

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

139665

**TERMOSİFON SİSTEMLERİNDE
İKİ FAZLI AKIMLARIN İNCELENMESİ**

139665

Mak. Müh. Burak OLGUN

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN (YTÜ)

Prof. Dr. Hasan A. HEPERKAN

Prof. Dr. Olcay KINCA

Doç. Dr. Uğur KESGİN

[Handwritten signatures]
Olucay Kincay
U. Kesgin

İSTANBUL, 2003

**YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTIMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Termosifon Sistemleri.....	1
1.2 Isı Borusu Sistemleri.....	2
1.3 Isı Borusu ve Termosifon Sistemlerinin Kullanım Alanları.....	3
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1 Isı Borusu Sistemleri.....	4
2.2 Araştırma Sonuçları.....	15
3. TERMOSİFON SİSTEMİNİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ.....	16
3.1 Düşey Düz Bir Yüzey Üzerinde Yoğuşma.....	16
3.2 Düşey Bir Tüp İçerisinde Yoğuşma.....	17
3.3 Düşey Bir Tüp İçerisinde Yoğuşmada Sıvı Film Kalınlığının Belirlenmesi.....	21
3.4 Yatay Dairesel Bir Yüzey Üzerinde Yoğuşma.....	24
3.5 Eğimli Dairesel Bir Tübün İç Yüzeyi Üzerinde Yoğuşma.....	26
4. KALORİMETRİK TESTLER.....	28
4.1 Stirling Soğutucusunun Tanıtılması.....	28
4.2 Deney Tesisi ve Deneylerin Yapılışı.....	30
4.3 Deney Sonuçları.....	32
5. GLOBAL MODEL ve SİMÜLASYON.....	36
5.1 Global Model.....	36
5.2 Simülasyon.....	37
5.2.1 “ Stirling-114 “ Hesap Programı.....	37
5.2.2 Örnek Hesap.....	42
5.2.2.1 Veri girişi.....	42
5.2.2.2 Hesaplar.....	42
5.2.3 Program Sonuçlarının Yorumlanması.....	45
6. SONUÇLAR.....	46
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	49
Ek 1 “Stirling – 114 Hesap Programı” Kaynak Kodu.....	50

SİMGE LİSTESİ

c_p	Sıvı fazda sabit basınçtaki özgül ısı (kJ/kg ^{°K})
\dot{m}	Yoğuşan akışkanın kütleli debisi (kg/s)
g	Yerçekimi ivmesi (m ² /s)
h	Isı taşınım katsayısı (W/m ² °K)
h_{fg}	Buharlaştırma gizli ısı (kJ/kg)
h'_{fg}	Düzeltilmiş buharlaştırma gizli ısı (kJ/kg)
k	Akışkanın sıvı fazındaki ısı iletkenliği (W/m °C)
L	Uzunluk (m)
L_h	Buharlaştırıcı uzunluğu (m)
L_c	Yoğuşturucu uzunluğu (m)
L^*	Boyutsuz uzunluk, buharlaştırıcı uzunluğunun yoğuşturucu uzunluğuna oranı
ΔP	Basınç farkı (N/m ²)
ΔP_g	Yerçekimi sebebi ile olan basınç farkı (N/m ²)
ΔP_l	Sıvı fazdaki akışkanı buharlaştırıcıya döndürmek için gerekli olan basınç düşüşü (N/m ²)
ΔP_m	Momentum değişimi nedeni ile olan basınç düşüşü (N/m ²)
q	Isı akısı (W/m ²)
r_0	Termosifon sistemi iç yarıçapı (m)
r	Yarıçap (m)
<i>R134a</i>	<i>Tetrafloroetan</i>
T	Sıcaklık (°C)
T_s	Doyma sıcaklığı (°C)
T_c	Yoğuşturucu cidar sıcaklığı (°C)
u	Yoğuşan akışkanın z-ekseni doğrultusundaki hızı (m/s)
U	Toplam ısı geçirgenliği (W/m ² K)
UA	Cihaz sabiti (W/K)
V	Tahrik voltajı (Volt)
V	Hacim (m ³)
v_ϕ, v_z	Silindirik koordinatlarda hız bileşenleri
y	Boyutsuz kalınlık, $\frac{r}{r_0}$
δ	Sıvı film kalınlığı (m)
μ	Akışkanın sıvı fazındaki dinamik viskozitesi (kg/m s)
ρ	Akışkanın sıvı fazındaki yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_g	Akışkanın gaz fazındaki yoğunluğu (kg/m ³)
ν	Kinematik viskozite (m ² /s)
ϕ, r, z	Silindirik koordinat sisteminde eksen takımı

KISALTMA LİSTESİ

ATGM Arçelik Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Termosifon sisteminin çalışma şekli (Dunn ve Reay, 1993).	1
Şekil 1.2 Kabin içerisine yerleştirilmiş boru demeti.	2
Şekil 1.3 Isı boru sisteminin çalışma şekli (Dunn ve Reay, 1993).	3
Şekil 2.1 Yüksek performanslı minyatür ısı borusu deney tesisatı şeması.	5
Şekil 2.2 Matkap içine yerleştirilen ısı borusu.	6
Şekil 2.3 Lin ve Faghri (1999) tarafından kullanılan ısı boru ve kesiti.	6
Şekil 2.4 Ong ve Haider-E-Alalhi (1999) tarafından kullanılan deney tesisatı şeması.	7
Şekil 2.5 Nuntaphan vd. (2002) tarafından kullanılan deney tesisatı şeması.	7
Şekil 2.6 Sartre vd. (1998) tarafından kullanılan teorik ısı borusu modeli.	8
Şekil 2.7 Riffat vd. (2002) tarafından kullanılan farklı tiplerdeki ısı boruları.	9
Şekil 2.8 Sıvı-buhar akış modeli.	10
Şekil 2.9. Kapalı, yerçekimi destekli, iki fazlı termosifon sistemi.	10
Şekil 2.10 Khrustalev tarafından kullanılan kare kesitli, U-şeklindeki kapalı termosifon sisteminin bakır blok ile testi (çalışma sıvısı olarak metanol kullanılmıştır).	11
Şekil 2.11 Khrustalev tarafından kullanılan çift taraflı evaporatör ve yatay transfer hatları.	12
Şekil 2.12 Garner ve Toth tarafından kullanılan ve sunucu bilgisayarlar için geliştirilmiş ısı borulu soğutucu blok.	13
Şekil 2.13 Isı borusu içindeki dalgalı akış (Zuo ve North).	13
Şekil 2.14 Zuo ve North tarafından testleri yapılan ısı borusu prototipinin termal kamera ile çekilmiş görüntüsü.	14
Şekil 2.15 Zuo ve North tarafından, aynı test şartları altındaki bakır bloğun termal kamera ile çekilmiş görüntüsü.	14
Şekil 3.1 Düşey düz bir yüzey üzerinde yoğuşma	17
Şekil 3.2 Düşey bir tüp içerisinde yoğuşma	17
Şekil 3.3 Hız alanları	19
Şekil 3.4 Kütle dengesi	22
Şekil 3.5 Enerji dengesi	22
Şekil 3.6 Yatay dairesel bir yüzey üzerinde yoğuşma	24
Şekil 3.7 Eğik (açılı) bir düzlem üzerinde yoğuşma	24
Şekil 3.8 Eğik (açılı) dairesel bir tübün iç yüzeyi üzerindeki yoğuşan akışkana etkileyen kuvvetler	26
Şekil 4.1 Serbest piston Stirling soğutucusunun bölümleri.	28
Şekil 4.2 Serbest piston Stirling soğutucusunun kesit resmi.	29
Şekil 4.3 Serbest piston Stirling soğutucusunun boyutları.	29
Şekil 4.4 Deney düzeneğinin prensip şeması.	30
Şekil 4.5 Stirling Soğutucusu ve deney düzeneği.	31
Şekil 4.6 Stirling soğutucusunun sıcak tarafında kullanılan soğutma sistemi.	31
Şekil 4.7 Farklı tahrik voltajları için soğuk taraf sıcaklıkları ile soğutma kapasitesinin değişimi.	33
Şekil 4.8 COP nin soğuk taraf sıcaklığı ile değişimi.	34
Şekil 4.9 COP nin Carnot COP ile değişimi.	34
Şekil 4.10 Soğutma kapasitesinin, belirli bir soğuk taraf sıcaklığı için tahrik voltajı ile değişimi.	35
Şekil 4.11 Stirling soğutucusu -114 'ün performans haritası.	35
Şekil 5.1. Kabin içerisine yerleştirilmiş boru demeti.	36
Şekil 5.2 "Stirling-114" Hesap Programı ana giriş ekranı.	37
Şekil 5.3 "Hesap için değer girişi" ekranına geçiş.	38
Şekil 5.4 "Hesap için değer girişi" ekranı.	39
Şekil 5.5 "Hesapla" işlemine geçiş.	39

Şekil 5.6 “Hesap Sonuçları” ekranı.....	40
Şekil 5.7 “Grafik” ekranı.....	41
Şekil 5.8 Programın yazıcı çıktısı.	41
Şekil 5.9 Program üzerinde örnek hesap değerlerin sonuçları.	45



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Stirling soğutucusu 114, kalorimetrik deney sonuçları.....	32
Çizelge 4.2 Soğutma kapasitesinin, belirli bir soğuk taraf sıcaklığı için tahrik voltajı ile değişimi.	34



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan, başta ATGM Program Lideri Sn. Fatih Özkadı, ATGM Mühendisi Sn. Emre Oğuz olmak üzere Arçelik Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi 'ne ve çalışanlarına , üniversite-sanayi işbirliği çerçevesinde tez çalışmalarımı Arçelik ATGM bünyesinde yapmama olanak tanıyan Yıldız Teknik Üniversitesi Rektörü Sn. Prof. Dr. Ayhan Alkış 'a, değerli katkılarını benden esirgemeyen tez danışmanım Yıldız Teknik Üniversitesi. Makine Fakültesi Dekanı Sn. Prof.Dr.Hasan A. Heperkan 'a , deneysel çalışmalarda gösterdiği yardımlardan ötürü Sn. Serdar Çelik 'e, çalışmalarım süresince yaptıkları yardımlarından dolayı Sn. Öğr.Gör.Dr. Barbaros Batur ve Sn. Arş.Gör.Özden Ağra 'ya, tüm çalışmalarım süresince bana daima destek olan Aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Buzdolabı üreticileri, dünya piyasasında rekabet güçlerini koruyabilmek ve yükseltebilmek için ev tipi buzdolaplarının enerji tüketimini azaltmaya yönelik çalışmalara önem vermektedir. Bu çalışmalar doğrultusunda, buzdolabı kabini için yalıtım özellikleri üzerinde yapılan iyileştirmeler sonucunda, soğutma sisteminde de önemli adımların atılması gerekliliği üzerinde durulmaktadır.

CFC ve HCFC soğutucu akışkanlarının çevreye verdiği zararlarının anlaşılması ile beraber alternatif soğutma sistemlerine olan ilgi de artmıştır. Dünya genelinde birçok ülke tarafından imzalanan uluslararası anlaşmalar gereği; çevre sağlığına zararlı olan bu soğutucu akışkanlarının bazılarının kullanımı yasaklanmış, bazılarının kullanımında sınırlamaya gidilmiş ve bir bölümünde de kullanımın sona erdirilmesi amacı ile takvimler belirlenmiştir.

Bu durumda, düşük soğutma kapasitelerinde dahi yüksek performans katsayısı (COP) değerlerini koruyabilen serbest piston Stirling soğutucuları, enerji verimliliği ve helyum gazı ile çalışmasından ötürü de çevre dostu olması açısından önem taşımaktadır.

Stirling soğutucularının buzdolaplarına uygulanması ve bu sayede yüksek verimlere ulaşılması amaçlanan çalışmalarda, buzdolabı deneyleri öncesinde Stirling soğutucularının kapasitelerinin belirlenebilmesi için soğutucular üzerinde kalorimetrik deneyler yapılmaktadır.

Ayrıca bu soğutucu cihazın buzdolabı kabine uygulanması için, soğuk ve sıcak taraflarına uygulanan değişik tipte ısı değiştirici modelleri bulunmaktadır.

Bu tez çalışması dahilinde Stirling soğutucularının buzdolaplarına uygulanması ile ilgili olarak, kullanılan serbest piston Stirling soğutucusu üzerinde yapılan kalorimetrik test hakkında bilgi verilmiş ve elde edilen veriler doğrultusunda bu cihazın ısıl analizini yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Ayrıca, buzdolabı kabine uygulanması sırasında kullanılacak olan termosifon ısı transfer sistemi esasına göre çalışacak olan ısı değiştiricileri hakkında teorik inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu inceleme kapsamında düşey bir boru şeklindeki ısı değiştiricisinde ve serbest piston Stirling soğutucusu üzerine yerleştirilecek olan dairesel kesitli ısı değiştiricisinde, yalnızca yerçekimi etkisi altındaki soğutucu akışkanın davranışı modellenmiştir.

Anahtar kelimeler: Termosifon, ısı borusu, Stirling Soğutucusu, termosifon çevrimi, ısı değiştiricisi.

ABSTRACT

Refrigerator manufacturers pay attention to reduce the energy consumption of household refrigerators in their studies.

As a result of improvements on the insulation properties of refrigerator cabinet, the necessity of the refinements on cooling system has been understood.

The interest in alternative cooling systems has been increased by understanding of the harmful effects of the refrigerants (CFC and HCFC) to the environment. The usage of these refrigerants which are harmful to the environmental health have been prohibited by the international agreements between many countries. The usage of some refrigerants are kept as limited. Therefore, Free Piston Stirling Coolers, which can keep the coefficient of the performance at high levels under low cooling capacities are important for being energy efficient.

Calorimetric experiments are done on the coolers, in order to determine the capacity of Stirling Coolers before the refrigerator experiments. All these studies are focused on the application of Stirling Coolers to the refrigerators and so high performance has been obtained. There are different types of heat exchangers that can be applied to the cool and warm sides of refrigerator cabinet.

In this study, the calorimetric tests on Stirling Coolers have been reviewed. Depending on the obtained data a computer program was developed to do the thermal analysis of the device.

Keywords: Thermosyphon, heat pipe, Stirling Cooler, thermosyphon cycle, heat exchanger.

1. GİRİŞ

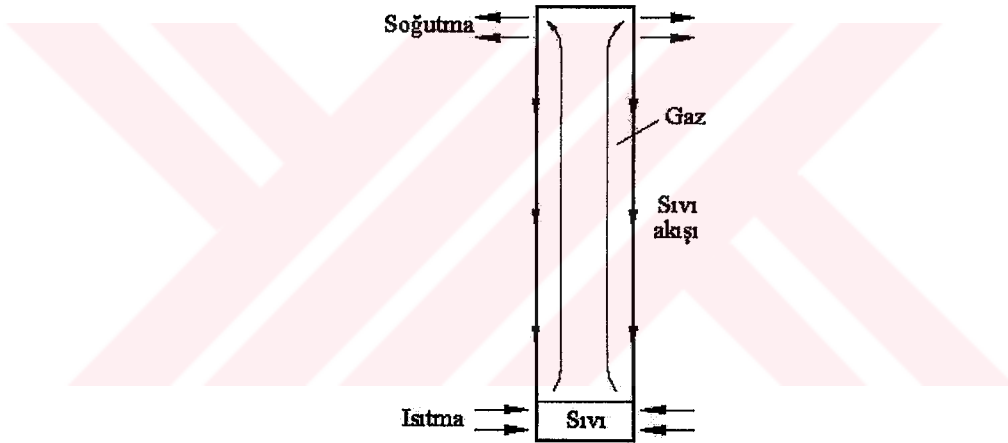
Isı borusu, ilk olarak 1942'de Gaugler (1942) tarafından önerilmiştir. Göreceli olarak küçük hacim ve yüzeyden büyük miktarda ısının taşınması işlemini gerçekleştirdiğinden iklimlendirme tesisleri, artık ısının geri kazanım üniteleri, güneş kolektörleri ve en yaygın olarak mikro elektrik devrelerin soğutulması gibi pratikte bir çok alanda kullanılırlar.

Isı borusunun üzerine incelemeler yapılarak ilk ciddi geliştirme çalışmalarında bulunulması 1960 'lı yıllarda Grover vd.(1963,1967) tarafından yapılmıştır.

Temel olarak ısı borusu ve termosifon sistemleri benzer sistemlerdir.

1.1 Termosifon Sistemleri

Isı borusu bazı özellikleri bakımından termosifon ile benzerlik gösterir.

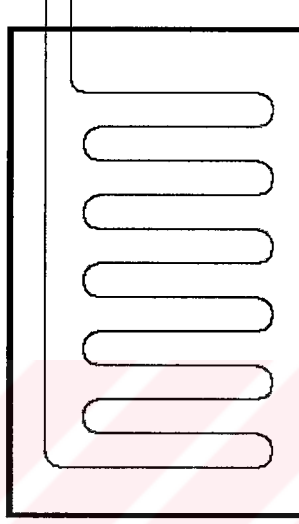


Şekil 1.1 Termosifon sisteminin çalışma şekli (Dunn ve Reay, 1993).

Termosifon sistemleri; yapısal olarak, içerisinde az miktarda akışkan bulunan havası boşaltılmış, kapalı bir borudan (tüp) oluşur. Dikey durumdaki bu tüpün alt kısmı ısıtılmak sureti ile tüpün içinde bulunan akışkanın buharlaşması sağlanır ve oluşan buhar tüpün üst kısmında bulunan tüpün soğuk ucuna (düşük sıcaklık bölgesine) doğru hareket eder. Bu bölgede yoğunlaşan buhar yerçekimi etkisi ile tekrar sıcak uca (yüksek sıcaklık bölgesine) geri döner. Bu sistemlerde, buharlaşma gizli ısılarının büyük olması iyi bir avantajdır. Yüksek sıcaklık bölgesi ile düşük sıcaklık bölgesi arasındaki sıcaklık farkının çok düşük olduğu durumlarda dahi, büyük miktarda ısı bir bölgeden diğerine iletilebilmektedir. Termosifon sistemlerinde, düşük sıcaklık bölgesi yoğunlaştırıcı, yüksek sıcaklık bölgesi ise buharlaştırıcı olarak çalışmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken, akışkanın yoğunlaştıktan sonra

buharlaştırıcı bölümüne dönüşünü yerçekimi ile gerçekleştirdiğinden; buharlaştırıcı bölümün, sistemin en alt bölümünde tutulması zorunluluğudur.

Şekil 1.1 'de çalışma prensibi görülen termosifon sisteminin sıcak ve soğuk bölümleri üzerinde, yine sıvı haldeki akışkanın yerçekimi ile geri dönüşünü engellemek şartı ile, değişik uygulamalar yapılabilmektedir.



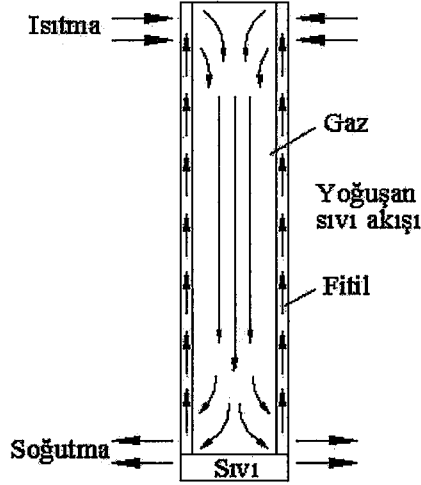
Şekil 1.2 Kabin içerisine yerleştirilmiş boru demeti.

Bu uygulamalara bir örnek olarak Şekil 1.2 'de kabin içerisine yerleştirilmiş boru demeti görülmektedir. Şekilde, kabin içerisine yerçekimi kuvveti etkisi ile giren sıvı haldeki soğutucu akışkan, kabin içerisinden ısı çektikten sonra gaz fazına geçerek kabini terketmektedir.

1.2 Isı Borusu Sistemleri

Isı borusu ve termosifon sistemlerinin ısı iletkenliği, bakır gibi ısı iletkenliği yüksek katı maddelerinkinden bile çok daha fazladır. Bunun yanında hareketli parçalarının olmayışı, sessiz çalışması ve reaksiyon sürelerinin kısa olması bu sistemlerin avatajları arasında yer alır. Her ortam ve sıcaklık aralığında çalışmaya uygun cihazlardır.

Isı borusunu, termosifondan ayıran özellik, boru iç yüzeyine bir fitil yerleştirilmiş olmasıdır.



Şekil 1.3 Isı boru sisteminin çalışma şekli (Dunn ve Reay, 1993).

Bu fitilin görevi, yoğuşan buharı kılcal kuvvetler ile buharlaştırıcıya geri döndürmektir. Bu durum, sistemde önemli bir gelişme sağlar. Buharlaştırıcının konumunun, sistemin en alt noktası ile sınırlandırılmasına gerek yoktur. Fakat buharlaştırıcının, sistemin en alt konumunda bulunması da kılcal kuvvetlere yardımcı olur.

Terminolojik olarak ısı borusu, yoğuşan buharın geri dönüşü sadece fitil yardımıyla değil, değişik kuvvetler (santrifüj kuvveti gibi) etkisi altında gerçekleşen sistemler için de kullanılmaktadır.

