

# BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİNE PROJELENDİRME ve İŞLETME AÇISINDAN ETKİ EDEN ÖNEMLİ PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Recep YAMANKARADENİZ\*

## ÖZET

*Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin projelendirmesinin doğru olması ve işletmesinin randımanlı olması ancak soğutma sistemine etki eden parametrelerin iyi bilinmesi ve yorumlanması ile mümkün olacağından, bu konu soğutma uygulamalarında büyük önem arz eder.*

*Bu çalışmada, soğutma tesir katsayısına, hacimsel soğutma yüküne, etki eden önemli parametreler incelenmiş ve çeşitli eğrilerle izah edilerek fiziki yorumları yapılmıştır. Kanatlı borulu hava soğutuculu evaporatör ve kondenserin doğru seçiminin önemi ve etki eden önemli parametrelerin irdelemesi yapılmıştır.*

## ABSTRACT

*In refrigeration system design, it is very important to determine the overall heat transfer coefficient of the air-cooled plate finned-tube evaporators for the vapour-compression refrigeration system.*

*In this study, the parameters are investigated as follows; air velocity, fin spacing, tube diameter, evaporator temperature, refrigerant type; coefficient of performance for refrigerators. Moreover the theoretical and experimental studies on the parameters effecting cooling capacity and overall heat transfer coefficient of the air-cooled plate-finned tube evaporators and condensers are examined.*

---

\* Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Makina Mühendisliği Bölümü Görükle/Bursa

## 1. BUHAR SIKIŞTIRMALI TEK KADEMELİ SOĞUTMA DEVRELERİNİN ÇEVİRİM HESAPLARI

Buhar sıkıştırılmış tek kademeli soğutma sisteminin temel elamanları; soğuk ısı kaynağından ısı çeken buharlaştırıcı, elektrik motoru ile tahrik edilen motor, sıcak ısı kaynağına ısı terkedene yoğunlaştırıcı ve kısımla vanasıdır. (Şekil 1)

Buhar sıkıştırılmış soğutma çevriminin T-s ve lnP-h diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir.

İdeal soğutma çevrimi aşağıda belirtilen hal değişimlerinden oluşmaktadır;

- 1-2s Kompresörde tersinir adyabatik sıkıştırma
- 2s-3 Sabit basınçta yoğunlaştırıcıdan dışarıya ısı atılması
- 3-4 Kısımla vanasında sabit entalpide genişleme
- 4-1 Sabit basınçta buharlaştırıcının soğuk ortamdan ısı çekmesi

Gerçek çevrimde ise,

- 1-2 Kompresörde adyabatik sıkıştırma.

İdeal soğutma çevriminde,  $s_1$  kompresör girişinde özgül entropi,  $s_{2s}$  kompresör çıkışındaki özgül entropi olmak üzere, Termodinamiğin ikinci kanununa göre,

$$s_1 = s_{2s} \quad (1)$$

Gerçek soğutma çevriminde, kompresör çıkışında  $h_2$  özgül entalpisi

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{n_{ik}} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. (1,2)

Kompresör iç verimi, tersinir adyabatik kompresörün işi  $W_{ki}$ , adyabatik kompresörün işi  $W_k$  olmak üzere

$$n_{ik} = \frac{W_{ki}}{W_k} \quad (3)$$

ile tarif edilir

Gerçek soğutma çevriminde, yoğunlaştırıcıdan atılan ısı ise,

$$Q_y = m_s (h_2 - h_1) \quad (4)$$

ile bulunur.

Gerçek soğutma çevriminde, buharlaştırıcının çektiği ısı miktarı

$$Q_b = m_s (h_1 - h_4) \quad (5)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Kısılma vanasında ise,

$$h_4 = h_3 \quad (6)$$

yazılabilir.

