonra gerçekleştirilmiştir. Ölçüm anında yaprağın sıcaklığının biraz daha düştüğü düşünülürse, yaprak yüzey sıcaklığının hava sıcaklığına çok daha fazla yaklaştığı sonucuna varılır.

3.2. Termodinamik Bulgular

Literatürde sebze ve meyvaların kurutulması konuları incelendiğinde kuramsal hesapların başarı sağladığı nadiren görülmektedir. Bu konuda önemli rol oynayan yüzey ısı transfer katsayısı, Nu, Re ve

P_r sayılarının korelasyonları olduğu görülmektedir.

ASHRAE Handbook fundamentals chapter 31'de bazı sebze ve meyvalarda Nusselt sayısına bağlı olarak yüzey ısı transfer katsayısının bulunabileceğini belirtmiştir. Fakat çoğunlukla sebze ve meyvalar bu bağıntılara uymazlar. Bütün bu olumsuzluklara rağmen kuramsal bulgular deneylerin yapılması gereken ortamları, sistemleri tahmin etmekte isabet sağlarlar. Yine literatürde h_c 'nin (Yüzey ısı transfer katsayısı) kurutma süresince basit geometrilerde dahi sabit olmayan değerlerde bulunduğu vurgulanır.

3.2.1. Deney Setinin Isı İhtiyacı

Deney setinin kabin kısmı yalıtımlı, dış hava girişi ve ekzost kanalları yalıtımsızdır.

3 mm kalınlığında siyah saçtan imal edilmiştir. Yalıtımlı kısım $\sim 2 \text{ m}^2$ yüzeyinde ve ısı kaybı iç sıcaklık 70°C dış sıcaklık 20°C kabul edilerek hesaplandığında 145 W olarak, yalıtımsız kısım ise $\sim 2 \text{ m}^2$ yüzeyinde, aynı şartlarda ısı kaybı 675 W olarak bulunmuştur.

Toplam ısı kaybı $Q_{\text{iletim}} = 675 + 145 = 820 \text{ W}$ olur.

Toplam Hava 500 m^3

Dış hava % 10, 50 m^3

İç hava % 90, 450 m^3 olarak göz önüne alındığında, Dış havanın ısınması için gerekli ısıyı Q_h ile tarif edersek

$$Q_h = (t_i - t_d) \cdot c_p \cdot \frac{V}{3600} \quad \text{olacaktır.}$$

t_i = Kabin havası sıcaklığı (70°C)

t_d = Dış ortam sıcaklığı (20°C)

c_p = Nemli hava özgül ısısı ($1025 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$)

V = Nemli hava hacmi (50 m^3)

ρ = Nemli hava yoğunluğu ($1,190 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, 20°C ve $\psi = 0,52$ de)

$$Q_h = (70-20) \cdot 1025 \cdot \frac{50.1,190}{3600}$$

$$Q_h = 847 \text{ W}$$

Kabin havasının ortalama 70°C olabilmesi için toplam

$$Q = Q_h + Q_{\text{iletim}}$$

$$Q = 847 + 820 = 1667 \text{ W bulunur.}$$

3.2.2. Yalnız Yaprığın Kuruması İçin Gerekli Isı

Deney kabininde değişik şartlarda yapılan deneylerin sonucunda, yaprağın kuruması için gerekli ısının tesbiti ve termodinamik bağıntıların kontrolü amacıyla kabinin aldığı max 250 gram yaprak iplere dizilerek yeniden kurutulmuştur. Kurutma zamanı 200 dakikadır.

Kurutma işlemi esnasında alınan değerler teorik bağıntılarla kontrol edilerek aşağıda verilen bulgular elde edilmiştir.

Standart kuruluğu elde edebilmek için, yaş yaprağın 1 kg kütleğinde 0,603 kg su buharlaştırılmaktadır. Deney setinde 0,250 kg yaprak kurutulduğuna göre yaprağın bu kuruluğa erişebilmesi için gerekli ısıtıcı gücü olarak tarif edilirse (Hava sıcaklığı 70°C ve Bağıl nem % 4)

$$Q_y = m_b \cdot r_y + m_y \cdot c_y \cdot t$$

$$m_b = \text{Buharlaşan su kütlesi} \frac{0,150}{200 \times 60} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (200 \text{ dakikada})$$

$$m_y = \text{Kurutulan yaprağın yaş kütlesi} \quad 0,250 \text{ kg}$$

$$c_y = \text{Yaş yaprağın özgül ısısı} \quad 3,26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$(c_y = 1,67 + 0,0251 (\% \text{ su}) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}})$$

Bağıntıdaki % su kütlenin içersindeki su yüzdesidir.

$$c_y = 1,67 + 0,0251 \times 63,5$$

$$c_y = 3,26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$t_{ya} = \text{Yaprağın son sıcaklığı } 66^\circ\text{C} \quad (\text{Deney esnasında ölçüldü})$$

$$t_{oy} = \text{Yaprağın ilk sıcaklığı } 20^\circ\text{C} \quad (\text{kabul})$$

$$t = (t_{ya} - t_{oy}) = 46^\circ\text{C}$$

$$r_y = \text{Yüzey sıcaklığında buharlaşma gizli ısı } 2346 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_y = \frac{0,150 \cdot 2346}{200.60} + \frac{0,250 \cdot 3,26 \cdot 46}{200.60} \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$Q_y = 32,4 \text{ W}$$

Bu değer 0,250 kg yaş yaprağın 200 dakikada % 8 rutubetli olabilmesi için gerekli ısıtıcı gücü olarak görülmektedir.

0,250 kg yaprağın % 8 rutubetli olabilmesi için ise toplam olarak ;

$$32,4 \cdot \frac{200}{60} = 108 \text{ W} \quad \text{ısı alması gerekir.}$$

Halbuki ilk on dakikada buharlaşma max düzeydedir (Tablo 1-6).

Kabin ısıtıcısının gücünü belirlerken bu durumu gözönüne almak gerekir.

