

172566

İKİNCİ ÜRÜNLERİN ISI POMPASI YARDIMIYLA  
KURUTULMASI

FERHAT BÜLENT YILMAZ

ÜRÜN İTİB  
BİLİMSEL ve TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

Ç.Ü.

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

MASTER TEZİ

A D A N A

OCAK 1986

Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan Prof. Dr. Ing. Tuncay YILMAZ

*Tuncay Yılmaz*

Üye Prof. Dr. İ. Kurtuluş TUNCER

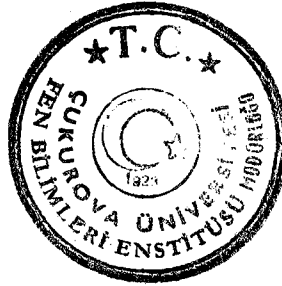
*İ. Kurtuluş Tuncer*

Üye Doç. Dr. İ. Deniz AKÇALI

*İ. Deniz Akçali*

Kod No: 104

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.



*M. Ural Dinç*  
Prof. Dr. Ural DİNÇ  
Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÇİZELGE LİSTESİ	I
ŞEKİL LİSTESİ	II
ÖZ	IV
ABSTRACT	V
1.GİRİŞ	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3.KURUTMA OLAYININ GENEL TANITIMI	5
3.1.Kurutma Sistemleri	6
3.2.Isı Pompalı Kurutucular	7
3.2.1.Açık Sistem Isı Pompalı Kurutucular	8
3.2.1.1.Tam Açık Sistem Isı Pompalı Kurutucu	8
3.2.1.2.Buharlaştırıcıda Havanın Nemi Alınan Açık Sistem	9
3.2.1.3.Atmosferik Enerji Kaynaklı Açık Sistem	10
3.2.2.Kapalı Sistem Isı Pompalı Kurutucu	11
3.2.3.Taze Hava Karışımlı Isı Pompalı Sistem	12
4.METOT	14
4.1.Sistemin Tanıtılması	14
4.2.Nemli Havanın Özellikleri	15
4.3.Hesaplama Şekli	15
5.ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇLAR	22
ÖZET	40
SUMMARY	41
EK 1.	42
KAYNAKLAR	46
TEŞEKKÜR	48
ÖZGEÇMİŞ	49

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1. Suyun doyma basıncının sıcaklıkla değişimi	16
Çizelge 2. Suyun buharlaşma gizli ısısının sıcaklıkla değişimi	20
Çizelge 3. Bazı ürünlerin maksimum kurutma sıcaklıkları	25
Çizelge 4. Koçan ve tane mısırın tohumluk ve ticari olarak kurutulmasında optimum sıcaklıklar	35
Çizelge 5. Soya fasülyesinin tohumluk ve ticari olarak kurutulmasında optimum sıcaklıklar	36
Çizelge 6. Pirinçin tohumluk ve ticari olarak kurutulmasında optimum sıcaklıklar	38
Çizelge 7. Yerkıstığının tohumluk ve ticari olarak kurutulmasında optimum sıcaklıklar	39

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kurutma işleminin şematik gösterimi	5
Şekil 3.2. Isı pompasının bileşenleri	7
Şekil 3.3. Tam açık sistem ısı pompalı kurutucu	9
Şekil 3.4. Buharlaştırıcıda havanın nemi alınan açık sistem ısı pompalı kurutucu	10
Şekil 3.5. Atmosferik enerji kaynaklı açık sistem ısı pompalı kurutucu	11
Şekil 3.6. Kapalı sistem ısı pompalı kurutucu	12
Şekil 3.7. Taze hava karışumlu ısı pompalı kurutucu	13
Şekil 4.1. Kurutma havasının durum değişimi	14
Şekil 4.2. Yoğuşturucudaki ve buharlaştırıcıdaki sıcaklık farkı	18
Şekil 5.1. $T_1$ ve $T_2$ sıcaklıkları verildiğinde, kurutma çevri- minin $\psi_3$ ile değişimi	22
Şekil 5.2. $T_2$ ve $\psi_3$ verildiğinde, kurutma çevriminin $T_1$ ile değişimi	23
Şekil 5.3. $T_1$ ve $\psi_3$ verildiğinde, kurutma çevriminin $T_2$ ile değişimi	24
Şekil 5.4. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı $T_2$ ile değişimi	26
Şekil 5.5. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı $T_2$ ile değişimi	27
Şekil 5.6. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı $T_2$ ile değişimi	28
Şekil 5.7. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı $T_2$ ile değişimi	29
Şekil 5.8. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı $T_2$ ile değişimi	30
Şekil 5.9. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı $T_2$ ile değişimi	31
Şekil 5.10. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı $T_2$ ile değişimi	32

Şekil 5.11.  $B_{\min}$  değerinin kurutucu çıkışındaki rölatif nem  $\psi_3$   
ile değişimi

35

Şekil 5.12. Optimum kurutma sıcaklığı  $T_{2,opt}$  un kurutucu çıkı-  
şındaki rölatif nem  $\psi_3$  ile değişimi

37



## ÖZ

Bu çalışmada ülkemizde yetiştirilen ikincil ürünlerin (soya, dane mısır v.b.g.) ısı pompası yardımıyla, işletme masrafları açısından ekonomik olarak kurutulması çeşitli parametrelerin fonksiyonu olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar diyagramlar ve eşitlikler halinde verilmiştir.



**ABSTRACT**

In this study, economical drying of secondary crops grown in Turkey (like soy beans, corn, etc.) with the use of heat pump from the standpoint of operation costs has been investigated as a function of various parameters. The research results have been presented in forms of diegrams and equations.





## 1. GİRİŞ

Bir Akdeniz ülkesi olan ülkemizde her çeşit tarım ürünü bol miktarda ve geniş bir zaman süresi içinde yetiştirilmektedir. Dayanma süreleri kısa olan bu ürünlerin tüketim sürelerinin uzatılması için halkımızın yaygın olarak uyguladığı yöntem kurutmadır. Ancak bu kurutma işlemi büyük oranda geleneksel yöntemlerle doğal koşullar altında gerçekleştirilmektedir. Her türlü hava koşullarına açık olarak kurutulan bu ürünler toz, böcek, kuş ve diğer hayvanlar tarafından kirletilmekte, yağmur ile ıslanabilmektedir. Sonuç olarak kurutma işlemi sırasında önemli miktarda ürün tüketilemez hale gelmektedir.

Güneş enerjisinden yeterli derecede faydalanamayan ve çok yağış alan, sanayide ilerlemiş ülkelerde tarım ürünlerinin muhafazası için kullanılan kurutma sistemleri hızlı bir gelişme göstermiş ve kurutma tekniği alanındaki temel araştırmalar çok önceki tarihlerde yapılmıştır. Ülkemizde ise bu alandaki araştırmalar henüz çok yenidir.

Bunun yanında ikincil ürünlerden olan soya, mısır, v.b.g. tahılların hasat mevsimi genellikle yağmurlu günlere geldiğinden bu ürünlerin kurutulması çiftçimiz için sorun olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada ülkemiz şartlarına uygun bir kurutucunun hesaplanması amaçlanmıştır.

Kurutma işlemlerinde görevini yapıp dışarıya atılan havada bol miktarda nem bulunur. Isı pompası yardımıyla havadaki nem yoğunlaştırılarak ve bu enerji yüksek sıcaklığa transfer edilerek kurutma işlemi için tekrar kullanılabilir. Ayrıca, ısı pompası ile yapılan kurutma diğer enerji kaynakları ile yapılan kurutmaya göre daha ekonomik olabilir. Bundan başka ülkemizde sonbaharda hüküm süren hava sıcaklıkları ısı pompaları için uygun sıcaklıklardır.

Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada ısı pompalı bir kurutucu seçilmiş ve bu kurutucunun işletme masrafları teorik olarak araştırılmış, ekonomik çalışma bölgeleri tesbit edilmiştir.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Isı pompasının kurutmada kullanılması ile ilgili ilk çalışmalar yaklaşık 20 yıl önce başlatılmıştır (GEERAERT, 1976). Isı pompasıyla ikinci ürünlerin kurutulması çalışmalarının başlangıç tarihi ise 1980 li yıllara raslamaktadır.

GIOCO (1980), bir fabrikanın artık ısını, ısı pompası vasıtasıyla tekrar kullanarak çeltik ve mısırın kurutulması üzerine çalışmıştır. Gioco bu çalışmasında klasik kurutucularla ısı pompalı kurutucuları karşılaştırmış ve klasik kurutma sistemlerine göre %50 lik bir tasarruf sağlamıştır (GIOCO, 1980).

GUPTA ve ALLEN (1980), tarafından yapılan bir çalışmada ise güneş enerjisi destekli bir ısı pompası sistemi ile mısırın kurutulması, Thomson'un geliştirmiş olduğu bilgisayar programı ile hesaplanmış ve deneysel çalışmalarla desteklenmiştir. Bu iki durum için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine uygun olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca bu sistemin belirgin miktarda enerji arttırımı sağlayacak ölçüde yapılabilir nitelikte olduğu sonucuna varmışlardır (GUPTA ve ALLEN, 1980).

Güneş enerjisi destekli bir başka ısı pompalı kurutucu çalışması ise HARRISON ve ALLEN (1980), tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ısı pompalı bir kurutucuda mısır kurutulmuştur. Güneş enerjisini, 24 saatlik sürekli kurutmada sadece 7 saat kullanmışlar ve mısırın kurutulması için gerekli enerjinin yaklaşık %50 sini güneş enerjisinden sağlamışlardır (HARRISON ve ALLEN, 1980).

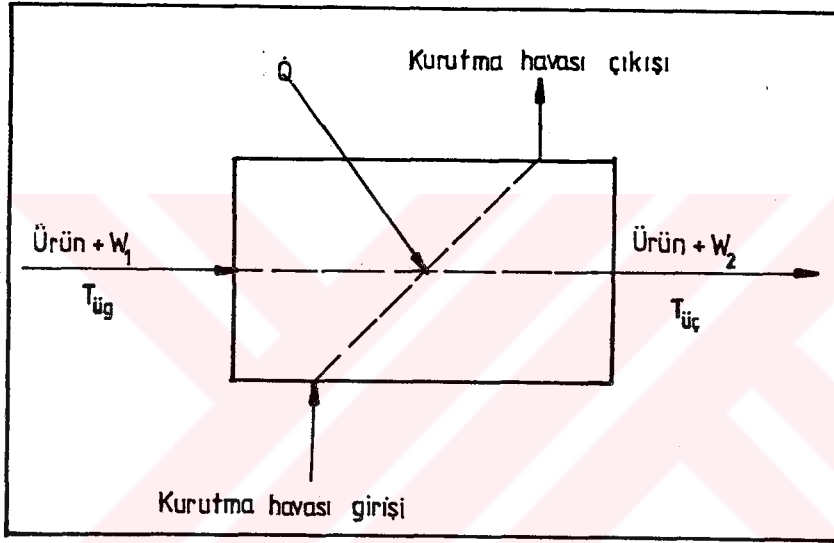
ROSSI (1981), ise yaptığı bir çalışmada soya fasülyesi tohumlarının 17 ay boyunca depolanması ve kurutulması süresince ısı pompası kullanımını araştırılmış ve ısı pompasının ekonomik olduğu sonucuna varmıştır (ROSSI, 1981).

Klasik kurutucularla ısı pompalı kurutucuların karşılaştırılması ile ilgili bir çalışma da KATO ve YAMASHITA (1982), tarafından yapılmış ve ısı pompalı kurutucuların %75 daha az enerji harcadığı sonucuna varmışlardır (KATO ve YAMASHITA, 1982).

KATO (1982),yaptığı başka bir çalışmada ise 2,2 kW lık açık sistem ısı pompalı bir kurutucu ile pirinç kurutmuş ve ısı pompası kullanımının üstünlüklerini tartışmıştır (KATO, 1982).

### 3. KURUTMA OLAYININ GENEL TANITIMI

Genel anlamıyla maddelerin içermiş oldukları nemin herhangi bir yöntemle alınması olayına kurutma denir. Kurutma, normal atmosferik hava ile ürünün neminin denge nemine kadar düşürülmesi veya enzim faaliyetlerinin azaldığı nem derecesine ulaşılmasıdır (UZ, 1978).



Şekil.3.1. Kurutma işleminin şematik gösterimi.

Kurutucuya ürün nemli halde ve  $T_{üg}$  giriş sıcaklığında verilir. Kurutucuda ısıtılmış hava ile karşılaşan ürün, ısı alarak içerdiği nemin büyük bir kısmı buharlaşır ve  $T_{üç}$  sıcaklığında kurutucudan çıkar. Buharlaşan nem hava ile birlikte kurutucuyu terkeder. Üründen alınan su miktarı ise  $(W_1 - W_2)$  kadardır. Burada  $W_2$  ürünün biyolojik dönüşümler sonucu bozulmadan saklanabileceği su miktarıdır. Bu miktar her ürün için aynı değildir. Genel olarak, bozulmadan saklanabilen hububat ve baklagillerin su içerikleri %10-15, kurutulmuş sebzelerin %5-7, kurutulmuş meyvelerin ise %18-25 tir (EVRANUZ ve ark. 1984).

Kurutucuya sevk edilen ısı miktarı  $\dot{Q}$  ise, kurutucu çeşitlerine

göre değişik ısı kaynaklarından alınır. Bu ısı kurutucuda Őu Őekillerde kullanılır:

- 1) Ürün içindeki suyun ( $W_1 - W_2$ ) kısmını buharlaştırmak için,
- 2) Kurutucuya giren ürünün sıcaklığını  $T_{üç}$  den  $T_{üç}$  a çıkarmak için,
- 3) Ürün ile birlikte kurutucuya giren fakat buharlaşmamış suyun ( $W_2$ ) sıcaklığını yükseltmek için.