İdeal soğutma makinesinde kompresöre verilen iş

$$W_{ki} = m_s (h_{2s} - h_1) \quad (7)$$

$$W_k = \frac{m_s (h_{2s} - h_1)}{n_{ik} n_{mk} n_{kk} n_{em}} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

$n_{ik}$	kompresör iç verimi
$n_{mk}$	kompresör mekanik verimi
$n_{kk}$	kayış kasnak verimi
$n_{em}$	ise elektrik motoru verimidir.

İdeal soğutma makinesinde,  $Q_{bi}$  buharlaştırıcıdan çekilen ısı miktarını,  $W_{ki}$  kompresöre verilen iş olmak üzere ideal soğutma makinesinin ideal soğutma tesir katsayısı

$$STKI = \frac{Q_{bi}}{W_{ki}} = \frac{h_1 - h_4}{h_{2s} - h_1} \quad (9)$$

olarak yazılabilir.

Gerçek soğutma makinesi çevriminin soğutma tesir katsayısı ise gerçek soğutma makinesinde  $Q_b$  buharlaştırıcıdan çekilen ısıyı,  $W_k$  kompresöre verilen iş ol-

mak üzere

$$STKI = \frac{Q_b}{W_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_{2s} - h_1} n_{ik} n_{mk} n_{kk} n_{em} \quad (10)$$

şeklinde yazılır.

Gerçek soğutma makinesi çevriminin soğutma tesir katsayısı STK ile ideal soğutma makinesi çevriminin ideal soğutma tesir katsayısı STKI arasında

$$STK = STKI \eta_{ik} \eta_{mk} \eta_{kk} \eta_{em} \quad (11)$$

bağıntısı vardır.

Buhar sıkıştırmalı soğutma makinesinin yoğuşma sıcaklığı  $T_y$  ve buharlaşma sıcaklığı  $T_b$ 'yi kaynak alan Carnot soğutma makinesinin soğutma tesir katsayısı ise

$$STKC = \frac{T_b}{T_y - T_b} \quad (12)$$

olarak yazılabilir.

## 2. BUHAR SIKIŞTIRMALI TEK KADEMELİ SOĞUTMA DEVRELERİNE ETKİ EDEN ÖNEMLİ PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

### 2.1 Soğutma Tesir Katsayısının İncelenmesi

Soğutma makinesinin soğutma tesir katsayısının buharlaşma sıcaklığına bağlı değişimleri, bilgi-işlem programı ile yapılan hesaplara göre çizilerek Şekil 3 'te gösterilmiştir. Eğrilerin çiziminde  $\eta_{ik} = 0.75$ ,  $\eta_{mk} = 0.9$ ,  $\eta_{kk} = 0.93$ ,  $\eta_{em} = 0.96$ ,  $T_y = 50^\circ\text{C}$  ve soğutucu akışkan F-12 alınarak yapılmıştır. Şekilden de görüleceği gibi buharlaşma sıcaklığı  $T_b$  arttıkça soğutma tesir katsayıları artmaktadır.

Soğutma makinesinin soğutma tesir katsayılarının, yoğuşma sıcaklığına bağlı değişimleri Şekil 4'de gösterilmiş olup, eğrilerin çiziminde  $T_b = 0^\circ\text{C}$  ve soğutucu akışkan olarak F-12 alınmıştır.

Şekilden de görüleceği gibi, yoğuşma sıcaklığı arttıkça, buharlaşma sıcaklığı  $T_b$  sabit olduğundan soğutma tesir katsayıları azalmaktadır.

### 2.2 Soğutma Makinesinin İyilik Derecesi (SIYD)

Gerçek soğutma makinesinde, buharlaştırıcının çektiği ısı miktarı  $Q_b$ , kompresöre verilen enerji  $W_k$  ve kompresöre verilen enerjinin üretildiği tesisin verimi  $\eta_s$  olmak üzere, soğutma makinesinin iyilik derecesi

$$SIYD = \frac{Q_b}{W_k / n_s} = STK n_s \quad (13)$$

olarak yazılabilir

### 2.3 Aşırı Soğutma ve Aşırı Kızdırmanın Etkisi

Aşırı kızdırmanın, gerçek soğutma makinesinin soğutma tesir katsayısına etkisi bilgisayar yardımıyla yapılan hesaplara göre çizilerek Şekil 5'de gösterilmiştir. Burada

$T_y = 50^\circ\text{C}$ ,  $T_b = 0^\circ\text{C}$  ve soğutucu akışkan F-12 alınmıştır.