Yine yalnız 0,250 kg yaş yaprak için ilk on dakikada gerekli ısıtıcı gücü Q_{ilk} olarak tarif ederek,

$$Q_{ilk} = m_b \cdot r_y + m_y \cdot c_y \cdot (t_{ya} - t_{oy})$$

$$m_y = 0,250 \text{ kg}$$

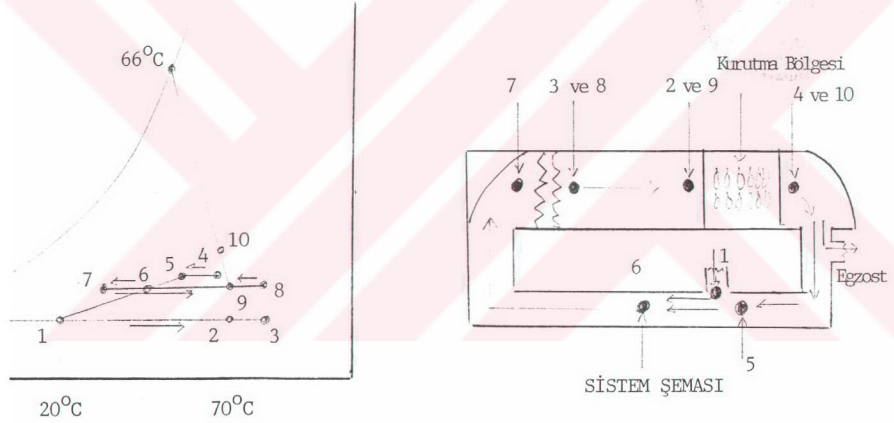
$$m_b = \frac{21,75 \cdot 10^{-3}}{10.60} \quad (\text{Tablo-1})$$

$$Q_{ilk} = \frac{21,75 \cdot 10^{-3} \cdot 2346}{10.60} + \frac{250 \cdot 10^{-3} \cdot 3,26 \cdot 46}{10.60} \text{ kw}$$

$$Q_{ilk} = 147,5 \text{ W}$$

İlk on dakikada 0,250 kg yaprak için gerekli ısıtıcı gücü 147,5 W'dir.

İlk on dakikada 0,250 kg yaprak için gerekli ısı miktarı ise 24,6 W'dır.



- Ortam havası (20°C, % 52 ψ) 2,8 Kurutmaya giren hava (70°C, % 4 ψ)
- 3: İlk ısıtma, 3-2: Isıtma bölgesindeki ısı kaybı, 2-4: Kurutma hava-
- sının nem alması, 4-5: Dönüş kanalında soğuma, 6: İç ve dış hava karışımı,
- 7: Karışım havasının soğuması, 7-8: Isıtma, 8-9: Kabinde ısı kaybı,
- 10: Kurutma havasının nem alması

Kurutma Prosesinin Psikrometrisi ve Sistem Şeması.

Öte yandan buharlaşan su miktarı m_b ;

$$m_b = A \cdot \frac{k_t}{R_b T} \cdot (P_{by} - P_{bh}) \quad (1.27) \text{ den}$$

P_{by} = Yüzey sıcaklığında su buharı kısmi basıncı

P_{bh} = 70°C hava içerisindeki su buharı kısmi basıncı

$$m_b = 4,25 \times 0,250 \times \frac{k_t}{462 \times 339} \times (26153 - 1227)$$

$$m_b = \frac{0,150}{200 \times 60} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad m_b = 1,25 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (0,250 \text{ kg Yaş Yaprak için})$$

Kütle transfer katsayısı

$$k_t = \frac{1,25 \times 10^{-5}}{0,169} = 7,40 \times 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bulunur.}$$

$$Q = A \cdot h_c \cdot (t_h - t_y) = m_b \cdot r_y = A \cdot \frac{k_t}{R_b \cdot t} \cdot (P_{by} - P_{bh}) \cdot r_y \quad (1.28)$$

t_h = 70°C sıcak hava

t_y = 66°C yaprak yüzey sıcaklığı

h_c = Yüzey ısı transfer katsayısı $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$

A = Yaprak yüzeyi

Kurutma süresince h_c ortalama, $m_b \cdot r_y = A \cdot h_c \cdot (t_h - t_y)$ den

$$\frac{0,150}{200 \times 60} \times 2346 = 4,25 \cdot h_c \cdot 4 \times 0,250$$

$$h_c = 6,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \text{ çıkar.}$$

N_u sayısı hesaplanıp h_c kontrol edilirse ;

$$N_u = \frac{h_c \cdot L}{\lambda} \quad \begin{array}{l} L = \text{Yaprak boyu} \\ \lambda = \text{Havanın ısı iletkenliği} \end{array}$$

$$Re = \frac{\bar{V} \cdot L}{\nu} \quad \begin{array}{l} \bar{V} = \text{Hava hızı} \quad L = 0,07 \text{ metre yaprak boyu} \\ \nu = 20,9 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad (70^\circ C \text{ havanın kinematik} \\ \text{viskozitesi}) \\ \lambda = 0,029 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \quad V = 1 \frac{m}{s} \end{array}$$

$$Re = \frac{1,0,07}{20,9 \cdot 10^{-6}} \quad Re = 3350 \quad (\text{Laminer Akım})$$

Bu şartlarda, $N_u = 0,664 \cdot Re^{0,5} \times P_r^{0,33}$

$$P_r = 0,708 \quad (70^\circ C \text{ şartlarında})$$

$$N_u = 0,664 \cdot (3350)^{0,5} \cdot (0,708)^{0,33}$$

$$N_u = 34,3$$

$$h_c = \frac{N_u \cdot \lambda}{L} \quad h_c = 14 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Isı dengesi hesaplarından anlaşıldığına göre Nusselt değeri ile bulunan h_c değeri ve buharlaşma ısı dengesi yoluyla bulunan h_c değeri arasında farklılık oluşmaktadır.

Hesaplanan ısı miktarı ve güçleri, Kurutma kabinlerinin düzenlenmesinde ilk dakikalardaki nem kaybının max düzeyde olması dolayısıyla, kabin ısıtıcılarının güç tesbitinde dikkatli olmak gerekir.

Ayrıca iyi bir izolasyon, minimum dış hava karışımı da ısıtıcı gücü tesbitinde önemli rol oynar.