1.3 Isı Borusu ve Termosifon Sistemlerinin Kullanım Alanları

Bu cihazların değişik uygulama alanları vardır. Bunların başında elektrik ve elektronik devre elemanlarının soğutulması, atık ısının geri kazanım tesisleri ve değişik tiplerde soğutma üniteleri gelmektedir. Uzay araçlarının dış yüzeylerinde eş sıcaklık elde etmek için, gaz türbinlerinde kanatların soğutulması amacı ile ve sıcaklık kontrol elemanı olarak da bu cihazlardan yararlanılmaktadır. Ayrıca, soğuk iklim bölgelerinde, sürekli don altında kalan toprak alt tabakasının (permafrost) korunması amacı ile bu sistemlerden yararlanılmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1 Isı Borusu Sistemleri

Isı borusu sistemlerinin teorik analizi ile çok az sayıda kitap bulunmaktadır. P.Dunn ve D.A. Reay tarafından yazılmış olan Heat Pipes (Dunn ve Reay, 1993) adlı kitapta; ısı boruları ile ilgili tarihsel gelişme, ısı borusu teorisi, pratik dizayn bilgileri, imalat ve test çalışmaları, özel tipler ve ısı boruları ile yapılmış uygulamalar hakkında bilgi verilmektedir.

Sürekli yayınlarda ise bu cihazlar hakkında teorik incelemelerin yanısıra deneysel uygulamaların yer aldığı makaleler yayınlanmıştır. Bu makaleler genellikle "International Journal of Heat and mass Transfer", "Applied Thermal Engineering", "International Journal of Thermal Sci.", "International Comm. Heat and Mass Transfer", "Energy Conversion and Management" ile değişik seminer ve kongrelerin bildirilerinin yayınlandığı dergilerde yer almaktadır.

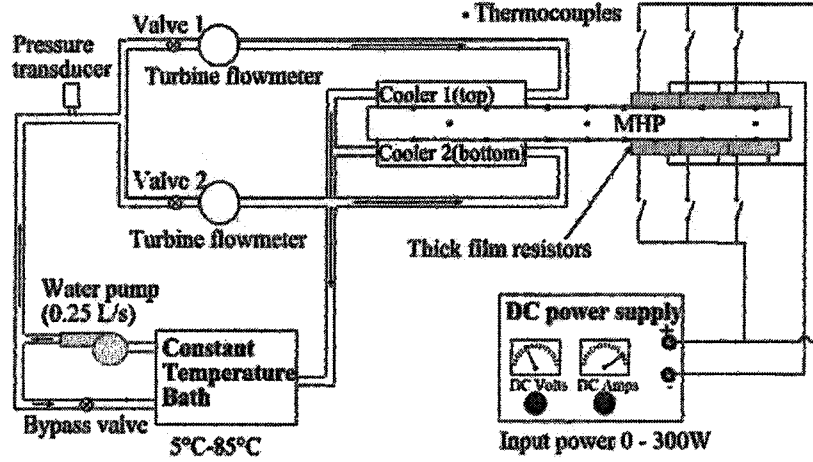
Isı borusu fikri, ilk olarak General Motor Corporation, Ohoi, Amerika 'da Gaugler tarafından 1942 yılında önerilmiş ve 1944 yılında da patenti alınmıştır (Gaugler, 1944). Gaugler bu çalışmasında, yoğuşan buharın yoğuşturucudan buharlaştırıcıya geri dönüşü için kılcal bir yapı önermiştir. Bu önerisini de bir soğutma sisteminde kullanmıştır. Ancak bu cihaz patent aşamasından sonra uzun bir süre geliştirilmemiştir.

Grover 'ın 1963 yılında, US Atomic Energy Commission adına dosyalanmış patentli çalışması "ısı borusu" ismini almıştır (Grover, 1963). Bu çalışmada sınırlı bir teorik analiz sonucunda, fitilli ve çalışma sıvısı olarak sodyum kullanan paslanmaz çelik ısı boruları üzerinde yapılan deneysel bulgular yer almaktadır.

Isı boruları üzerine ilk ticari organizasyon RCA 'dır (Dunn ve Reay, 1993). Amerika Birleşik Devletleri 'nin desteklediği bu organizasyon, 1964-1966 yılı arasında, malzeme olarak cam,bakır,molibden, paslanmaz çelik ve nikeli ısı borusu yapımında kullanmıştır. Akışkan olarak su, sodyum, sezyum, lityum ve bizmut test edilmiş ve maksimum çalışma sıcaklığı olarak 1650⁰C 'a kadar ulaşılabilmıştır.

1967 'de, boru malzemesi olarak paslanmaz çelik ve akışkan olarak da su kullanan bir ısı borusu uydu ısı kontrolünü sağlamak üzere kullanılmış ve Cap Kenedy uzay üssünden fırlatılan bir uyduda başarılı bir şekilde denenmiştir. Daha sonra uydulardaki değişik cihazların ısı kontrolleri ile eş sıcaklık elde etmek amacı ile de kullanılmıştır. 1969 'da NASA tarafından fitilsiz tip döner konstrüksiyonlu, akışkanı yoğuşturucudan buharlaştırıcıya transfer etmek için santrifüj kuvvetini kullanan bir ısı borusu geliştirilmiştir.

Lin vd. (2002) yayınladıkları makalede; yüksek performanslı minyatür ısı boruları üzerine çalışmalarını sunmuşlardır. Bu çalışmada kullanılan ısı borusu malzemesi ince bakır levha olup, kısmen bazı bölümlere yivler açılarak testler yapılmıştır. Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 2.1 'de görülmektedir.



Şekil 2.1 Yüksek performanslı minyatür ısı borusu deney tesisatı şeması.

Bu çalışma, güç elektroniğinde kullanılan devre komponentlerinin soğutulması işlemin iyileştirilmesi amacı ile yapılmıştır. Yayının içeriğinde, kullanılan minyatür ısı borularının ölçüleri, termokuplların yerleşimi ve çalışma sıcaklıkları yer almakta ve kısmen yivli ve yivsiz durumların deney sonuçlarına etkisi irdelenmektedir.

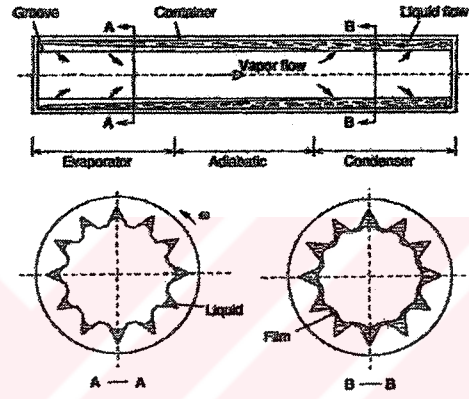
Bapat (2000), "Theoretical investigations on simultaneous operation of vapour compression refrigeration cycle and Stirling cycle in miniature Stirling cooler with two-component two-phase mixture" adı ile 2000 yılında yayınlanan makalesinde, çift komponentli iki fazlı akımları, buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi ve Stirling çevriminde incelemiştir . Bu teorik analizlerinde çeşitli varyasyonlar kullanarak çevrim verimi hesaplayan bir bilgisayar programı oluşturmuş ve bu programın algoritmasını da yayınına eklemiştir.

Jen vd. (2002), "Investigation of heat pipe cooling in drilling applications. Part I: preliminary numerical analysis and verification" isimli makalede; ısı boruları matkap uçlarını soğutmak amacı ile uygulanmış ve bununla ilgili deneysel bulgular yayınlanmıştır. Teorik çalışmalar ile deneysel bulgular karşılaştırılıp, teorik çalışmaların doğruluğu kanıtlanmıştır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 2.2) şematik olarak, ısı borusunun matkap içine nasıl yerleştirildiği görülmektedir.



Şekil 2.2 Matkap içine yerleştirilen ısı borusu.

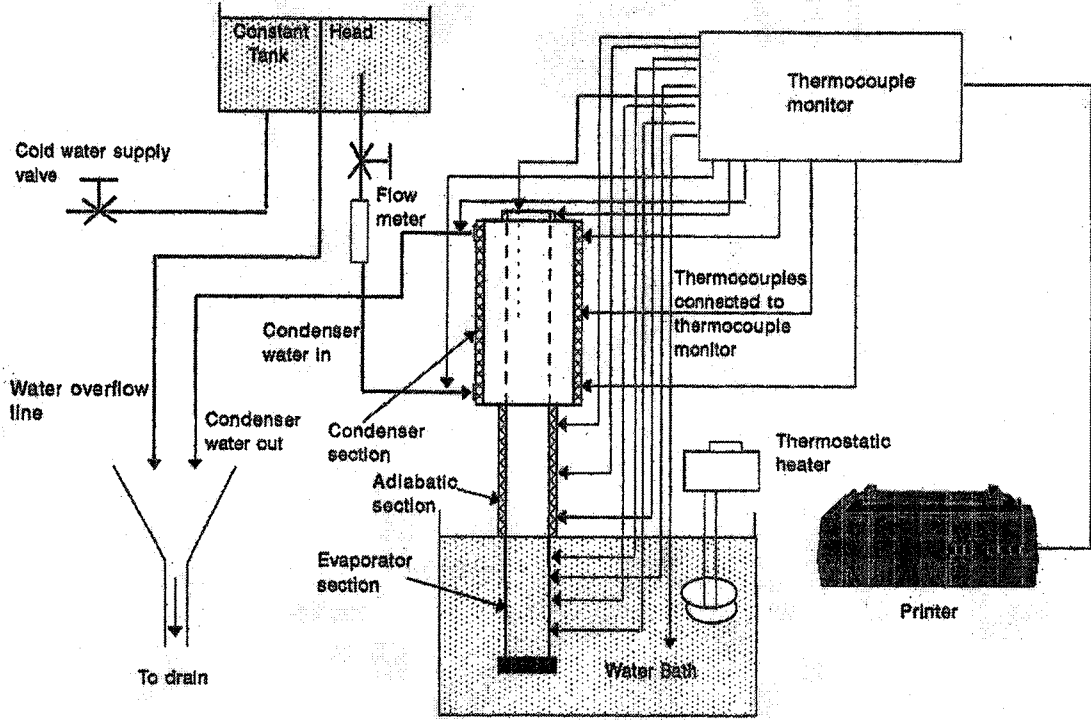
Lin ve Faghri (1999) tarafından hazırlanan “Heat transfer in micro region of a rotating miniature heat pipe” adlı makalede ; santrifüj kuvvetlerin sıvı film akışına ve ısı transferine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla; döner tip bir ısı borusu, başarılı bir şekilde elektrik motorunun soğutulmasında kullanılmıştır.



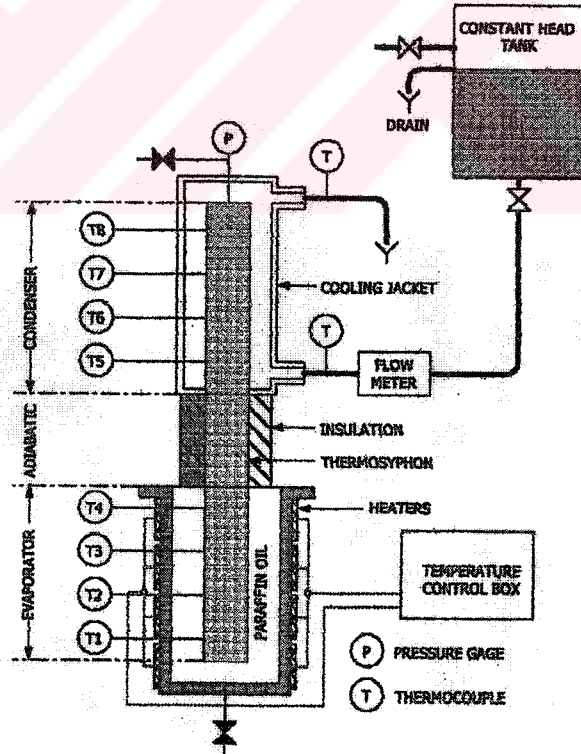
Şekil 2.3 Lin ve Faghri (1999) tarafından kullanılan ısı boru ve kesiti.

Şekil 2.3 'de, kullanılan ısı borusunun kesit resmi ve boru içerisine açılmış üçgen kesitli yivler görülmektedir.

Ong ve Haider-E-Alalhi (1999) tarafından hazırlanan “Experimental investigation on the hysteresis effect in vertical two-phase closed thermosyphons” adlı makalede; düşey tip ısı borusu üzerine yapılan deneysel çalışmalar yayınlanmıştır. Deneysel çalışmalarda, soğutucu akışkan olarak R22, R134a ve su kullanılmıştır. Uygulamalar sırasında özellikle “hysteresis effect” incelenmiştir. Deney tesisatının şematik resmi Şekil 2.4 'da görülmektedir.



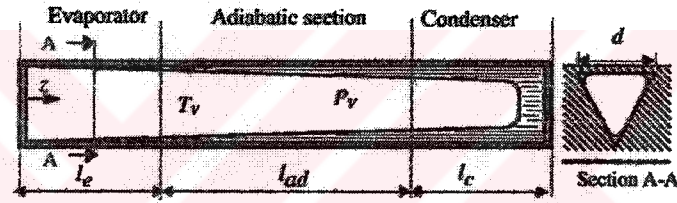
Şekil 2.4 Ong ve Haider-E-Alalhi (1999) tarafından kullanılan deney tesisatı şeması.



Şekil 2.5 Nuntaphan vd. (2002) tarafından kullanılan deney tesisatı şeması.

A. Nuntaphan, J. Tiansuwan ve T. Kiatsiriroat 'ın hazırladıkları "Enhancement of heat transport in thermosyphon air preheater at high temperature with binary working fluid: A case study of TEG–water" isimli makalede; termosifon sistemi içerisinde soğutucu akışkan olarak etilen glikol-su çiftinin çalışması irdelenmiştir (Nuntaphan vd., 2002). Bu deneyde termosifon için kullanılan boru malzemesi 9.5 mm. çapında bakır olup, 1 mm. kalınlığındadır. Oluşturulan deney tesisatı Şekil 2.5 'de görülmektedir.

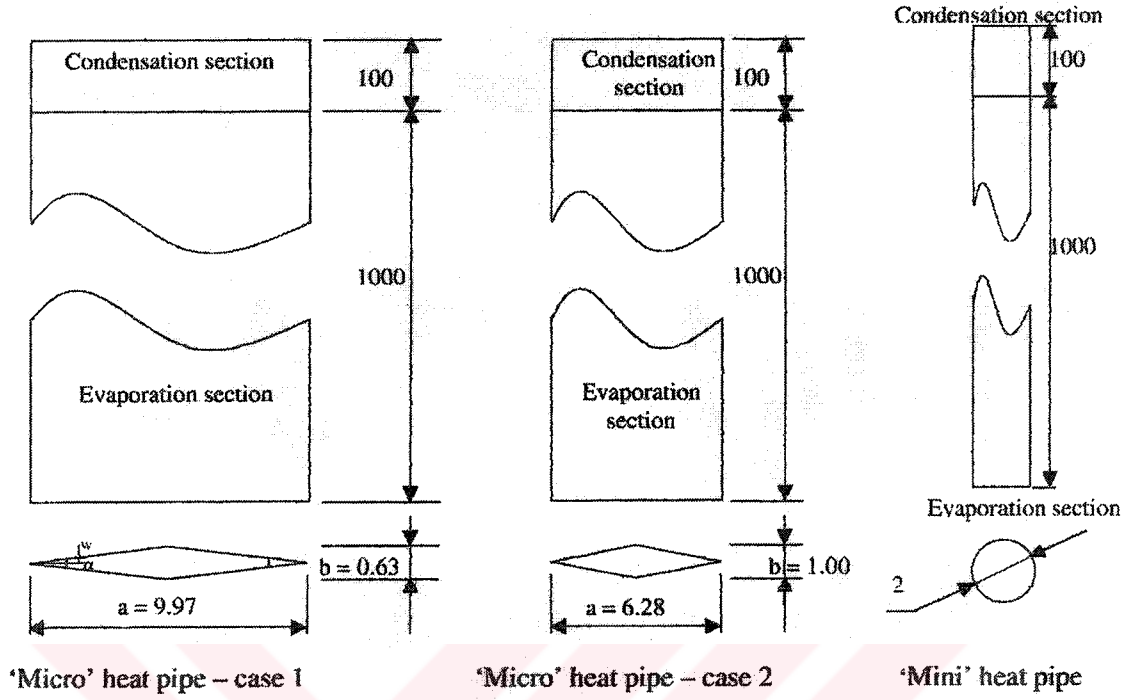
Valérie Sartre, Mohamed Chaker Zaghdoudi ve Monique Lallemand 'ın, "Effect of interfacial phenomena on evaporative heat transfer in micro heat pipes" adı ile yayınlanan makalelerinde; mikro ısı borularının evaporasyon bölgesindeki ısı transferini incelemiştir (Sartre vd., 1998). Bu amaçla, Şekil 2.6 'de görülen teorik model üzerinde çalışılmıştır. Bu model üzerinde, ıslak bölgenin uzunluğu belirlenmiş ve lokal ısı akıları ile lokal ısı transfer katsayılarının X-ekseni boyunca düşüşü gözlemlenmiştir.



Şekil 2.6 Sartre vd. (1998) tarafından kullanılan teorik ısı borusu modeli.

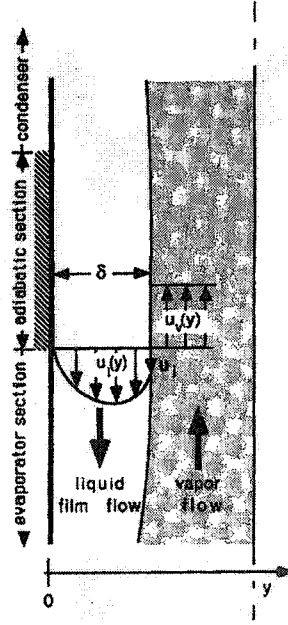
Salem A. Said and Bilal A. Akash 'ın "Experimental performance of a heat pipe" başlıklı makalelerinde; akışkan olarak su kullanılan, fitilli ve fitilsiz olmak üzere iki farklı tipte ısı borusu incelemiştir (Said v d., 1999). Bu inceleme sırasında; 30^0 , 60^0 , 90^0 ve yatay duruş pozisyonlarında fitilli ve fitilsiz yapının toplam ısı transfer katsayısına etkisi irdelenmiştir. Makale içerisinde; bu farklı pozisyonlar için evaporasyon ve kondensasyon sıcaklıkları ve toplam ısı transfer katsayılarının değişimi grafikler halinde sunulmuştur.

S.B. Riffat, X. Zhao ve P.S. Doherty 'nin "Analytical and numerical simulation of the thermal performance of 'mini' gravitational and 'micro' gravitational heat pipes" adı ile yayınlanan makalelerinde; farklı geometrik kesitlerdeki üç tip ısı borusu hakkında yapılan çalışmalar sunulmuştur (Riffat vd., 2002). Bu ısı borularının şematik resmi Şekil 2.7 'da görülmektedir. Deneylerle elde edilen bulgular, nümerik olarak yapılan çözümlerle desteklenmiştir.

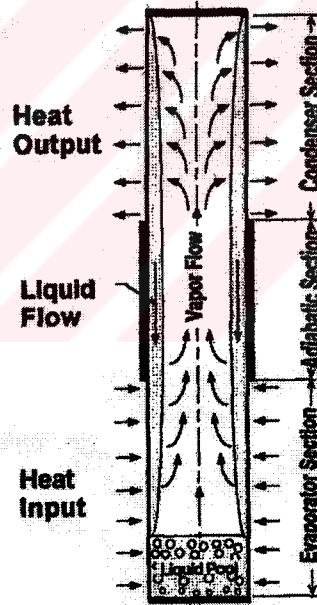


Şekil 2.7 Riffat vd. (2002) tarafından kullanılan farklı tiplerdeki ısı boruları.

Mohamed S. El-Genk ve Hamed H. Saber 'in "Flooding limit in closed, two-phase flow thermosyphons" isimli makalesinde; tek boyutlu sürekli rejimdeki analitik modelden (Şekil 2.8) yola çıkılarak, diğer araştırmacıların da üzerinde uzlaştığı, R-113, aseton, metanol, heptane ve su gibi akışkanlar ile çalıştırılmak üzere tasarlanan bir model kullanılmıştır (El-Genk vd. 1997). Şekil 2.9 'da kapalı, yerçekimi destekli, iki fazlı bir termosifon sistemin şematik resmi görülmektedir. Bu çalışmada; termosifon iç çapı ve evaporasyon bölgesinin uzunluğu gibi faktörlerin film Reynolds sayısına etkisi incelenmiş; grafiklerle karşılaştırmalar yapılmıştır.



Şekil 2.8 Sıvı-buhar akış modeli.