Şekil 5'te görüldüğü gibi aşırı kızdırma sıcaklığı arttıkça, az miktarda da olsa soğutma tesir katsayısı artmaktadır. Aşırı kızdırma sıcaklığı arttıkça soğutucu akışkanın özgül hacmi de artacağından belli ebattaki kompresörün saatte alabileceği soğutucu akışkan miktarını düşürür, buda saatlik soğutma kapasitesinin düşmesine yol açar.

### 3. HAVA SOĞUTUCU KANATLI BORULU EVAPORATÖRÜN TOPLAM ISI GEÇİŞ KATSAYISININ HESABI

Hava soğutucu kanatlı borulu evaporatörün toplam ısı geçiş katsayısının hesaplanmasında kullanılan temel ifadeler bu bölümde verilecektir. Şekil 7 'de gösterilen hava soğutucu kanatlı borulu evaporatör tipi kullanılarak hesaplar yapılacaktır.

Böyle bir evaporatörde boru içinde buharlaşmakta olan soğutucu akışkan, dış kısımda ise hava bulunmaktadır. Gazların ısı taşınım katsayısı küçük olduğundan iki fazlı akış veya sıvılarla ısı değiştirildiği zaman gaz fazında genişletilmiş yüzeyler kullanmak gereklidir.

Hava soğutucu kanatlı borulu evaporatörün hava tarafındaki taşınım katsayıları santimetredeki kanat sayılarına göre Reynolds sayısı (Re) bağlı olarak  $St.Pr^{2/3}$ 'ün değişimi verilmiş olan Şekil 8 'den faydalanılarak bulunur.(12)

Reynolds sayısı aşağıdaki ifadeyle bulunur.

$$Re = \frac{MD_h}{\mu} = \frac{\rho VD_h}{\mu}$$

Burada;

$\rho$  : Havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  : Hava hızı ( $\text{m/s}$ )

$\mu$  : Dinamik vizkozite ( $\text{Ns/m}^2$ )

$D_h$  : Hidrolik çap (m)

Hidrolik çap hesaplamalarında;

$$D_h = \frac{4LA_c}{A} =$$

Ac : Havanın geçtiği dik kesit alanı

A : Hava tarafı yüzey alanı (m<sup>2</sup>), A=A<sub>kanat</sub> + A<sub>boru</sub> ifadesi kullanılır.

Prandtl sayısı (Pr)

$$Pr = \frac{C_{pp}}{k} \text{ ifadesiyle bulunur.}$$

Stanton Sayısı (St)

$$St = \frac{h_d}{\rho C_d V} \text{ ifadesiyle hesaplanır}$$

hava soğutucu kanatlı borulu evaporatörün toplam ısı geçiş katsayısı, boruların iç yüzey alanı A<sub>i</sub>, toplam hava tarafı yüzeyi A, dış yüzey verimi h, dış yüzey taşınım katsayısı h<sub>d</sub>, iç yüzey taşınım katsayısı h<sub>i</sub>, iç yüzey kirlilik faktörü R<sub>fi</sub> ve dış yüzey kirlilik faktörü R<sub>fd</sub> olmak üzere

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\eta h_d} + \frac{A}{h_i A_i} + R_{fd} + \frac{AR_{fi}}{A_i} \text{ ifadesiyle hesaplanır}$$

Yüzey verimi; kanat alanı Af, kanatçık verimi hf ve hava tarafı yüzeyi A ise

$$n = 1 - \frac{A_f}{A} (1 - n_f) \text{ olarak yazılabilir.}$$

Kanatçık verimi ise

$$\eta_f = \frac{\tanh(mL_f)}{mL_f} \text{ şeklinde ifade edilebilir.} \quad (14)$$

Burada;

m : kanat parametresi

L1 : kanat yüksekliğidir.