3.2.3. Deney Verileriyle Termodinamik Bağlantılar Karşılaştırılarak Buharlaştırmanın Kontrolü

Deney sonucunda 0,250 kg yaş yaprak için buharlaşan suyun miktarı 0,150 kg idi. Bu miktarı, Sherwood, Schmidt ve Reynolds bağlantılarını ve diğer verileri uygulayarak kütle transferi yönünden inceleyerek karşılaştıralım.

$$N_b = k_t \cdot \frac{P}{R_b \cdot T} \cdot (X_y - X_h)$$

$$S_h = \frac{k_t \cdot L}{D_{bh}}$$

$$S_c = \frac{\nu}{D_{bh}}$$

$$S_h = 0,664 \text{ Re}^{0.5} \cdot S_c^{1/3}$$

$$N_b = \text{Transfer edilen buhar miktarı} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}}$$

$$k_t = \text{Kütle transfer katsayısı} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_{bh} = \text{Su buharı hava karışımının difüzyon katsayısı} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$P = \text{Atmosferik basınç} \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$L = \text{Yaprak boyu, m}$$

$$X_y = \text{Yaprak yüzey filmindeki su buharı kütlesi} \quad \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$X_h = \text{Yaprak yüzeyinden akan havanın içerdiği su buharı kütlesi} \quad \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$\nu = \text{Kinematik viskozite} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

S_h = Sherwood sayısı

S_c = Schmidt sayısı

R_e = Reynolds sayısı

$$R_b = \frac{8314}{18} \cdot \frac{J}{kg^{OK}} \quad (\text{su buharı gaz sabiti})$$

$$P = 101325 \frac{N}{m^2} \quad (\text{Hava toplam basıncı})$$

$$X_y = 0,622 \cdot \frac{P_{db}}{P - P_{bd}} \quad (P_{bd}, 66^{\circ}C \text{ şartlarında doymuş su buharı basıncı})$$

$$X_y = 0,622 \frac{26153}{101325 - 26153}$$

$$X_y = 0,2163 \frac{kg}{kg}$$

$$X_h = 0,622 \cdot \frac{1227}{101325 - 1227} \quad (P_s, 70^{\circ}C \text{ \% 4 Bağılnem şartlarında su buharı basıncı})$$

$$X_h = 0,0076 \frac{kg}{kg}$$

$$S_c = \frac{\nu}{D_{bh}} \quad D_{bh} = \frac{22,6 \cdot 10^{-6}}{P} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1,81} \quad (1.50'den)$$

$$D_{bh} = \frac{22,6 \cdot 10^{-6}}{1,01325} \cdot \left(\frac{70+273}{273} \right)^{1,81}$$

$$D_{bh} = 3,370 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$v = 20,9 \cdot 10^{-6} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L = 0,07 \text{ m}$$

$$S_c = \frac{20,9 \times 10^{-6}}{3,370 \times 10^{-5}} = 0,620$$

$$R_e = \frac{\bar{V} \cdot L}{v} \quad \bar{V} = 1 \text{ m/s} \quad \text{Hava hızı}$$

$$R_e = \frac{1 \cdot 0,07}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 3350$$

$$S_h = 0,664 \cdot (3350)^{0,5} \cdot (0,620)^{1/3}$$

$$S_h = 33$$

$$k_t = \frac{D_{bh} \cdot S_h}{L}$$

$$k_t = \frac{3,370 \cdot 10^{-5} \cdot 33}{0,07}$$

$$k_t = 0,0159 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N_b = 0,0159 \cdot \frac{101325}{\frac{8314}{18} \cdot 343} \cdot (0,2040 - 0,0076) \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

$$N_b = 1,998 \cdot 10^{-3} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

Deney sırasında bulunan değerler ;

$$m_b = \frac{0,150 \text{ kg}}{12000 \text{ s} \cdot \frac{4,25}{4}} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$m_b = 1,176 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \quad \text{idi. Yine ısı transferinde olduğu gibi}$$

kitle transferinde de teorik bağıntılar kesin sonuca götürmemektedir.

3.2.4. Kurutma Zamanı

Teklif edilen termodinamik bağıntıların defne yaprağına uygulama ola-nağı bulunamadı. Yaprığın nem kaybı incelenirse (Tablo 1-6) buradan sabit kurutma zamanı, azalan kurutma zamanı sınırlarını ayırmanın dahi zor olduğu anlaşılr.

Deney sonuçlarının değerleriyle matematik bir bağıntı bulunarak Nem-Zaman ilişkisi kurulmuştur. Elde ettiğimiz bağıntılar her sıcaklık için % 99-% 92 hassasiyetindedir.

Sayfa 73'de değişik sıcaklıklardaki Nem-Zaman ilişkisinin tekil model-leri ve Kurutma genel modeli verilmiştir.

Genel model ise, istenilen sıcaklık ve zaman sonunda, kurutma işlemi uygulanan 1 kg yaş yaprağın içersinde kalan su miktarını hesaplayabi-liriz.

Sayfa 74 'de kurutma hızı ve zaman grafiği, Sayfa 75, 76 'daki gra-fikler 1 kg yaprak içindeki suyun, değişik sıcaklıklarda kurutma zamanı-na göre değişimini göstermektedir.

Deneyler sonunda elde edilen değerlerle GRAPHER veri analiz programı kullanılarak Grafik çizimi yapılmış ve eğrilerin denklemleri çıkarıl-mıştır.

3.2.5. Deneylerde Kullanılan Ölçme Cihazları

Sıcaklık ve Bağıl nem ölçme cihazı

Kane-may marka, km 80004 model

Sıcaklık sınırı : $0^{\circ}\text{C} \div 70^{\circ}\text{C}$

Sıcaklık ölçme hatası : $\pm \% 0.7^{\circ}\text{C}$

Bağıl nem ölçme sınırları : $\% 2 \div \% 98$

Bağıl nem ölçme hatası : $\pm \% 2$

Sıcaklık ve hız ölçme cihazı

Kane-may marka, km 4003 model

Sıcaklık sınırı : $- 30^{\circ}\text{C} \div 200^{\circ}\text{C}$

Hız ölçme sınırı : $0 \div 30$

Sıcaklık ölçme hatası : $\pm \% 1^{\circ}\text{C}$

Hız ölçme hatası : $\pm \% 3$

Ağırlık ölçme cihazı

Sartorius marka, BA 210 S model

Ölçme sınırı : $0.0001 - 210.0000 \text{ g}$

Ölçme hatası : $\pm 0.0001 \text{ g}$

TABLO - 1

Hava Sıcaklığı : 70°C

Hava Bağıl Nemi % 4

Hava Hızı: 1 m/s

Yaprak Kütlesi: 125 gr.