### 3.1. Kurutma Sistemleri

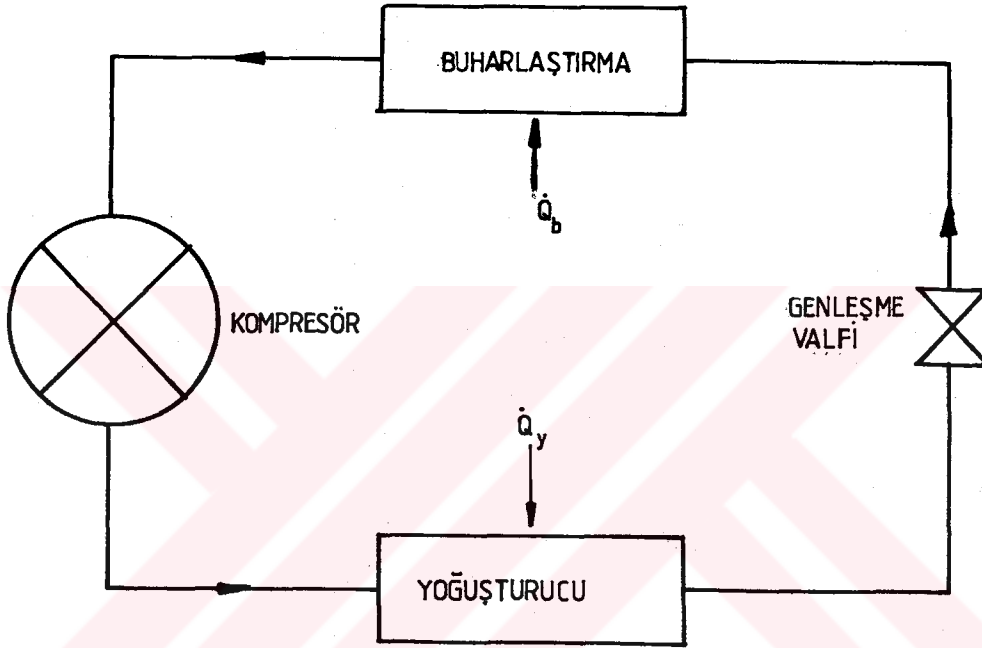
Tarım ürünlerinin kurutulması, ürünlerin çok çeşitli olması nedeniyle oldukça karışık bir durum gösterir. Ürünleri hububat, yeşil yem ve meyve-sebze olarak bir sınıflama yaparsak, bu ürünler için uygun kurutucuların kullanılması gerekir. Diğer taraftan ürünlerin özelliğine göre sürekli kurutma yapan kurutucuların da bulunması gerekir. Bu nedenlerden dolayı kurutma sistemleri ısı iletim şekillerine göre Őu gruplara ayrılırlar (UZ, 1978).

- 1) Pnömatik kurutucular
- 2) Silindirik kurutucular
- 3) Vakumlu kurutucular
- 4) Yüzeysel kurutma yapan kurutucular
- 5) Bantlı kurutucular
- 6) Dondurarak kurutma yapan kurutucular
- 7) Isı pompalı kurutucular

Her kurutucunun faydalı ve sakıncalı tarafları vardır. Kurutulan maddenin kalitesinden başka; kurutucunun teknik yapısı, hacmi, lüzumlu yakıt veya elektrik enerjisi ve iş gücü ihtiyaçları gözönüne alınmalı, buna göre işletme için en ekonomik olanı seçilmelidir. Bu çalışmada ısı pompalı bir kurutucu seçildiği için aşağıda ısı pompalı kurutuculara değinilmiştir.

### 3.2. Isı Pompalı Kurutucular

Isı pompası; düşük sıcaklıktaki bir ortandan, yüksek sıcaklıktaki bir ortama, mekanik iş sarfetmek suretiyle ısı nakleden bir makinedir. Şekil.3.2. de ısı pompasının ana elemanları gösterilmiştir.



Şekil.3.2. Isı pompasının bileşenleri.

Isı pompalarında genelde çevrim akışkanı olarak çeşitli soğutucu akışkanlar kullanılır. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanlar R12, diklorodiflorometan ( $CF_2Cl_2$ ) ve R22, monoklorodiflorometan ( $CHClF_2$ ) dır.

Termodinamiğin ikinci kanununa göre düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa ısı aktarımı olabilmesi için belli bir iş yapılması gerekir. Bu amaçla genellikle ısı pompalarında elektrik motoruyla çalışan kompresörler kullanılır.

Isı pompasının ana elemanlarından biri olan buharlaştırıcı, düşük basıçtaki çevrim akışkanının çevreden gereken gizli ısıyı çekerek bu-

harlaşmasını sağlar. Çevreden çekilen ısı miktarı  $\dot{Q}_b$  ile gösterilmiştir.

Yoğuşturucu ise yüksek basınçta ve buhar halindeki çevrim akışkanının, gizli ısını çevreye vererek yoğuşmasını sağlar. Çevrim akışkanının yoğuşması sırasında çevreye verilen ısı miktarı,  $\dot{Q}_y$  olarak tanımlanmıştır. Isı pompalı kurutucularda açığa çıkan bu  $\dot{Q}_y$  ısı kullanılarak kurutulacak ürün üzerinden nem çekilir.

Yoğuşturucu bölgesinde yüksek basınç, buharlaştırıcı bölgesinde ise alçak basınç mevcuttur. Bu nedenle yüksek basınç bölgesinden alçak basınç bölgesine çevrim akışkanının akmasını kontrol etmek için ısı pompalarında yoğuşturucu ve buharlaştırıcı arasına bir genleşme valfi konulur.

Isı pompalı kurutucularda ısı pompası yoğuşturucusu üzerinden alınan kurutma havası bir hava kanalı ile kurutulacak ürün üzerinden geçirilir. Ürünün içermiş olduğu nem buharlaştırılarak, kurutucu dışarısına eksoz havası olarak çıkar. Isı pompalı kurutucular bu eksoz havasının kullanımına göre genelde;

- 1) Açık sistem
- 2) Kapalı sistem
- 3) Taze hava karışıklı sistem

olmak üzere üç grupta incelenebilir.

### 3.2.1. Açık Sistem Isı Pompalı Kurutucular

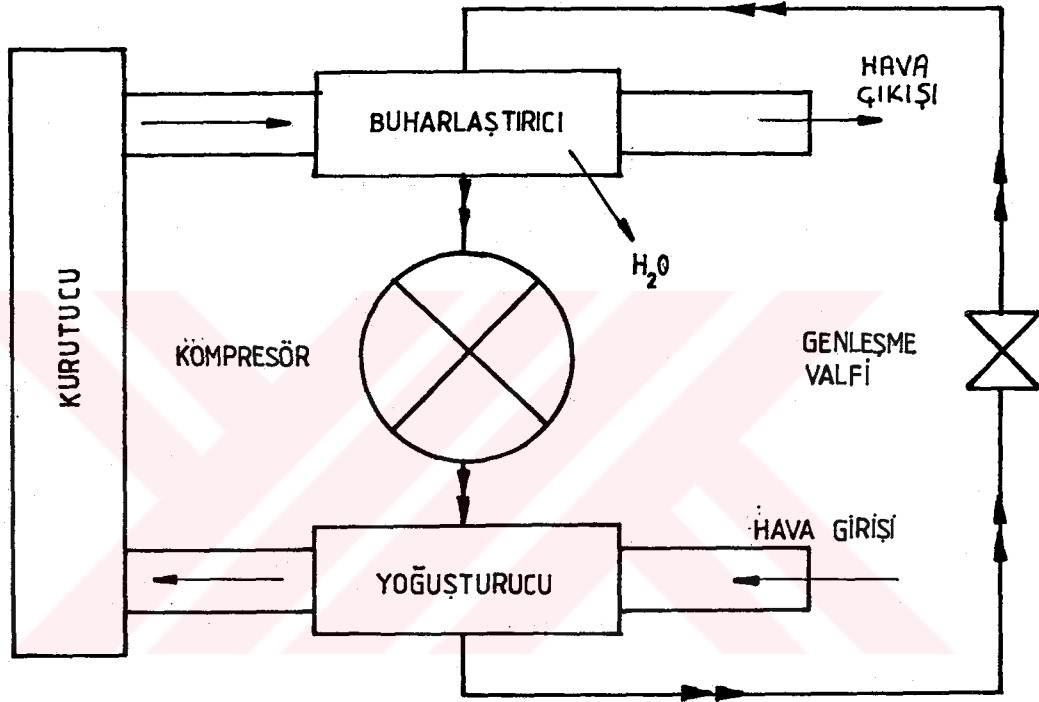
Açık sistem ısı pompalı kurutucularda kendi bünyesinde üç kısma ayrılırlar. Bunlar aşağıda ayrı, ayrı açıklanacaktır.

#### 3.2.1.1. Tam Açık Sistem

Şekil.3.3. de görüldüğü gibi atmosferik hava, yoğuşturucu üzerinden emilir. Yoğuşturucuda sıcaklığı yükselen hava kurutucuda, kurutulacak üründen nem alarak çıkar. Buharlaştırıcıda ise havanın nemi yoğuş-



turularak enerjisi alınır ve bu enerji ısı pompası akışkanı tarafından yüksek sıcaklığa nakledilerek kurutma işleminde tekrar kullanılır. Geri kalan eksoz havası atmosfere verilir. Bu sistem atmosferik havanın sıcaklığı yüksek ve nemi az ise uygundur.

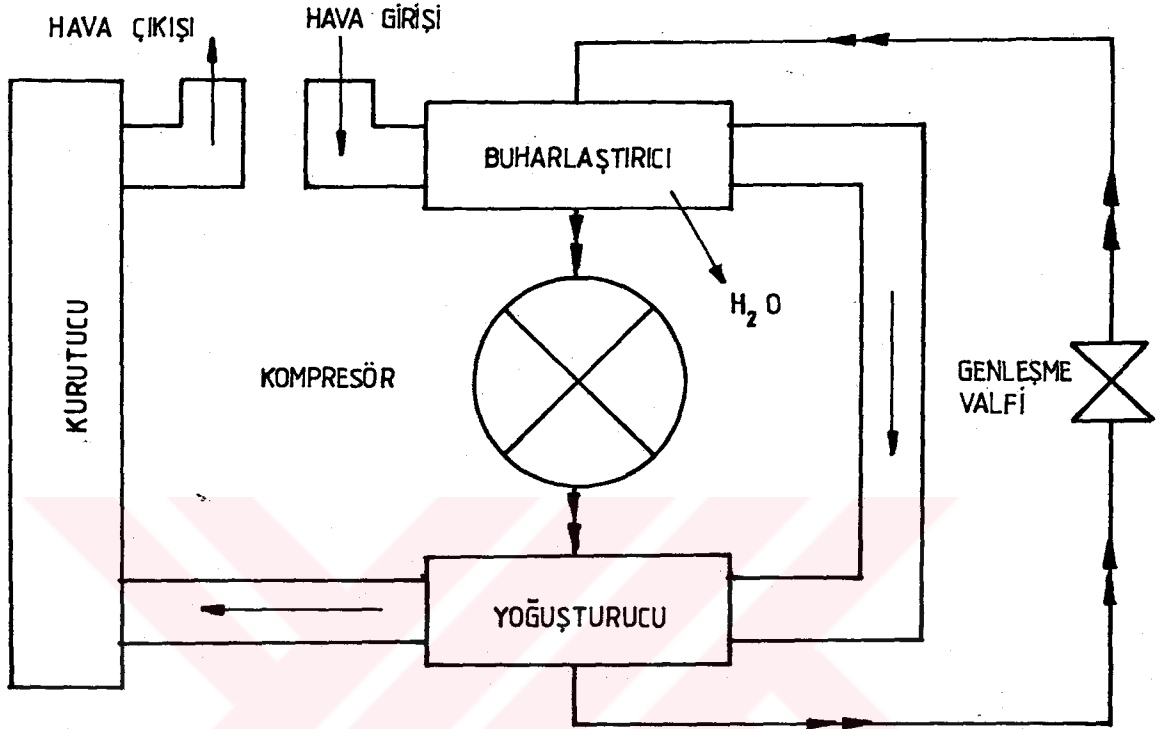


Şekil.3.3. Tam açık sistem ısı pompalı kurutucu.

→ Hava devresi      → Isı pompası devresi

### 3.2.1.2. Buharlaştırıcıda Havanın Nemi Alınan Açık Sistem

Atmosferik hava buharlaştırıcı üzerinden sisteme girer. Buharlaştırıcıdan geçerken nemi alınır (Şekil.3.4.). Nemi alınan hava yoğuşturucuya kadar kapalı bir hava kanalı içerisinde gelir. Yoğuşturucudan ısı alan hava kurutucuya gelir. Kurutucuda ısısının büyük bir kısmını bırakarak, ürünün nemini alır ve oradan da atmosfere yeniden verilir.

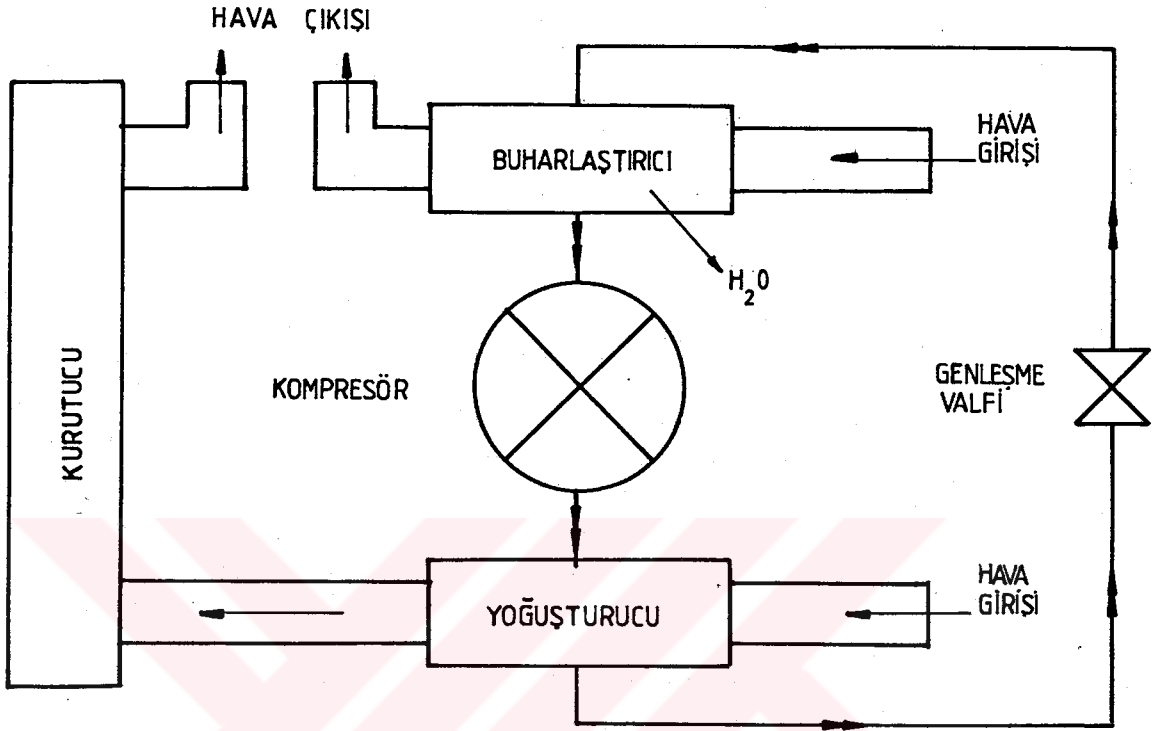


Şekil.3.4. Buharlaştırıcıda havanın nemi alınan açık sistem ısı pompalı kurutucu.

→ Hava devresi → Isı pompası devresi

### 3.2.1.3. Atmosferik Enerji Kaynaklı Açık Sistem

Atmosferik hava, yoğuşturucu üzerinden emilir. Emilen hava kurutucudan geçtikten sonra, kurutulacak üründen geçtiği nem ile birlikte eksoz havası olarak atmosfere tekrar atılır. Buharlaştırıcı kısmından ise şekil.3.5 de görüldüğü gibi atmosferik hava geçirilir. Atmosferik hava buharlaştırıcıdan geçerken ısısının büyük bir kısmını burada bırakır. Bu ısı ise ısı pompası tarafından yüksek sıcaklığa çıkarılarak kurutma işleminde tekrar kullanılır.