#### 4. ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ VE YORUMLANMASI

Şekil 7'de gösterilen evaporatör tipi ve boyutları için toplam ısı geçiş katsayıları çeşitli hava hızları, bir santimetredeki farklı kanat sayıları (farklı hatva aralıkları), Farklı buharlaşma sıcaklıkları, farklı boru çapları ve çeşitli soğutucu akışkanlar için hazırlanan bir bilgisayar programı ile hesaplanmış ve bu hesaplara göre elde edilen değerler grafikler halinde parametrelere bağlı olarak sunulmuştur.

Hava soğutucu kanatlı borulu evaporatörün toplam ısı geçiş katsayısının hatve aralığı sabit olmak üzere çeşitli hava hızlarına bağlı değişimi Şekil 9'de gösterilmiştir.

Burada soğutucu akışkan F-12 ve soğutucu akışkanın buharlaşma sıcaklığı-10 °C dir. Şekil 9'den de görüldüğü gibi santimetredeki kanat sayısı sabit tutulduğunda, hava hızları arttığında evaporatörün toplam ısı geçiş katsayısı artmaktadır.

Hava soğutucu kanatlı borulu evaporatörün toplam ısı geçiş katsayısının çeşitli sabit hava hızları için hatve aralığına bağlı olarak değişimi Şekil 10'de gösterilmiştir. Burada soğutucu akışkan F-12 ve  $T_b = 0$  °C dir. Şekil 10'den de görüldüğü gibi toplam ısı geçiş katsayısı, hatve aralığı arttıkça artmaktadır.

Hava soğutucu kanatlı borulu evaporatörün toplam ısı geçiş katsayısının, sabit hatve aralığı ve sabit hava hızı için buharlaşma sıcaklığına bağlı değişimi Şekil 11'de gösterilmiştir.

#### 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Soğutma sistemlerinin randımanlı çalışması için projelendirme, montaj ve işletmenin doğru bir şekilde yapılmış olması önemlidir. Bunun içinde soğutma sistemine etki eden parametrelerin iyi bilinmesi ve yorumlanması ile mümkündür.

Konu ile ilgili mühendislere ve araştırmacılara yol göstermek amacıyla bu çalışma hazırlanmıştır. Bu çalışmada, soğutma tesir katsayısına, hacimsel soğutma yüküne, yoğuşturucunun, buharlaştırıcının ve kompresörün soğutma yüklerine etki eden önemli parametreler incelenmiş ve çeşitli eğriler izah edilerek, pratik uygulama açısından yorumlamaları yapılmıştır. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin ikinci kanun verimini buharlaştırıcı sıcaklığına bağlı değişimi incelenmiştir. Soğutma sistemlerinde kullanılan kanatlı borulu hava soğutuculu evaporatör ve kondenserlerin doğru seçiminin önemi ve etki eden önemli parametreler açıklanmıştır.

Hava soğutucu kanatlı borulu evaporatörlerin hesap yoluyla bulunan toplam ısı geçiş katsayısı ile firmaların imalat kataloglarında bulunan (aynı hava hızı ve aynı hatve aralığı için) hava geçiş katsayısı mukayese edildiğinde kataloglardan bulunan değerler %30 civarında daha fazla olmaktadır. Böylece kataloglardan seçilen evaporatörler uygulamada, katalog değerleri altındaki bir kapasitede çalışacaklarından soğutma düşecek ve buna bağlı olarak buharlaştırıcı basıncı düşeceğinden kompresör daha fazla güç harcayacak, dolayısıyla aynı soğutma kapasitesi için daha fazla enerji tüketimine yol açacaktır. Aynı durum hava soğutmalı kanatlı borulu kondenserler içinde mevcuttur.