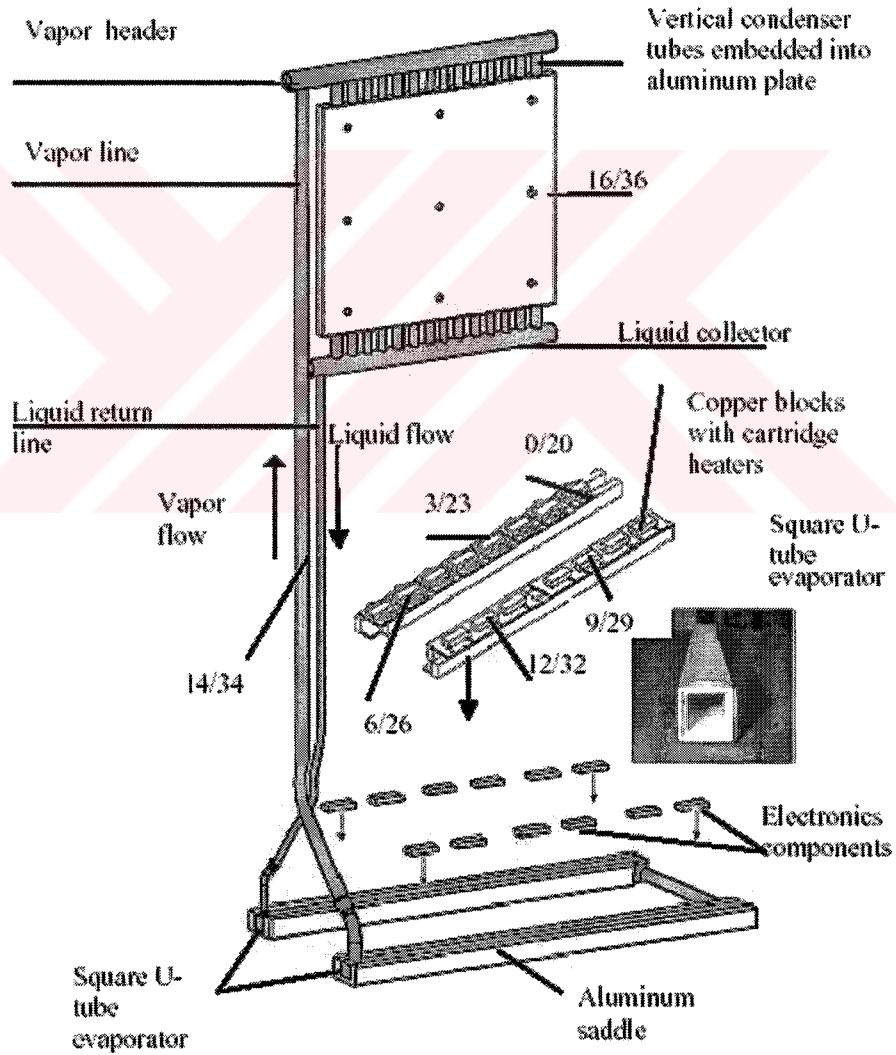


Şekil 2.9. Kapalı, yerçekimi destekli, iki fazlı termosifon sistemi.

V.G. Rajesh ve K.P. Ravindran tarafından hazırlanarak "Optimum heat pipe design: A nonlinear programming approach" başlığı altında yayınlanan makalede; optimum ısı borusu dizaynı için lineer olmayan bir çözüm formüle edilmiştir (Rajesh ve Ravindran, 1997). Bu işlemler sırasında, istenilen hata fonksiyonu başta olmak üzere değişik metotlardan yararlanılmıştır. Çalışmalar sonucunda optimum değerler ve değişik dizayn parametreleri sunulmuştur.

Y. Wang ve K. Vafai tarafından hazırlanarak “An experimental investigation of the thermal performance of an asymmetrical flat plate heat pipe” başlığı ile yayınlanan makalede; düz levha tipi ısı borusunda ısı performans incelenmiştir (Wang ve Vafai, 2000). Elde edilen deneysel sonuçlar ile analitik çözümler karşılaştırılmış ve birbirileri ile uyduğu gösterilmiştir.

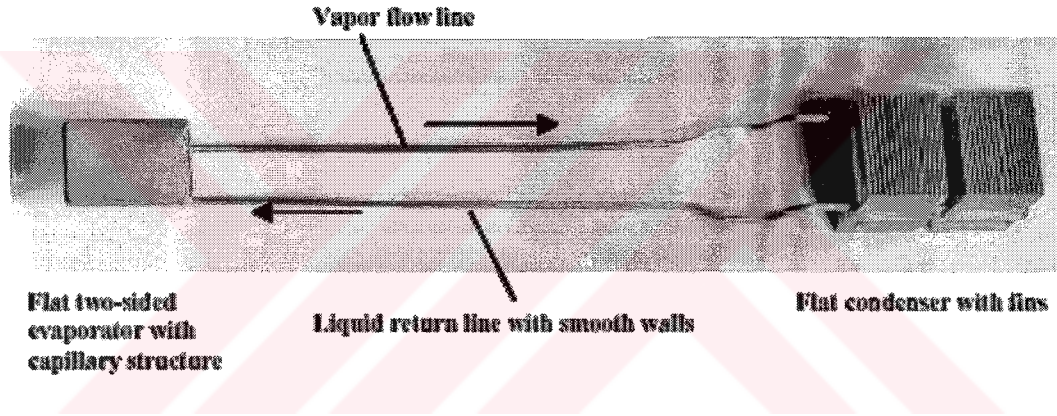
Dmitry Khrustalev, “Loop Thermosyphons for Cooling of Electronics” başlıklı yayınında; elektronik alanındaki komponentlerin soğutulması alanında bir alternatif olarak kapalı devre termosifon sistemini incelemiştir (Khrustalev). Bu amaçla biri yatay, kare kesitli, U-şeklinde [Şekil 2.10] ve diğeri yatay taşıma hatları bulunan, iki tarafından ısıtılmış düz evaporatörden [Şekil 2.11] oluşan iki farklı tip evaporatörlü sistem üzerinde inceleme yapmıştır.



Şekil 2.10 Khrustalev tarafından kullanılan kare kesitli, U-şeklindeki kapalı termosifon sisteminin bakır blok ile testi (çalışma sıvısı olarak metanol kullanılmıştır).

Şekil 2.10 'daki rakamlar, sıcaklık duyar elemanlarının yerleşim yerlerini göstermektedir. Deneysel düzeneklerinin belirli noktalarında zamana bağlı olarak yapılan sıcaklık ölçümleri, ısı akıları ile birlikte grafikler üzerinde irdelenmiştir.

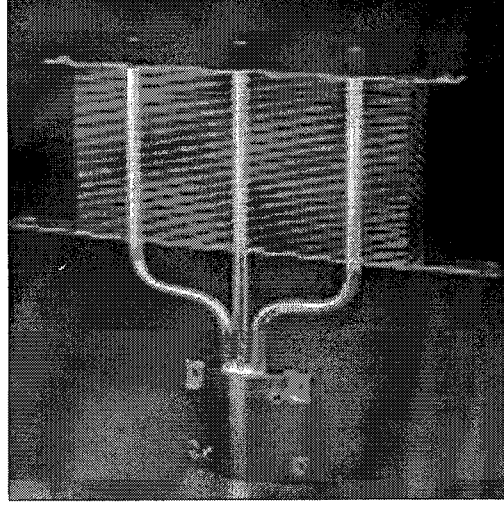
Yayın içeriğinde; kapalı devre termosifon sistemi içerisindeki kondenser ile evaporatör arasında ısı enerjisinin transferinde, birkaç fiziksel mekanizmanın düşük ısı direnci sınırlandırıldığına dikkat çekilmiştir. Bu mekanizmalara kısaca çalışma sıvısının sirkülasyon limiti, kapiler limit, kritik ısı akısı ve evaporatördeki ısı direnci şeklinde değinilmiş; evaporatör girişindeki sıvı dönüşünün sıvı kolonu ile nasıl sağlandığı, sıvı ve buhar hattındaki basınç düşüşleri hakkında önbilgi verilmiştir. Sistemde; yoğuşturucu çıkışındaki sıvı haldeki soğutucu akışkanın oluşturduğu sıvı kolununun, yerçekimi etkisi ile sahip olduğu statik basınç, soğutucu akışkanı buharlaştırıcı içerisinde tahrik etmekte ve çevrim tabii sirkülasyon ile tamamlanmaktadır.



Şekil 2.11 Khrustalev tarafından kullanılan çift taraflı evaporatör ve yatay transfer hatları.

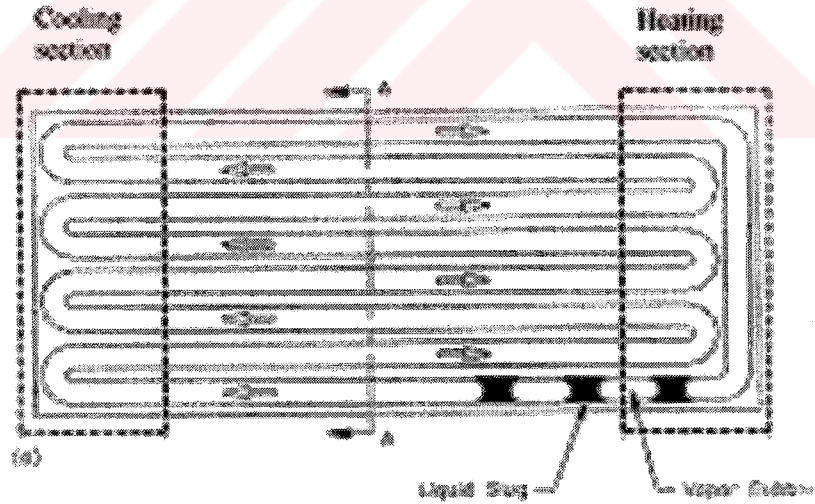
Çevresel ısının "0"ın altına düşme tehlikesi nedeni ile, çalışma sıvısı olarak metanol veya etil alkol kullanılmıştır.

Scott D. Garner ve Jerome E. Toth, "Heat Pipes: A Practical and Cost Effective Method For maximizing Heat Sink Effectiveness" başlıklı yayınlarında; elektronik devre komponentlerine, onları soğutmak için yerleştirilen soğutucu bloklar ile ortam arasındaki termal dirençleri en aza indirebilmek amacı ile ısı borusu sistemlerini incelemiştir (Garner ve Toth). Değişik malzemelerden mamül hava soğutmalı soğutucu bloklarda ısı borusu kullanılarak, ısı iletim katsayısının ilk duruma göre değişimleri gözlenmiştir.

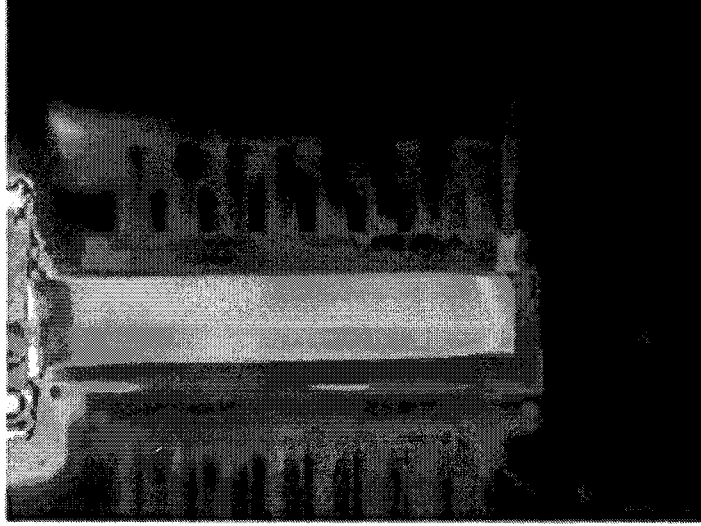


Şekil 2.12 Garner ve Toth tarafından kullanılan ve sunucu bilgisayarlar için geliştirilmiş ısı borulu soğutucu blok.

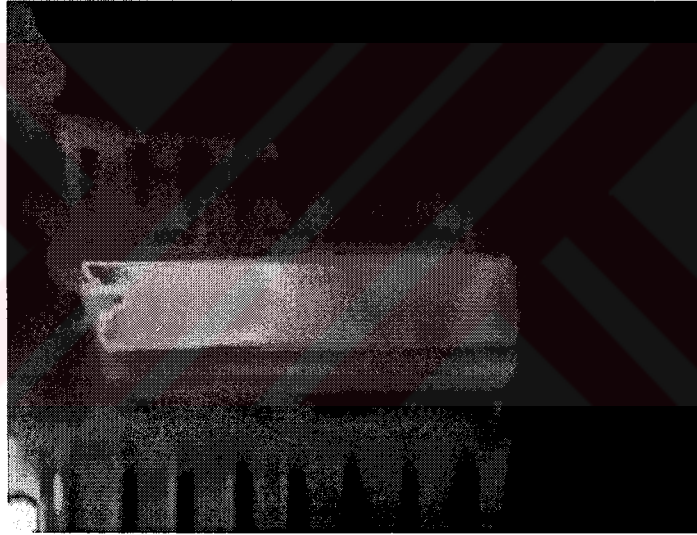
Z. Jon Zuo ve Mark T. North tarafından hazırlanan “Combined Pulsating and Capillary Heat Pipe Mechanism for Cooling of High Heat Flux Electronics” başlıklı yayında, sinterlenmiş metal tozundan fitil ile çalışan ısı borusunun içindeki akış incelenmiştir (Zuo ve North). Çalışma içerisinde akışkanın salınımı grafik halinde irdelenmiştir. Çalışma sonucunda değişik doluluk oranı ve kapasiteler dikkate alınarak karşılaştırmalar şeklinde sunulmuştur.



Şekil 2.13 Isı borusu içindeki dalgalı akış (Zuo ve North).



Şekil 2.14 Zuo ve North tarafından testleri yapılan ısı borusu prototipinin termal kamera ile çekilmiş görüntüsü.



Şekil 2.15 Zuo ve North tarafından, aynı test şartları altındaki bakır bloğun termal kamera ile çekilmiş görüntüsü

Robert DeHoff ve Kevin Grubb tarafından hazırlanmış “Heat Pipe Application Guidelines” başlıklı yayında, ısı borusu sistemleri ile ilgili tanımlamalar yer almaktadır (Dehoff ve Grubb). Bu çalışmada ısı borusunu çalışma prensip ve limitleri, fitil yapısı, yerçekimin sisteme etkisi ve soğutucu blok uygulamalarındaki performans artışı anlatılmaktadır. Soğutucu blok uygulamalarındaki sıcaklık düşümleri global olarak irdelenmiştir.

2.2 Araştırma Sonuçları

Yapılan yayın taramasında, termosifon ve ısı borusu sistemlerinin B285 (larder) tipi buzdolapları ebadında bir soğutucu cihaza uygulanması ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak güneş enerjisi ile çalışan piknik tipi soğutuculara uygulanması hakkında, güneş enerjisi uygulamaları ağırlıklı bilgiler mevcuttur. Bununla beraber, bu sistemlerin uygulamalarına elektrik devrelerinin ve elektronik komponentlerin soğutulmasında sıklıkla karşılaşılmaktadır.

Stirling soğutucusu ile çalıştırılması düşünülen B285 (larder) tipi buzdolaplarına termosifon sisteminin uygulanması ile ilgili olarak, literatür araştırmasında elde edilen bilgiler doğrultusunda iki ucu kapalı, düşey tip termosifon borusu üzerinde teorik çalışmalara başlanarak model oluşturulması uygun görülmüştür.

Bu teorik çalışmada sırası ile düşey bir yüzey üzerinde yoğuşmadan yola çıkılarak, düşey bir tüp iç yüzeyinde yoğuşma irdelenmeli; enerji ve ısı denklileri kurulmalıdır. Bunu takiben, yoğuşmada oluşan sıvı film kalınlığı belirlenmelidir.

Bu işlemler sonucunda:

- Çalışma sıvısı ve miktarı,
- Buharlaştırıcı uzunluğunun, yoğuşturucu uzunluğuna oranı,
- Çalışma basıncı ve sıcaklığı,
- Isı akısı,
- Eğim açısı,

gibi faktörlerin model üzerindeki etkileri incelenmelidir.

3. TERMOSİFON SİSTEMİNİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

İki fazlı kapalı bir termosifon sistemindeki, ısı transferine bağlı akış eşitliği aşağıdaki kuvvetler dengesi ile elde edilir.

$$\Delta P_g \geq \Delta P_l + \Delta P_v + \Delta P_m \quad (3.1)$$

Genel anlamda teorik analizin yapılabilmesi için çok karmaşık olan sistemin, bir takım kabuller yapılarak basitleştirilmesi gerekir. Bu kabuller :

Yoğuşturucu bölümündeki sıcaklık, yoğuşturucu bölümünün uzunluğu boyunca sabittir.

Isı, buharlaştırıcı bölümüne homojen olarak verilir.

Buharlaştırıcı bölümüne verilen ısının tamamı, yoğuşturucu bölümünden alınır.

Yoğuşturucu bölümünde sıvı hale geçen akışkan buharlaştırıcıya, tüpün dairesel çevresi boyunca devamlı bir film akışı ile döner.

Sınır tabakadaki akış laminerdir.

Aşırı soğutma ve ısıtma durumundaki duyulur ısı, akışkanın buharlaşma gizli ısısı yanında ihmal edilebilir..

3.1 Düşey Düz Bir Yüzey Üzerinde Yoğuşma

Benzer şekilde düşey düz bir yüzey üzerinde yoğuşmanın teorik incelemesini yapmak için de bir takım kabuller yapmak gerekir :

- Yüzeyler arasındaki ısıl temas direnci “0” kabul edilebilir. Snaith vd. (1984) tarafından değişik yüzeyler arası ısıl temas direnci hakkında örnek değerler verilmektedir.
- Yoğuşma film şeklinde gerçekleşir.
- Yüzey sıcaklığı sabit kalır.
- Buhar, ara yüzeye göre bağıl hıza sahip değildir ve buharın akışı ara yüzeye paraleldir.
- Buhar tam olarak doymuştur.
- Yoğuşan sıvıdan ısı transferi sadece iletim yolu ile olmaktadır.
- Yoğuşan sıvı, sadece yerçekimi kuvvetinin etkisi ile hareket etmekte ve bu kuvvet etkisi ile yüzeyden viskoz olarak akmaktadır.

Düşey bir tüp içerisinde yoğuşma sırasında yoğuşan akışkanın hızı, tüpün yarıçapının bir fonksiyonu olarak tanımlanır.

$$u = f(r) \quad (3.3)$$

Düşey düz bir yüzey üzerinde yoğuşmanın teorik olarak incelenmesi için yapılan aynı kabuller ile (3.2) denkleminde yola çıkılarak aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\pi (r^2 - r_i^2) \rho g dz = -2 \pi r \mu \frac{du}{dr} dz \quad (3.4)$$

$$du = -\left(r - \frac{r_i^2}{r}\right) \frac{\rho}{2\mu} g dr \quad (3.5)$$

Her iki taraf da integre edilirse:

$$\int_0^{u_r} du = -\int_{r_0}^r \left(r - \frac{r_i^2}{r}\right) \frac{\rho}{2\mu} g dr \quad (3.6)$$

$$u_r = -\frac{\rho}{2\mu} g \left(\frac{r^2}{2} - r_i^2 \ln r\right) \Bigg|_{r_0}^r \quad (3.7)$$

$$u_r = -\frac{\rho}{2\mu} g \left(\frac{r^2 - r_0^2}{2} - r_i^2 \ln \frac{r}{r_0}\right) \quad (3.8)$$

$$y = \frac{r}{r_0} \quad (3.9)$$

ve

$$y_i = \frac{r_i}{r_0} \quad (3.10)$$

olarak tanımlanıp, denklem (3.8) 'de yerine konulursa:

$$u = -\frac{\rho}{2\mu} g r_0^2 \left(\frac{y^2 - 1}{2} - y_i^2 \ln y\right) \quad (3.11)$$

$$u_r = -\frac{\rho}{4\mu} g r_0^2 (1 - y^2 + y_i^2 \ln y^2) \quad (3.12)$$

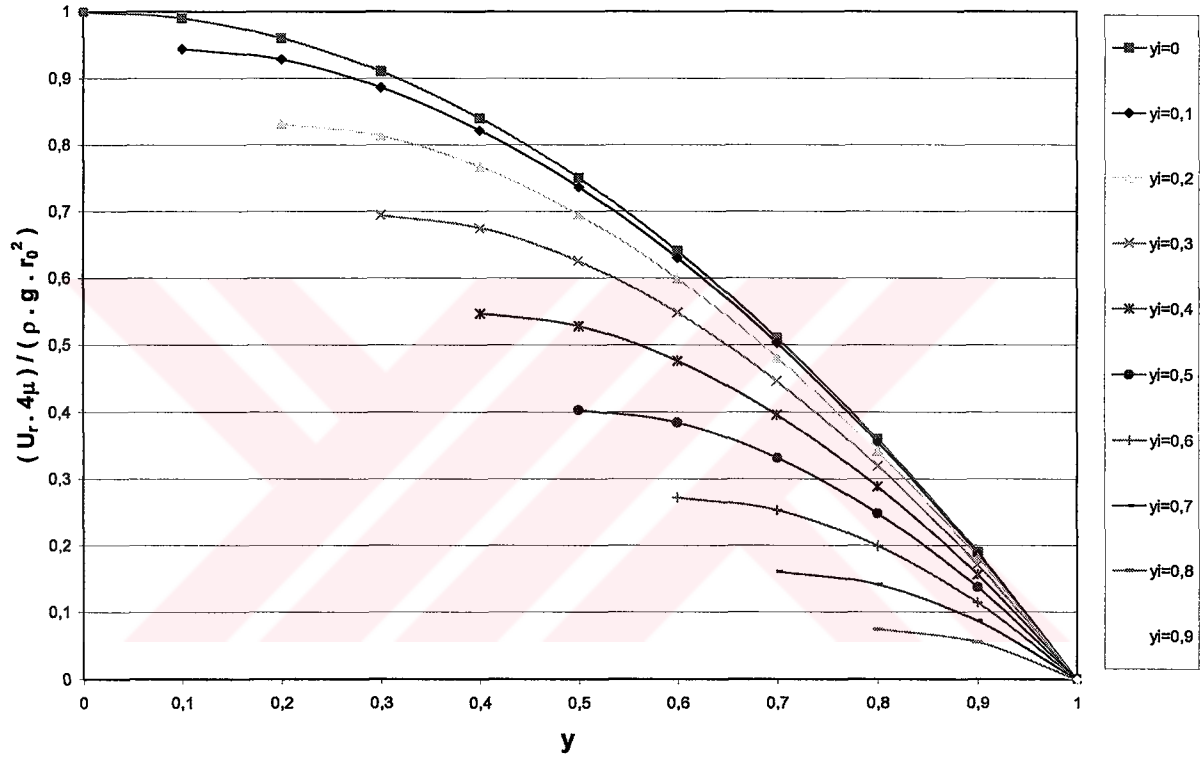
$r_i = 0$ için:

$y_i = 0$ ve $y = 0$ olur. Bu durumda :

$$\lim_{y_i \rightarrow 0} y_i^2 \ln y_i = 0 \quad (3.13)$$

$$u_0 = \frac{g \rho r_0^2}{4\mu} \quad (3.14)$$

Bu değer, sadece yerçekimi etkisi altındaki akışkanın laminar olarak içinde aktığı bir tüpün merkezindeki hızın değeridir.