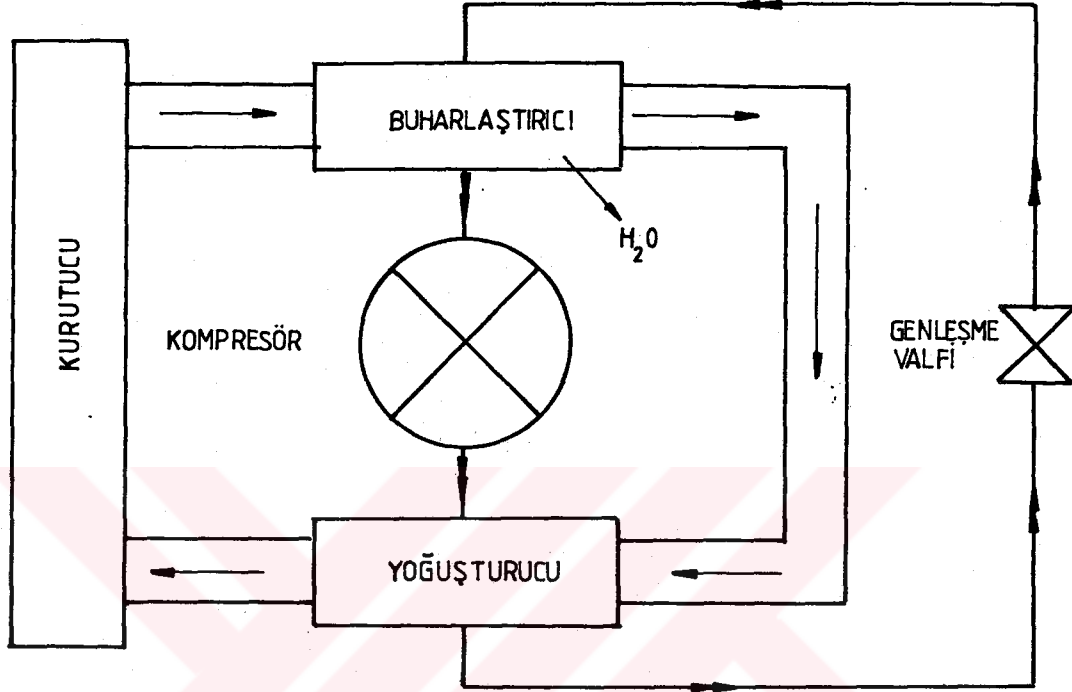


Şekil.3.5. Atmosferik enerji kaynaklı açık sistem ısı pompalı kurutucu

→ Hava devresi      - - - - - Isı pompası devresi

### 3.2.2. Kapalı Sistem Isı Pompalı Kurutucu

Bu tip kurutucularda dışarıdan sisteme hiç bir surette taze hava alınmaz. Sistem havası şekil 3.6. da da görüldüğü gibi yoğuşturucudan aldığı ısı ile kurutucuya girer ve kurutulacak olan ürün üzerinden nem alır. Daha sonra buharlaştırıcıya gelen havanın içermiş olduğu su buharı burada yoğuşturularak sistemden dışarı atılır. Buharlaştırıcıda alınan ısı, ısı pompası ile yüksek sıcaklığa çıkarılarak kurutmada tekrar kullanılır. Bu sistem genelde atmosferik havanın fazla nemli olduğu ortamlarda uygun olmaktadır.

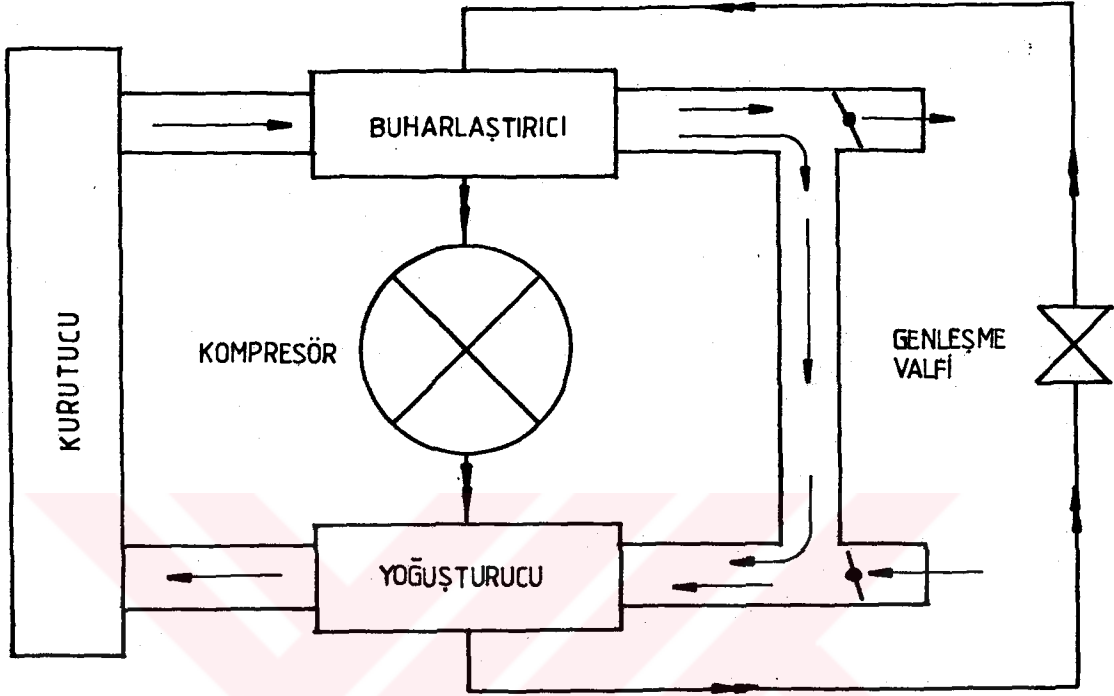


Şekil.3.6. Kapalı sistem ısı pompalı kurutucu.

→ Hava devresi      → Isı pompası devresi

### 3.2.3. Taze Hava Karışımlı Isı Pompalı Sistem

Bu sistemde kurutucudan ürünün nemini alarak çıkan hava buharlaştırmada ısısının büyük bir kısmını ısı pompasının akışkanına verir. Şekil.3.7. de görüldüğü gibi yoluna devam ederken bir klape vasıtasıyla bir kısım hava atmosfere verilir. Sistem havası yoğuşturucuya girmeden önce, açık olan diğer klape vasıtasıyla daha önce dışarıya atılan miktar kadar taze hava içeriye alınır.



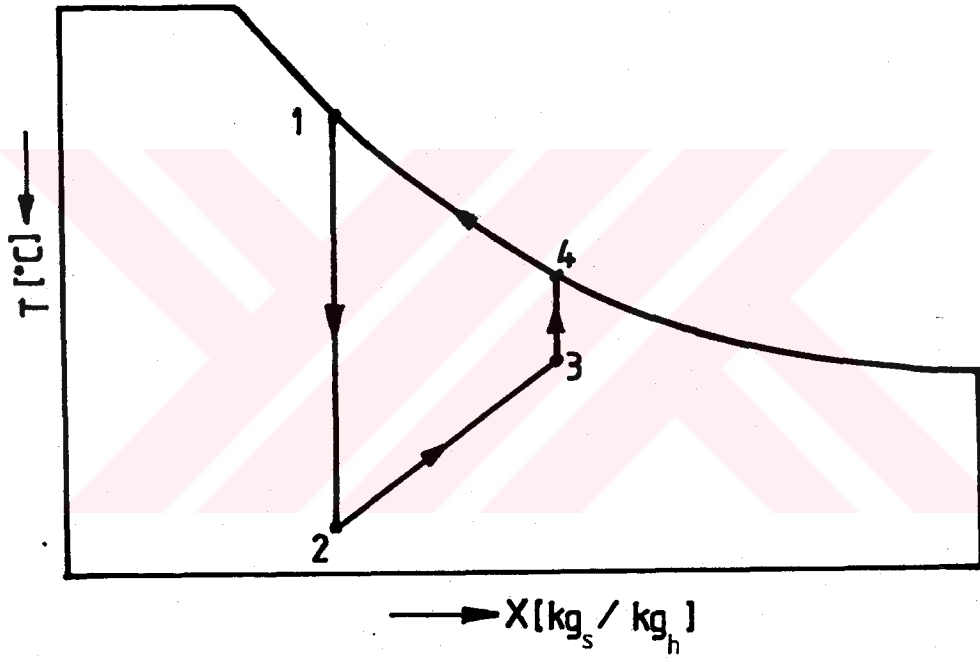
Şekil.3.7. Taze hava karışıklı ısı pompalı sistem.

→ Hava devresi      → Isı pompası devresi

## 4. METOT

## 4.1. Sistemin Tanıtılması

Bu çalışmada kapalı sistem ısı pompalı bir kurutucu incelenmiştir. Sistemdeki kurutma havasının durum değişimleri şekil 4.1 de psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



Şekil.4.1. Kurutma havasının durum değişimi.

Diyagramda,

1-2: Çalışma havasının yoğuşturucuda ısıtılması

2-3: Havanın kurutucuda nemlenmesini

3-4: Havanın buharlaştırıcıda soğutulmasını

4-1: Çalışma havasının neminin buharlaştırıcıda atılmasını göstermektedir.

#### 4.2. Nemli Havanın Özellikleri

Nemli hava ile ilgili hesaplar için su buharının 0 - 100 °C arasında doyma basıncının bilinmesi gereklidir. Bilgisayar uygulaması için çizelge 1. den alınan değerlerle aşağıdaki eşitlik çıkarılmıştır.

$$P_d = \left[ 0,782 + 2,9 \left( \frac{T}{100} \right) + 6,3 \left( \frac{T}{100} \right)^2 + 25 \right]^2 \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte doyma basıncı  $P_d$  [kPa] ve sıcaklıkta [°C] birimindedir. Rötif nem,

$$\psi = \frac{P}{P_d} \quad (4.2)$$

şeklinde tarif edilir.  $P$  [kPa] cinsinden kısmi basıncı göstermektedir.

Mutlak nem de,

$$X = 0,622 \left( \frac{\psi P_d}{P_t - \psi P_d} \right) \quad (4.3)$$

bağıntısından bulunur. Nemli havanın entalpi de şöyle hesaplanır:

$$h = 1,005T + X(1,93T + 2500) \quad (4.4)$$

Yukarıdaki eşitliklerde mutlak nem  $X$  [ $\text{kg}_s / \text{kg}_h$ ], entalpi [ $\text{kJ} / \text{kg}$ ] ve toplam basınç  $P_t$  [kPa] cinsinden değerlerdir.

#### 4.3. Hesaplama Şekli

Şekil 4.1 de gösterilen psikrometrik diyagramda 1, 2, 3 ve 4 noktalarındaki kurutma havasının bilinmeyen özellikleri yukarıda verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

Kurutma havasının 1 noktasında yoğuşturucuya giriş sıcaklığı parametre olarak seçilmiş ve bu sıcaklığa 20 °C ile 40 °C arasında değerler verilerek bu noktadaki kurutma havasının bilinmeyen diğer özellikleri şöyle bulunmuştur.

1 noktasında parametre olarak seçilen yoğuşturucuya giriş sıcaklıklarına karşı gelen doyma basınçları eşit.(4.1) den hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Suyun doyma basıncının sıcaklıkla değişimi (ÖZTÜRK, 1984).

T (°C)	P <sub>d</sub> (kPa)	T (°C)	P <sub>d</sub> (kPa)	T (°C)	P <sub>d</sub> (kPa)
0,00	0,6108	34	5,318	70	31,16
0,01	0,6112	36	5,940	72	33,96
2	0,7055	38	6,624	74	36,96
4	0,8129	40	7,375	76	40,19
6	0,9345	42	8,198	78	43,65
8	1,0720	44	9,100	80	47,36
10	1,2270	46	10,086	82	51,33
12	1,4014	48	11,162	84	55,57
14	1,5973	50	12,335	86	60,11
16	1,8168	52	13,613	88	64,95
18	2,062	54	15,002	90	70,11
20	2,337	56	16,511	92	75,61
22	2,642	58	18,147	94	81,46
24	2,982	60	19,92	96	87,69
26	3,360	62	21,84	98	94,30
28	3,778	64	23,91	100	101,33
30	4,241	66	26,15	102	108,78
32	4,753	68	28,56		



Bu noktada havanın rölatif nemi 1 ve toplam basınçda 100 [kPa] olduğundan yoğuşturucu girişindeki mutlak nem eşt.(4.3) den bulunur. Bilinen bu değerler eşt.(4.4) de yerine koyularak havanın bu noktadaki entalpi-si de belirlenir.

Şekil 4.1 deki psikrometrik diyagramın 2 nolu noktasında mutlak nem 1 noktasındaki mutlak neme eşittir. Bu noktadaki sıcaklık ise kurutucu giriş sıcaklığıdır. Kurutucu giriş sıcaklığına da 20°C ile 80°C arasında değerler verilerek, bu sıcaklıklara karşılık gelen doyma basınçları eşt.(4.1) yardımıyla hesaplanmıştır. Bu noktadaki rölatif nem eşt.(4.3) den entalpi ise eşt.(4.4) den bulunmuştur.

Havanın kurutucu çıkışındaki 3 nolu noktanın entalpisi, kurutmanın sabit entalpide yapılması nedeniyle 2 noktasındaki entalpiye eşittir. Ayrıca bu noktadaki rölatif nem içinde 0,6 ile 1 arasında değerler verilerek, kurutucu çıkışındaki havanın sıcaklığı, doyma basıncı ve mutlak nemi eşt.(4.1) , eşt.(4.3) ve eşt.(4.4) beraberce kullanılarak bulunmuştur.

4 nolu noktada havanın mutlak nemi kurutucu çıkışındaki havanın mutlak nemine eşittir. Bu noktadaki rölatif nem de 1 dir. Havanın bu iki fiziksel özelliği eşt.(4.3) de yerine konularak 4 noktasındaki doyma basıncı bulunur. Bulunan doyma basıncı eşt.(4.1) de yazılarak, havanın bu doyma basıncına karşılık gelen sıcaklık belirlenir. Entalpi ise eşt.(4.4) den faydalanılarak hesaplanmıştır.

Kurutma havasının 1 , 2 , 3 ve 4 noktalarındaki özellikleri belirlendikten sonra ısı pompasının yoğuşturucu ve buharlaştırıcısındaki soğutucu akışkan sıcaklıkları bulunabilir.