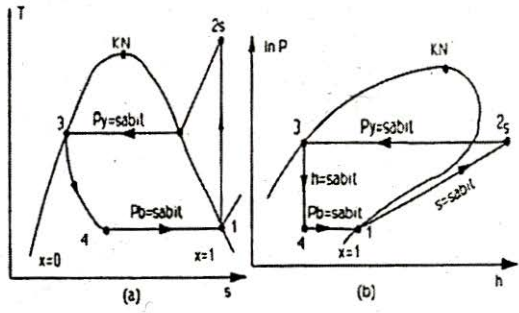
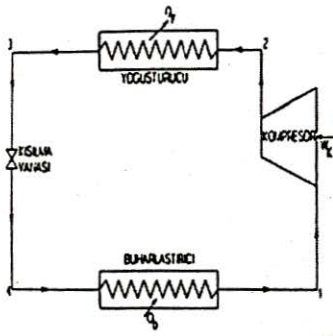
Soğutma sanayiinde bu gibi yanlış uygulamalara yol açmamak için hava soğutucu kanatlı borulu evaporatör ve kondenserlerin toplam ısı geçiş katsayıları bu çalışmada

detaylı olarak belirtildiği gibi gerçeğe çok yakın olarak belirlenmeli ve buna göre seçim katalogları hazırlanması büyük önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

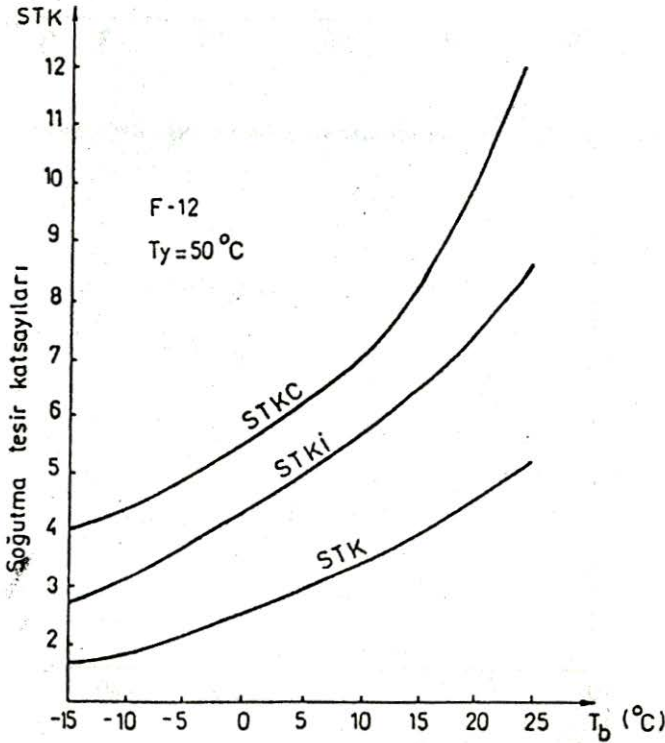
1. Dossat,R.S.:"Principles of Refrigeration" Toppan Company,Ltd.(1961).
2. Dağsöz,A.K.:"Soğutma Tekniği", Kipaş Dağıtımçılık,(1980).
3. Sallivan,H.F.:"Principles of Vapour Compression Heat Pumps, ASI Heat Pumps Fundamentals Esgiho", 1-12 September, Portekiz (1980).
4. Therlekeld,J.L.:"Thermal Enviromental Engineering", Seccond Edition, Prentice Hall (1970).
5. Kılıç,A.:"F-12 nin Termodinamik Özellikleri",MMLS Diploma Tezi, İTÜ Makina Fakültesi (1976).
6. Yamankaradeniz,R.:" Mühendislik Termodinamiğinin Temelleri Cilt 1", U.Ü. Basımevi (1994).
7. Bejan, A. "Advanced Engineering Thermodynamics", Wiley,N.Y.(1988).
8. Colie,M.S.:"Heat Pump Technology For Saving Energy", Mc Graw Hill Book Co., (1979).
9. Stoecker,W.F. and Jones,J.W.:"Refregerations and Air Conditioning", Mc Graw Hill Book Co., (1982).
10. Özkul,N.:"Uygulamalı Soğutma Tekniği", Makine Mühendisleri Odası, Yayın No 115, (1985).
11. Yamankaradeniz, R.:"Soğutma Sistemlerinde Pratik Yönden Hatalar ve Düzeltilmesi İçin Çareler", Ülkemizin Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü Sempozyumu, Yıldız Üniversitesi, 20-24 Haziran (1988).
12. Webb,R.L.:"Finned Tube Exchangers, Heat Transfer Engineering", Vol.1, No:3 (1980).
13. Dağsöz, A.K.:" Isı Geçışı", 4.Baskı, Emre Matbaacılık, İstanbul, (1980).
14. Genceli,O.F.:"Isı Eşanjörleri Ders Notları", U.Ü.Mühendislik Fakültesi (1983).
15. Incorpera,F.P.,Dewit,D.P.:"Fundamentals of Heat and Mass Transfer", John Wiley and Sons, (1993).
16. Özışık, N.,:"Heat Transfer",Mc Graw Hill Company, (1989).
17. Evaporatör İmal Eden Firma Katalogları