Şekil 3.3 Hız alanları

y_i 'nin farklı değerleri için oluşacak hız alanları Şekil 3.3 'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere $y_i \rightarrow 0$ olduğunda hız profili parabolik bir profil yapısına yaklaşır.

Bu durumda ortalama hız ise şu şekilde gösterilebilir:

$$u_m = \frac{\int_{r_i}^{r_0} u_r 2\pi r dr}{\pi (r_0^2 - r_i^2)} \quad (3.15)$$

$$y = \frac{r}{r_0} \quad (3.16)$$

ve

$$r_0 dy = dr \quad (3.17)$$

olmak üzere; denklem (3.15) 'de görülen ortalama hız, denklem (3.12) 'de yerine konulursa:

$$u_m = \frac{1}{\pi (r_0^2 - r_i^2)} \int_{y_i}^1 \left[\frac{\rho}{4\mu} g r_0^2 (1 - y^2 + y_i^2 \ln y^2) \right] 2\pi r_0 y dy \quad (3.18)$$

$$u_m = \left(\frac{\rho \pi r_0^4}{2\mu} \right) \left(\frac{g}{\pi r_0^2 (1 - y_i^2)} \right) \int_{y_i}^1 y (1 - y^2 + y_i^2 \ln y^2) dy \quad (3.19)$$

Denklem (3.19) 'daki integrasyon, kısmi integrasyon metodu ile elde edilmiş aşağıdaki eşitlik yardımı ile çözümlenir.

$$\int x^n \ln x dx = x^{n+1} \left[\frac{\ln x}{n+1} - \frac{1}{(n+1)^2} \right] \quad (3.20)$$

$$u_m = \frac{\rho \pi r_0^4}{2\mu} \frac{g}{\pi r_0^2 (1 - y_i^2)} \left[\frac{y^2}{2} - \frac{y^2}{4} + 2y_i^2 y^2 \left(\frac{\ln y}{2} - \frac{1}{4} \right) \right]_{y_i}^1 \quad (3.21)$$

Yoğuşmanın ağırlık oranı;

$$\dot{m} = \rho \pi (r_0^2 - r_i^2) u_m \quad (3.22)$$

ve enerji dengesi;

$$h_{fg} dm = \frac{2\pi k (T_s - T_c)}{\ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)} dz \quad (3.23)$$

$$h_{fg} dm = \frac{2\pi k (T_s - T_c)}{\ln y_i} dz \quad (3.24)$$

olmak üzere; (3.21), (3.22) ve (3.23) no.'lu denklemler birleştirilerek çözümlenmeler yapıldığında (Becerren, 1988):

$$q = \frac{k(T_s - T_c)}{r_o L^*} \frac{\frac{1}{8} - \frac{y_i^2}{2} + \frac{3}{8}y_i^4 - \frac{1}{2}y_i^4 \ln y_i}{y_i^4 \ln y_i \left(\frac{\ln y_i}{2} - \frac{1}{2} \right) + \frac{y_i^4}{8} + y_i^2 \left(\frac{\ln y_i}{2} - \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{8}} \quad (3.25)$$

$$q = \frac{\rho^2 r_o^3 h_{fg}}{2\mu L_h} g \left(\frac{1}{8} - \frac{y_i^2}{2} + \frac{3}{8}y_i^4 - \frac{1}{2}y_i^4 \ln y_i \right) \quad (3.26)$$

3.3 Düşey Bir Tüp İçerisinde Yoğuşmada Sıvı Film Kalınlığının Belirlenmesi

Sıvı film kalınlığı boru iç çapından küçük olduğundan, düşey düz yüzey üzerinde yoğuşmanın incelenmesi ile bulunan, sıvı film kalınlığını veren ifade kullanılabilir.

Yoğuşma sırasında meydana gelen film akışı çok yavaş olduğundan momentum denklemindeki atalet terimleri ihmal edilebilir.

$$\underbrace{u \frac{\partial u}{\partial z} + v \frac{\partial u}{\partial y}}_{\approx 0} = \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho} \right) g + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (3.27)$$

$$\frac{d^2 u}{dy^2} = - \frac{\rho - \rho_g}{\rho} \frac{g}{\nu} \quad (3.28)$$

Isı taşınımı ile ilgili terimler de enerji denkleminden çıkarılırsa (Nusselt):

$$u \frac{\partial T}{\partial z} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (3.29)$$

(3.28) 'deki momentum denklemini:

$$u \Big|_{y=0} = 0 \quad \text{ve} \quad \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=\delta} = 0$$

sınır şartları için integre edilirse:

$$u = \frac{\rho - \rho_g}{2\mu} g \delta^2 \left(2 \frac{y}{\delta} - \frac{y^2}{\delta^2} \right) \quad (3.30)$$

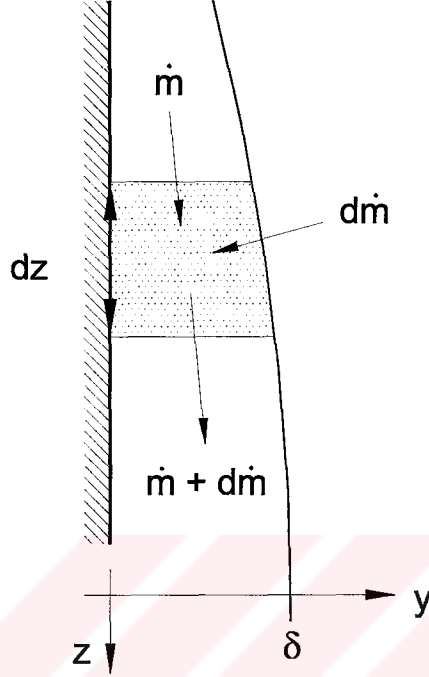
(3.29) 'daki enerji denklemini de:

$$T \Big|_{y=0} = T_c \quad \text{ve} \quad T \Big|_{y=\delta} = T_s$$

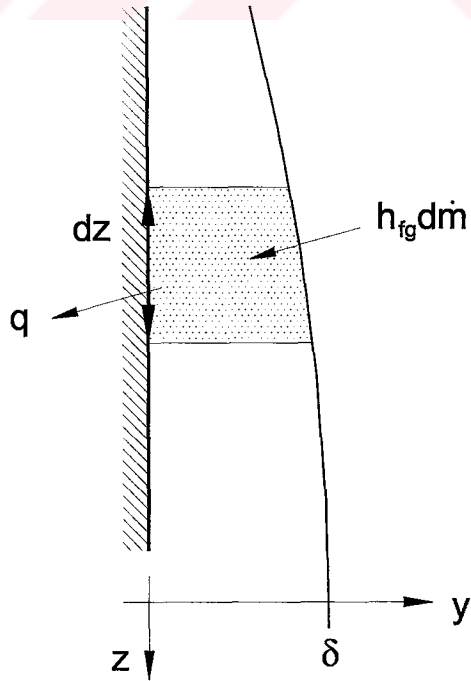
sınır şartları için integre edilirse:

$$T = T_c + (T_s - T_c) \frac{y}{\delta} \quad (3.31)$$

şeklinde lineer sıcaklık profili bulunur.



Şekil 3.4 Kütle dengesi



Şekil 3.5 Enerji dengesi

Akışkanın kütleli debisi denklem (3.30) yardımı ile, sıvı film kalınlığına bağlı olarak ifade edilebilir:

$$\dot{m} = \int_0^{\delta} \rho u dy = \frac{\rho(\rho - \rho_g)}{3\mu} g \delta^3 \quad (3.32)$$

Doyma sıcaklığının altında soğutulan film kısmı tarafından absorbe edilen duyulur ısı ihmal edilecek olursa, yerel ısı akısı :

$$|q| = k \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = k \frac{T_s - T_c}{\delta} = h_{fg} \frac{d\dot{m}}{dz} \quad (3.33)$$

şeklinde gösterilebilir.

Denlem (3.32) ile (3.33) birleştirildiğinde aşağıdaki ifade elde edilir:

$$k \frac{T_s - T_c}{\delta} = \frac{h_{fg} \rho (\rho - \rho_g)}{\mu} g \delta^3 \frac{d\delta}{dz} \quad (3.34)$$

Elde edilen bu ifade $\delta_{z=0} = 0$ sınır şartında integre edilirse, sıvı film kalınlığı bulunur.

$$\delta = \left[\frac{4 k (T_s - T_c) \mu z}{\rho (\rho - \rho_g) g h_{fg}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3.35)$$

Nusselt ve Rohsenow, doyma sıcaklığının altındaki filmin iç bölümlerinin soğutulması için gerekli olan film kalınlığının hesaplanmasında gizli ısının düzeltilmiş olarak kullanılması gerektiğini belirlemişlerdir (Rohsenow, 1956):

$$h'_{fg} = h_{fg} \left[1 + 0,68 \frac{c_p (T_s - T_c)}{h_{fg}} \right] \quad (3.36)$$

(3.36) 'daki eşitlikte; duyulur ısının , sıvı-buhar faz değişimindeki gizli ısıya oranı şeklinde tanımlanan Jakob sayısı (Ja) görülmektedir.

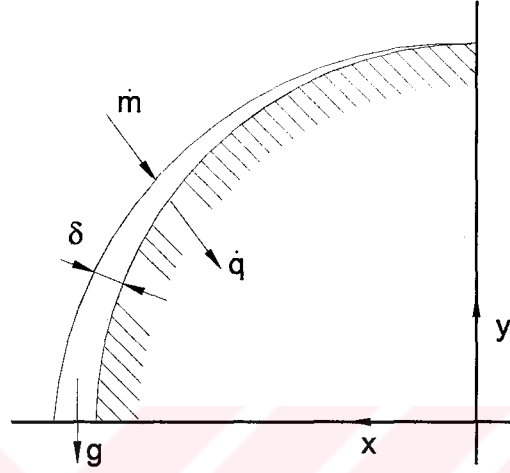
$$Ja = \frac{c_p (T_c - T_c)}{h_{fg}} \quad (3.37)$$

(3.35) 'deki eşitlikte, (3.36) 'da belirtilen h'_{fg} kullanılırsa :

$$\delta = \left[\frac{4 k (T_s - T_c) \mu z}{\rho (\rho - \rho_g) g h'_{fg}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3.38)$$

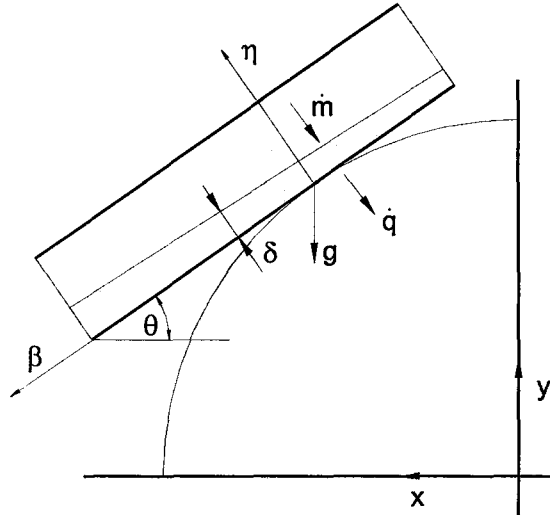
sıvı film kalınlığı bulunmuş olur.

3.4 Yatay Dairesel Bir Yüzey Üzerinde Yoğuşma



Şekil 3.6 Yatay dairesel bir yüzey üzerinde yoğuşma

Şekil 3.6 'da dairesel bir yüzey üzerinde yoğuşmanın mekanizması görülmektedir. Buradaki yoğuşma ve ısı transferi olayını daha kolay irdeleyebilmek için düzlem yüzey üzerinde yoğuşma olayı temel alınmalıdır.



Şekil 3.7 Eğik (açılı) bir düzlem üzerinde yoğuşma

Dairesel kesit üzerindeki her nokta için, bu noktadaki eğime karşı gelen eğik (yatay ile belirli bir açıda) düzlem üzerinde yoğuşma incelenerek hesaplamalar yapılabilir.

Süreklilik denkleminde:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \quad (3.39)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_x}{\partial y} v_y \right) = \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) + \rho g_x \quad (3.40)$$

Şekil 3.7 'de görüldüğü gibi çözümlemesi yapılan eğik düzlem için, x-y koordinat sistemine bağımlı olarak β - η şeklinde farklı bir koordinat sistemi tanımlama gerekir. Tanımlanan bu koordinat sisteminin başlangıç yani (0,0) noktası; dairesel kesit için çözümlemesi yapılan referans noktasıdır.

$$\beta \rightarrow u \quad \eta \rightarrow v$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial \beta} u + v \frac{\partial u}{\partial \eta} \right) = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \beta^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2} \right) + f(x, y) \quad (3.41)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \beta} + \frac{\partial v}{\partial \eta} = 0 \quad (3.42)$$

$$v = - \int_0^{\delta} \frac{\partial u}{\partial \beta} d\eta \quad (3.43)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial \beta} - \frac{\partial u}{\partial \eta} \int_0^{\delta} \frac{\partial u}{\partial \beta} d\eta \right) = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \beta^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2} \right) + f(x, y) \quad (3.44)$$

$$u(0, \eta) = 0 \quad (3.45)$$

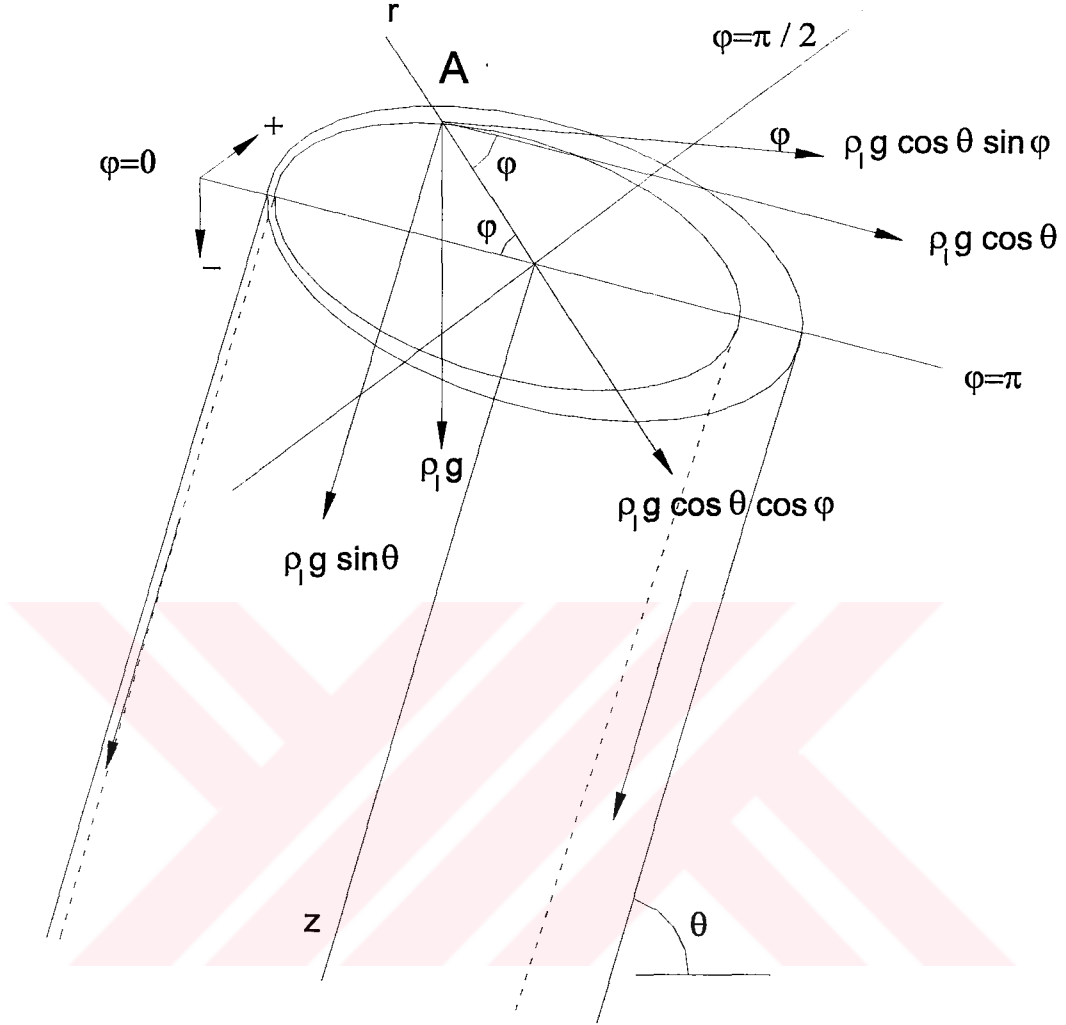
$$u(\beta, 0) = 0 \quad (3.46)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \eta}(\beta, \delta) = 0 \quad (3.47)$$

$$\int_0^{\delta} u d\eta = \dot{m} \quad (3.48)$$

Elde edilen bu denklem sisteminin çözümlemesi dairesel kesit boyunca yapıldığında, sonuca ulaşılır.

3.5 Eğimli Dairesel Bir Tübün İç Yüzeyi Üzerinde Yoğuşma



Şekil 3.8 Eğik (açılı) dairesel bir tütün iç yüzeyi üzerindeki yoğuşan akışkana etkiyen kuvvetler

Silindirik koordinatlar için Navier-Stokes denkleminin genel hali (Schetz ve Fuhs, 1999):

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) v_r - \frac{\partial v_\phi}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + g_r + \nu \left(\nabla^2 v_r - \frac{v_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\phi}{\partial \phi} \right) \quad (3.49)$$

$$\frac{\partial v_\phi}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) v_\phi + \frac{v_\phi v_r}{r} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \phi} + g_\phi + \nu \left(\nabla^2 v_\phi + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \phi} - \frac{v_\phi}{r^2} \right) \quad (3.50)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) v_z = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g_z + \nu \nabla^2 v_z^2 \quad (3.51)$$

şeklindedir.

Burada:

$$\bar{V} \cdot \nabla = v_r \frac{\partial}{\partial r} + \frac{v_\phi}{r} \frac{\partial}{\partial \phi} + v_z \frac{\partial}{\partial z} \quad (3.52)$$

$$\nabla^2 = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (3.53)$$

Daha önce yapılan kabuller ile Navier - Stokes denklemi yeniden düzenlenirse:

$$\frac{v_\phi}{r} \frac{\partial v_\phi}{\partial \phi} = g \cos \theta \sin \phi + \nu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_\phi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\phi}{\partial \phi^2} - \frac{v_\phi}{r^2} \right) \quad (3.54)$$

$$v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = g \sin \theta + \nu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \quad (3.55)$$

şeklini alır.