Zaman Dakika	Yaş Kütle gram	Nem Kaybı gram	1 kg yaş Kütledeki Nem gram	1 kg yaş Kütledeki Nem kaybı gr	1000 gr yaş Yaprığın 1 dakikadaki Nem Kaybı
0	125.00		635		$\frac{dx}{dt}$ gr dak.
10	114.13	10.87	548	87	8.70
20	104.75	9.38	473	75	7.50
30	96.00	8.75	403	70	7.00
40	88.50	7.50	343	60	6.00
50	81.00	7.50	283	60	6.00
60	74.50	6.50	231	52	5.20
70	69.12	5.38	188	43	4.30
80	65.12	4.00	156	32	3.20
90	61.37	3.75	126	30	3.00
100	58.62	2.75	104	22	2.20
120	55.49	3.13	79	25	1.25
140	53.61	1.88	64	15	0.75
170	51.11	2.50	44	20	0.67
200	49.86	1.25	34	10	0.33
240	48.48	1.38	23	11	0.27
270	47.23	1.25	13	10	0.25
300	46.6	0.63	9	4	0.20

Deney cihazında yaprağın, iplere dizilerek yapılan kurutma deneyi verileri.

TABLO - 2

Hava Sıcaklığı : 65 °C Hava Bağıl Nemi % 5
Hava Hızı: 1 m/s Yaprak Kütlesi: 98 gr.

Zaman Dakika	Yaş Kütle gram	Nem Kaybı gram	1 kg yaş Kütledeki Nem gram	1 kg yaş Kütledeki Nem kaybı gr	1000 gr yaş Yaprığın 1 dakikadaki Nem Kaybı
0	98.45		635		$\frac{dx}{dt}$ gr dak.
10	90.28	8.17	552	83	8.3
20	83.38	6.89	482	70	7.0
30	76.98	6.40	417	65	6.5
40	71.07	5.91	357	60	6.0
50	65.26	5.81	298	59	5.9
60	60.14	5.12	246	52	5.2
70	56.10	4.04	205	41	4.1
80	53.05	2.95	175	30	3.0
90	50.29	2.76	147	28	2.8
100	48.12	2.17	125	22	2.2
120	45.66	2.46	100	25	1.25
140	43.79	1.87	80	20	1.00
170	41.82	1.97	61	19	0.63
200	40.93	0.89	52	9	0.30
240	40.63	0.30	49	3	0.08
280	39.65	0.98	39	10	0.50
300	39.16	0.49	34	5	0.25

Deney cihazında yaprağın, iplere dizilerek yapılan kurutma deneyi verileri.

TABLO - 3

Hava Sıcaklığı : 60°C

Hava Bağıl Nemi % 7

Hava Hızı : 1 m/s

Yaprak Kütlesi: 112,86 kg

Zaman Dakika	Yaş Kütle gram	Nem Kaybı gram	1 kg yaş Kütledeki Nem gram	1 kg yaş Kütledeki Nem kaybı gr	1000 gr yaş Yaprığın 1 dakikadaki Nem Kaybı $\frac{dx}{dt}$ gr dak.
0	112.86		635		
10	107.33	5.53	586	49	4.90
20	102.14	5.19	540	46	4.60
30	96.95	5.19	494	46	4.60
40	91.87	5.08	449	45	4.50
50	87.13	4.74	407	42	4.20
60	82.62	4.51	367	40	4.00
70	78.11	4.51	327	40	4.00
80	74.72	3.39	297	30	3.00
90	71.33	3.39	267	30	3.00
100	69.07	2.26	247	20	2.00
120	64.56	4.51	207	40	2.00
140	61.17	3.39	177	30	1.50
170	56.66	4.51	137	40	1.33
200	54.40	2.26	117	20	6.67
240	53.16	1.24	106	11	0.28
280	52.48	0.68	100	6	0.15
300	51.80	0.68	94	6	0.30

Deney cihazında yaprağın, iplere dizilerek yapılan kurutma deneyi verileri.

TABLO - 4

Hava Sıcaklığı : 55°C Hava Bağıl Nemi: % 8
Hava Hızı: 1 m/s Yaprak Kütlesi: 106,52 gr

Zaman Dakika	Yaş Kütle gram	Nem Kaybı gram	1 kg yaş Kütledeki Nem gram	1 kg yaş Kütledeki Nem kaybı gr	1000 gr yaş Yaprığın 1 dakikadaki Nem Kaybı
0	106.52		635		$\frac{dx}{dt}$ gr dak.
10	103.22	3.20	605	30	3.00
20	100.55	2.77	579	26	2.60
30	98.85	1.70	563	16	1.60
40	96.19	2.66	538	25	2.50
50	93.53	2.66	513	25	2.50
60	91.19	2.34	491	22	2.20
70	88.85	2.34	469	22	2.20
80	86.51	2.34	447	22	2.20
90	84.59	1.92	429	18	1.80
100	82.78	1.81	412	17	1.70
120	79.37	3.41	380	32	1.60
140	76.71	2.66	355	25	1.25
170	72.66	4.05	317	38	1.26
200	68.93	3.73	282	35	1.17
240	64.67	4.26	242	40	1.00
280	63.07	1.60	227	15	0.37
300	62.32	0.75	220	7	0.35

Deney cihazında yaprağın, iplere dizilerek yapılan kurutma deneyi verileri.