Yoğuşturucudaki ve buharlaştırıcısındaki hava sıcaklığının değişimi şekil 4.2 de verilmiştir. Burada,  $\Delta T_y$  yoğuşturucuda  $\Delta T_b$  ise buharlaş-

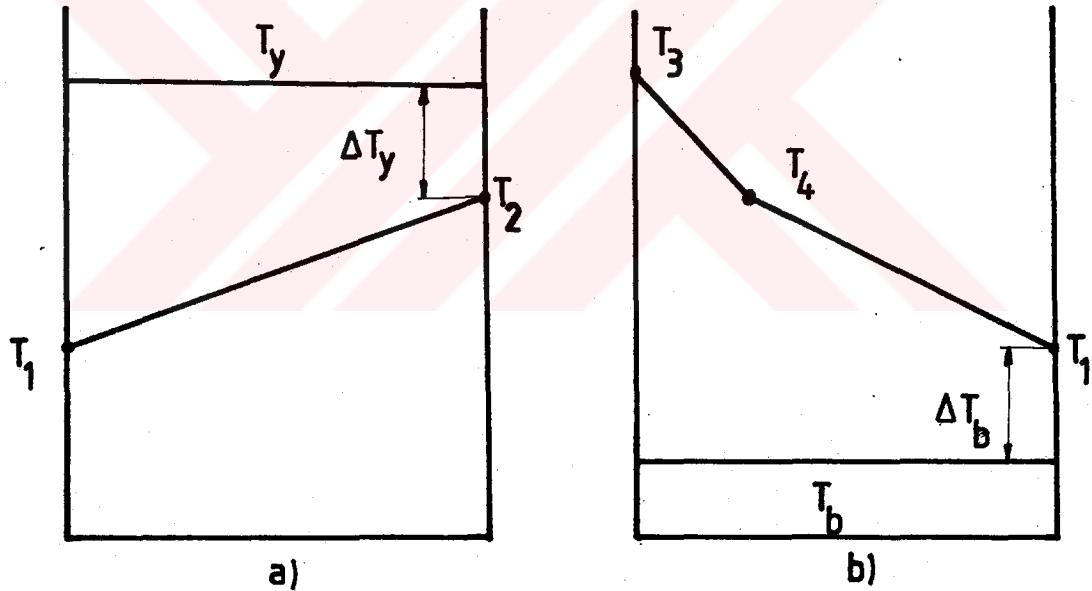
tırıcıda soğutucu akışkan ile hava arasındaki sıcaklık farkıdır. Bu çalışmada  $\Delta T_y$  ve  $\Delta T_b$  eşit kabul edilerek, hesaplarda  $\Delta T_y$  ve  $\Delta T_b$  için 5, 10 ve 15 değerleri verilerek yoğuşturucudaki akışkan sıcaklığı,

$$T_y = (T_2 + \Delta T_y) + 273 \quad (4.5)$$

buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan sıcaklığı ise,

$$T_b = (T_1 + \Delta T_b) + 273 \quad (4.6)$$

şeklinde bulunur. Bu eşitliklerde ısı transferi katsayıları yoğuşma ve buharlaşmada yüksek olduğundan, sabit kabul edilmiştir. Burada  $T_1$  ve  $T_2$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] cinsinden değerler olup, sırasıyla buharlaştırıcı çıkışındaki ve kurutucu girişindeki sıcaklıklardır.



Şekil 4.2. a) Yoğuşturucudaki b) Buharlaştırıcıdaki sıcaklık değişimi.

Isı pompası teorik çevrimi olan Carnot çevriminde soğutma etkinliği, soğutulacak yerden alınmış olan ısının, ısı pompasının yaptığı işe oranı olarak tanımlanır. Soğutma etkinliği sıcaklıklar cinsinden şu eşitlikle hesaplanır.

$$\varepsilon_c = \frac{T_b}{(T_y - T_b)} \quad (4.7)$$

Gerçek soğutma etkinliği ise,

$$\varepsilon_g = a \cdot \varepsilon_c \quad (4.8)$$

eşitliği ile bulunmuştur. Burada a etkinlik katsayısı olup pratikte 0,4 ile 0,6 değerleri arasında değişmektedir.

Isı pompasının buharlaştırıcı kısmında çevreden çektiği ısı miktarı  $\dot{Q}_b$  [kW] olarak,

$$\dot{Q}_b = \dot{M}_h (h_{h,3} - h_{h,1}) \quad (4.9)$$

eşitliği ile belirlenir. Burada,

$\dot{M}_h$  : Hava debisi [kg/h]

$h_{h,1}$  : Buharlaştırıcı çıkışındaki entalpi [kJ/kg]

$h_{h,3}$  : Buharlaştırıcı girişindeki entalpi [kJ/kg]

cinsinden değerlerdir.

Kompresör gücü olarak tanımladığımız  $\dot{N}_{komp}$  un birimi [kW] dir ve buharlaştırıcıda çekilen ısı miktarının gerçek etkinliğe oranı olarak,

$$\dot{N}_{komp} = \frac{\dot{Q}_b}{\varepsilon_g} \quad (4.10)$$

bağıntısından bulunur. Üründen alınacak nem miktarı  $\dot{M}_s$  için,

$$\dot{M}_s = \dot{M}_h (X_3 - X_1) \quad (4.11)$$

eşitliği verilebilir. Burada,

$X_1$  : Buharlaştırıcı çıkışındaki mutlak nem [kg<sub>s</sub>/kg<sub>h</sub>]

$X_3$  : Kurutucu çıkışındaki mutlak nem [kg<sub>s</sub>/kg<sub>h</sub>]

dir.  $\dot{N}_{komp}$  un  $\dot{M}_s$  ye oranı olarak bir A değeri şöyle tanımlanmıştır:

$$A = \frac{\dot{N}_{komp}}{\dot{M}_s} \quad (4.12)$$

(4.10) ve (4.11) eşitlikleri (4.12) de yerine konulursa aşağıdaki bağıntı-

tı elde edilir.

$$A = \frac{(h_{h,3} - h_{h,1})}{\epsilon_g (x_3 - x_1)} \quad (4.13)$$

A değerinin, suyun buharlaşma gizli ısısı  $r$  ye oranı ise boyutsuz B değeri olarak tanımlanmıştır.

$$B = \frac{A}{r} \quad (4.14)$$

Burada B değeri 1 [kg] nemli buharlaştırmak için ısı pompasına verilen enerjinin bu 1 [kg] suyun buharlaşma ısısına oranıdır.

Suyun buharlaşma gizli ısısı  $r$  [kJ/ kg] için çizelge 2. den alınan değerlerle aşağıdaki eşitlik bulunmuştur:

$$r = 2501 - 2,40T_{\text{ort}} \quad (4.15)$$

Bu eşitlikte  $T_{\text{ort}}$  [°C], kurutucudaki ortalama sıcaklık olup,

$$T_{\text{ort}} = \frac{(T_2 + T_3)}{2} \quad (4.16)$$

şeklinde tarif edilmiştir.

Çizelge 2. Suyun buharlaşma gizli ısısının sıcaklıkla değişimi (YILMAZ, 1985).

T (°C)	r (kJ/ kg)	T (°C)	r (kJ/ kg)
0,01	2501,0	80	2308,8
10	2477,4	90	2283,4
20	2453,9	100	2257,3
30	2430,3	110	2230,5
40	2406,5		
50	2381,4		
60	2358,4		
70	2333,8		

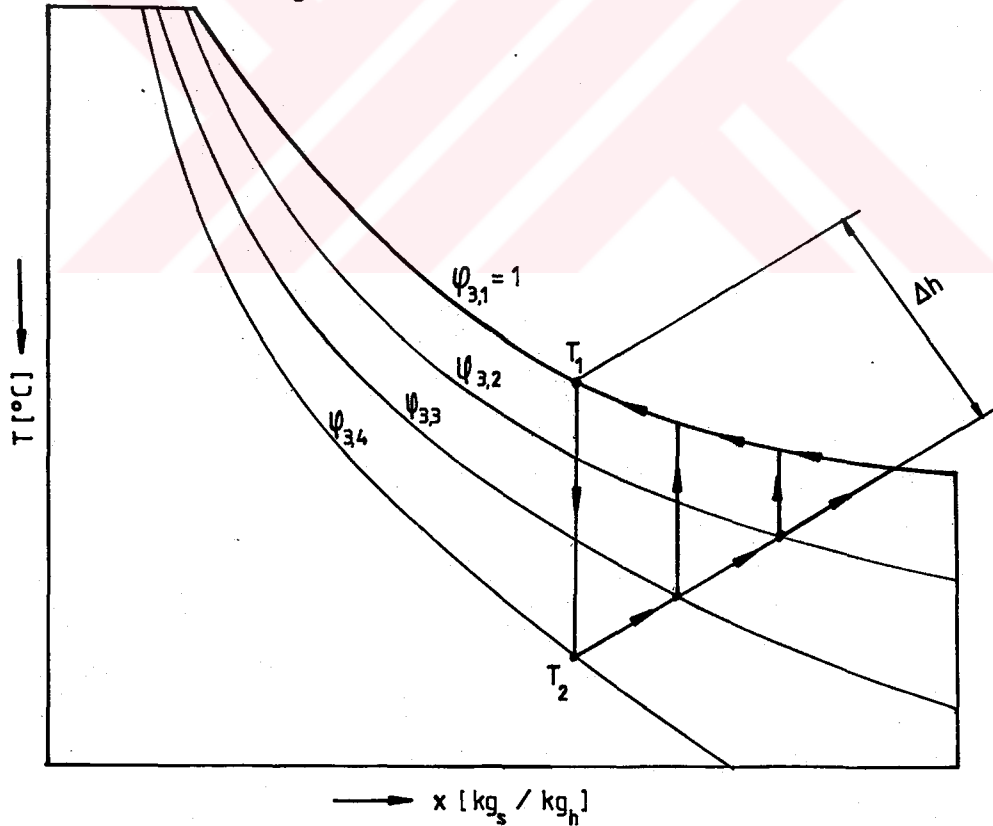
Yukarıdaki verilen eşitlikler kullanılarak kapalı sistem ısı pompalı kurutucunun işletme masrafı olan B nin; buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı  $T_1$ , kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$ , kurutucu çıkışındaki havanın rölatif nemi  $\varphi_3$ , soğutucu akışkan-hava arasındaki sıcaklık farkı  $\Delta T$  ve ısı pompası etkinlik katsayısı  $a$  ile değişimi Ek 1. de verilen bilgisayar programı ile hesaplanmıştır.

TÜRKİYE  
BİLİMSEL ve TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE SONUÇLAR

Kapalı sistem ısı pompalı kurutucuların verimi; buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı  $T_1$ , kurutucu çıkış sıcaklığı  $T_2$ , kurutucu çıkış rölatif nemi  $\varphi_3$ , soğutucu akışkan-hava arasındaki sıcaklık farkı  $\Delta T$  ve ısı pompası etkinlik katsayısı  $a$  gibi çeşitli parametrelerin fonksiyonu olarak değişir. Ama bunun yanında kapalı sistem ısı pompalı kurutucularda sistem değişkenleri olarak  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $\varphi_3$  değerleri alınabilir. Aşağıda bu üç değişkenden ikisi verildiğinde diğerinin en iyi değeri tartışılmıştır.

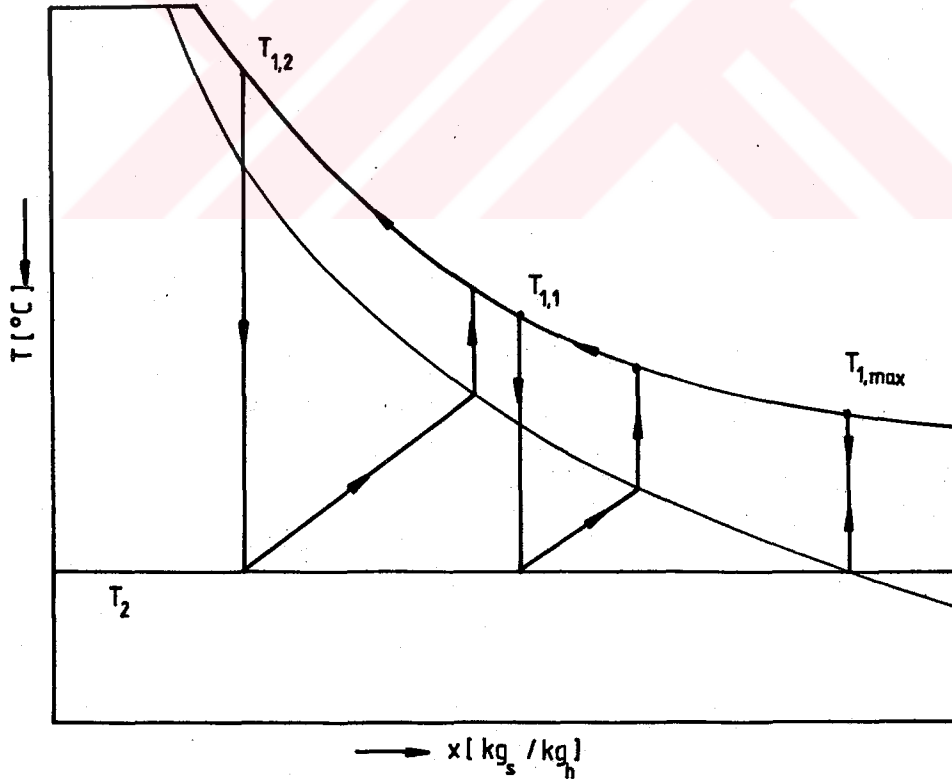
İlk olarak buharlaştırıcı çıkışındaki hava sıcaklığı  $T_1$  ve kurutucu girişindeki hava giriş sıcaklığı  $T_2$  verildiğinde uygun bir kurutucu çıkış rölatif nemi  $\varphi_3$  araştırılmıştır.



Şekil.5.1.  $T_1$  ve  $T_2$  sıcaklıkları verildiğinde, kurutma çevriminin  $\varphi_3$  ile değişimi.

Şekil 5.1 de görüldüğü gibi değişik kurutucu çıkış rölatif nemleri ( $\psi_{3,4}, \psi_{3,3}, \psi_{3,2}, \psi_{3,1}$ ) alındığında elde edilen çevrimlerin entalpi farkları  $\Delta h$  in aynı olduğu görülmektedir. Fakat sistemden çekilen nem miktarları  $\Delta X$  ler ise farklıdır. Bu nedenle  $\psi_3$  artarken sistemden çekilen birim nem için enerji sarfiyatının azaldığı görülmektedir. Ancak  $\psi_3$  artarken kurutucu boyutlarının da büyüyeceği BÜYÜKALACA (1985), tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Özellikle  $\psi_3$  in 0,9 değerinden sonra, bu büyüme çok daha fazla olmakta ve ilk yatırım maliyetleri de o denli artmaktadır. Bu nedenle  $\psi_3$  değeri 0,9 dan büyük alınmamalıdır.