Burada; yoğuşan akışkanın film kalınlığı, silindirik koordinatlarda ϕ ve z 'nin fonksiyonu olarak tanımlanabilir.

$$\delta = \delta(\phi, z) \quad (3.56)$$

Sınır koşulları:

$$r = R \Rightarrow v_\phi = 0, \quad v_z = 0$$

$$r = R - \delta \Rightarrow \tau_\phi = 0, \quad \tau_z = 0$$

olmak üzere,

$$v_\phi = a + b \left(\frac{r}{R} \right)^2 + c \left(\frac{\phi}{2\pi} \right) \quad (3.57)$$

$$v_z = d + e \left(\frac{r}{R} \right)^2 + f \left(\frac{z}{\delta} \right)^2 \quad (3.58)$$

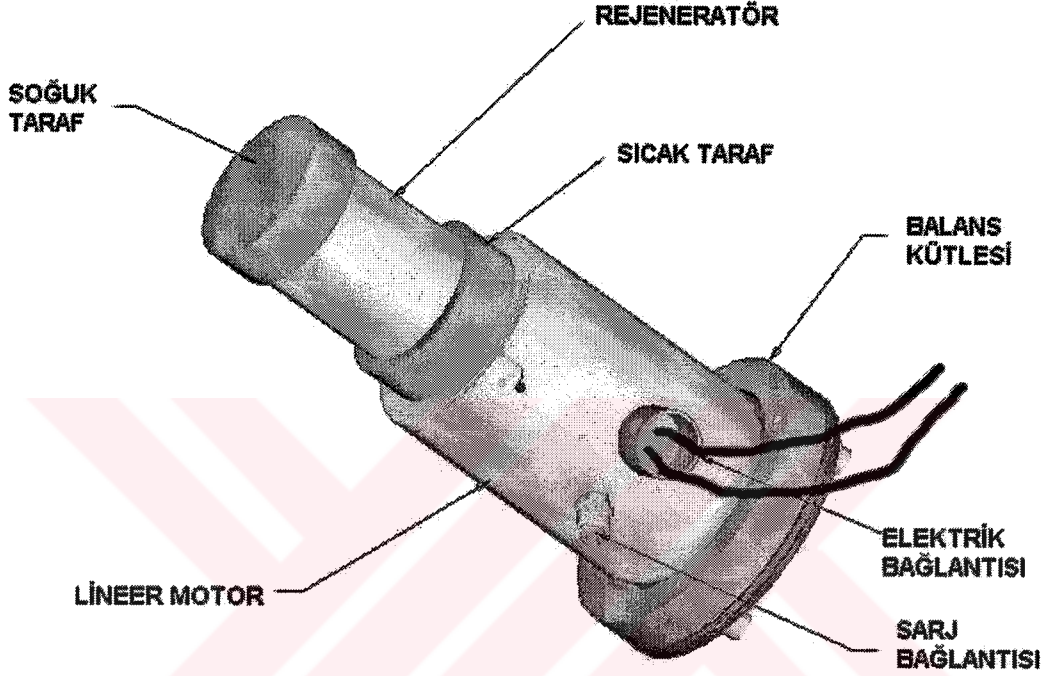
tanımlanarak oluşturulan bu denklem çözümlendiğinde v_ϕ ve v_z hızları bulunabilir.

Bu şekilde bir model ile eğimli bir tüp iç yüzeyi üzerinde yoğuşan filmin akışındaki hız profillerini incelemek mümkündür.

4. KALORİMETRİK TESTLER

4.1 Stirling Soğutucusunun Tanıtılması

Global modelin oluşturulmasında kullanılan, kalorimetrik testlerinin yapıldığı serbest piston Stirling soğutucusunun şematik bir resmi Şekil 4.1 'de görülmektedir. Şekil üzerinde cihazın bölümleri gösterilmiştir.



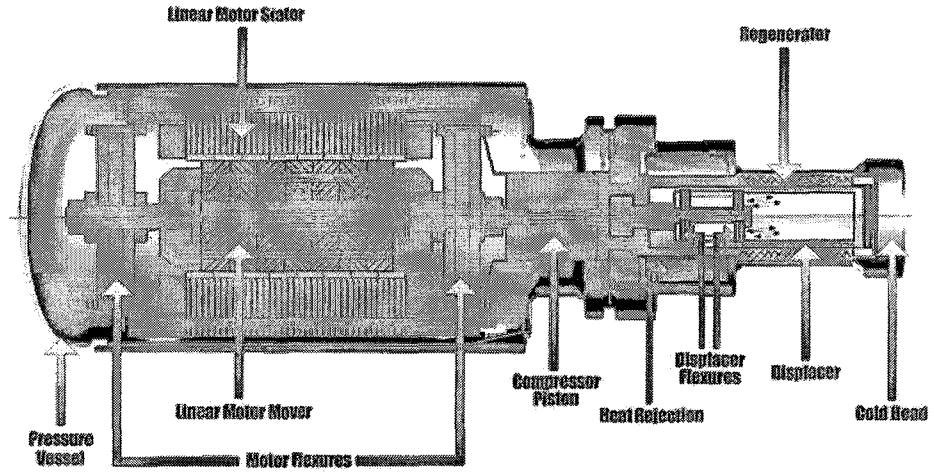
Şekil 4.1 ¹ Serbest piston Stirling soğutucusunun bölümleri.

Deneyler sırasında iki adet Stirling soğutucusu üzerinde kalorimetrik testler yapılmış olup, bu cihazlar Global Cooling Manufacturing adlı şirket tarafından prototip olarak geliştirilmiştir.

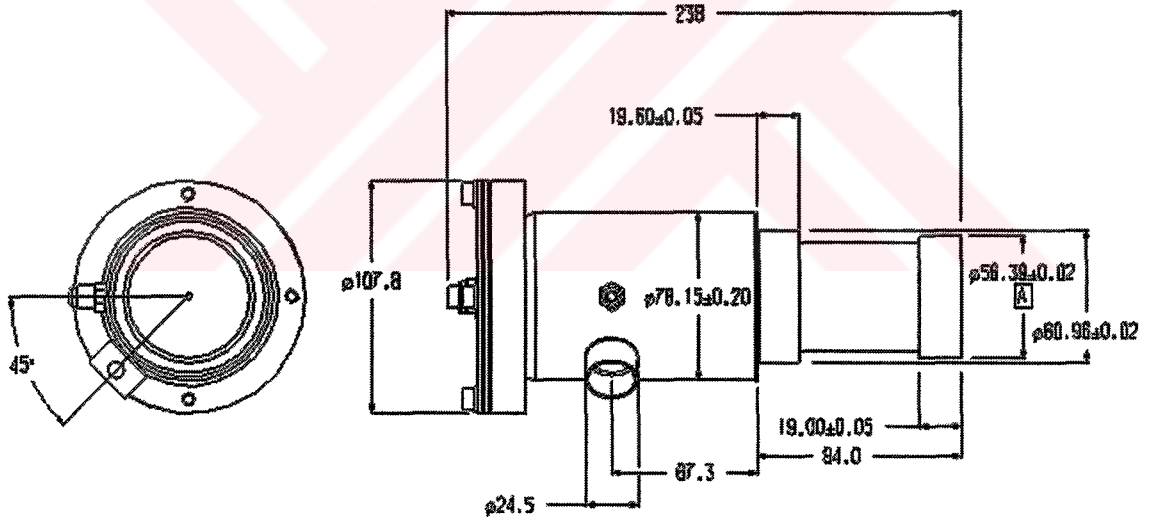
Cihazın içerisinde bulunan iki hareketli parçanın ileri - geri hareketi ile 1 gr helyumu sıkıştırması cihazın çalışma prensibini oluşturur. “Soğuk taraf” olarak adlandırılan bölge içerisinde, helyum gazı genişleyerek yerdeğiştirici adı verilen parça üzerinde iş yapmakta ve böylelikle dışarıdan ısı çekilmektedir. Rejeneratörün alt kısmında ise, piston helyumu sıkıştırmakta ve böylelikle ısının dışarı atılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle bu bölgeye de “sıcak taraf” adı verilmiştir. Şekil 4.2 'de yer alan Stirling soğutucusunun kesit resminde, bu parçalar görülmektedir.

¹ Global Cooling firmasının internet sitesi www.globalcooling.com 'dan alınmıştır.

FREE-PISTON STIRLING COOLER



Şekil 4.2² Serbest piston Stirling soğutucusunun kesit resmi.



MASS: 2.5 kg

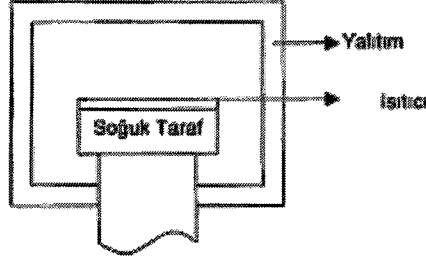
Şekil 4.3³ Serbest piston Stirling soğutucusunun boyutları.

² CRYO Industries firmasının internet sitesi www.cyroindustries.com 'dan alınmıştır.

³ Global Cooling firmasının resmi internet sitesi www.globalcooling.com 'dan alınmıştır.

4.2 Deney Tesisatı ve Deneylerin Yapılışı

Kalorimetrik testlerin yapılması sırasında bu soğutucuya özel olarak bir tesisat ve deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu düzenek, dışarıdan ısı çekme özelliği olan soğuk taraf yüzeyinin çok iyi yalıtılmış bir hacim içerisine alınarak, bu hacim içinde elektrikli bir ısıtıcı yardımı ile kontrollü olarak ısıl yük oluşturulması esasına dayanmaktadır. Şekil 4.4 'de bu deney düzeneğinin prensip şeması görülmektedir.



Şekil 4.4 Deney düzeneğinin prensip şeması.

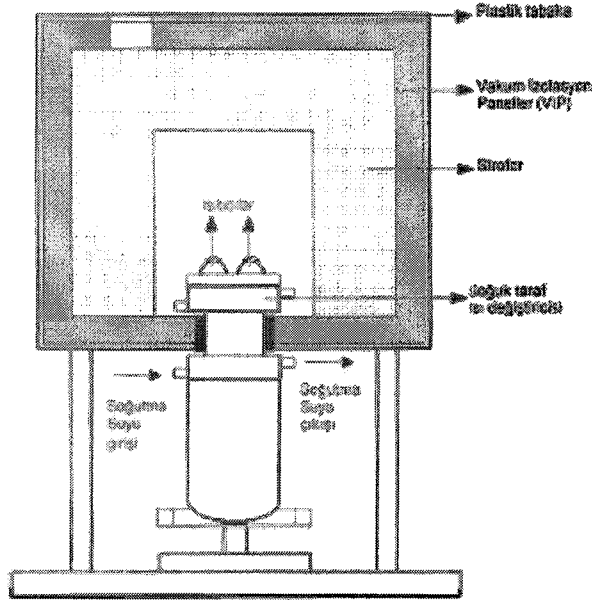
Bu yalıtılmış, kapalı hacim içinde sürekli rejimdeki enerji dengesi :

$$Q_{ısıtıcı} - Q_{kapasite} - Q_{kaçak} = 0$$

şeklinde ifade edilebilir. Yalıtımın ideal olduğu düşünülürse, sistemde adyabatik sınır şartlarına ulaşılabileceğinden; kapalı hacim içinden dışarı doğru olan $Q_{kaçak}$ ile ifade edilen ısı transferi gerçekleşmeyecektir. Bu durumda soğutucu yüzeyden çekilen ısı, ısıtıcı ile ortama verilen ısı kadar olacaktır.

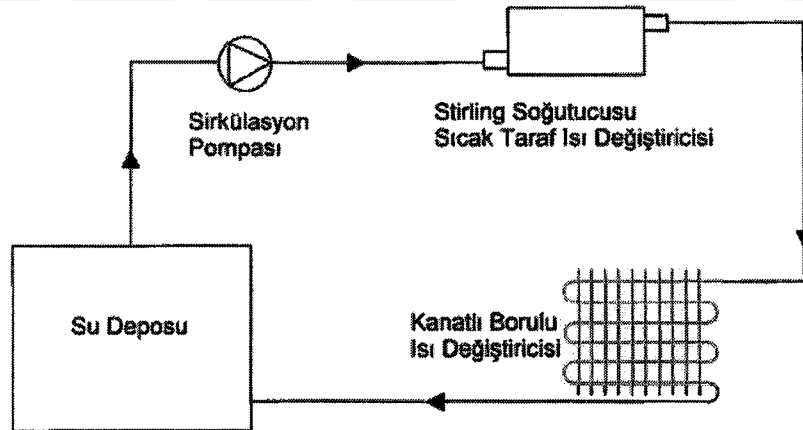
Bu amaçla hazırlanan adyabatik kutuda, yalıtım malzemesi olarak vakum izolasyonlu paneller (6 mW/m.K) ve strofor (31 mW/m.K) kullanılmıştır. Bu izolasyon malzemeleri, kolay bir şekilde hasar görebilir nitelikte olmalarından dolayı iki parçalı, üzerinde ısıtıcıların ve termokuplların kabloları için gerekli geçiş yerleri bulunan metal bir kasa içerisine yerleştirilmiştir. Metal kasa üzerinde, rejeneratör boyutlarında açılan bir delik ile Stirling soğutucusu kutu üzerine monte edilmektedir. Hava iletimini kesmek ve tüm kaçakları engellemek amacı ile bağlantılar çok iyi bir şekilde izole edilmektedir. Kutu içerisine konulan ısıtıcılar ise, soğutucunun üst yüzeyine tam olarak oturacak bakır bir diske yerleştirilmiş ve bu disk soğutucu yüzeyine sabitlenmiştir. Isıtıcının nominal kapasitesi, 220 V – 50 Hz altında 100 W olarak belirtilmiştir.

Deney düzeneğinin montaj halindeki resmi Şekil 4.5 'de görülmektedir



Şekil 4.5 Stirling Soğutucusu ve deney düzeneği.

Stirling soğutucusunun sıcak tarafına ise, sistemde sürekli rejimi sağlayabilmek amacı ile bir ısı değiştiricisi yardımı ile su ile çalışan basit bir soğutma devresi kurulmuştur. Bu devrenin şeması Şekil 4.6 'da görülmektedir. Su debisi hat üzerinde bulunan bir vana yardımı ile ayarlanabilmektedir. Cihazların üretici firmasının vermiş olduğu maksimum COP için tasarım değerinin sıcak taraf sıcaklığı için 30°C olmasından dolayı, tüm deneyler için sıcak taraf sıcaklığı yaklaşık olarak bu değerde sabit tutulmuştur.



Şekil 4.6 Stirling soğutucusunun sıcak tarafında kullanılan soğutma sistemi.

Sıcaklık ölçümü için gerekli ölçüm noktaları belirlenerek, bu noktalara bakır - konstantan çifti T tipi termokupllar yerleştirilmiş; datalogger ile bağlantıları yapılmış ve deney sırasında dakikada bir kez olmak üzere tüm değerler okunmuştur.

Deney düzeneğinde kullanılan elektrikli ısıtıcının, elektrik beslemesi bir wattmetre üzerinden yapılmakta olup sistem sürekli rejim haline girdiğinde ısıtıcının kapasitesi bu wattmetre üzerinden okunabilmektedir.

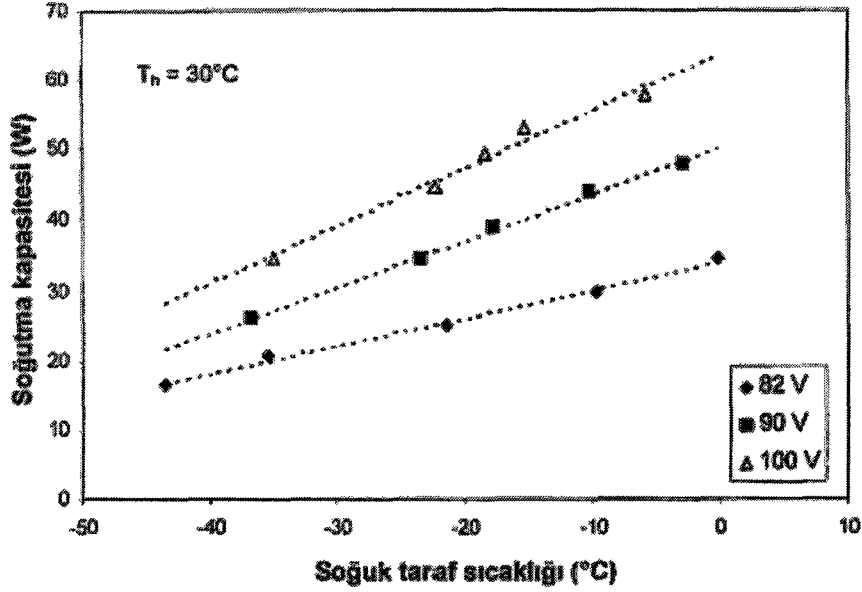
4.3 Deney Sonuçları

Bu bölümde Stirling soğutucusu – 114 ‘ün kalorimetrik deney sonuçları sunulmaktadır.

Çizelge 4.1 Stirling soğutucusu 114, kalorimetrik deney sonuçları

TAHRİK VOLTAJI = 81,6 V						
Akım (A)	Güç (W)	Soğuk Taraf Sıcaklığı (°C)	Sıcak Taraf Sıcaklığı (°C)	Soğutma Kapasitesi (W)	COP	
0,2	18,4	-43,5	29,5	16,6	0,9	
0,2	18,3	-35,4	29,9	20,6	1,1	
0,2	15,7	-21,4	30,6	25,1	1,6	
0,2	14,4	9,7	30,9	29,8	2,1	
0,2	13,7	-0,1	31,3	34,6	2,5	
TAHRİK VOLTAJI = 90 V						
Akım (A)	Güç (W)	Soğuk Taraf Sıcaklığı (°C)	Sıcak Taraf Sıcaklığı (°C)	Soğutma Kapasitesi (W)	COP	
0,256	22,6	-36,8	29,2	26,2	1,16	
0,227	20,7	-23,4	30,7	34,5	1,67	
0,224	20,5	-17,9	30,1	39	1,9	
0,214	19,6	-10,2	29,1	44,1	2,25	
0,204	18,7	-2,9	29,8	47,9	2,56	
TAHRİK VOLTAJI = 100 V						
Akım (A)	Güç (W)	Soğuk Taraf Sıcaklığı (°C)	Sıcak Taraf Sıcaklığı (°C)	Soğutma Kapasitesi (W)	COP	
0,283	27,5	-35	31	34,7	1,26	
0,267	26,8	-22,3	31,4	44,6	1,66	
0,269	27,2	-18,4	31	49,2	1,81	
0,271	27,5	-15,3	29,9	53	1,93	
0,254	25,8	-5,8	30	57,6	2,23	

Stirling soğutucusu 114’ün farklı tahrik voltajları için soğuk taraf sıcaklıkları ile soğutma kapasitesinin değişimi irdelendiğinde Şekil 4.7 ‘de görüldüğü gibi doğrusal bir değişim olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.7 Farklı tahrik voltajları için soğuk taraf sıcaklıkları ile soğutma kapasitesinin değişimi.

Grafikte görülen deneysel verilere eğri uydurma yöntemi ile aşağıdaki eşitlikler elde edilmiştir.

$$81,6 \text{ V} \quad Q_{\text{cap}} = 0,3998 (T_c) + 34,143$$

$$90 \text{ V} \quad Q_{\text{cap}} = 0,6531 (T_c) + 50,252$$

$$100 \text{ V} \quad Q_{\text{cap}} = 0,8132 (T_c) + 63,564$$

Bu eşitlikler $\pm \% 4$ aralığında deneysel veriler ile uyushmaktadır.

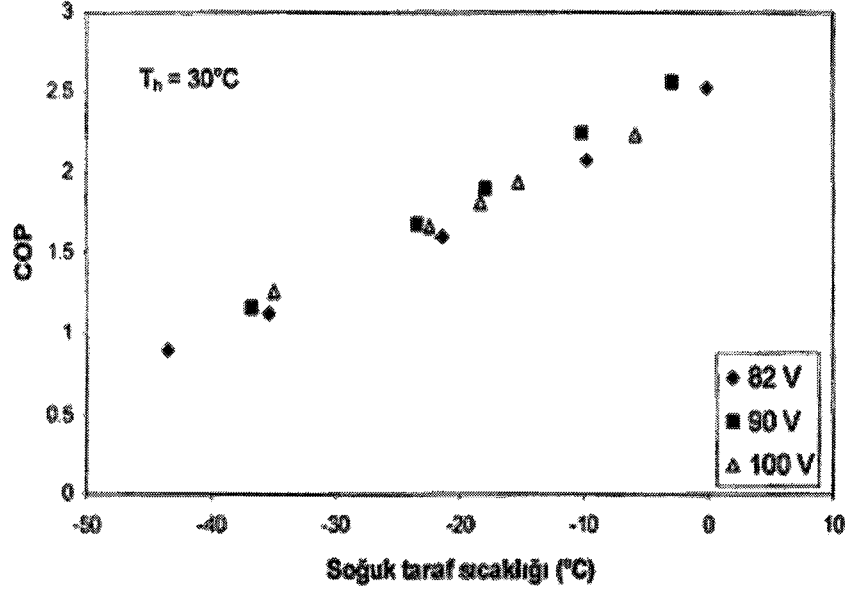
Benzer yöntemle sabit sıcak taraf sıcaklığı ve farklı tahrik voltajlarında, COP 'nin soğuk taraf sıcaklığına bağlı olarak değişimi ve yine COP 'nin Carnot COP 'ye göre değişimi Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 'da görölmektedir.