TABLO - 5

Hava Sıcaklığı : 45 °C Hava Bağıl Nemi: % 12
Hava Hızı: 1 m/s Yaprak Kütlesi: 82,50 gr

Zaman Dakika	Yaş Kütle gram	Nem Kaybı gram	1 kg yaş Kütledeki Nem gram	1 kg yaş Kütledeki Nem kaybı gr	1000 gr yaş Yaprığın 1 dakikadaki Nem Kaybı $\frac{dx}{dt}$ gr dak.
0	82.50		635		
10	80.85	1.65	615	20	2.00
20	79.20	1.65	595	20	2.00
30	77.55	1.65	575	20	2.00
40	75.90	1.65	555	20	2.00
50	74.50	1.40	538	17	1.70
60	73.02	1.48	520	18	1.80
70	71.62	1.40	503	17	1.70
80	70.63	0.99	491	12	1.20
90	69.81	0.82	481	10	1.00
100	68.90	0.91	470	11	1.10
120	67.08	1.82	448	22	1.10
140	65.02	2.06	423	25	1.25
170	62.38	2.64	391	32	1.06
200	60.56	1.82	369	22	0.73
240	57.92	2.64	337	32	0.80
280	56.27	1.65	317	20	0.50
300	55.28	0.99	305	12	0.60

Deney cihazında yaprağın, iplere dizilerek yapılan kurutma deneyi verileri.

TABLO - 6

Hava Sıcaklığı : 30°C

Hava Bağıl Nemi: % 30

Hava Hızı: 1 m/s

Yaprak Kütlesi: 103,22 gr

Zaman Dakika	Yaş Kütle gram	Nem Kaybı gram	1 kg yaş Kütledeki Nem gram	1 kg yaş Kütledeki Nem kaybı gr	1000 gr yaş Yaprığın 1 dakikadaki Nem Kaybı $\frac{dx}{dt}$ gr dak.
0	103.22		635		
10	102.70	0.52	630	5	0.50
20	102.18	0.52	625	5	0.50
30	101.66	0.52	620	5	0.50
40	101.14	0.52	615	5	0.50
50	100.73	0.41	611	4	0.40
60	100.32	0.41	607	4	0.40
70	99.91	0.41	603	4	0.40
80	99.60	0.31	600	3	0.30
90	99.29	0.31	597	3	0.30
100	98.98	0.31	594	3	0.30
120	98.46	0.52	589	5	0.25
140	97.94	0.52	584	5	0.25
170	97.11	0.83	576	8	0.26
200	96.59	0.52	571	5	0.17
240	95.97	0.62	565	6	0.15
280	95.35	0.62	559	6	0.15
300	94.73	0.62	553	6	0.30

Deney cihazında yaprağın, iplere dizilerek yapılan kurutma deneyi verileri.

Grafik - 1

Kurutma hızı-zaman deneysel verileriyle hazırlanmıştır. Apsiste dakika olarak kurutma zamanı ordinatta dakikalık kurutma periyotlarında dakikadaki su kaybı (1 kg yaş yaprak içerisindeki su miktarı baz alınarak) gösterilmektedir.

Grafik - 2

1 kg yaş yaprak içerisindeki suyun 10'ar dakika aralıklarla yapılmış olan ölçüm sonucu kalan kütle miktarının zamanla değişimini ve bu değişimin oluşturulan denklem aracılığı ile çizilmiş eğrilerini göstermektedir.

Grafik - 3

Deney sıcaklıkları için hazırlanan denklemlerin birleştirilmiş bir şekli olan Genel model ile gerçekleştirilen eğrileri göstermektedir.

3.3. Kurutma Modeli

Tablo 1 - Tablo 6 deney değerlerinden zaman ve 1 kg yaş kütledeki su miktarının değişimi baz alınarak her deney sıcaklığı için Nem-Zaman denklemleri ve grafikleri oluşturulmuştur.

Bilgisayar programıyla gerçekleştirilen denklemler, ortak katsayı bulunarak genel denkleme dönüştürülmüştür.

Genel denkleme, istenilen sıcaklıkta istenilen zaman süresinde yapılacak defne yaprağı kurutma prosesinde

$\frac{\text{kg su}}{\text{kg Yaş Yaprak}}$, miktarı bulunabilmektedir.

Belirli bir süre içerisindeki kaybedilen su miktarı ise ;

$635 \times 10^{-3} \text{ kg} - \frac{\text{kg su}}{\text{kg Yaş Yaprak}}$ olarak hesaplanacaktır.

$$\frac{\text{kg su.}10^3}{\text{kg Yaş Yaprak}} = Y \quad \text{Zaman} = \tau \text{ (dakika)}$$

$$Y_{70^{\circ}\text{C}} = 543,177 \cdot \text{EXP}(-0,0140627 \cdot \tau) \quad (\text{Hava Bağıl Nemi } 0,04)$$

$$Y_{65^{\circ}\text{C}} = 461.541 \cdot \text{EXP}(-0,009637 \cdot \tau) \quad (\text{Hava Bağıl Nemi } 0,05)$$

$$Y_{60^{\circ}\text{C}} = 548.917 \cdot \text{EXP}(-0,0068088 \cdot \tau) \quad (\text{Hava Bağıl Nemi } 0,07)$$

$$Y_{55^{\circ}\text{C}} = 612,215 \cdot \text{EXP}(-0,00360 \cdot \tau) \quad (\text{Hava Bağıl Nemi } 0,08)$$

$$Y_{45^{\circ}\text{C}} = 610,232 \cdot \text{EXP}(-0,002447 \cdot \tau) \quad (\text{Hava Bağıl Nemi } 0,12)$$

$$Y_{30^{\circ}\text{C}} = 632.083 \cdot \text{EXP}(-0,0004622 \cdot \tau) \quad (\text{Hava Bağıl Nemi } 0,30)$$

$$Y_{70^{\circ}\text{C}} = \% 98.12 \quad \text{Doğruluktadır.}$$

$$Y_{65^{\circ}\text{C}} = \% 92.6 \quad \text{Doğruluktadır.}$$

$$Y_{60^{\circ}\text{C}} = \% 95 \quad \text{Doğruluktadır.}$$

$$Y_{55^{\circ}\text{C}} = \% 99 \quad \text{Doğruluktadır.}$$

$$Y_{45^{\circ}\text{C}} = \% 99 \quad \text{Doğruluktadır.}$$

$$Y_{30^{\circ}\text{C}} = \% 97 \quad \text{Doğruluktadır.}$$

GENEL DENKLEM :