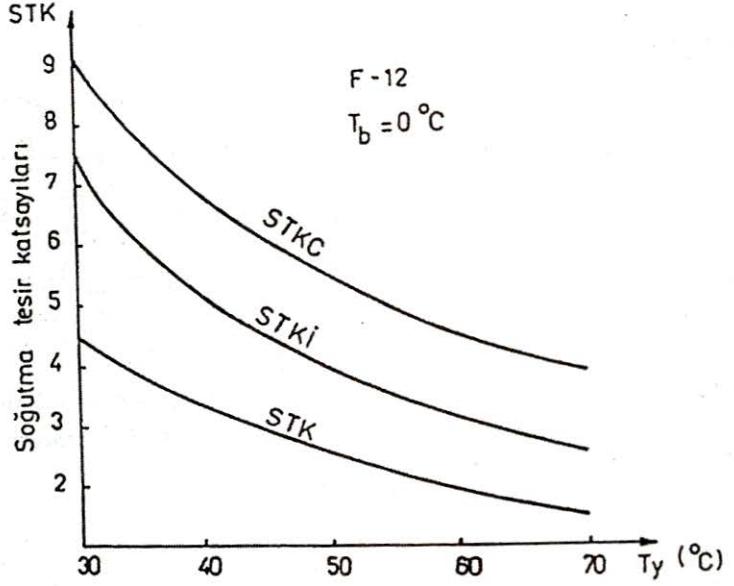


Şakil 1 Denedy Buhar sıkıştırmalı tek kademelisöğütma sistemi

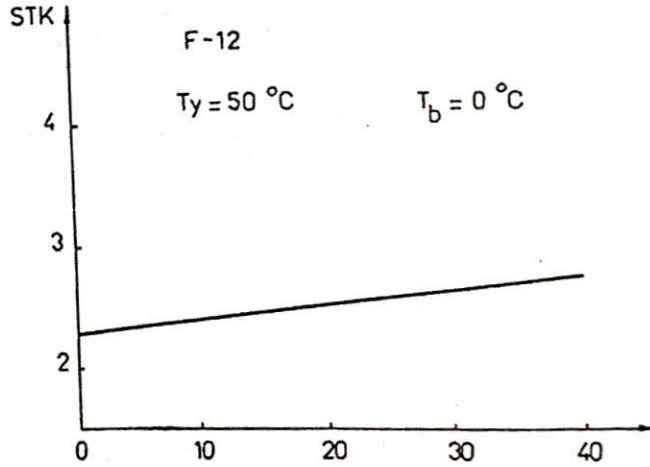
Şakil 2 Buhar sıkıştırmalı söğütma çevriminin T-s ve ln P-h diyagramında gösterilişi