Bu deneysel verilere göre, Stirling soğutucusu – 144 için COP eşitleri:

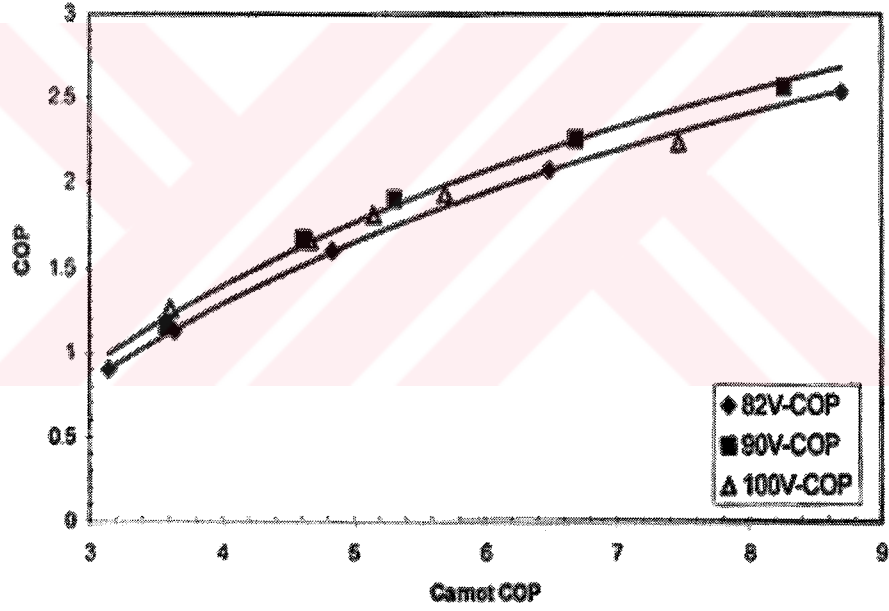
$$82 \text{ V} \quad \text{COP} = 1,6082 \ln(\text{COP}_C) - 0,9427 \quad \pm \% 3$$

$$90 \text{ V} \quad \text{COP} = 1,6561 \ln(\text{COP}_C) - 0,9038 \quad \pm \% 5$$

$$100 \text{ V} \quad \text{COP} = 1,3332 \ln(\text{COP}_C) - 0,4130 \quad \pm \% 3 \quad \text{şeklinde elde edilir.}$$



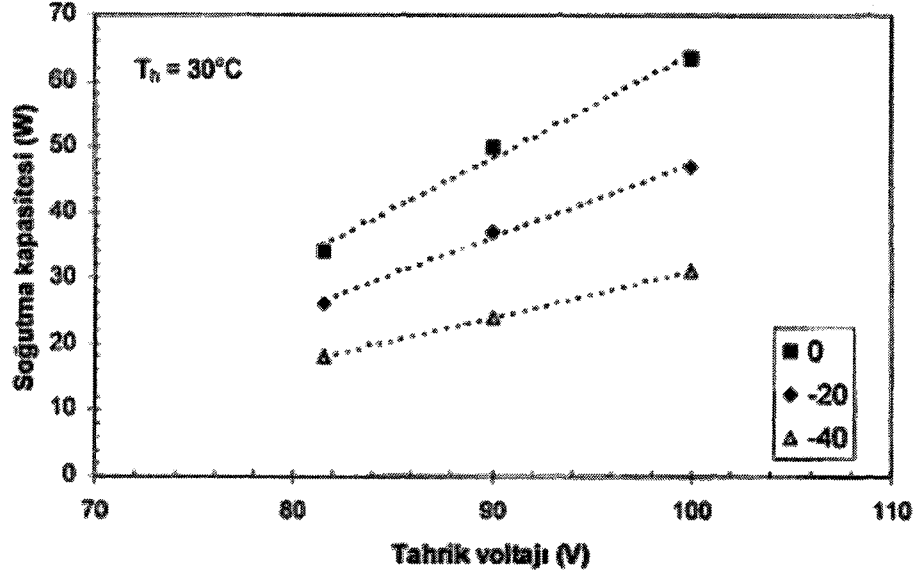
Şekil 4.8 COP nin soğuk taraf sıcaklığı ile değişimi.



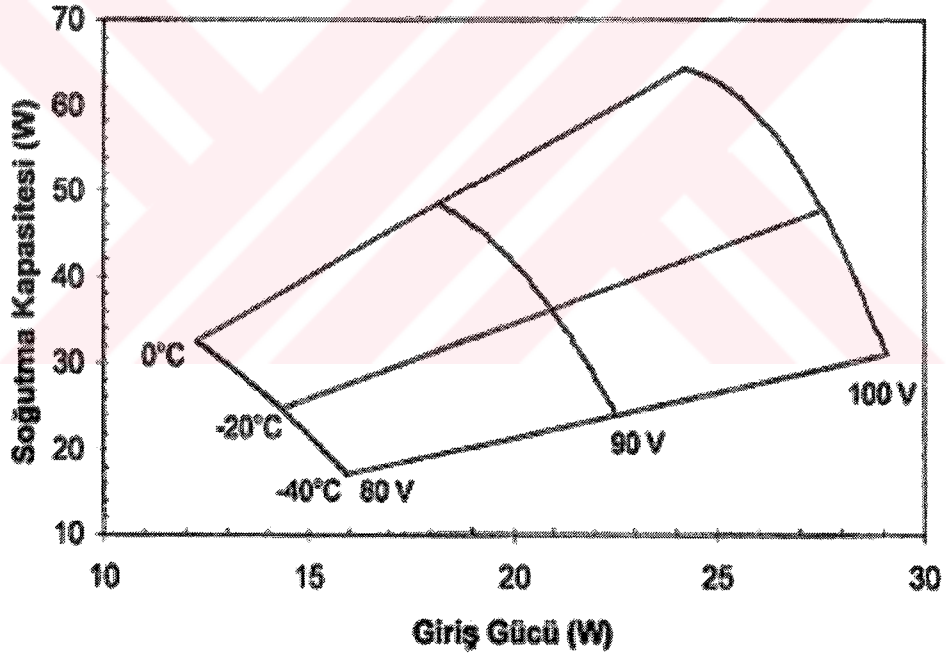
Şekil 4.9 COP nin Carnot COP ile değişimi.

Çizelge 4.2 Soğutma kapasitesinin, belirli bir soğuk taraf sıcaklığı için tahrik voltajı ile değişimi.

Soğuk Taraf	Soğutma Kapasitesi (W)		
	Tahrik Voltajı : 82 V	Tahrik Voltajı : 90 V	Tahrik Voltajı : 100 V
0	34,143	50,252	63,564
-20	26,147	37,190	47,300
-40	18,151	24,128	31,036



Şekil 4.10 Soğutma kapasitesinin, belirli bir soğuk taraf sıcaklığı için tahrik voltajı ile değişimi.



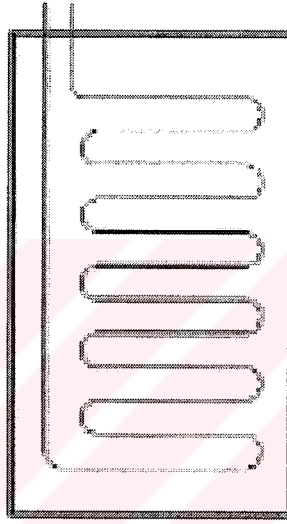
Şekil 4.11 Stirling soğutucusu -114 'ün performans haritası.

Deneyle sırasında yapılan çalışmalar; Stirling soğutucusu - 144 'ün tahrik voltajı değiştirilerek soğutma kapasitesinin 15-65 W arasında değiştirilebildiğini göstermiştir. Kapasite değerleri, farklı tahrik voltajları ve soğuk taraf sıcaklıkları için grafik üzerinde gösterilerek Şekil 4.11 'de görülen performans haritası oluşturulmuştur.

5. GLOBAL MODEL ve SİMÜLASYON

Kalorimetrik testleri yapılarak performans haritası oluşturulan Stirling soğutucusu – 114 ‘ün, B285 (larder) tipi buzdolaplarına uygulanması konusunda bir model oluşturulması için çalışma yapılmıştır. Bu çalışma doğrultusunda oluşturulan hesap algoritması “Borland Delphi 7.0” yazılım diline uyarlanarak bilgisayar ortamına aktarılmış, böylece model üzerindeki farklı giriş değerlerindeki uygulamalar için hızlı bir şekilde hesaplamaların yapılması mümkün olmuştur.

5.1 Global Model



Şekil 5.1. Kabin içerisine yerleştirilmiş boru demeti.

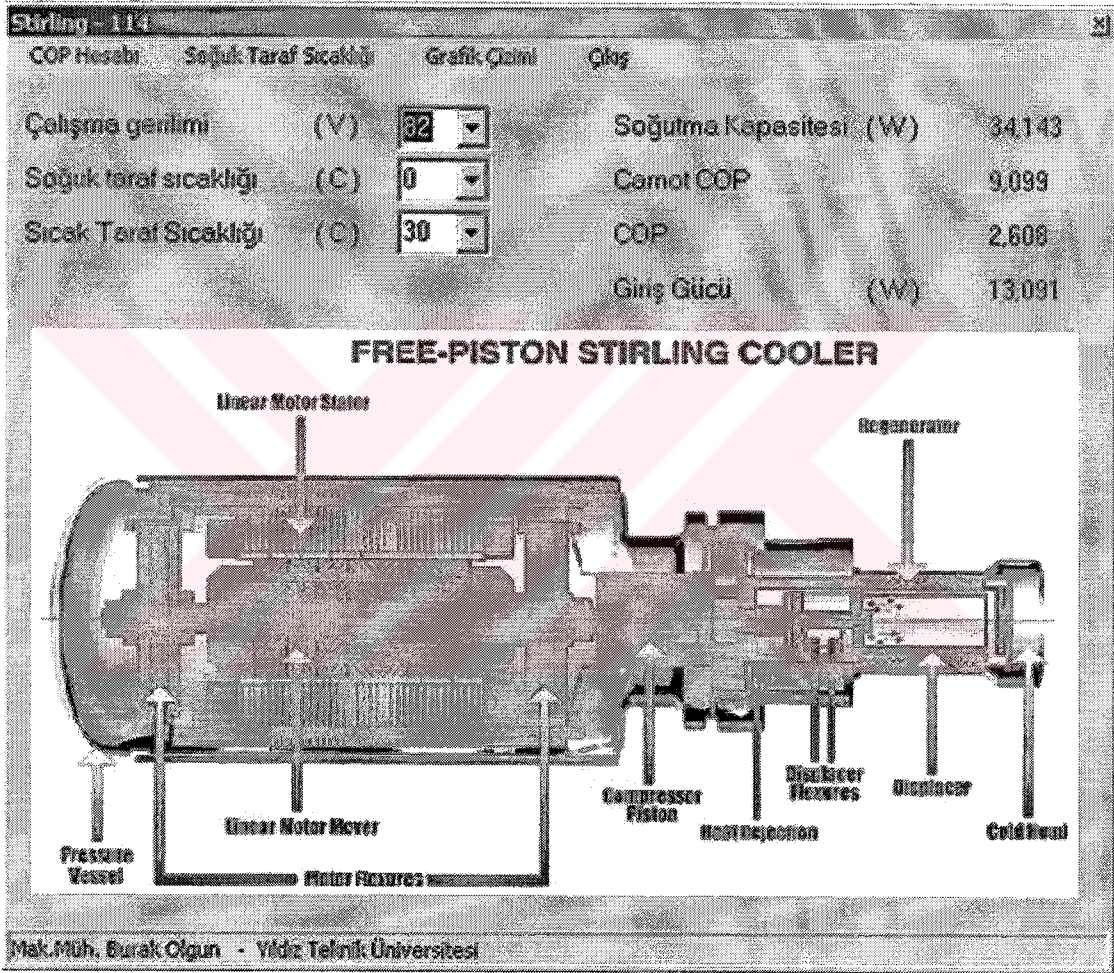
Stirling soğutucusu ile çalıştırılması planlanan buzdolabı modelinde 2 adet, birbiri ile bağlantısı bulunmayan kapalı soğutucu akışkan devresi yer almaktadır. Bu devrelerde akış, oluşan sıvı kolonun meydana getirdiği yerçekimi etkisi ile termosifon akışı şeklinde sağlanmaktadır. Bu devrelerden birincisi; buzdolabı kabinin içine yerleştirilen boru demeti (Şekil 5.1) ile buzdolabı kabini dışında yer alan Stirling soğutucusunun soğuk tarafına yerleştirilen dairesel kondenser arasındaki “primer devre” dir. İkinci kapalı soğutucu akışkan devresi ise; Stirling soğutucusunun sıcak tarafı üzerine yerleştirilen dairesel evaporatör ile buzdolabı kabini dışında yer alan boru demeti arasındaki “sekonder devre” dir. Belirtilen ikinci devrede ısı transferi, termosifon sistemi ile sağlanabileceği gibi; üzerindeki havanın akışı fan ile sağlanan kanatlı tip ısı değiştiricisi kullanmak da mümkündür.

Oluşturulan bu global model içerisinde; Stirling soğutucusunun sıcak taraf sıcaklığının 30°C ’de sabit tutulduğu (kalorimetrik testlerin referans alınabilmesi amacı ile) düşünülerek, primer devre üzerindeki sıcaklıklar ve kabin içi sıcaklığın değişimi incelenmiştir.

5.2 Simülasyon

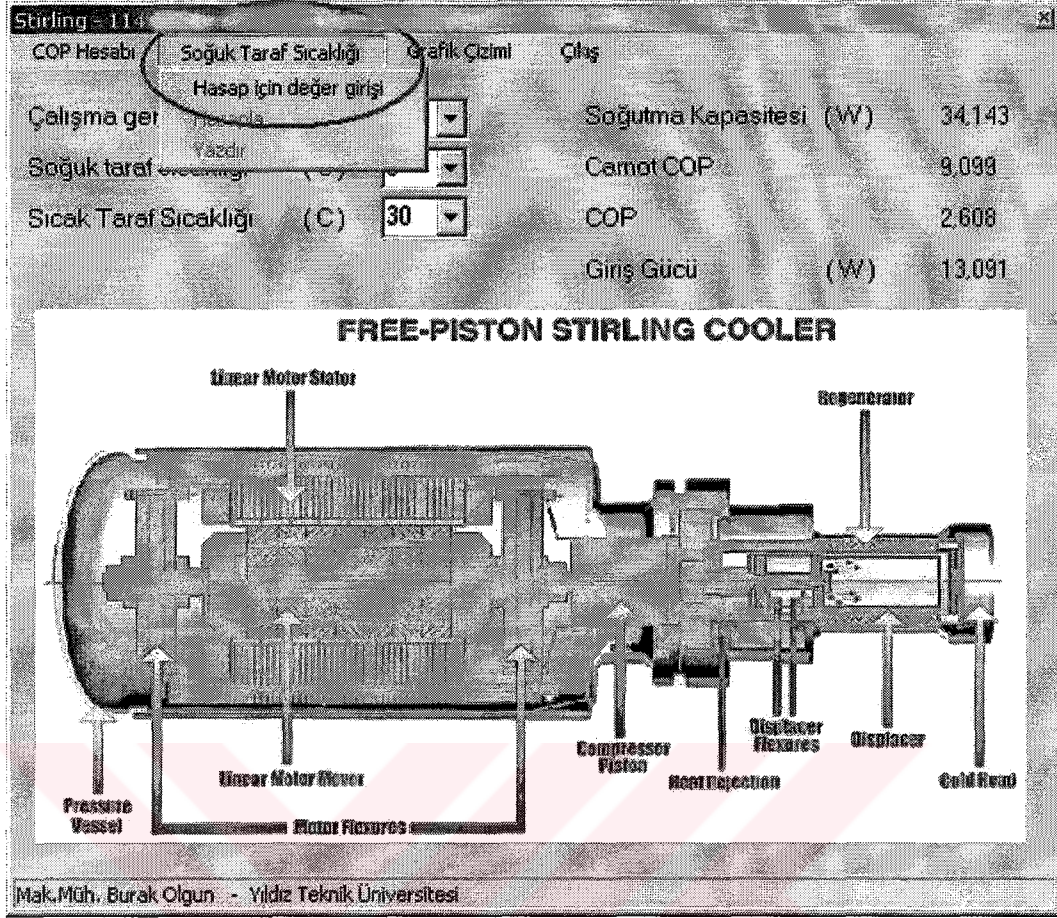
5.2.1 “Stirling-114” Hesap Programı

Oluşturulan bu global model üzerinde çalışılarak, hesap algoritmaları düzenlenmiş ve “Borland Delphi 7.0” yazılım dilinde bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Yazılan program tüm “Microsoft Windows” işletim sistemlerinde ayırım gözetmeksizin çalışabilir nitelikte olup, kullanım sırasında herhangi bir ek yazılım veya programa ihtiyaç duyulmamaktadır.



Şekil 5.2 “Stirling-114” Hesap Programı ana giriş ekranı.

Şekil 5.2 ‘de simülasyonu oluşturan bu programın ana giriş ekranı görülmektedir. “COP Hesabı” başlıklı bu ekranda çalışma gerilimi, soğuk taraf sıcaklığı ve sıcak taraf sıcaklığı değerleri giriş olarak verildiğinde; soğutma kapasitesi, Carnot COP, COP ve giriş gücü değerleri model içerisindeki bağıntılardan yararlanılarak hassas bir şekilde hesaplanmaktadır.



Şekil 5.3 “Hesap için değer girişi” ekranına geçiş.

Şekil 5.3 ‘de görüldüğü gibi, “Soğuk Taraf Sıcaklığı” başlığı altından “Hesap için değer girişi” seçildiğinde Şekil 5.4 ‘deki ekran görüntülenir.

Bu ekranda çalışma gerilimi, ortam sıcaklığı ve kaçak, evaporatör, kondenser ve kabin UA değerleri girilebilmektedir. Kaçak olarak nitelenen UA değeri, Stirling soğutucusunun kabin dışına yerleştirilmesinden ötürü, soğuk taraftan ve soğutucu akışkan devresinin kabin içerisine girene kadar olan bölümünden ortama olan ısı kaçacağını hesaplara yansıtmak için kullanılır. Sıcak taraf sıcaklığı ise 30°C ‘de sabit olarak alınır.

Stirling - 100

COP Hesabı Soğuk Taraf Sıcaklığı Grafik Çizimi Çılg

Çalışma gerilimi (V) 82

Sıcak Taraf Sıcaklığı (C) 30

* Sıcak taraf sıcaklığı, deneylerin $T_h=30$ C sıcaklıkta yapılmış olması sebebi ile bu sıcaklıkta sabit tutulmuştur.

Ortam Sıcaklığı (C) 25


UA [Kaçak] 0.2

UA [Evaporatör] 2.08

UA [Kondenser] 3.47

UA [Kabin] 1.25

Mak.Müh. Burak Olgun - Yıldız Teknik Üniversitesi



Şekil 5.4 “Hesap için değer girişi” ekranı.

Stirling - 114

COP Hesabı Soğuk Taraf Sıcaklığı Grafik Çizimi Çılg

Çalışma gerilimi (V) 82

Sıcak Taraf Sıcaklığı (C) 30

* Sıcak taraf sıcaklığı, deneylerin $T_h=30$ C sıcaklıkta yapılmış olması sebebi ile bu sıcaklıkta sabit tutulmuştur.

Ortam Sıcaklığı (C) 27

UA [Kaçak] 0,15

UA [Evaporatör] 3,3

UA [Kondenser] 2,9

UA [Kabin] 1,25

Soğutma Kapasitesi (W) 34.107

Carnot COP 5.670

COP 1.911

Giriş Gücü (W) 17.847

Kaçak Isı (W) 6.355

Kabinin Isıl Yüğü (W) 27.751

Kabin Sıcaklığı (C) 4.799

Evaporatör Sıcaklığı (C) -3.61

Kondenser Sıcaklığı (C) -3.61

Kabul edilen soğuk taraf sıcaklığı (C) -15.368

Hesaplanan soğuk taraf sıcaklığı (C) -15.371

Mak.Müh. Burak Olgun - Yıldız Teknik Üniversitesi

Şekil 5.5 “Hesapla” işlemine geçiş.

Şekil 5.5 'de görüldüğü gibi "Soğuk Taraf Sıcaklığı" başlığı altından "Hesapla" seçildiğinde; program, verilen değerlere bağlı olarak bu değerleri gerçekleyen soğuk taraf sıcaklığını iterasyon yaparak %1 'in altında bir hassasiyetle hesaplar. Bu değer bulunan diğer sonuçlarla birlikte Şekil 5.6 'da olduğu gibi ekranda görüntülenir.