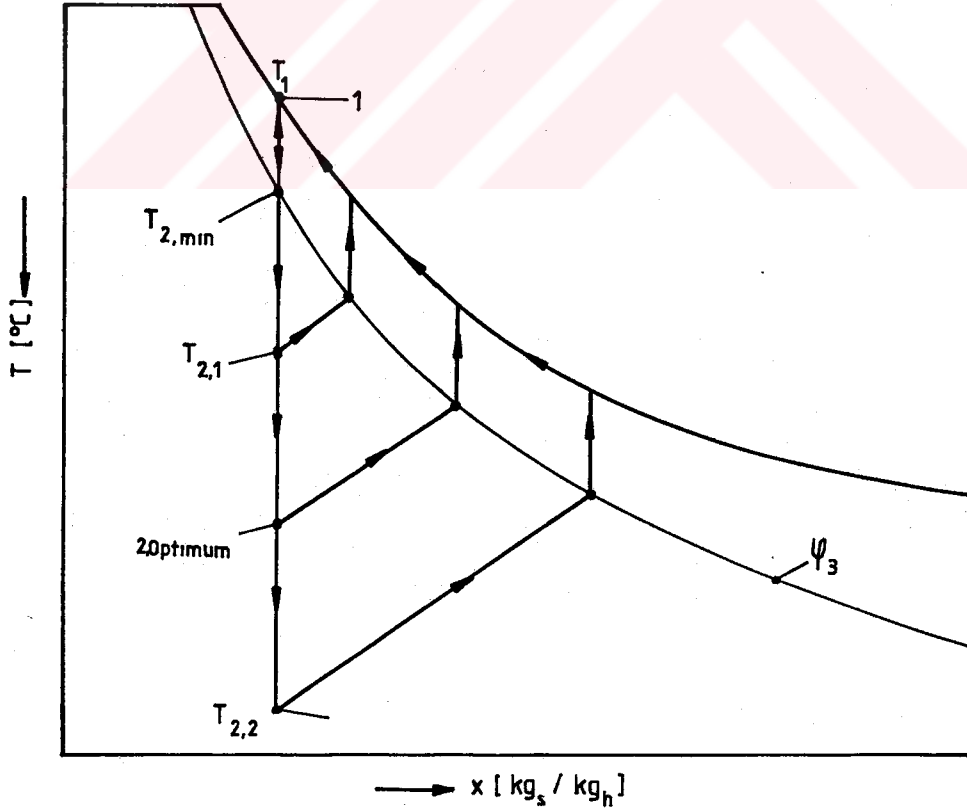
Kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$  ve kurutucu çıkışındaki rölatif nem  $\psi_3$  verildiğinde buharlaştırıcı çıkışındaki hava sıcaklığı  $T_1$  ile ilgili olarak şunları söyleyebiliriz.



Şekil.5.2.  $T_2$  ve  $\psi_3$  verildiğinde, kurutma çevriminin  $T_1$  ile değişimi.

Şekil 5.2. da görüldüğü gibi  $T_{1,max}$  da B değeri sonsuza gitmekte ( $\Delta X=0$  olduğundan) ve kurutma yapılamamaktadır.  $T_1$  sıcaklığı küçüldükçe ekonomikliği tayin eden B değeri de küçülmektedir. Fakat  $T_1$  sıcaklığı belli bir değerin aşağısına düştüğünde ısı pompasında buzlanmalar oluşur ve ısı pompası verimi düşer. AYDIN (1986), tarafından yapılan bir çalışmada bu değer yaklaşık  $5 - 7^\circ\text{C}$  olarak bulunmuştur. O halde  $T_1$  değeri çevre sıcaklıklarını da dikkate alarak  $T_{1,max}$  ile  $5 - 7^\circ\text{C}$  arasında seçilmelidir.

Isı pompası buharlaştırıcısı çıkışındaki hava sıcaklığı  $T_1$  ve kurutucu çıkışındaki havanın rölatif nemi  $\phi_3$  verildiğinde işletme masrafı açısından en ekonomik bir kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$  mevcut olduğu tesbit edilmiş ve bunun diğer parametrelere bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmıştır.



Şekil.5.3.  $T_1$  ve  $\phi_3$  verildiğinde, kurutma çevriminin  $T_2$  ile değişimi.



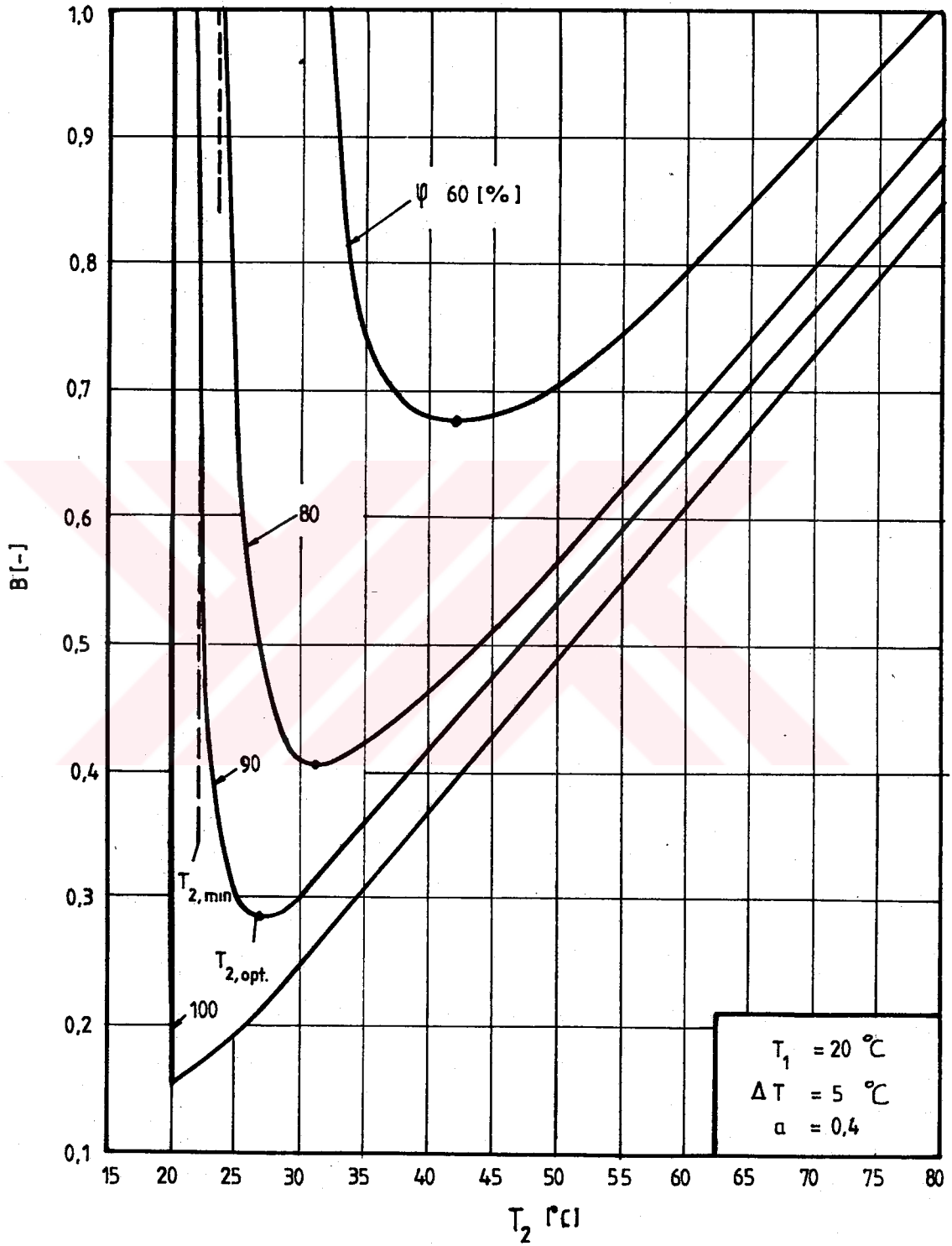
Şekil 5.3 de görüldüğü gibi 1 ve 2 noktaları arasındaki doğru üzerindeki bir çizgi çevrimi takip edildiği zaman  $T_1$  den  $T_{2,min}$  e kadar ısıtılan hava kurutma yapmadan aynı yolu izleyerek geri dönecektir. Kurutma yapabilmesi için  $T_2$  sıcaklığının en azından  $T_{2,min}$  sıcaklığından büyük olması gerekir. Aksi durumda çıkış neminin  $\phi_3$  olabilmesi mümkün değildir. Bu nedenle  $T_2$  sıcaklığı  $T_{2,min}$  dan başlanarak arttırılmış ve optimum kurutma sıcaklığı  $T_{2,opt}$  aranmıştır.  $T_{2,opt}$  un  $T_1$ ,  $\phi_3$ ,  $\Delta T$  ve  $a$  parametreleri ile değiştiği görülmüştür.

Şekil 5.4 , şekil 5.5 , ve şekil 5.6 da  $T_{2,opt}$  un yukarıda bahsedilen parametrelerden sadece  $T_1$  ile nasıl değiştiği gösterilmiştir.  $T_1$  sıcaklığı artarken  $T_{2,opt}$  da artmakta ve ekonomikliği tayin eden B değeri küçülmektedir. Bu nedenle kurutulacak ürünün bozulmadan (kabuk çatlaması, kırılmalar, yağlanmalar v.b.g.) kurutulabileceği en yüksek sıcaklık bilinmelidir. Bu sıcaklıklar ikincil ürünler için çizelge 3. de verilmiştir. Dolayısıyla  $T_1$  öyle seçilmelidir ki,  $T_{2,opt}$  bahsedilen bu sıcaklıklardan büyük olmasın.

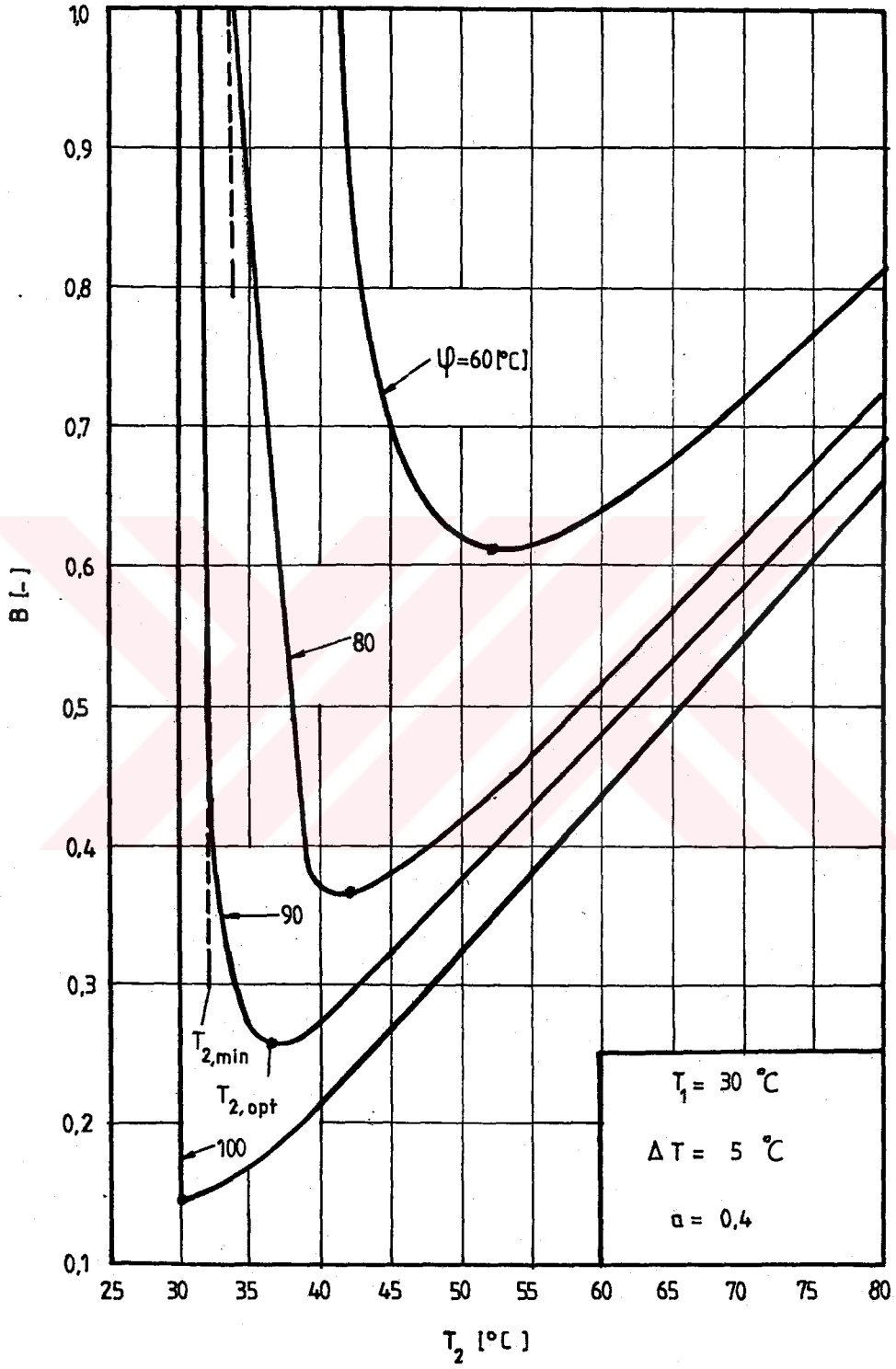
Çizelge 3. Bazı ürünlerin maksimum kurutma sıcaklıkları (YAĞCIOĞLU, 1982).

Bazı ürünler	Tohumluk kurutma sıcaklığı(°C)	Yemlik kurutma sıcaklığı(°C)	Ticari kurutma sıcaklığı(°C)
Tane mısır	45	82	50
Koçan mısır	45	82	50
Soya fasülyesi	45	—	49
Çeltik	45	—	45
Yer fıstığı	32	—	32

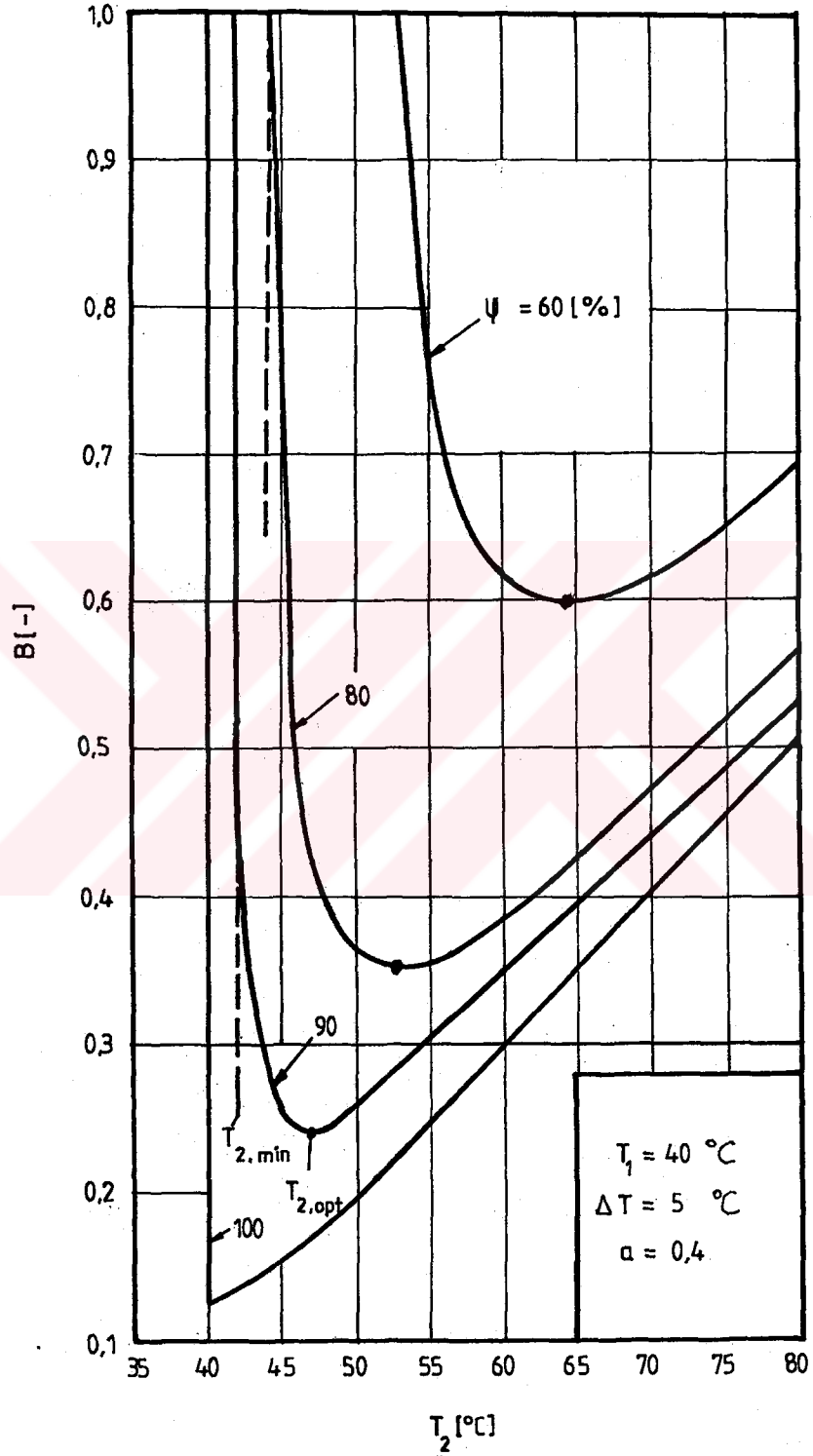
$T_{2,opt}$  un  $T_1$ ,  $\phi_3$  ve  $a$  parametreleri sabit tutulduğunda  $\Delta T$  nin 5,10, 15 değerleri için nasıl değiştiği şekil 5.4 , şekil 5.7 ve şekil