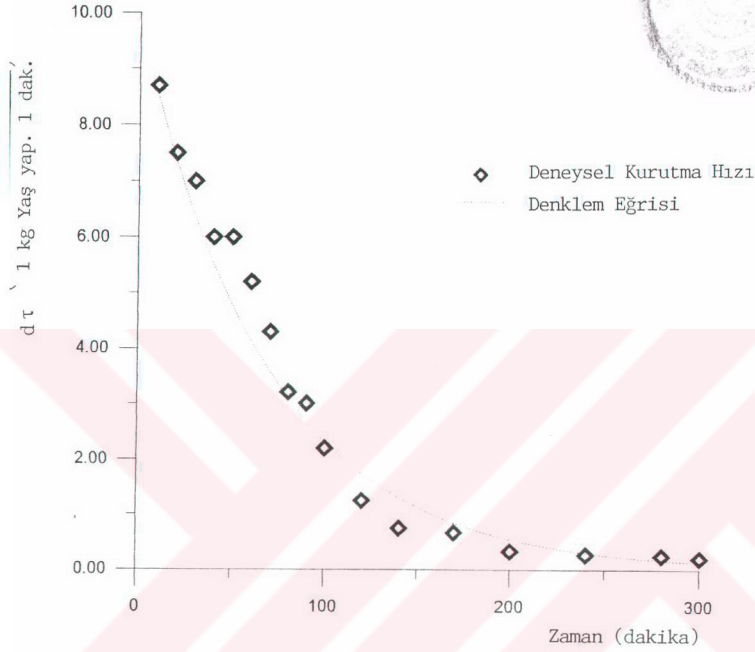
$$\text{Genel denkleme } Y = \frac{\text{kg su.}10^3}{\text{kg Yaş Yaprak}}$$

t = Kurutma sıcaklığı

τ = Zaman (Dakika)

$$Y = \tau \cdot (715,21 - 2,4546 \tau) \cdot \text{EXP}(-0,014912 + 0,0008124 \tau - 0,000011352 \tau^2)$$

Deney değerleri ve model denklemlerle bilgisayarda hazırlanmış grafiklerden de Nem-Sıcaklık-Kurutma Zamanı ilişkileri tesbit edilebilir.

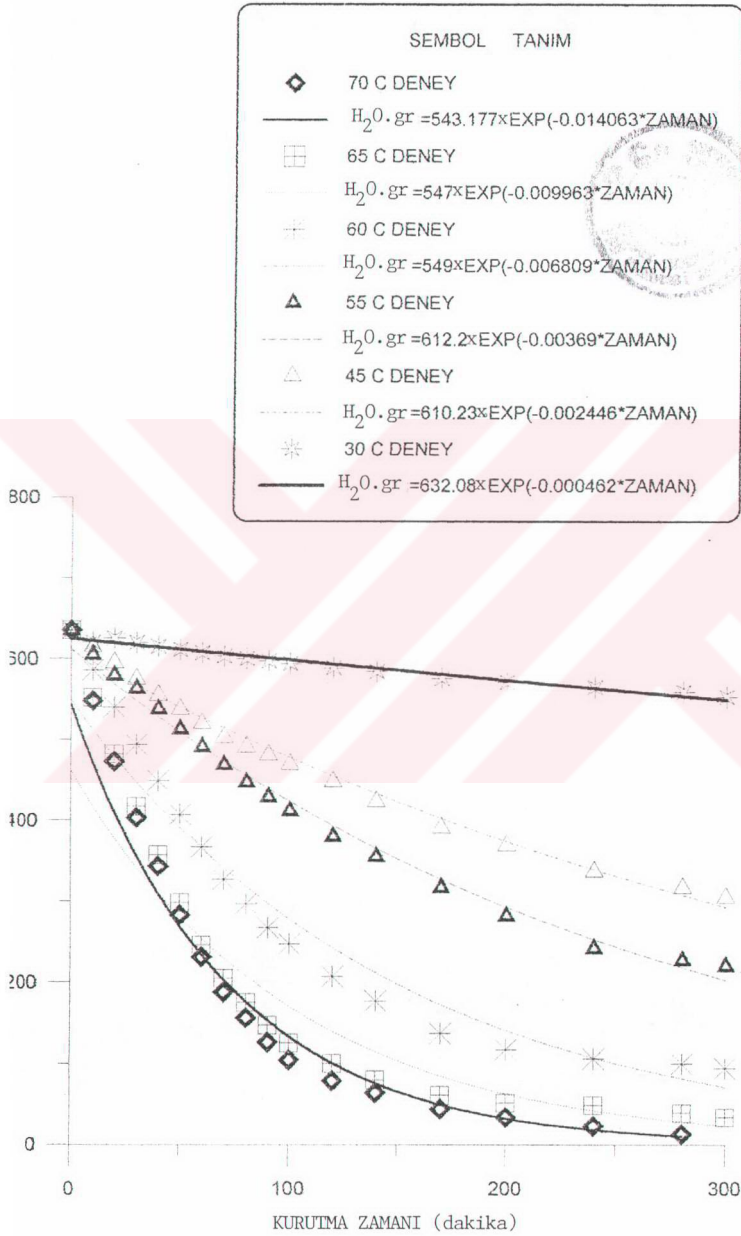


Tablo-1 değerleriyle bilgisayarda düzenlenen kurutma hızı denklemi çıkarılmıştır.