COP Hesabı		Soğuk Taraf Sıcaklığı		Grafik Çizimi		Çıkış	
Çalışma gerilimi	(V)	86		Soğutma Kapasitesi (W)		34.107	
Sıcak Taraf Sıcaklığı	(C)	30		Comet COP		5.678	
* Sıcak taraf sıcaklığı, deneylerin $T_h=30$ C sıcaklıkla yapılmış olması sebebi ile bu sıcaklıkta sabit tutulmuştur.				COP		1.911	
Ortam Sıcaklığı	(C)	27		Giriş Gücü (W)		17.847	
UA [Kaçak]		0.15		Kaçak Isı (W)		6.355	
UA [Evaporatör]		3.3		Kabinin Isıl Yüklü (W)		27.751	
UA [Kondenser]		2.9		Kabin Sıcaklığı (C)		4.799	
UA [Kabin]		1.25		Evaporatör Sıcaklığı (C)		-3.61	
				Kondenser Sıcaklığı (C)		-3.61	
				Kabul edilen soğuk taraf sıcaklığı (C)		-15.368	
				Hesaplanan soğuk taraf sıcaklığı (C)		-15.371	

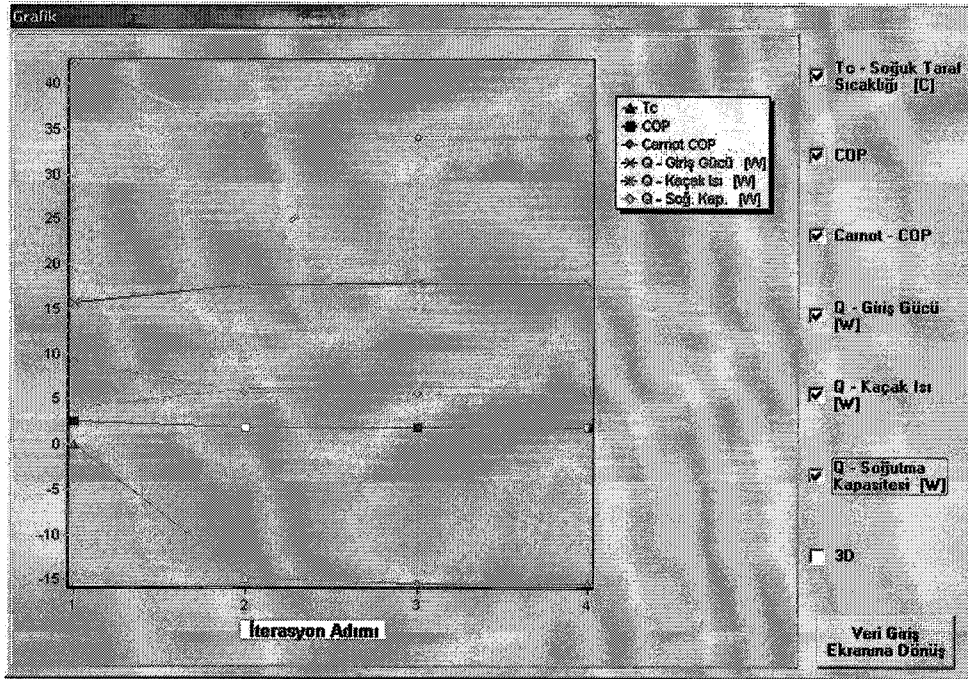
Mak.Müh. Burak Olgun - Yıldız Teknik Üniversitesi

Şekil 5.6 "Hesap Sonuçları" ekranı.

Programın hesap tarzından ve yazılım sırasında algoritmanın basitleştirilerek seri çalışabilmesinden dolayı, en fazla 8-10 iterasyon adımı sonunda ve 2-3 sn. süre içerisinde bu sonuçlara ulaşılır.

Hesap sonucunda bulunan bu değerlerin teker teker veya toplu olarak iterasyon adımları boyunca değişimi görülmek istenirse, menü içerisinde "Grafik Çizimi" seçildiğinde Şekil 5.7 'deki gibi ekranda görüntülenir.

"Yazdır" menü komutu seçildiğinde ise, hesap için verilen giriş değerleri ve hesap sonucu bulunan çıkış değerleri Şekil 5.8 'deki gibi bir yazıcı çıktısı olarak verilir.



Şekil 5.7 "Grafik" ekranı.

Serbest Piston Stirling Soğutucusu Buzdolabı Uygulaması		
Giriş Değerleri		
Çalışma Gerilimi	86	V
Sıcak Taraf Sıcaklığı	30	°C
Ortam Sıcaklığı	27	°C
UA - Kaçak	0,15	W/K
UA - Evaporatör.....	3,3	W/K
UA - Kondenser	2,9	W/K
UA - Kabin	1,25	W/K
Sonuçlar		
Soğutma Kapasitesi	34,107	W
Carnot COP	5,678	
COP	1,911	
Giriş Gücü	17,847	W
Kaçak Isı	6,355	W
Kabinin Isıl Yüğü	27,751	W
Kabin Sıcaklığı	4,799	°C
Evaporatör Sıcaklığı	-3,61	°C
Kondenser Sıcaklığı	-3,61	°C
Soğuk Taraf Sıcaklığı		
Kabul Edilen	-15,368	°C
Hesap Sonucu Bulunan ..	-15,371	°C

Şekil 5.8 Programın yazıcı çıktısı.

5.2.2 Örnek Hesap

5.2.2.1 Veri girişi

Çalışma gerilimi	: 86 V
Sıcak taraf sıcaklığı	: 30°C (Sabit)
Ortam sıcaklığı	: 27°C
UA [Kaçak]	: 0,15 W / K
UA [Evaporatör]	: 3,3 W / K
UA [Kondenser]	: 2,9 W / K
UA [Kabin]	: 1,25 W / K

5.2.2.2 Hesaplar

Hesaplamalarda iterasyon başlangıcında soğuk taraf sıcaklığı -15,36°C olarak kabul edildi. Hesaplama sonucunda bu değer tekrar bulunacak ve kabul değeri ile hesap değeri birbirine öngörülebilir hata oranı kadar yaklaşıncaya kadar iterasyon sürdürülecektir.

➤ COP_{Carnot}

$$COP_{Carnot} = \frac{T_c}{T_h - T_c}$$

$$COP_{Carnot} = \frac{-15,36 + 273}{(30 + 273) - (-15,36 + 273)}$$

$$COP_{Carnot} = 5,679$$

➤ Q_{cap} – Soğutma Kapasitesi

$$82 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad Q_{cap} = 0,3998(T_c) + 34,143$$

$$90 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad Q_{cap} = 0,6531(T_c) + 50,252$$

denklemlerinde 86 V için enterpolasyon yapılırsa :

$$86 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad Q_{cap} = 0,52645(T_c) + 42,1975$$

$$Q_{cap} = 0,52645 (-15,36) + 42,1975$$

$$Q_{cap} = 34,111 \text{ W}$$

olarak bulunur.

➤ COP

$$82 \text{ V} \Rightarrow COP = 1,6082 \ln(COP_c) - 0,9427$$

$$90 \text{ V} \Rightarrow COP = 1,6561 \ln(COP_c) - 0,9038$$

denklemlerinde 86 V için enterpolasyon yapılırsa :

$$86 \text{ V} \Rightarrow COP = 1,63215 \ln(COP_c) - 0,92325$$

$$COP = 1,63215 \ln(5,679) - 0,92325$$

$$COP = 1,911$$

➤ Q_{giren} – Giriş Gücü

$$Q_{giren} = \frac{Q_{cap}}{COP}$$

$$Q_{giren} = \frac{34,111}{1,911}$$

$$Q_{giren} = 17,847 \text{ W}$$

➤ $Q_{kaçak}$ – Kaçak Isı

$$Q_{Kaçak} = UA_{Kaçak} (T_{Ortam} - T_c)$$

$$Q_{Kaçak} = 0,15 [27 - (-15,36)]$$

$$Q_{Kaçak} = 6,354 \text{ W}$$

➤ Q_{Kabin} – Kabinin Isıl Yüktü

$$Q_{Kabin} = Q_{Cap} - Q_{Kaçak}$$

$$Q_{Kabin} = 34,11 - 6,354$$

$$Q_{Kabin} = 27,756 \text{ W}$$

➤ T_{Kabin} – Kabin Sıcaklığı

$$T_{Kabin} = T_{Ortam} - \frac{Q_{Kabin}}{UA_{Kabin}}$$

$$T_{Kabin} = 27 - \frac{27,756}{1,25}$$

$$T_{Kabin} = 4,79^\circ \text{ C}$$

➤ $T_{Evaporatör}$ – Evaporatör Sıcaklığı

$$T_{Evaporatör} = T_{Kabin} - \frac{Q_{Kabin}}{UA_{Evaporatör}}$$

$$T_{Evaporatör} = 4,79 - \frac{27,756}{3,3}$$

$$T_{Evaporatör} = -3,62^\circ \text{ C}$$

➤ $T_{Kondenser}$ – Kondenser Sıcaklığı

İşlemler sırasında evaporatör sıcaklığının, kondenser sıcaklığına eşit olduğu varsayımı yapılmıştır.

$$T_{Kondenser} = T_{Evaporatör}$$

$$T_{Kondenser} = -3,62^\circ \text{ C}$$

➤ T_c – Soğuk Taraf Sıcaklığı

$$T_c = T_{Kondenser} - \frac{Q_{cap}}{UA_{Kondenser}}$$

$$T_c = -3,62 - \frac{34,11}{2,9}$$

$$T_c = -15,38^\circ C$$

5.2.3 Program Sonuçlarının Yorumlanması

Hesap sonucunda bulunan T_c – soğuk taraf sıcaklığının, hesap başlangıcında kabul edilen değere öngörülebilir hata oranı kadar yaklaştığı görülerek iterasyon burada sonuçlandırılmıştır.

Program ile aynı giriş değerleri alınarak hesap yapıldığında Şekil 5.9 ‘da görülen sonuçlara ulaşılmıştır.

COP Hesabı		Soğuk Taraf Sıcaklığı		Grafik Çizimi		Çıkış	
Çalışma gerilimi	(V)	86				Soğutma Kapasitesi (W)	34.107
Sıcak Taraf Sıcaklığı	(C)	30				Carot COP	5.678
* Sıcak taraf sıcaklığı deneylerin $T_h=30^\circ C$ sıcaklıkta yapılmış olması sebebi ile bu sıcaklıkta sabit tutulmuştur.						COP	1.911
Ortam Sıcaklığı	(C)	27				Giriş Gücü (W)	17.847
UA [Kaçak]		0.15				Kaçak Isı (W)	6.355
UA [Evaporatör]		3.3				Kabinin Isıl Yüğü (W)	27.751
UA [Kondenser]		2.9				Kabin Sıcaklığı (C)	4.799
UA [Kabin]		1.25				Evaporatör Sıcaklığı (C)	-3.61
						Kondenser Sıcaklığı (C)	-3.61
						Kabul edilen soğuk taraf sıcaklığı (C)	-15.368
						Hesaplanan soğuk taraf sıcaklığı (C)	-15.371

Şekil 5.9 Program üzerinde örnek hesap değerlerinin sonuçları.

Klasik yöntem ile yapılan hesap sonucu ile yazılmış olan bilgisayar programının sonuçları karşılaştırılacak olursa $\pm \%2$ fark olduğu görülecektir. Bu fark, program içerisinde ondalık basamakların sayısının fazla tutularak daha hassas hesap yapılmasından kaynaklanmaktadır. Program, burada yapılan örnek hesaba göre $\pm \%2$ daha kesin sonuç verebilmektedir.

6. SONUÇLAR

Kalorimetrik testleri yapılmış Serbest piston Stirling soğutucusu ile yapılan çalışmalar dahilinde; bu cihazın B285 (larder) tipi buzdolaplarına uygulanması sırasında değişik ortam sıcaklığı ile kabin, kondenser ve evaporatör UA değerleri altındaki davranışı net bir şekilde görülebilmektedir.

Simülasyon programının hesaplamaları sonucunda soğutma kapasitesi, Carnot COP, COP, kabinin sıcaklığı ve ısı yükü, oluşan ısı kaçağı, evaporatör ve kondenser sıcaklıkları ile Stirling soğutucusunun soğuk taraf sıcaklığı bulunmaktadır.

Oluşturulmuş bu global model dahilinde şu sonuçlara varılabilir :

- ☆ Simülasyon programına zemin oluşturan kalorimetrik testler sırasında Stirling soğutucusunun sıcak taraf sıcaklığı 30°C 'da sabit tutulmuştur. Farklı sıcak taraf sıcaklıkları için yapılabilecek kalorimetrik testler ile Stirling soğutucusunun ve dolayısı ile sistemin tümünün nasıl etkilendiğini görmek açısından yararlı olacaktır.
- ☆ Simülasyon hesaplarının bir sonucu olarak bulunan kabin içi sıcaklık değeri; sistem ev tipi buzdolaplarına uygulanacağından, standartlara uygun bir sabit değer olarak simülasyona girilebilmesinin de hesaplamalar açısından mümkün olduğu görülmektedir.
- ☆ Simülasyon programına birer giriş değeri olarak verilen kondenser ve evaporatörün UA değerleri; kondenser ve evaporatör üzerinde oluşturulacak model ile programa dahil edildiği takdirde, programın işlevselliği artacaktır. Bu alandaki çalışmalar sürdürülerek, bu çalışmaları takiben yazılım içerisine UA değerlerini de verilen parametreler altında hesaplayabilen bir algoritma eklenmesi mümkündür. Böylece farklı kondenser ve evaporatör tasarımları ile çalıştırılan sistemin davranışı simüle edilerek kararlı durum için çıkış değerleri okunabilecektir.

KAYNAKLAR

Bapat, S. L., (2000), "Theoretical investigations on simultaneous operation of vapour compression refrigeration cycle and Stirling cycle in miniature Stirling cooler with two-component two-phase mixture", *Cryogenics*, 40:1-8.

Beceren, K., (1988), *Kapalı Termosifon Tipi Isı Borusunun Isıl Analizi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış).

Dehoff, R., Grubb, K., "Heat Pipe Application Guidelines", Thermocore, Inc. , USA.

Dunn, P. D., Reay, D. A., (1993), *Heat Pipes 4th Edition*, Pergamon Press.

El-genk, M. S., Saber, H. H., (1997), "Flooding limit in closed, two-phase flow thermosyphons", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40:2147-2164.

Garner, S. D., Toth, J. E., "Heat Pipes: A Practical and Cost Effective Method For maximizing Heat Sink Effectiveness", Thermocore, Inc. , USA.

Gaugler, R. S., (1944), US Patent Application Dec.21, 1942. Published US Patent No.2350348. 6 June 1944.

Grover, .M., (1963), US Patent 3229759. Filled 1963.

Grover, G. M., Cotter, T. P., Erickson, G. F., (1967), "Structures of Very High Thermal Cunductance", *J.App.Phys.*, 35:1990.

Jen, T. C., Gutierrez, G., Eapen, S., Barber, G., Zhao, H., Szuba, P. S., Labataille, J., Manjunathaiah, J., (2002), "Investigation of heat pipe cooling in drilling applications. Part I: preliminary numerical analysis and verification", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42:643–652.

Khrustalev, D., "Loop Thermosyphons for Cooling of Electronics", Thermocore, Inc. , USA.

Lin, L., Ponnappan, R., Leland, J., (2002), "High Performance Miniature Heat Pipe", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45:3131–3142.

Lin, L., Faghri, A., (1999), "Heat transfer in micro region of a rotating miniature heat pipe", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42:1363-1369.

Nuntaphan, A., Tiansuwan, J., Kiatsiroat, T., (2002), "Enhancement of heat transport in thermosyphon air preheater at high temperature with binary working fluid: A case study of TEG–water", *Applied Thermal Engineering*, 22:251–266.

Ong, K. S. , Haider-e-alalhi, M. D., (1999), "Experimental investigation on the hysteresis effect in vertical two-phase closed thermosyphons", *Applied Thermal Engineering*, 19:399-408.

Rajesh, V. G., Ranvindran, K. P., (1997), "Optimum heat pipe design: A nonlinear programing approach", *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 24:371-380..

Riffat, S. B., Zhaox, X., Doherty, P. S., (2002), "Analytical and numerical simulation of the thermal performance of 'mini' gravitational and 'micro' gravitational heat pipes", *Applied Thermal Engineering*, 22:1047–1068.

Rohsenow, W. M., (1956), "Heat Transfer and Temperature Distribution in Laminar-Film Condensation", *Trans.ASME*, 78:1645-1648.

Said, S. A., Akash, B. A., (1999), "Experimental performance of a heat pipe", *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 26:679-684.

Sartre, V., Zaghoudi, M. C., Lallemand, M., (2000), "Effect of interfacial phenomena on evaporative heat transfer in micro heat pipes", *Int. J. Therm. Sci.*, 39:498–504

Schetz, J. A., Fuhs, A. E., (1999), *Fundamentals of Fluid Mechanics*, John Wiley & Sons, Inc.

Snaith, B., O'Callaghan, P. W., Probert, S. D., (1984), "Interstitial Materials for Controlling Thermal Conductance across Pressed Metallic Contacts", *Appl. Energy*, 16:175.

Wang, Y., Vafai, K., (2000), "An experimental investigation of the thermal performance of an asymmetrical flat plate heat pipe", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43:2657-2668.

Zuo, Z. J., North, M. T., "Combined Pulsating and Capillary Heat Pipe Mechanism for Cooling of High Heat Flux Electronics", Thermocore, Inc. , USA.

EKLER

Ek 1 "Stirling – 114 Hesap Programı" Kaynak Kodu



Ek 1 “Stirling – 114 Hesap Programı” Kaynak Kodu

```
unit S114;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ComCtrls, Menus, Gauges, ExtCtrls, DB, DBTables, bde, Buttons, grfl, jpeg,
  RpCon, RpConDS, RpDefine, RpRave, RpConBDE;
type
  Tst114form = class(TForm)
    ButtonQkaphes: TButton;
    tkctext: TEdit;
    stext: TEdit;
    VComboBox: TComboBox;
    tcComboBox: TComboBox;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Qkaptext: TLabel;
    Button2: TButton;
    StatusBar1: TStatusBar;
    MainMenu1: TMainMenu;
    ButtonCopcHes: TButton;
    Button1: TButton;
    CopcText: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    coptext: TLabel;
    BUTTONCOPHES: TButton;
    kCOptext: TEdit;
    sCOptext: TEdit;
    Label6: TLabel;
    Qgirentext: TLabel;
    Buttonlthehes: TButton;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    UAKacakText: TEdit;
    Label9: TLabel;
    TOrtamText: TEdit;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    UAevapText: TEdit;
    UAKonText: TEdit;
    Label12: TLabel;
    UAKabintext: TEdit;
    Label13: TLabel;
    Qkacakttext: TLabel;
    Label14: TLabel;
    QKabintext: TLabel;
    Label15: TLabel;
    TKabintext: TLabel;
```

Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label101: TLabel;
Label20: TLabel;
TEvaptext: TLabel;
TKonText: TLabel;
TcItSonText: TLabel;
Qkapittext: TLabel;
TcItText: TLabel;
ThComboBox: TComboBox;
Label102: TLabel;
Label103: TLabel;
Label104: TLabel;
COPcITText: TLabel;
COPITText: TLabel;
QGirenITText: TLabel;
Table1: TTable;
DataSource1: TDataSource;
GrafikButton: TButton;
Grafikmenu: TMenuItem;
Exit: TMenuItem;
STARAFSIC: TMenuItem;
COPHesap1: TMenuItem;
degergir: TMenuItem;
Hesapla1: TMenuItem;
Image1: TImage;
Label19: TLabel;
Label21: TLabel;
Image2: TImage;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Label26: TLabel;
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Panel1: TPanel;
RvProject1: TRvProject;
RvDataSetConnection1: TRvDataSetConnection;
RvTableConnection1: TRvTableConnection;
Yaz: TMenuItem;
Table1S_NO: TFloatField;
Table1TcIT: TFloatField;
Table1TcITSon: TFloatField;
Table1Tck: TFloatField;
Table1S: TFloatField;
Table1SCOP: TFloatField;
Table1KCOP: TFloatField;
Table1COPcIT: TFloatField;

```

Table1COPIT: TFloatField;
Table1QgirenIT: TFloatField;
Table1QKACAK: TFloatField;
Table1QKABIN: TFloatField;
Table1TEVAP: TFloatField;
Table1TKON: TFloatField;
Table1V: TFloatField;
Table1V1: TFloatField;
Table1V2: TFloatField;
Table1V3: TFloatField;
Table1Tck1: TFloatField;
Table1Tck2: TFloatField;
Table1Tck3: TFloatField;
Table1S1: TFloatField;
Table1S2: TFloatField;
Table1S3: TFloatField;
Table1QKAPIT: TFloatField;
Table1Th: TFloatField;
Table1Tortam: TFloatField;
Table1UAKACAK: TFloatField;
Table1UAEVAP: TFloatField;
Table1UAKON: TFloatField;
Table1UAKABIN: TFloatField;
Table1TKabin: TFloatField;
procedure ButtonQkaphesClick(Sender: TObject);
procedure VComboBoxChange(Sender: TObject);
procedure tcComboBoxChange(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Exit1Click(Sender: TObject);
procedure ButtonCopcHesClick(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure BUTTONCOPHESClick(Sender: TObject);
procedure ButtonItchesClick(Sender: TObject);
procedure GrafikButtonClick(Sender: TObject);
procedure ExitClick(Sender: TObject);
procedure GrafikmenuClick(Sender: TObject);
procedure COPHesap1Click(Sender: TObject);
procedure Hesapla1Click(Sender: TObject);
procedure degergirClick(Sender: TObject);
procedure YazClick(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  st114form: Tst114form;
  x, x1, x2, y, y1, y2, qkap, tc, th, tcKelvin, THKelvin, v, tck, s, COPc, COP, kCOP, sCop,
  Qgiren, Vitinput, COPcit, COPit, TcIt, TcItSon, UAKacak, UAKabin, UAEvap, UAKon,
  QKacak, QKabin, QEvap, QKon, Qkapit, Qgirenit, TOrtam, TKabin, TEvap, TKon : Real ;
  S_NO, dongu:Integer;