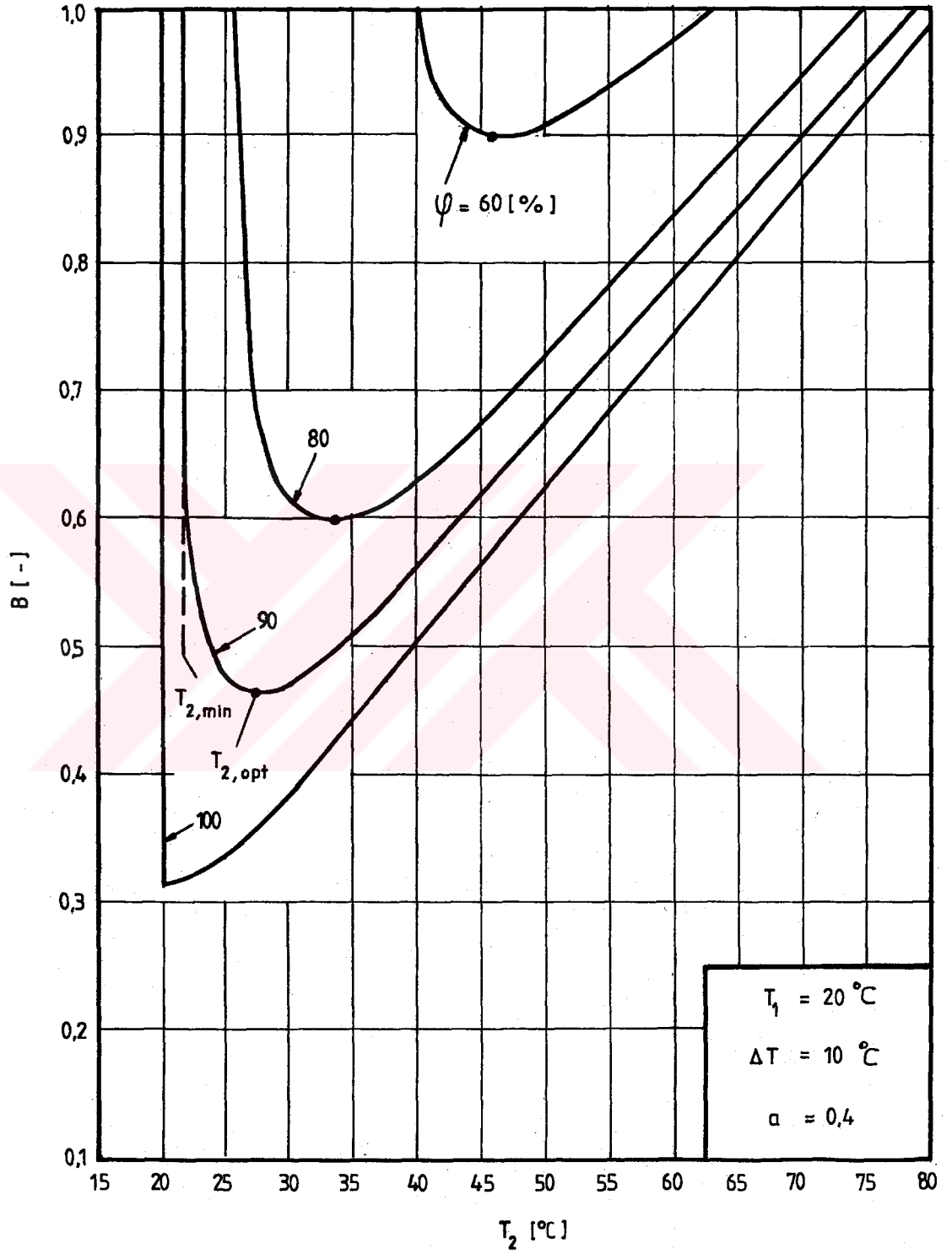
Şekil.5.4. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$  ile değişimi.



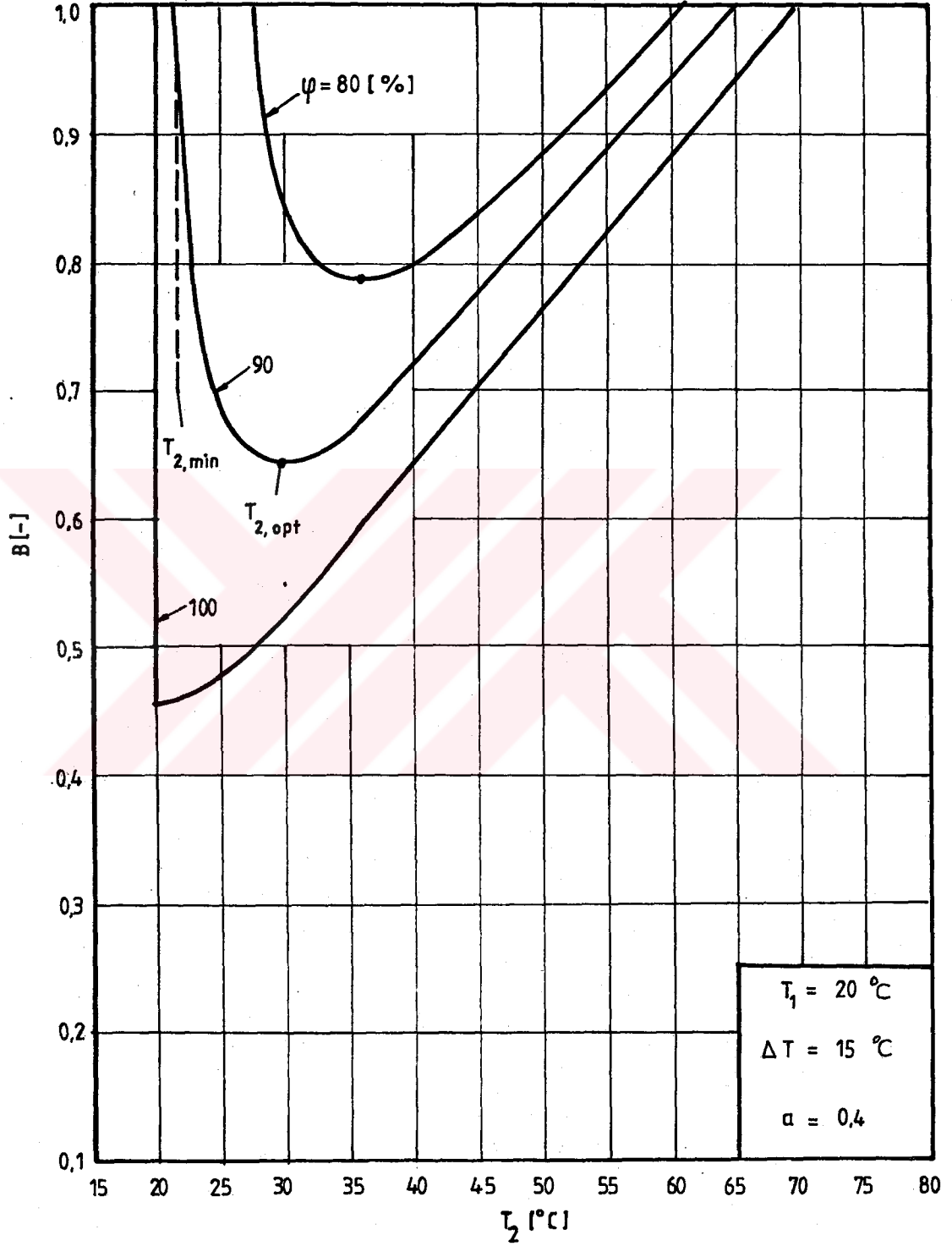
Şekil.5.5. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$  ile değişimi.



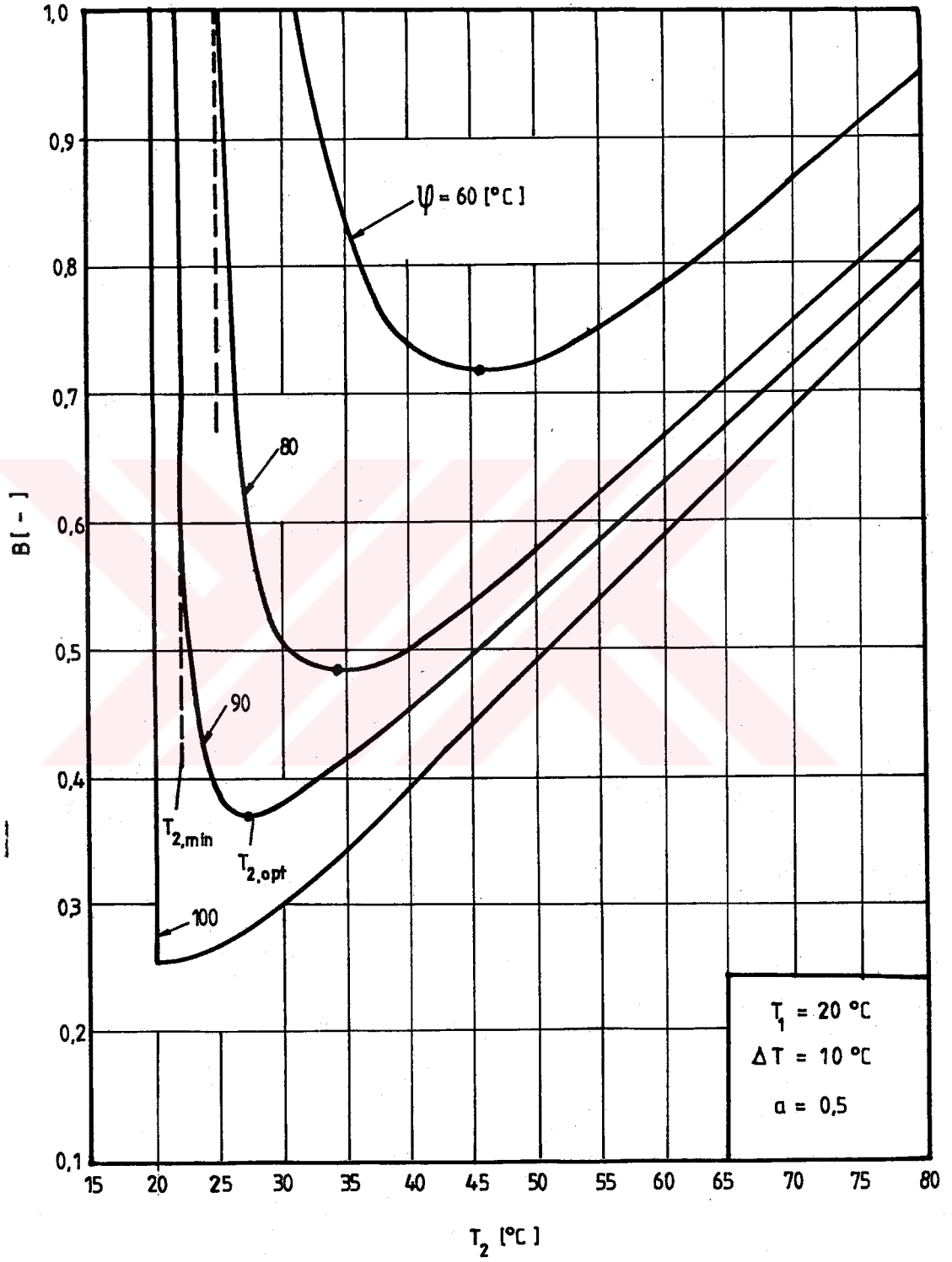
Şekil.5.6. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$  ile değişimi.