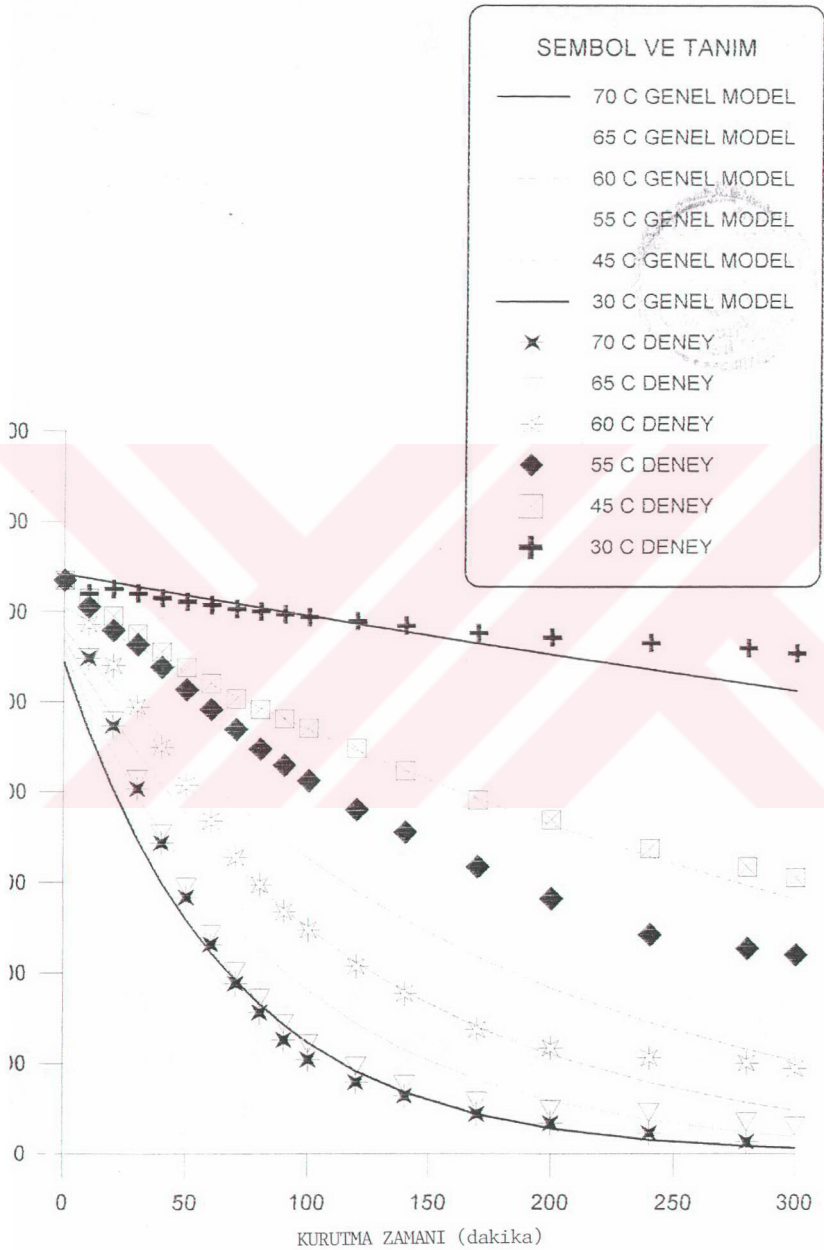
70°C'ta kurutma hızı denklemi ;

$$\frac{dx}{d\tau} = 9,86 \cdot \exp(-0,0144585 \cdot \tau) \text{ 'dır.}$$

GRAFİK-1



GRAFİK-2



GRAFİK-3

SONUÇ

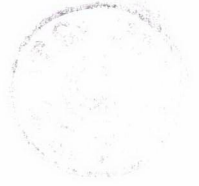
Sebzelerin kurutulmasında genel bir modelleme yapılamamaktadır. Genel olarak sebzelerin Fiziksel ve Kimyasal yapıları birbirinden farklı olduğundan deneysel verilerde her ürün için ayrı değerlerdedir.

Bir sebzenin kurutulmasında modellemeye gitmek için deneysel verilere gerek duyulur. Bu verilerden faydalanılarak Literatürde geliştirilmiş ifadeler yardımıyla Nem-Sıcaklık-Zaman ilişkileri çıkarılıp modelleme yapılabilir.

Defne yaprağı hızlı kurutulması araştırmalarında da bu yöntem uygulanarak Nem-Sıcaklık-Zaman modellemesi yapılmış ve Genel Kurutma denklemi çıkarılmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

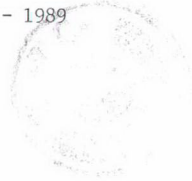
- 1940- : Doğum Tarihi
- 1946-1951 : İlkokul Tahsili
- 1951-1957 : Orta (Lise) Tahsili
- 1962-1969 : Yıldız Teknik Okulu Tahsili
- 1969-1981 : Özel Sektörde Çalışma
- 1981- : Yıldız Üniversitesi'ne Uzman Olarak Giriş
- 1983-1985 : Lisansüstü Eğitimi
- 1985-1986 : Doktora Eğitimi
- 1991- : Öğretim Görevliliği
- (Halen bu görevde bulunmaktayım).



KAYNAKLAR

- [1] Asbrae Handbook Fundamentals Volume - 1993
- [2] Ashrae Handbook Application Volume - 1991
- [3] Ashrae Handbook Huac Systems and Equipment Volume - 1992
- [4] Arun S.Mujumdar, Handbook of Industrial Drying Marcel Dekker Inc. New York - 1987
- [5] W.P. Jones Air Conditioning Engineering London - 1973
- [6] Air Conditioning Refrigerating Data Book Design Volume Eight Edition. The American Society of Refrigerating Engineers. New York - 1953
- [7] John H.Perry Chemical Engineers Handbook - 1950
- [8] Kneule F. Das Trocknen, Verlag Sauerlander Aarau und Frankfurt am Main - 1975
- [9] Özerengin, Faruk, Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı Klima Tekniği Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi
- [10] Norman W.Desrosier Ph.D. The Technology of Food Preservation, Purdue University Indiana - 1959
- [11] Harry W.Von Loesecke Drying and Dehydration of Foods New York - 1953
- [12] T.S. 1017
- [13] T.S. 5205
- [14] T.S. 2134
- [15] Jutta Knackstedt und Karl Herrmann, Fyavonolglykoside der Lorbeerblätter und der Sternanisfrüchte, Z.Lebensm Unters Forsch (1981) 173: 288-290
- [16] Frank P.Incropera, David P.Dewitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, New York, 1985.

- [17] Wilson A.D. in Drying Principles and Practice in the Process Industries P.107 Caxton Press Christchurch - 1966
- [18] Salamon M., Continuous Moisture Content Determination During Kiln Drying can Dept. forestry Fbl. 1091 Ottawa - 1964
- [19] Evranus Ö. Çataltay İ. Gıda İşletme Mühendisliği - 1989



EK - I

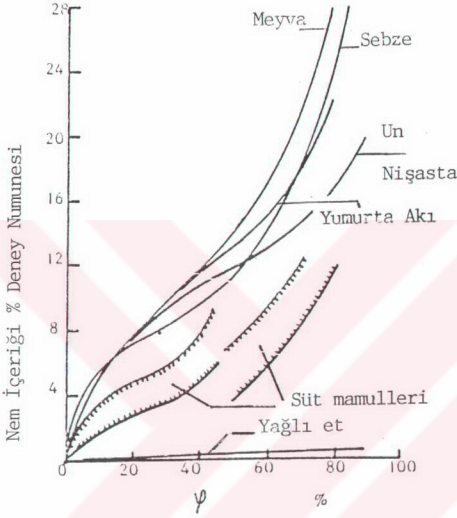
Defne Yaprağının Sorpsiyon İzotermi :

Bazı maddeler nemli hava ile temas neticesinde havadaki su buharını absorbe ederler. Bu maddelerden faydalanarak belirli sıcaklıkta belirli bağıl nemde hava elde edilebilir.
(Örneğin: Kalsiyum Klorür, Sülfirik asit, Fosforpentoksit, Sodyum di Koromat gibi maddeler'in değişik konsantrasyonları).