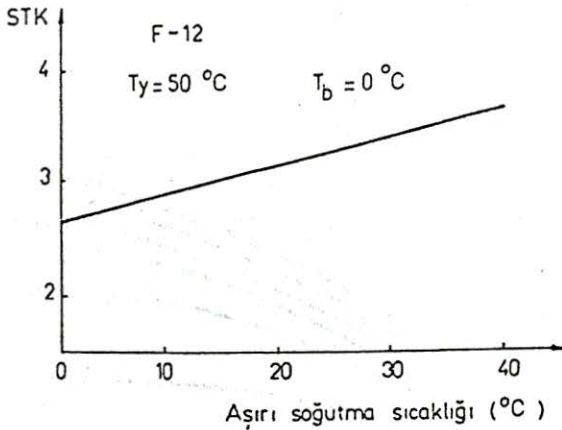
Şakil 3. STK'nin buharlaşma sıcaklığına bağı değışimleri



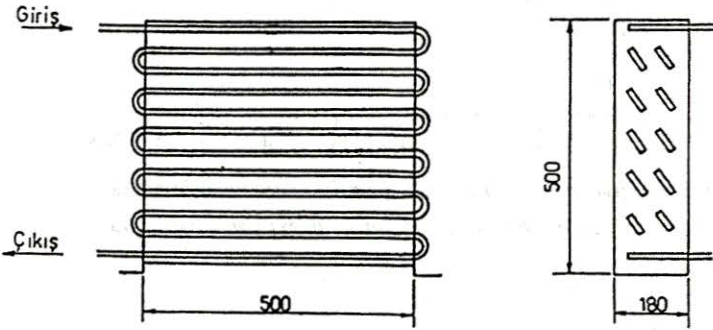
Sekil 4 STK'nin yoğunlaşma sıcaklığına bağlı değişimleri



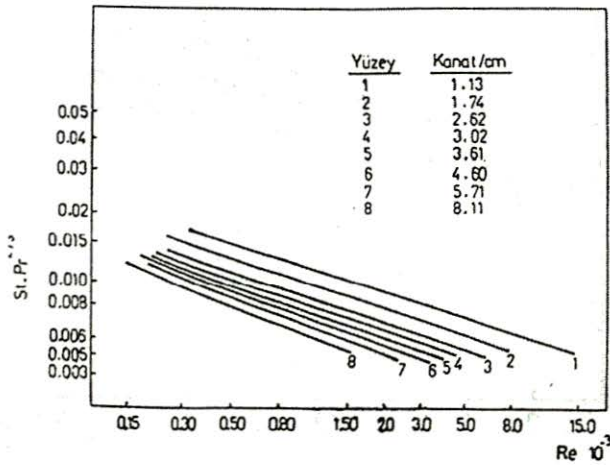
Sekil5 Aşırı kızdırmanın, gerçek soğutma makinasının STK'na etisi



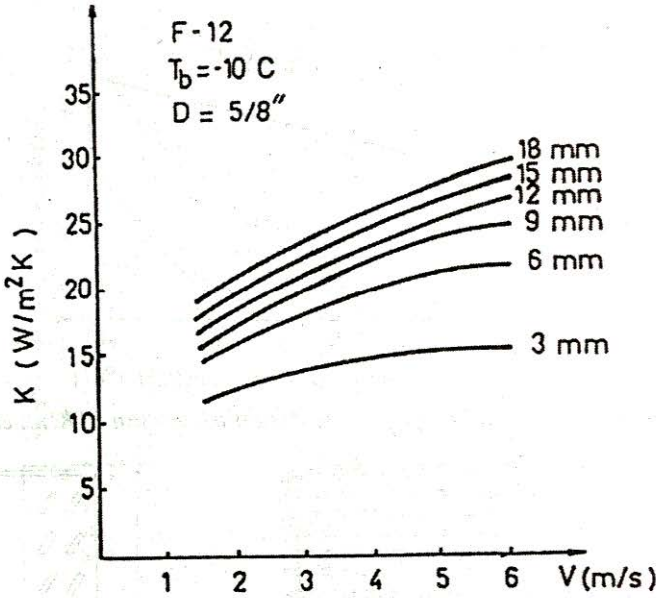
**Sekil 6 Aşırı soğutmanın, gerçek soğutma makinasının STK'na etkisi**