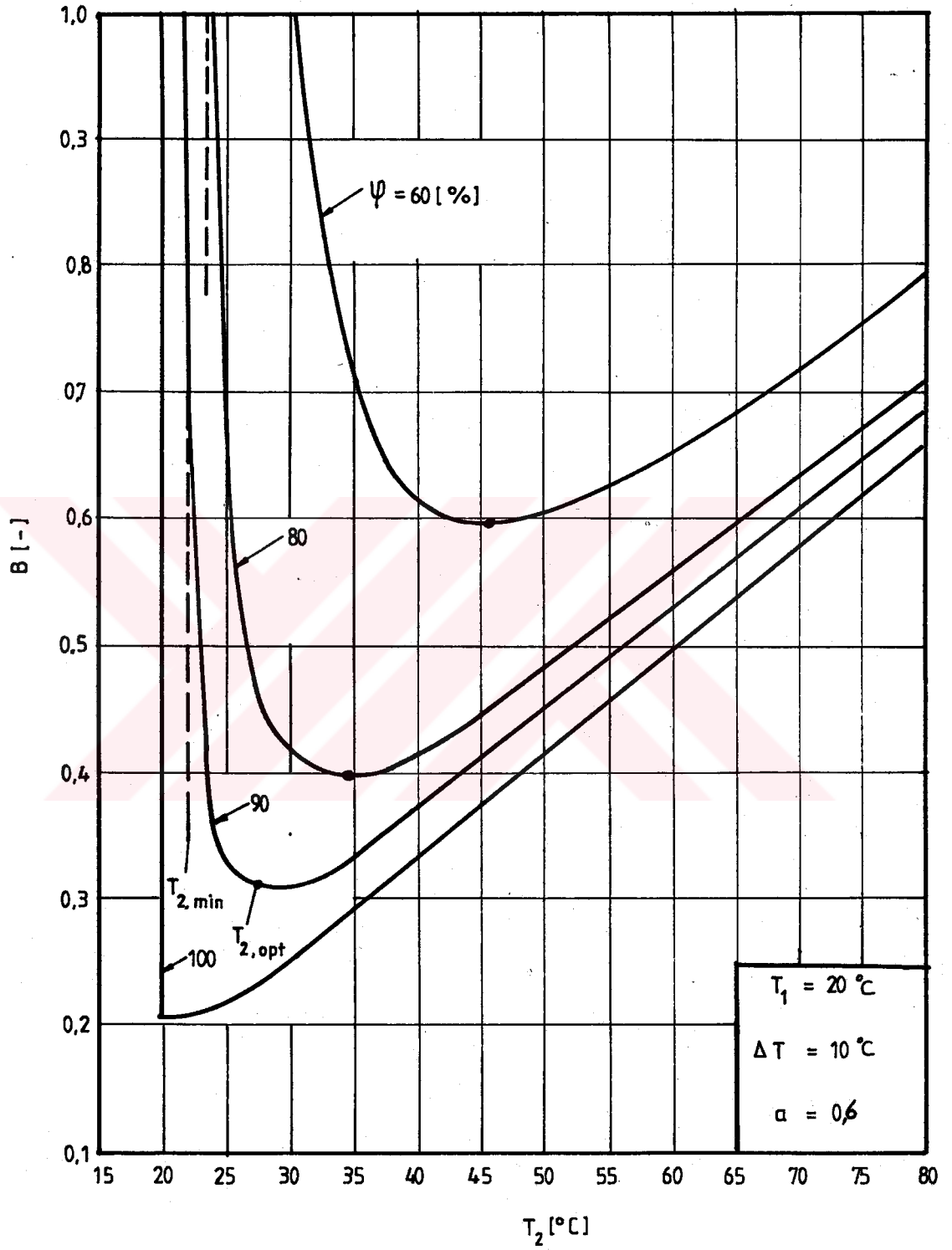
Şekil.5.10. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$  ile değişimi.



Şekil.5.8. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$  ile değişimi.



Şekil.5.9. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$  ile değişimi.



Şekil.5.7. B değerinin kurutucu giriş sıcaklığı  $T_2$  ile değişimi.



5.8 de görülmektedir.  $T$  değeri büyüdükçe  $T_{2,opt}$  da büyümektedir. Ama bunun yanında  $B$  değeri de büyüdüğünden ekonomik bölgeden uzaklaşmaktadır. Isı pompası etkinlik katsayısı  $a$  için pratikte çok kullanılan 0,4 0,5 , 0,6 verilmiş, diğer parametreler sabit tutularak  $T_{2,opt}$  ve  $B$  değerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. (Şekil 5.7, şekil 5.9, şekil 5.10 ). Etkinlik katsayısı büyüdükçe  $T_{2,opt}$  da bir değişiklik olmamıştır. Fakat  $B$  değeri küçüldüğünden işletme masrafları açısından ekonomiklik artmıştır.

Optimum kurutma giriş sıcaklığı olan  $T_{2,opt}$  a karşılık gelen  $B_{min}$  sayısının kurutucu çıkışındaki havanın rölatif nemi  $\varphi_3$  ile değişimi; etkinlik katsayısı  $a$ , soğutucu akışkan-hava arasındaki sıcaklık farkı  $\Delta T$  ve buharlaştırıcı çıkışındaki hava sıcaklığı  $T_1$  parametrelerine bağlı olarak incelenmiş ve  $T_1$  parametresinin etkisinin ihmal edilebileceği görülmüştür. Şekil 5.11 de  $B_{min}$  ile  $\varphi_3$  ün nasıl değiştiği gösterilmiştir. Ayrıca bu eğriler için aşağıdaki eşitlikler bulunmuştur:

$a = 0,6$  için:

$$B_{min} = \left[ 0,660 + 0,135 \left( \frac{\Delta T}{5} \right) \right] (1 - \varphi_3) + 0,090 \left( \frac{\Delta T}{5} \right) \quad (5.1)$$

$a = 0,5$  için:

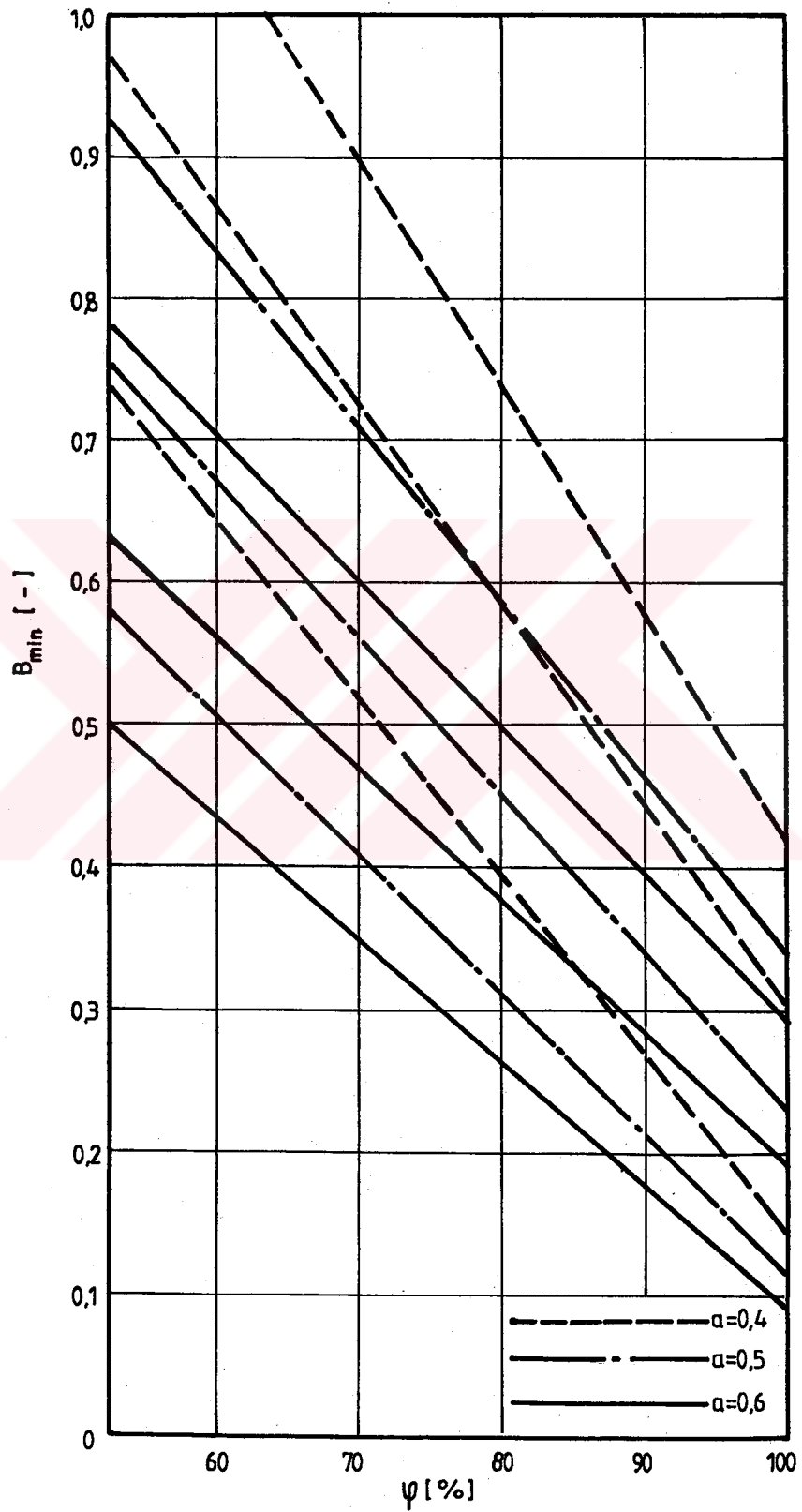
$$B_{min} = \left[ 0,800 + 0,150 \left( \frac{\Delta T}{5} \right) \right] (1 - \varphi_3) + 0,120 \left( \frac{\Delta T}{5} \right) \quad (5.2)$$

$a = 0,4$  için:

$$B_{min} = \left[ 0,860 + 0,240 \left( \frac{\Delta T}{5} \right) \right] (1 - \varphi_3) + 0,155 \left( \frac{\Delta T}{5} \right) \quad (5.3)$$

$B_{min}$  değeri 1 kg. nemi buharlaştırmak için ısı pompasına verilen enerjinin 1 kg. suyun buharlaşma ısısına oranı olduğuna göre,  $B_{min}$  1 den ne kadar küçük alınırsa işletme masrafları açısından o kadar iyi demektir.  $\varphi_3$  ün %80 - 90 arasında seçilmesi,  $a$  değerinin 0,5 den küçük olmaması ve  $\Delta T$  lerin 10'den büyük alınmaması uygun olacaktır.

Şekil.5.11.  $B_{min}$  değerinin kurutucu çıkışındaki rölatif nem  $\varphi_3$  ile değişimi. Her bir  $a$  değeri için  $\Delta T$  ler alttan başlamak şartıyla sırasıyla 5, 10, 15 dir (Bak. sayfa: 35).



Kurutucu çıkışındaki havanın rölatif nemi  $\psi_3$ , buharlaştırıcı çıkışındaki havanın sıcaklığı  $T_1$  ve soğutucu akışkan-hava arasındaki sıcaklık farkı  $\Delta T$  bilindiğinde optimum kurutma sıcaklığı olan  $T_{2,opt}$  şekil 5.12 yardımıyla yaklaşık olarak bulunabilir. Bu grafik yerine aşağıda çıkarılmış olan eşitlikler de kullanılabilir.

$\Delta T = 5^\circ\text{C}$  için:

$$T_{2,opt} = 448,85 \left[ -\psi_3^3 + 2,410\psi_3^2 - 2,028\psi_3 + 0,618 \right] + T_1 \quad (5.4)$$

$\Delta T = 10^\circ\text{C}$  için:

$$T_{2,opt} = 405,64 \left[ -\psi_3^3 + 2,306\psi_3^2 - 1,888\psi_3 + 0,582 \right] + T_1 \quad (5.5)$$

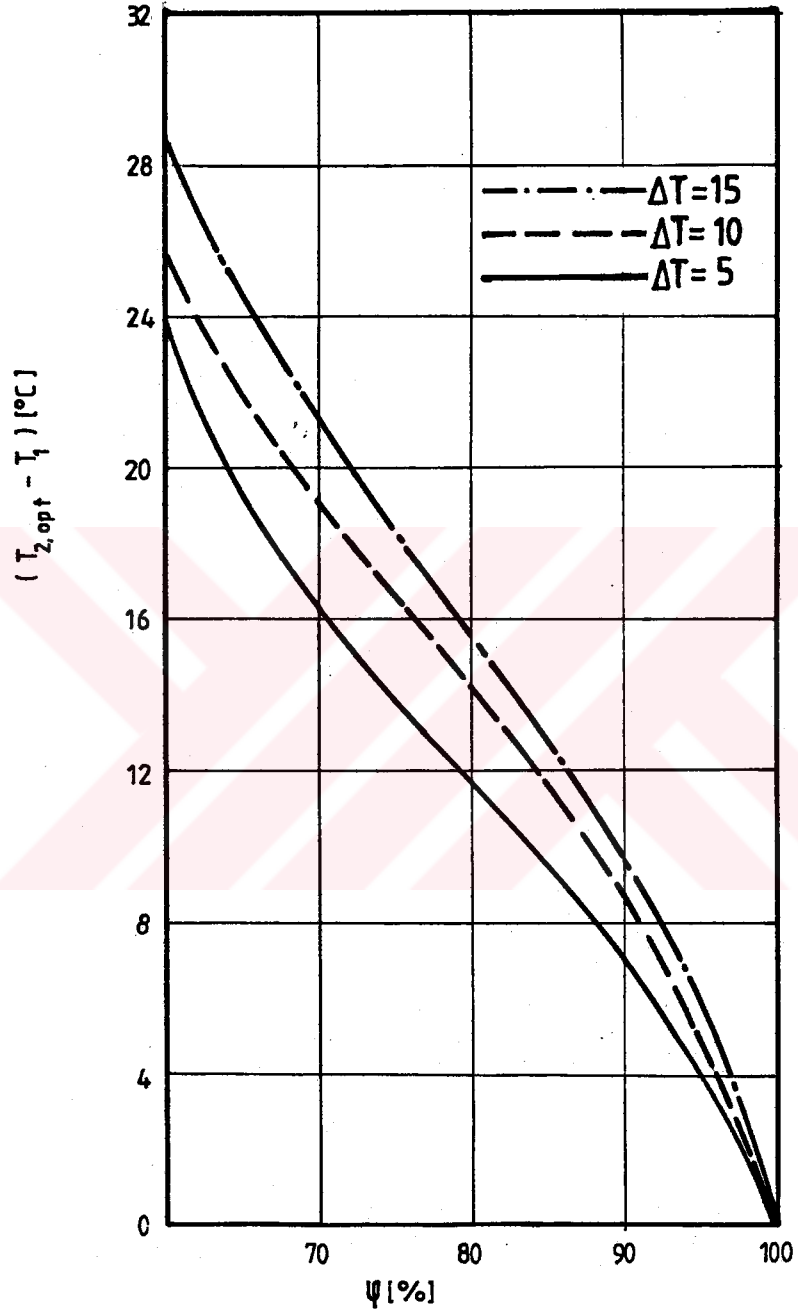
$\Delta T = 15^\circ\text{C}$  için:

$$T_{2,opt} = 493,29 \left[ -\psi_3^3 + 2,339\psi_3^2 - 1,926\psi_3 + 0,588 \right] + T_1 \quad (5.6)$$

Isı pompası yardımıyla kapalı devre kurutma sisteminin hesaplanması sonunda, işletme masrafları açısından en ekonomik çalışma sıcaklıkları, ikinci ürünlerin çeşitlerine göre aşağıda çizelgeler halinde sunulmuştur.

Çizelge 4. Koçan ve tane mısırın tohumluk ve ticari olarak kurutulmasında optimum sıcaklıklar.

	Tohumluk		Ticari	
	$T_1$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_2$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_1$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_2$ ( $^\circ\text{C}$ )
$\psi_3 = \%80$ $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ $a = 0,5$	33	45	38	50
$\psi_3 = \%90$ $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ $a = 0,5$	38	45	43	50



Şekil.5.12. Optimum kurutma sıcaklığı  $T_{2,opt}$  un kurutucu çıkışındaki rölatif nem  $\psi_3$  ile değişimi.

Çizelge 5. Soya fasülyesinin tohumluk ve ticari olarak kurutulmasında optimum sıcaklıklar.

	Tohumluk		Ticari	
	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$
$\psi_3 = \%80$ $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ $a = 0,5$	34	45	37	49
$\psi_3 = \%90$ $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ $a = 0,5$	38	45	42	49

Çizelge 6. Pirinçin tohumluk ve ticari olarak kurutulmasında optimum sıcaklıklar.