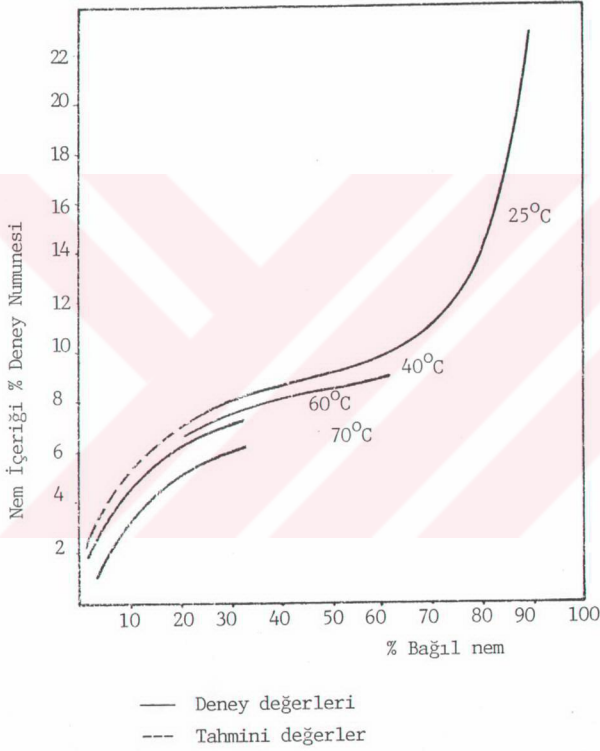
Belirli bir sıcaklıktaki malzemenin nem içeriği ile malzeme üzerindeki subuharı-gaz karışımının bağıl nemi arasındaki ilişkiyi gösteren eğrinin (sorpsiyon izotermi) elde edilmesi yukarıda bahsedilen maddelerin özelliklerinden faydalanılarak gerçekleştirilir. Bir başka yöntem belirli sıcaklıkta belirli bağıl nemde havanın katı madde üzerinden geçirilmesidir. Her iki yöntemde de katı madde içersindeki sıvı buharlaşarak maddeden ayrılır. Neticede buharlaşma yetersiz olur ve ufak gözenekler içersinde hapis kalır. Bu durumda "Denge Nemi" gerçekleşmiştir. Her sıcaklık ve bağıl nem şartlarında denge nemi değeri değişir. Bulunan değerler $X - \% \text{ Nem içeriği}$ ve $- \text{Kurutmaya giren hava}$ bağıl nemi diagramı hazırlanarak sorpsiyon izotermi gerçekleştirilir.

Defne yaprağının sorpsiyon izotermi hava şartlandırma yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Kullanılan ölçü aletlerinin hata sınırları son derece düşüktür. Ancak bağıl nemin ölçülmesinde yapılan ± 2 'lik hata eğrinin, Ψ skalası yönünde kaymasına neden olur. Fakat bu kayma düşük değerdedir (Şekil 3). Genellikle kaynaklar üzerinde çalışılan maddenin sorpsiyon izotermi mevcut değilse benzer maddelerin eğrilerinden faydalanılmasını tavsiye ederler [8] Hal böyle iken, deneylerde elde ettiğimiz değerler Defne yaprağı için isabetli karar verebilecek düzeydedir.

Şekil I.1'de meyva ve sebzelerin sorpsiyon izotermi [4], Şekil I.2'de değişik sıcaklık ve hava bağıl neminde elde edilen deneysel defne yaprağı sorpsiyon izotermi görülmektedir.

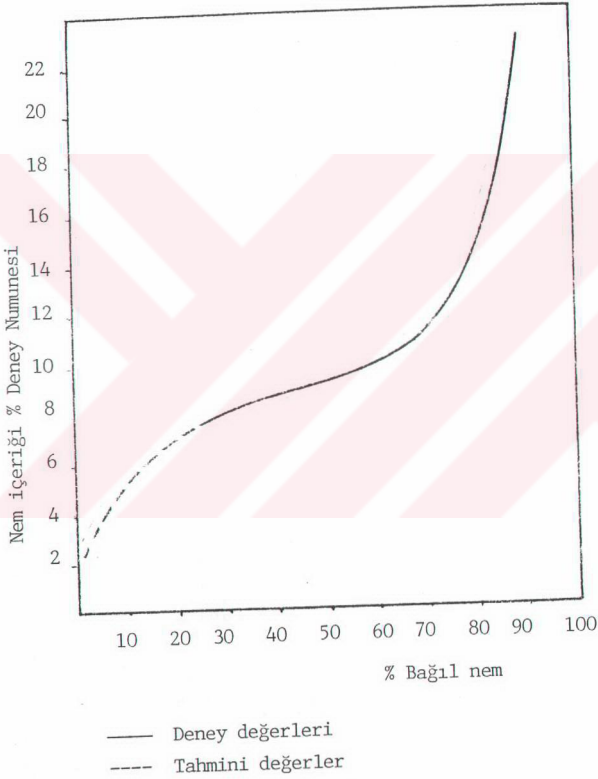


Şekil I.1. Hand Book of Industrial Drying'te verileri
Oda sıcaklığında bazı yiyeceklerin sorpsiyon
izotermi |4|



Şekil I.2. Değişik sıcaklıklarda defne yaprağı sorpsiyon izotermin.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
FİZİKİ MANTASYON MERKEZİ



Şekil I.3. 25°C sıcaklıkta defne yaprağı sorpsiyon izotermi.