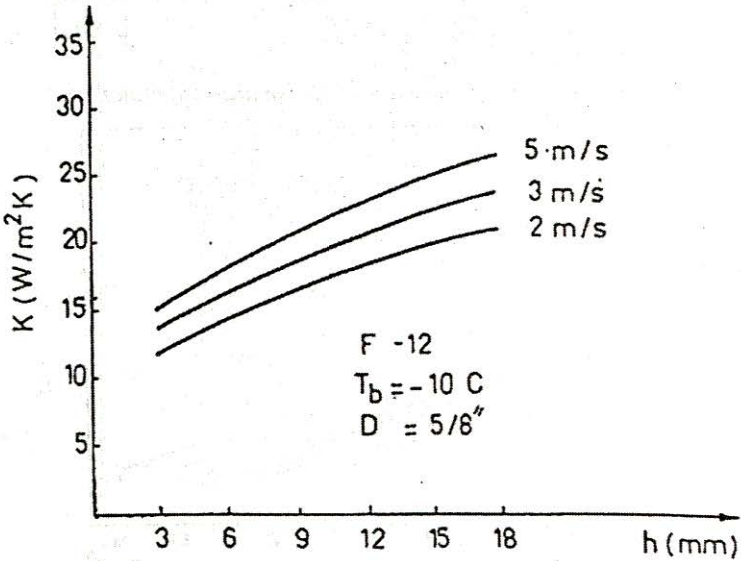
**Sekil 7 Hava soğutucu kanatlı borulu evaporatör**



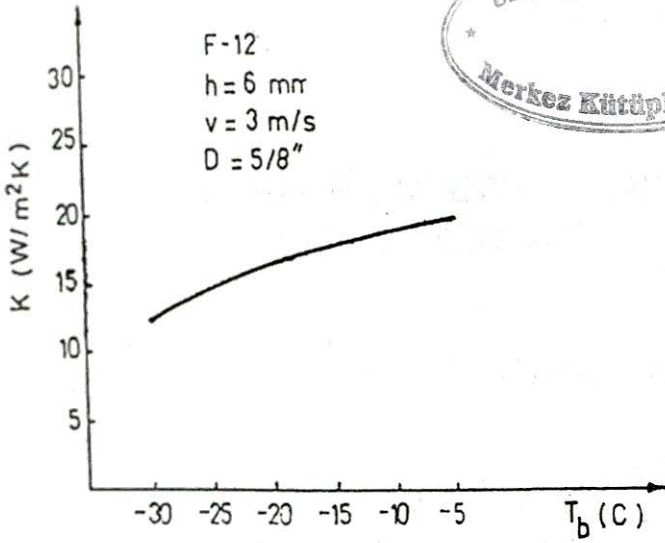
**Sekil 8 Hava soğutmalı kanatlı borulu ısı değiştircilerinde santimetredeki kanat sayısına göre Re sayısına bağlı olarak  $St.Pr^{2/3}$  ün değişimi**



**Sekil 9** Hava soğutucu kanatlı borulu evaporatörde hatve aralıkları sabit olmak üzere, toplam ısı geçiş katsayısının hava



**Sekil 10** Hava soğutucu kanatlı borulu evaporatörde hava hızları sabit olmak üzere, toplam ısı geçiş katsayısının hatve aralıklarına göre değişimi



**Sekil 11 Hava soğutucusu kanatlı boruluevaporatörde toplam ısı geçiş katsayısının buharlaşma sıcaklıklarına göre değişimi**