	Tohumluk		Ticari	
	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$
$\psi_3 = \%80$ $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ $a = 0,5$	34	45	34	45
$\psi_3 = \%90$ $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ $a = 0,5$	38	45	38	45

Çizelge 7. Yerfıstığının tohumluk ve ticari olarak kurutulmasında optimum sıcaklıklar.

	Tohumluk		Ticari	
	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$
$\psi_3 = \%80$ $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ $a = 0,5$	20	32	20	32
$\psi_3 = \%90$ $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ $a = 0,5$	25	32	25	32

## ÖZET

Bu çalışmada ülkemizde yetiştirilen ikinci ürünlerin (soya, dane mısır v.b.g.) ısı pompası yardımıyla ekonomik olarak kurutulması incelenmiştir.

Bilindiği gibi, ısı pompası düşük sıcaklıktaki bir ortandan, yüksek sıcaklıktaki bir ortama, mekanik iş sarfetmek suretiyle ısı nakleden bir makinadır.

İkinci ürünlerde belirli bir kurutma sıcaklığının üzerine çıkıldığında bozulmalar (kabuk çatlaması, kırılmalar, yağlanmalar v.b.g.) meydana gelir. Bu sıcaklık her ürün için farklıdır. Bu da dikkate alınarak çeşitli durumlar incelenip işletme masrafları açısından en ekonomik çalışma parametreleri araştırılmıştır.

Isı pompası buharlaştırıcısı çıkışında hava sıcaklığı ve kurutucu çıkışında hava rölatif nemi verildiğinde işletme masrafı açısından optimum bir kurutucu hava giriş sıcaklığının bulunduğu belirlenmiştir. Bu sıcaklık buharlaştırıcıdaki ve yoğuşturucudaki soğutucu akışkan-hava arasındaki sıcaklık farkı ve ısı pompası etkinliğinin fonksiyonu olarak da hesaplanmış ve sonuçlar diyagramlar ve eşitliklerle verilmiştir.

Çalışmada ayrıca, buharlaştırıcı çıkış ve kurutucu giriş sıcaklıkları verildiğinde, kurutucu çıkış rölatif neminin; kurutucu giriş sıcaklığı ve kurutucu çıkış rölatif nemi verildiğinde de buharlaştırıcı çıkış sıcaklığının ne olmaları gerektiği de tartışılmıştır.



### SUMMARY

In this study, drying of secondary crops grown in Turkey (soy beans, corn, etc.) with the use of a heat pump in an economical way has been investigated.

It is a well-known fact that a heat pump is a machine which transfers heat from a low-temperature to a high-temperature medium at the expense of mechanical work.

The most important aspect of crop drying, is that if the drying temperature rises over a definite critical value, deterioration in crop quality (like cracking of crusts, breaking of grains, oil-bleeding, etc.) occurs. This critical temperature is different for each type of crop. Taking this fact into consideration; and also studying various other factors, the most economical working condition parameters have been searched from the standpoint of lower operation costs.

It has been determined that there is definite optimum air temperature at the inlet of the drier from the viewpoint of low operation costs, if the air temperature at the outlet of the evaporator of the heat pump and the relative air humidity at the outlet of the drier are given. This temperature has also been computed as a function of; 1<sup>o</sup>) temperature difference between the cooling fluid in the evaporator, and the condenser, and the air; and 2<sup>o</sup>) the efficiency of the heat pump. The results have been presented in forms of diagrams and equations.

It was also attempted to make sound discussions about the magnitude of relative humidity at the drier outlet when the evaporator outlet temperature and the drier inlet temperature are given, and about the magnitude of the evaporator outlet temperature when the drier inlet temperature and the drier outlet relative humidity are given.

Ek 1.

İKİNCİL ÜRÜNLERİN KAPALI SİSTEM İSİ POMPALI KURUTUCU YARDIMIYLA  
KURUTULMASI

```

DIMENSION FIA(99),TA2(99),BB(99),T1A(99)
T1=30.
FI1=1.
FI4=1.
PT=100.
TY1=T1/100.
PA1=(0.782+2.9*TY1+6.3*TY1**2.25)**2
X1=0.622*((FI1*PA1)/(PT-FI1*PA1))
H1=1.005*T1+X1*(1.93*T1+2500.)
WRITE(6,40) PA1,X1,H1
40  FORMAT(1H,'PA1=',F8.5,5X,'X1=',F8.5,5X,'H1=',F9.5)
READ(5,20) (FIA(J),J=1,9)
20  FORMAT(9F4.0)
READ(5,22) NN
22  FORMAT(I2)
READ(5,30) (TA2(K),K=1,NN)
30  FORMAT(10F4.0)
DO 46 J=1,9
FI3=FIA(J)
IF(FI3.EQ.1.0) GO TO 31
PS=(X1*PT)/(FI3*(X1+0.622))
TS=T1
36  CONTINUE
TSE=TS
TYSE=TS/100.
TS=(100.*(PS**0.5-0.782))/(2.9+6.3*TYSE**1.25)
TA=ABS(TS-TSE)
IF(TA.LT.0.1) GO TO 33
TS=(TS+TSE)/2.
GO TO 36
31  CONTINUE
TS=T1
33  CONTINUE
WRITE(6,32)
32  FORMAT('-----')
WRITE(6,35) T1,FI3,TS
35  FORMAT(1H1,4X,'T1=',F3.0,6X,'FI3=',F4.2,6X,'TS=',F8.5)
WRITE(6,37)
37  FORMAT('-----')
DO 45 K=1,NN
T2=TA2(K)
TY2=T2/100.
T1A(1)=T1
KK=K+1
T1A(KK)=T1A(K)+5.
X2=X1
PA2=(0.782+2.9*TY2+6.3*TY2**2.25)**2
FI2=(X2*PT)/(0.622*PA2*(1.+X2))

```

```

H2=1.005*T2+X2*(1.93*T2+2500.)
WRITE(6,60) PA2,FI2,H2,T1A(KK)
IF(FI2.GE.FI3) GO TO 171
60  FORMAT(1H , 'PA2=',F9.6,4X, 'FI2=',F8.5,4X, 'H2=',F9.5,9X, 'T1A=',F6.
*)
H3=H2
TMAX=T2
TMIN=T1
70  TT=(TMAX+TMIN)/2.
TTY=TT/100.40
PA3=(0.782+2.9*TTY+5.3*TTY**2.25)**2
X3=0.622*((FI3*PA3)/(PT-FI3*PA3))
T3=(H3-2500.*X3)/(1.005+1.93*X3)
T=ABS(TT-T3)
IF(T.LE.0.1) GO TO 100
IF(T3.LE.TT.AND.T3.LE.TMIN) GO TO 80
GO TO 85
80  CONTINUE
TMAX=TT
GO TO 70
85  CONTINUE
IF(T3.LE.TT.AND.T3.GT.TMIN) GO TO 90
GO TO 92
90  CONTINUE
TMIN=T3
TMAX=TT
GO TO 70
92  CONTINUE
IF(T3.GT.TT.AND.T3.GE.TMAX) GO TO 93
GO TO 95
93  CONTINUE
TMIN=TT
GO TO 70
95  CONTINUE
96  TMAX=T3
TMIN=TT
GO TO 70
100 WRITE(6,120) PA3,X3,T3
120  FORMAT(1H , 'PA3=',F10.6,3X, 'X3=',F8.5,5X, 'T3=',F10.6)
X4=X3
PA4=(X4*PT)/(FI4*(0.622+X4))
TT2=T3
TY3=TT2/100.
T4=(100.*(PA4**0.5-0.782))/(2.9+6.3*TY3**1.25)
130 TT2=(TT2+T4)/2.
TY3=TT2/100.
T4=(100.*(PA4**0.5-0.782))/(2.9+6.3*TY3**1.25)
TY=ABS(TT2-T4)
IF(TY.LE.0.1) GO TO 140
GO TO 130
140 H4=1.005*T4+X4*(1.93*T4+2500.)
WRITE(6,160) PA4,T4,H4
160  FORMAT(1H , 'PA4=',F10.6,3X, 'T4=',F10.6,3X, 'H4=',F10.5)
DTE=15.
DTK=15.

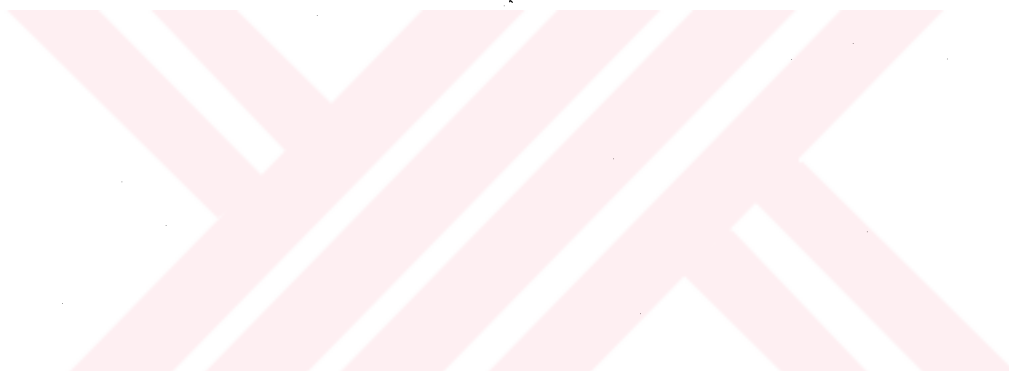
```

```

TE=(T1-DTE)+273
TK=(T2+DTK)+273
EC=TE/(TK-TE)
EG=EC/2.
DH=H3-H1
DX=X3-X1
A=DH/(EG*DX)
T23=(T2+T3)/2.
R=2501-2.40*T23
B=A/R
GO TO 181
171 CONTINUE
WRITE(6,182)
182 FORMAT('|||||FI3,FI2 DEN BÜYÜK|||||')
A=100.
B=100.
181 CONTINUE
BB(K)=B
WRITE(6,170) A,B
170 FORMAT(1H,'A=',E12.5,3X,'B=',F10.5)
WRITE(6,180)
180 FORMAT('*****')
45 CONTINUE
A=BB(1)
IM=1
DO 55 I=2,NN
AA=BB(I)
IF(A.LT.AA) GO TO 66
A=AA
IM=I
55 CONTINUE
66 CONTINUE
IF(IM.EQ.1) GO TO 456
Y2=BB(IM)
XX2=TA2(IM)
Y1=BB(IM-1)
XX1=TA2(IM-1)
Y3=BB(IM+1)
XX3=TA2(IM+1)
B=XX1
A1=B*B
D=XX2
C=D*D
F=XX3
E=F*F
AX=((Y1-Y3)*(D-F)/(B-F)-Y2+Y3)/((A1-E)*(D-F)/(B-F)-C+E)
BX=((Y2-Y3)-AX*(C-E))/(D-F)
CX=Y3-AX*E-BX*F
TMIN=-BX/(2.*AX)
BMIN=AX*TMIN**2+BX*TMIN+CX
87 WRITE(6,88) TMIN,BMIN,DTE
88 FORMAT(' ','MIN T=',F7.2,3X,'MIN B=',F10.5,3X,'DTE=',F3.0/)
WRITE(6,43)
43 FORMAT(' ','B(I)/BMIN',6X,'T2-TS')
DO 53 IL=1,NN

```

```
BZ=BB(IL)/BMIN  
T21=TA2(IL)-TS  
53 WRITE(6,54) BZ,T21  
54 FORMAT(' ',F11.5,5X,F7.2)  
GO TO 46  
456 TMIN=TA2(1)  
BMIN=A  
GO TO 87  
46 CONTINUE  
STOP  
END
```



## KAYNAKLAR

- AYDIN, K., 1986. Isı Pompalarının Teorik Modellenmesi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde yapılan Yüksek Lisans Tezi, ADANA.
- BÜYÜKALACA, O., 1985. Isı Pompalı Kurutucunun Boyutlandırılması, Ç.Ü. Makina Mühendisliği Bölümünde yapılan Yüksek Lisans Projesi, ADANA.
- EVRAUZ, Ö., EVRAUZ, Ç., TUĞAL, V., ÖZİL, E., 1984. Kuru ve Kurutulmuş Tarım Ürünlerinin Türk Ekonomisi İçindeki Yeri ve Güneşte Kurutma Uygulamalarının İrdelenmesi, GEBZE.
- GEERAERT, B., 1976. Air Drying by Heat Pumps with Special Reference to Timber Drying., (E. CAMATIN., T. KESTER. editör) Heat Pumps and Their Contribution to Energy Conservation, LEYDEN, s. 219-246.
- GIOCO, M., 1983. Utilization of A Heat to Recover the Energy Output From Driers, Rivista di Ingegria Agraria. 14/1, 9-18.
- GUPTA, D.K., ALLEN, W.H., 1980. Analysis of A Deep-Bed Corn Drying System Using A Solar Supplemented Heat Pump System in the Southeast. ASAE paper no: 80-3024.
- HARRISON, R.E., ALLEN, W.H., 1980. A Solar Supplemented Heat Pump Corn Dryer. ASAE paper no: 80-3023.
- KATO, K., 1982. Energy Saving of Grain Drier A Thermodynamic Evaluation. Grain drying by Heat Pump and Energy Flow of the System. Research Report on Agricultural Machinery. 12 , 84-103.
- KATO, K., YAMASHITA, R., 1982. Re-Use of the Exhaust Air Energy of Drier-Performance and Energy Flow of Grain Drier with Heat-Pump Using A Atmospheric and Exhaust Heat as Heat Source. Journal of Agricultural Machinery. JAPAN. 43/4. 589-598.

- NEAL, W.E.J., 1981. Isı Pompalarına Giriş. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi. ANKARA. 5/1 , 36-38.
- ÖZTÜRK, A., 1984. Termodinamik Problemleri. Kipaş Dağıtımçılık. İSTANBUL. (528 s.)
- ROSSI, S.J., 1981. Drying and Storage of Soybean Seeds by Natural Air and Heat Pump. UNICAMP. 9 . 27-29.
- UZ, E., 1978., Tarımsal Ürünleri Kurutma ve Soğutma Tekniği. Ege Ü. Matbaası. İZMİR. (114 S.).
- YAĞCIOĞLU, A., 1982. Tarım Ürünlerinin Kurutulması ve Kurutucular. Seminer Notları. ANKARA. (106 s.).
- YILMAZ, T., 1985. Isı Transferi Ders Notları. Ç.Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi. ADANA. (221 s.).

**TEŞEKKÜR**

Bana bu konuyu Yüksek Lisans tez çalışması olarak veren ve bu çalışmanın yürütülmesini üstlenerek, çalışmalarına büyük ilgi ve anlayışla yön veren, araştırma süresince değerli yardım ve katkılarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Dr. Ing. Tuncay YILMAZ'a içtenlikle teşekkür eder, saygılar sunarım.





### ÖZGEÇMİŞ

1961 yılında Adana'nın Kadirli ilçesinde doğdum. İlk öğrenimimi Kadirli'de, orta ve lise öğrenimimi Adana'nın Düziçi ilçesinde tamamladım. 1979 yılında Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesine girdim. 1983 yılında aynı Fakültenin Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldum.

Mezuniyet sonrası 1983 yılında Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans çalışmalarına başladım. 1983 yılında açılan Araştırma Görevlisi sınavını kazanarak aynı bölümde göreve başladım. Halen Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.