```

```

Const
zero=0;
tck1=0.3998;
tck2=0.6531;
tck3=0.8132;
s1=34.143;
s2=50.252;
s3=62.564;
v1=82;
v2=90;
v3=100;
KCOP1=1.6082;
KCOP2=1.6561;
KCOP3=1.3332;
SCOP1=0.9427;
SCOP2=0.9038;
SCOP3=0.413;
implementation
Function Enterp(x1, x2, y, y1, y2:Real):Real;
External 'ent.dll';
Function CarnotCOP(x1, x2:Real):Real;
External 'COPC.dll';
Function Rounddi(x1:Real):Real;
External 'Round2.dll';
Function Roundtri(x1:Real):Real;
External 'Round3.dll';
Function Roundtetra(x1:Real):Real;
External 'Round4.dll';
Function COPfunc(x1,x2,y1:Real):Real;
External 'COP.dll';
{$R *.dfm}
procedure Tst114form.ButtonQkaphesClick(Sender: TObject);
begin
th:=StrToFloat(thComboBox.text);
V:=StrToFloat(vcombobox.text);
tc:=StrToFloat(tcComboBox.text);
if V = v1 then
begin
s:=s1;
tck:=tck1;
end ;
If V < v2 then
begin
if V > v1 then
begin
tck:=enterp(tck1, tck2, v, v1, v2); {ent.dll}
s:=enterp(s1, s2, v, v1, v2); {ent.dll}
end ;
end;
if V = v2 then
begin

```

```

    s:=s2;
    tck:=tck2;
  end ;
  If V > v2 then
  begin
    if V < v3 then
    begin
      tck:=enterp(tck2, tck3, v, v2, v3); {ent.dll}
      s:=enterp(s2, s3, v, v2, v3); {ent.dll}
    end ;
  end;
  if V = v3 then
  begin
    s:=s3;
    tck:=tck3;
  end ;
  stext.Text:=FloatToStr(s);
  tcktext.Text:=FloatToStr(tck);
  qkap:=Roundtri((tck*tc)+s) ;
  QkapText.Caption:=FloatToStr(qkap);
end;
procedure Tst114form.VComboBoxChange(Sender: TObject);
begin
  Button1.Click
end;
procedure Tst114form.tcComboBoxChange(Sender: TObject);
begin
  button1.Click;
end;
procedure Tst114form.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  CreateMutex(nil,False,'s114');
  if GetLastError = ERROR_ALREADY_EXISTS THEN
  begin
    ShowMessage ('Program Zaten Çalışmakta !! ');
    Halt (0);
  end;
  button1.Click;
  COPHesap1.Click;
  Hesapla1.Enabled:=False;
  Image1.Left:=12;
  Image1.Top:=130;
  Image1.Width:=539;
  Image1.Height:=291;
end;
procedure Tst114form.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
  close;
end;
procedure Tst114form.ButtonCopcHesClick(Sender: TObject);
begin

```

```

th:=StrToFloat(thComboBox.text);
V:=StrToFloat(vcombobox.text);
tc:=StrToFloat(tcComboBox.text);
ThKelvin:=Th+273;
TcKelvin:=Tc+273;
COPC:=Roundtri(CarnotCOP(tc,th)); // Round3.dll
Copctext.caption:=FloatToStr(COPC);
end;
procedure Tst114form.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  V:=StrToFloat(vcombobox.text);
  tc:=StrToFloat(tcComboBox.text);
  th:=StrToFloat(thComboBox.text);
  buttonQkaphes.Click;
  buttonCOPcHes.Click;
  buttonCOPHes.Click;
end;
procedure Tst114form.BUTTONCOPHESClick(Sender: TObject);
begin
  V:=StrToFloat(vcombobox.text);
  tc:=StrToFloat(tcComboBox.text);
  if V = v1 then
    begin
      sCOP:=sCOP1;
      kCOP:=kCOP1;
    end ;
  If V < v2 then
    begin
      if V > v1 then
        begin
          kCOP:=enterp(kCOP1, kCOP2, v, v1, v2); {cop.dll}
          sCOP:=enterp(sCOP1, sCOP2, v, v1, v2); {cop.dll}
        end ;
      end;
  if V = v2 then
    begin
      sCOP:=sCOP2;
      kCOP:=kCOP2;
    end ;
  If V > v2 then
    begin
      if V < v3 then
        begin
          kCOP:=enterp(kCOP2, kCOP3, v, v2, v3); {cop.dll}
          sCOP:=enterp(sCOP2, sCOP3, v, v2, v3); {cop.dll}
        end ;
      end;
  if V = v3 then
    begin
      sCOP:=sCOP3;
      kCOP:=kCOP3;
    end;

```

```

    end ;
    sCOPtext.Text:=FloatToStr(sCOP);
    kCOPtext.Text:=FloatToStr(kCOP);
    COP:=Roundtri(COPfunc(kCOP,COPc,sCOP)) ; // Round3.dll
    COPText.Caption:=FloatToStr(COP);
    Qgiren:=(Roundtri(Qkap/COP)) ; // Round3.dll
    Qgirentext.Caption:=FloatToStr(Qgiren);
end;
procedure Tst114form.ButtonItehesClick(Sender: TObject);
begin
    tck:=0;
    s:=0;
    scop:=0;
    kCOP:=0;
    s_no:=0;
    th:=StrToFloat(thComboBox.text);
    V:=StrToFloat(vcombobox.text);
    tc:=StrToFloat(tcComboBox.text);
    tcit:=0 ;
    UAKacak:=StrToFloat(UAkacaktext.Text);
    TORTam:=StrToFloat(Tortamtext.Text);
    UAEvap:=StrToFloat(UAEvaptext.Text);
    UAKon:=StrToFloat(UAkontext.Text);
    UAKabin:=StrToFloat(UAkabintext.Text);
    if V = v1 then
        begin
            s:=s1;
            tck:=tck1;
        end ;
    If V > v1 then
        begin
            if V < v2 then
                begin
                    tck:=enterp(tck1, tck2, v, v1, v2); {ent.dll}
                    s:=enterp(s1, s2, v, v1, v2); {ent.dll}
                end ;
            end;
        if V = v2 then
            begin
                s:=s2;
                tck:=tck2;
            end ;
        If V > v2 then
            begin
                if V < v3 then
                    begin
                        tck:=enterp(tck2, tck3, v, v2, v3); {ent.dll}
                        s:=enterp(s2, s3, v, v2, v3); {ent.dll}
                    end ;
                end;
            if V = v3 then

```

```

begin
  s:=s3;
  tck:=tck3;
end ;
table1.Exclusive:=True;
table1.Active:=true;
table1.open;
Table1.EmptyTable;
while tcIt>-40 do
  begin
qkagit:=Roundtri((tck*tcIt)+s) ;
COPCit:=Roundtri(CarnotCOP(tcIt,th));
if V = v1 then
  begin
    sCOP:=sCOP1;
    kCOP:=kCOP1;
  end ;
If V > v1 then
  begin
    if V < v2 then
      begin
        kCOP:=enterp(kCOP1, kCOP2, v, v1, v2); {cop.dll}
        sCOP:=enterp(sCOP1, sCOP2, v, v1, v2); {cop.dll}
      end ;
    end;
if V = v2 then
  begin
    sCOP:=sCOP2;
    kCOP:=kCOP2;
  end ;
If V > v2 then
  begin
    if V < v3 then
      begin
        kCOP:=enterp(kCOP2, kCOP3, v, v2, v3); {cop.dll}
        sCOP:=enterp(sCOP2, sCOP3, v, v2, v3); {cop.dll}
      end ;
    end;
if V = v3 then
  begin
    sCOP:=sCOP3;
    kCOP:=kCOP3;
  end ;
COPit:=Roundtri(COPfunc(kCOP,COPcIt,sCOP)) ; // Round3.dll
Qgirenit:=(Roundtri(Qkagit/COPit)) ; // Round3.dll
Qkacak:=Roundtri(UAkacak*(TOrtam-TcIt));
Qkabin:=Roundtri(QkapIt-Qkacak);
Tkabin:=Roundtri(TOrtam-(QKabin/UAKabin));
TEvap:=RoundTri(TKabin-(QKabin/UAEvap));
TKon:=TEvap;
TcItSon:=Roundtri(TKon-(Qkagit/UAKon)) ;

```

```

S_no:=S_NO+1;
table1.Append;
table1S_NO.Text:=IntToStr(S_NO);
table1TCIT.Text:=FloatToStr(TCIT);
table1TcItSon.text:=FloatToStr(TCITSON);
table1QKapIt.text:=FloatToStr(QKapIt);
table1COPcIT.text:=FloatToStr(COPCIT);
table1COPIT.Text:=FloatToStr(COPIT);
table1QgirenIT.text:=FloatToStr(QGirenIT);
table1QKACAK.text:=FloatToStr(QKACAK);
table1Qkabin.text:=FloatToStr(qkabin);
table1tevap.text:=FloatToStr(tevap);
table1tkon.text:=FloatToStr(tkon);
table1V.text:=FloatToStr(V);
table1tck.text:=FloatToStr(tck);
table1s.text:=FloatToStr(s);
table1kcop.text:=FloatToStr(kcop);
table1scop.text:=FloatToStr(scop);
table1v1.text:=FloatToStr(v1);
table1v2.text:=FloatToStr(v2);
table1v3.text:=FloatToStr(v3);
table1tck1.text:=FloatToStr(tck1);
table1tck2.text:=FloatToStr(tck2);
table1tck3.text:=FloatToStr(tck3);
table1s1.text:=FloatToStr(s1);
table1s2.text:=FloatToStr(s2);
table1s3.text:=FloatToStr(s3);
table1th.Text:=FloatToStr(th);
table1tortam.Text:=FloatToStr(tortam);
table1uakacak.Text:=FloatToStr(uakacak);
table1uaevap.Text:=FloatToStr(uaevap);
Table1Uakon.Text:=FloatToStr(uakon);
table1uakabin.Text:=FloatToStr(uakabin);
Table1tkabin.text:=FloatToStr(TKabin);
table1.next;
if abs(tcIt-TcItson)<(1/100) then Break ;
    tcit:=Roundtri(((TCItson+tcit)/2));
end;
QKapittext.caption:=FloatToStr(QKapit);
COPCITText.caption:=FloatToStr(COPCIT);
COPITText.caption:=FloatToStr(COPIT);
QGirenITtext.caption:=FloatToStr(QgirenIT);
QKacakttext.caption:=FloatToStr(QKacak);
QKabinText.caption:=FloatToStr(QKabin);
TKabinText.caption:=FloatToStr(TKabin);
TEvapText.caption:=FloatToStr(TEvap);
TKonText.caption:=FloatToStr(TKon);
TcItSontext.caption:=FloatToStr(TcItSon);
QKapittext.caption:=FloatToStr(QKapit);
TcItText.caption:=FloatToStr(TcIt);
Table1.Close;

```

```

end;
procedure Tst114form.GrafikButtonClick(Sender: TObject);
begin
  if Qkapit=0 then
    begin
      Application.MessageBox('Önce iterasyon yapılmalı' , 'U Y A R I',mb_OK);
    end
  else
    begin
      table1.Exclusive:=false;
      table1.Active:=false;
      Application.CreateForm(TGrafik1, Grafik1);
      St114form.Hide;
    end;
end;
procedure Tst114form.GrafikmenuClick(Sender: TObject);
begin
  Grafikbutton.Click ;
end;
procedure Tst114form.ExitClick(Sender: TObject);
begin
  close;
end;
procedure Tst114form.COPHesap1Click(Sender: TObject);
begin
  VComboBox.Visible:=True;
  Panel1.Visible:=False;
  Hesapla1.Enabled:=False;
  yaz.Enabled:=False;
  label101.Visible:=False; //qkapittext
  label102.Visible:=False; //CopcItText
  label103.Visible:=False; //CopItText
  label104.Visible:=False; //QgirenItText
  qkapittext.Visible:=False;
  CopcItText.Visible:=False;
  CopItText.Visible:=False;
  QgirenItText.Visible:=False;
  label8.Visible:=False; //UAKacakttext
  label9.Visible:=False; //Tortamtext
  label10.Visible:=False; //UAevapttext
  label11.Visible:=False; //UAKontext
  label12.Visible:=False; //UAKabintext
  UAKacakttext.Visible:=False ;
  Tortamtext.Visible:=False ;
  UAevapttext.Visible:=False;
  UAKontext.Visible:=False;
  UAKabintext.Visible:=False ;
  Label25.Visible:=False;
  Label26.Visible:=False;
  Label27.Visible:=False;
  Label28.Visible:=False;

```

```
Label29.Visible:=False;
Label7.Visible:=True;
Label21.Visible:=False;
Label22.Visible:=False;
Label3.Visible:=True;
Label4.Visible:=True;
Label5.Visible:=True;
Label6.Visible:=True;
Label3.Top:=16;
Label3.Left:=312;
Label4.Top:=44;
Label4.Left:=312;
Label5.Top:=72;
Label5.Left:=312;
Label6.Top:=100;
Label6.Left:=312;
TCComboBox.Visible:=True;
Qkaptext.Visible:=True;
COPctext.Visible:=True;
COPttext.Visible:=True;
Qgirentext.Visible:=True;
Qkaptext.Top:=16;
Qkaptext.Left:=504;
COPctext.Top:=44;
COPctext.Left:=504;
COPttext.Top:=72;
COPttext.Left:=504;
Qgirentext.Top:=100;
Qgirentext.Left:=504;
Label2.Visible:=True;
TcComboBox.Visible:=True;
Label19.Visible:=False;
ThComboBox.Visible:=true;
label101.visible:=False;
label102.visible:=False;
label103.visible:=False;
label104.visible:=False;
label13.visible:=False;
label14.visible:=False;
label15.visible:=False;
label16.visible:=False;
label17.visible:=False;
label18.visible:=False;
label20.visible:=False;
QkapitText.visible:=False;
COPcITText.visible:=False;
COPITText.visible:=False;
QgirenIttext.visible:=False;
QkacakText.visible:=False;
QKabinText.visible:=False;
TKabinText.visible:=False;
```

```
TEvapText.visible:=False;
TKonText.visible:=False;
TcItSonText.visible:=False;
TcItText.visible:=False;
  Qkapit:=0 ;
  ButtonCOPcHes.Click;
  button1.Click;
  Image1.Visible:=True;
  Image1.Left:=12;
  Image1.Top:=130;
  Image1.Width:=539;
  Image1.Height:=291;
  Image2.Visible:=False;
  Qkapit:=0 ;
end;
procedure Tst114form.Hesapla1Click(Sender: TObject);
begin
  yaz.Visible:=true;
  yaz.Enabled:=true;
  buttonitehes.click;
  Image2.Visible:=False;
  VComboBox.Visible:=False;
  TcComboBox.Visible:=False;
  thComboBox.Visible:=False;
  Label22.Caption:=VCombobox.Text;
  Label23.Caption:=tcCombobox.Text;
  Label24.Caption:=thCombobox.Text;
  Label22.Visible:=True;
  Label23.Visible:=False;
  Label24.Visible:=True;
  Label25.Caption:=Tortamtext.text;
  Label26.Caption:=UAKAKAKtext.text;
  Label27.Caption:=UAEVAPtext.text;
  Label28.Caption:=UAKONtext.text;
  Label29.Caption:=UAKABINtext.text;
  Label25.Visible:=True;
  Label26.Visible:=True;
  Label27.Visible:=True;
  Label28.Visible:=True;
  Label29.Visible:=True;
  Tortamtext.Visible:=False;
  UAKAKAKtext.Visible:=False;
  UAEVAPtext.Visible:=False;
  UAKONtext.Visible:=False;
  UAKABINtext.Visible:=False;
  label101.visible:=True;
  label102.visible:=True;
  label103.visible:=True;
  label104.visible:=True;
  label13.visible:=True;
  label14.visible:=True;
```

```

label15.visible:=True;
label16.visible:=True;
label17.visible:=True;
label18.visible:=True;
label20.visible:=True;
QkapitText.visible:=True;
COPcITText.visible:=True;
COPITText.visible:=True;
QgirenIttext.visible:=True;
QkacakText.visible:=True;
QKabintext.visible:=True;
TKabinText.visible:=True;
TEvapText.visible:=True;
TKonText.visible:=True;
TcItSonText.visible:=True;
TcItText.visible:=True;
Label7.Visible:=True;
panel1.Visible:=True;
end;
procedure Tst114form.degergirClick(Sender: TObject);
begin
    Panel1.Visible:=False;
    label101.Visible:=False; //qkapittext
    label102.Visible:=False; //CopcItText
    label103.Visible:=False; //CopItText
    label104.Visible:=False; //QgirenItText
    qkapittext.Visible:=False;
    CopcItText.Visible:=False;
    CopItText.Visible:=False;
    QgirenItText.Visible:=False;
    Label3.Visible:=False; //Soğutma Kapasitesi
    Label4.Visible:=False; //Carnot COP
    Label5.Visible:=False; //COP
    Label6.Visible:=False; //Giriş Gücü
    Label8.Visible:=False;
    Label20.Visible:=False;
    Qkaptext.Visible:=False;
    COPctext.Visible:=False;
    COPtext.Visible:=False;
    Qgirentext.Visible:=False;
    QkacakText.visible:=False;
    QKabintext.visible:=False;
    TKabinText.visible:=False;
    TEvapText.visible:=False;
    TKonText.visible:=False;
    TcItSonText.visible:=False;
    TcItText.visible:=False;
    label8.Visible:=True;
    label9.Visible:=True;
    label10.Visible:=True;
    label11.Visible:=True;

```

```

label12.Visible:=True;
UAKacaktext.Visible:=True ;
Tortamtext.Visible:=True ;
UAevaptext.Visible:=True;
UAKontext.Visible:=True;
UAKabintext.Visible:=True ;
VComboBox.Visible:=True;
Label22.Visible:=False;
Label23.Visible:=False;
Label24.Visible:=False;
Label2.Visible:=False;
Label23.Visible:=False;
tcComboBox.Visible:=False;
Image1.Visible:=False;
Image2.Visible:=True;
Image2.Left:=312;
Image2.Top:=16;
Image2.Width:=209;
Image2.Height:=409;
Qkapit:=0 ;
thcombobox.Text:='30';
th:=StrToFloat(thComboBox.text);
thComboBox.Visible:=False;
Label19.Visible:=True;
Label19.Caption:=FloatToStr(th);
Label21.Visible:=True; //açıklama görüntülenmesi
COPhesap1.Enabled:=True;
Hesapla1.Enabled:=True;
yaz.Enabled:=False;
end;
procedure Tst114form.YazClick(Sender: TObject);
begin
table1.Open;
table1.Last;
rvproject1.Open;
rvproject1.Execute;
table1.Close;
end;
end.

library ent;
uses
  SysUtils,
  Classes;
Function Enterp(x1, x2, y, y1, y2: Real): REal;
begin
  Enterp:= (x1+( (x2-x1)/(y2-y1) ) * (y-y1) ));
end;
Exports
  Enterp;
{$R *.res}

```

```
begin
end.
```

```
library COPC;
uses
  SysUtils,
  Classes;
Function CarnotCOP(x1, x2: Real): Real;
begin
  CarnotCOP:= ((x1+273) / ((x2+273)-(x1+273)));
end;
  Exports
  CarnotCOP;
{$R *.res}
begin
end.
```

```
library Round3;
uses
  SysUtils,math,
  Classes;
Function Roundtri(x1:Real): Real;
begin
  Roundtri:= ((INT(X1))+((INT(((x1)-(INT(x1))))*1000)/1000)) ;
end;
  Exports
  Roundtri;
{$R *.res}
begin
end.
```

```
library COP;
uses
  SysUtils,
  math,
  Classes;
Function COPfunc(x1,X2,y1:Real): Real;
begin
  COPfunc:= ((x1*(ln(x2)))-y1) ;
end;
  Exports
  COPfunc;
{$R *.res}
begin
end.
```

```
library Round2;
uses
  SysUtils,
  math,
  Classes;
```

```
Function Rounddi(x1:Real): REal;
begin
  Rounddi:= ((INT(X1))+((INT(((x1)-(INT(x1))))*100)/100)) ;
end;
Exports
Rounddi;
{$R *.res}
begin
end.

library Round4;
uses
  SysUtils,
  math,
  Classes;
Function Roundtetra(x1:Real): REal;
begin
  Roundtetra:= ((INT(X1))+((INT(((x1)-(INT(x1))))*10000)/10000)) ;
end;
Exports
Roundtetra;
{$R *.res}
begin
end.
```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.08.1977	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1991-1994	İstanbul Şehremini Lisesi
Lisans	1994-1996	Trakya Üniversitesi Mühendislik–Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Lisans	1996-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2000-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programı

Çalıştığı kurumlar

1996-2000	Ece Mühendislik San.Tic.Ltd.Şti.
2002-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi