

**T.C**  
**SÜLEYMANDEMRELÜNVERSİTESİ**  
**FENBİLİMLERENSTİTÜSÜ**

**YERÇEKİMDESTEKLİSİBORULARINDA FİZİKSEL**  
**KULLANIMININ SİBORUSUNUN ÇALIŞMA**  
**PERFORMANSINA ETKİSİ**

**Hasan YILDIRIM**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE ENJİNERLİK ANABİLİM DALI**  
**ISPARTA - 2009**

## Ç NDEK LER

### Sayfa

Ç NDEK LER.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TE EKKÜR.....	iv
EK LLER D Z N .....	v
Ç ZELGELER D Z N .....	viii
S MGELER D Z N .....	ix
1.G R .....	1
1.1. Isı Borusunun Çalı ma Prensibi.....	2
1.2. Isı Borusunda Kullanılan Akı kanlar.....	4
1.3. Isı Borusunda Gerekli Akı kan Miktarı .....	5
1.4. Isı Borularında Isı Geçi i.....	6
1.5. Isı Borularındaki Limitler .....	7
1.6. Uyumluluk.....	8
1.7. Yüzey Gerilimi ve Yüzey Enerjisi.....	8
2. ISI BORUSUNDA KULLANILAN F T LLER.....	10
2.1. Fitol Çe itleri.....	11
2.2. Fitol Tipleri.....	14
2.3. Fitilde Kılcallık.....	16
3. KAYNAK ÖZETLER .....	17
4. MATARYAL ve METOD.....	20
5. ARA TIRMA BULGULARI.....	27
5.1. Metal Fitilli Isı Borusu için Ara tırma Bulguları.....	27
5.2. Fitilsiz Isı Borusu için Ara tırma Bulguları.....	35
6. TARTI MA ve SONUÇ.....	43
7. KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇM .....	46

## ÖZET

Yüksek Lisan Tezi

### YERÇEK M DESTEKL ISI BORULARINDA F T L KULLANIMININ ISI BORUSUNUN ÇALI MA PERFORMANSINA ETK S

Hasan YILDIRIM

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine E itimi Anabilim Dalı

**Jüri:** Prof. Dr. Osman PEK

Doç. Dr. Arzu ENCAN

Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY(Danı man)

Bu çalı mada fitilli ve fitilsiz yerçekimi destekli ısı borularının farklı i akı kanları ve çalı ma artlarındaki performansları deneysel olarak incelenmiştir. Çalı mada iki farklı ısı borusu kullanılmıştır. Fitilli ve fitilsiz olarak hazırlanan bu iki ısı borusunda i akı kanı olarak metanol, etanol ve su kullanılmıştır. Deneylerde ısı borusu iç sıcaklığı 50 °C, 70 °C ve 90 °C olacak şekilde ve ısı borularının 30°, 60° ve 90° e im açılarında çalı ılmıştır.

Yapılan deneysel çalı ma sonuçlarına göre, ısı borusu iç sıcaklığının artmasıyla kondanserden çekilen ısı miktarı da artmaktadır. Fitilli ısı borusu, fitilsiz ısı borusuna göre daha az bir ısı transferi sağlamıştır. Fitilsiz ısı borusunda i akı kanı olarak etanol kullanıldığında, metanol ve suya oranla daha az performans göstermiştir. Fitilli ısı borusunda su kullanıldığı durumda diğer iki akı kana oranla daha az ısı transferi sağlamıştır. E im açısının değeri ile transfer edilen ısıda anlamlı bir değişim çalı ılan aralık için gözlenmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı borusu, Termosifon, iki fazlı kapalı termosifon, Fitil

**2009, 46 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc.Thesis**

### **THE EFFECT OF WICK USAGE ON THE OPERATING PERFORMANCE OF GRAVITY ASSISTED HEAT PIPE**

**Hasan YILDIRIM**

**Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Sciences  
Machine Education Department**

**Thesis Committee:** Prof. Dr. Osman PEK

Assoc. Prof. Arzu ENCAN

Asst. Prof. Ahmet ÖZSOY(Supervisor)

That application did wick and studied no wick on gravity assisted heat pipe with different working fluid and working condition performs. On that application used different two heat pipes. Wick and no wick two heat pipes prepared and used methonal, ethonol and water for working fluids. This application did studied with 50, 70 and 90 °C temparature and 30, 60 and 90 ° slope angles.

Result up this application; when heat pipes inner temparature rise same time condansere heat transfer rate would rise too. No wick heat pipe better than wich heat pipe on heat transfer rate. When used ethonal for working fluid on no wick heat pipes not good result, looks methonal and water. Wicks heat pipe when used water for working fluid less heat transfer the other working fluid. Exchange grade angle with heat transfer rate for big difference did not saw between space.

**Key Words:** Heat pipe, Thermosyphon, Two phase closed thermosyphon, Wick  
**2009, 46 Pages**

## TE EKKÜR

Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY'a, tez danışmanı olmasının yanı sıra, deney setlerinin hazırlanması, gerekli maddi ve manevi desteklerinden dolayı te ekkür ediyorum.

Deney setinin hazırlanmasında bilgisine danıştım ve desteklerinden memnun kaldım Prof. Dr. Abdullah ÖZSOY, Yrd. Doç. Dr. Arif Emre ÖZGÜR, Dr. Ömer KARABIYIK ve Arş. Gör. Erkan D KEMEN hocalarıma ve çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım İKKE KÖSE arkadaşlarıma te ekkür ediyorum.

Atölye çalışmalarında Makine Teknikeri Cengiz KAZMACI ve Makine Teknikeri Mümin ULUSOY yardımcı olmuşturlar, te ekkür ediyorum.

Tüm imkânlarını seferber eden, her an varlıklarıyla yaşamdan umut ve güç aldığım aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hasan YILDIRIM  
ISPARTA, 2009

## EK LLER D Z N

ekil 1.1. Isı borusunun genel görünümü.....	3
ekil 2.1. Tipik homojen fitil yerle imi .....	12
ekil 2.2. Basit, sargılı, açık ve integral fitil yerle imi.....	12
ekil 2.3. Tipik kompozit fitil dizaynı.....	13
ekil 2.4. Girintili Isı Borusu Duvarı.....	15
ekil 2.5. Metal Perdeli fitil örne i.....	16
ekil 2.6. Sinterlenmi toz metal ve metal fiber örnekleri.....	16
ekil 4.1. Isı borusunda kapak olarak kullanılan sarı piring malzeme ve bakır kapak.....	21
ekil 4.2. Deneylere hazır ısı borusu örne i .....	21
ekil 4.3. Termokupulların ısı borusuna kelepçeler yardımıyla yerle tirilmesinin gösterimi.....	22
ekil 4.4. Deneylerde kullanılan Varyak trafo.....	23
ekil 4.5. Isı borusuna vakumun yapılması.....	23
ekil 4.6. Veri toplama ünitesi.....	24
ekil 4.7. Isı borusu deneyinin çalı tı ı bir düzenek.....	25
ekil 5.1. Fitilli ısı borusunda metanol akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	27
ekil 5.2. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	28
ekil 5.3. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	28
ekil 5.4. Fitilli ısı borusunda metanol akı kan için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	29
ekil 5.5. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	29
ekil 5.6. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	30
ekil 5.7. Fitilli ısı borusunda metanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle ısı akısının de i imi.....	30

ekil 5.8. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle ısı akısının de i imi.....	31
ekil 5.9. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle ısı akısının de i imi.....	31
ekil 5.10. Fitilli ısı borusunda metanol akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi.....	32
ekil 5.11. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi.....	32
ekil 5.12. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi.....	33
ekil 5.13. Fitilli ısı borusunda metanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C sıcaklıklarında e imle transfer edilen ısının de i imi.....	33
ekil 5.14. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C sıcaklıklarında e imle transfer edilen ısının de i imi.....	34
ekil 5.15. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle transfer edilen ısının de i imi.....	34
ekil 5.16. Fitilsiz ısı borusunda metanol akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	35
ekil 5.17. Fitilsiz ısı borusunda etanol akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	35
ekil 5.18. Fitilsiz ısı borusunda su akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	36
ekil 5.19. Fitilsiz ısı borusunda metanol akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	36
ekil 5.20. Fitilsiz ısı borusunda etanol akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	37
ekil 5.21. Fitilsiz ısı borusunda su akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi.....	37
ekil 5.22. Fitilsiz ısı borusunda metanol akı kanı için 50, 70 ve 90°C iç sıcaklıklarında e imle ısı akısının de i imi.....	38
ekil 5.23. Fitilsiz ısı borusunda etanol akı kanı için 50, 70 ve 90°C iç sıcaklıklarında e imle ısı akısının de i imi.....	38

ekil 5.24. Fitilsiz ısı borusunda su akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle ısı akısının de i imi.....	39
ekil 5.25. Fitilsiz ısı borusunda metanol akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi.....	39
ekil 5.26. Fitilsiz ısı borusunda etanol akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi.....	40
ekil 5.27. Fitilsiz ısı borusunda su akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi.....	40
ekil 5.28. Fitilsiz ısı borusunda metanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle transfer edilen ısının de i imi.....	41
ekil 5.29. Fitilsiz ısı borusunda etanol akı kanı için 50, 70 ve 90°C iç sıcaklıklarında e imle transfer edilen ısının de i imi.....	41
ekil 5.30. Fitilsiz ısı borusunda su akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle transfer edilen ısının de i imi.....	42

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Isı Borusunda kullanılan akı kanları.....	5
Çizelge 1.2. Isı Borusunda akı kan-malzeme uyumlulu u.....	8

## SİMGELER DİZİNİ

$A_c$	Kondanser bölgesi yüzey alanı ( $m^2$ )
$A_v$	Buhar kesit alanı ( $m^2$ )
$A_w$	Fitil kesit alanı ( $m^2$ )
$C_p$	Özgül ısı (Kcal/kg)
$d$	Fitilde örgü tel çapı (m)
$\varepsilon$	Gözeneklik
$l$	Uzunluk (m)
$L_t$	Toplam ısı borusu uzunluğu (m)
$m$	Gerekli akı kan miktarı (kg)
$N$	Mesh (örgü) sayısı
$\rho_v$	Buhar özgül kütle ( $kg/m^3$ )
$\rho_l$	Sıvı özgül kütle ( $kg/m^3$ )
$\lambda$	Buharla ma gizli ısı ( $kJ/kg$ )
$Q$	Transfer edilen toplam ısı (Kcal)
$q$	Isı akısı ( $W/m^2$ )
$T$	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$\Delta T$	Sıcaklık farkı
$x$	Boyutsuz uzunluk
$w$	Fitilde örgüler arası boşluk (m)
$\lambda$	Buharla ma gizli ısı ( $kJ/kg$ )

## 1. G R

Tüm ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de, enerji gereksiniminin artan nüfusa ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artması, buna karşılık bir yandan enerji kaynaklarının kısıtlı olması, diğer yandan da enerji sağlanması ve kullanılmasında çevre sorunlarının getirdiği sınırlamalar, mevcut enerji kaynaklarının kullanımının yanı sıra yeni arayışları da beraberinde getirmektedir.

Enerji, üretim süreçlerinde ve teknolojik cihazlarda kullanılması zorunlu olan bir ihtiyaç, toplumların kalkınması, refah seviyelerinin yükseltilmesi için gerekli bir hizmet aracı olarak ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel taşlarından biridir. Çağımızın temel ve vazgeçilmez ihtiyaçlarından biridir. Teknolojik gelişmeler arttıkça, uzay çalışmalarını yönlendirenlerdedikçe, elektronik sanayindeki bağımsız döndürücü gelişmeler devam ettikçe, sanayi toplumunun enerjiye olan talebi de aynı oranda artacaktır. Artan enerji talebi aynı zamanda gelişmişliğin bir göstergesidir (Özsoy, 2002).

Enerjinin bir yerden başka bir yere taşınması da ayrıca önemli bir problemdir. Enerji konusunda geliştirilmiş çok basit bir yöntem bile çok önemli olabilmektedir. Bundan dolayı, işlevi açısından bakılırsa ısı borusunu da diğer verilmesi gereken bir yöntem olarak düşünülebilir. Ayrıca uzay çağının ilerlemesi ve elektronik sanayisinin gelişmesi bir ısı transfer cihazı olan ısı borusunun önemini artırmaktadır (Tatlıoğlu, 1995).

Petrol kaynaklarının sınırlı olması, hidrolik enerjisinin sınırlılığı, nükleer enerjiye çevresel nedenlerle duyulan güvensizlik yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına ve kullanılan enerjinin atık kısmından tekrar faydalanma yollarının geliştirilmesine neden olmaktadır. Enerjinin önemi kadar enerjiyi kullanan cihazların verimliliği, ihtiyaç duyulan zamanda ve ihtiyaç duyulduğu kadar taşınabilmesi, kullanılan cihazların büyüklükleri, ağırlıkları, kontrolü ve istenilen ortamlara ya da ortama uyumlu olmasının sağlanması daha önemli olmaktadır.

Bir ısı taşıma aracı olan ısı boruları; Uzay çalışmalarında, elektronik devre elemanlarının soğutulmasında, petrol boru hatlarında, atık ısının geri kazanılmasında, uçakların frenlerinin soğutulmasında, sıcaklık kontrolünde, güne enerjisinden de iki şekilde yararlanılmasında, jeotermal enerjide, enerjinin depolanmasında, güç çevrimleri gibi daha pek çok alanlarda kullanılmaktadır.

Ara tırmacılar tarafından ısı borularının bazı belirgin avantajları özellikle vurgulanmıştır. Bunlar; ısı transfer kapasitesinin büyüklük olarak en iyi iletkenin daha iyi bir şekilde olması. Örneğin iyi bir ısı borusunun aynı çaptaki dolu bakır çubuğun boyuncasına nakledebileceği ısının birkaç bin mislini aynı yönde nakledebileceği bildirilmiştir. Kontrolünün kolaylığı, hareketli parçasının olmaması, sessiz çalışması, her ortam ve çok geniş aralıktaki sıcaklık dalgalanımı için ısı borusu tasarımı yapılabilirliği, çok küçük sıcaklık farklılıklarında bile çalışabilmesi ve en önemlisi de ısıyı taşıırken ek bir enerjiye ihtiyaç duymaması gibi avantajları vardır (Özsoy, 2002).

Isı borusu, kişisel bilgisayarların iyice küçülmesi ve iletkenlerinin güçlenmesi mikro ve minyatür ısı borularının bu yongaların soğutulması için geliştirilmesine vesile olmuştur (Aksoy, 2004).

### **1.1. Isı Borusunun Çalışma Prensipleri**

En genel şekliyle ısı borusu, iç yüzeyine kılcalık etkisi sağlamak amacıyla gözenekli yapıya sahip uygun bir malzeme (fıtıl) yerleştirilen, havası alınmış kapalı bir hazne ile içerisinde bulunan çalışma akışkanından oluşmaktadır. Isı borusu genel olarak üç bölgeye ayrılabilir. Bunlar evaporatör, kondanser ve adyabatik bölgelerdir. Evaporatöre enerji verilmesiyle buharlaşan akışkan basınçta meydana gelecek bir değişim yardımıyla kondanser kesimine ulaşır. Sıvı doymuş fıtıl gözeneklerinde, sıvı-buhar yüzeyinde sıvı ile buhar fazları arasındaki basınç farkından meydana gelen kılcal etki yardımıyla sıvı fazdan uzaklaşan buhar moleküllerinin bolu hareketi ile akışkan dolaşımı sağlanır. Ayrıca buhar molekülleri de buhar akışkesitinde kondanser bölgeleri arasındaki basınç farkı yardımıyla dolaşımı devam ettirirler.

Buhar molekülleri gizli ısılarını yo u turucuda bırakıp faz de i tirirler ve yo u turucuda fitil, boru arasında sıvının bo alttı ı alana hareket eder. Bu hareketle çevrim tamamlanmı olur (Be e, 1988). A a ıdaki ekilde ısı borusunun genel görünümü görülmektedir.



ekil 1.1. Isı borusunun genel görünümü

Isı borusunun performansı, ço unlukla e de er ısıl iletkenli i cinsinden ifade edilir. yi bir ısı borusunun, aynı çaptaki dolu bakır çubu un iletilebildi i ısının birkaç bin mislini, aynı yönde iletilebilmektedir. Isı borusunun güç iletilebilme kapasitesi çok yüksektir. Örne in 1500 °C'de çalı an ve akı kan olarak lityum kullanılan ısı borularında, aksenal olarak 10-20 kW/cm<sup>2</sup>'lik ısı ta ınabilir (Ersöz, 2002).

Yerçekimi takviyeli ısı borusunun çalı ması sırasında, evaporatöre uygulanan ısı enerjisi i akı kanlarının bir kısmının buharla masına sebep olur. Isı borusunun içini dolduran saf buhar, kondanserin so uk olan duvarına temas edince yo u ma ba lar. Yo u an i akı kanı, yerçekimi etkisiyle evaporatöre akar. Orada yeniden buharla ır ve hızlı bir buhar akımı halinde yeniden kondansere döner. Bu çevrim sırasında buhar hızları, aksi yönde ilerleyen sıvı akı ına kıyasla, yüksek olup, bazı hallerde buhar hızının ses hızına yakla tı ı ve hatta ses üstü hızlara ula tı ı görülür. Çift fazlı akımdaki bu büyük hız farkı, evaporatörden kondansere pompalama olayının do masına yol açar. E er boru içerisinde yo u mayan gazlar varsa bu gazlar, önce

kondanserde birikir; evaporatör sıcaklığı artıkça, kondanserde sıkı an bu yo u mayan gaz sütunu kondanserin üst ucuna hapsedilir. Pratikte, kondanser sıcaklığı ölçüldü ü zaman, kondanser bölgesi ile yo u mayan gaz sütununun yerini kesin olarak tespit etmek mümkündür (Ersöz, 2002).

## **1.2. Isı Borularında Kullanılan Akı kanlar**

Isı borularında kullanılan akı kanlar düşük sıcaklık, orta sıcaklık ve yüksek sıcaklık akı kanlar olarak sınıflandırılabilir. Düşük sıcaklıklarda kullanılan akı kanlar; hidrojen, neon, azot, oksijen ve metandır. Orta sıcaklıkta freon, amonyak, su gibi akı kanlar, yüksek sıcaklıkta ise cıva, potasyum, lityum, gümüş gibi akı kanlar kullanılabilir. Isı borularında yüzey gerilimleri, kılcal pompalama miktarına, buharlaşma gizli ısısına, verimli ısı iletimine, buharlaştırıcıda ve yo u turucuda fitil boyunca küçük sıcaklık düşümüne ve yüksek ısı iletkenliğine karılıklı gelir.

Buna karılıklı kaynama oluşumu, ilk çalışmaya başlamaya ve akı kan-malzeme uygunlukları gibi konular ısı borusu tasarımında ve imalatında önceden bilinmesi gerekli olan parametrelerdir. Uygun bir çalışmaya akı kanının belirlenmesinde ilk dikkate alınacak konu buharlaşma sıcaklığıdır. Ancak bu akı kanlardan herhangi birinin seçilmesinden önce uygulamanın niteliğine uygun olarak akı kanda bazı özelliklerin aranması gerekir. Bunlardan başlıca olanları; yeterli pompalama yüksekliğini elde edebilmek için yüksek yüzey gerilim katsayısı ve iyi derecede yüzey ıslatma özelliğinin olmasıdır. Akı kanı kolayla tırabilmek için düşük viskozite, yüksek aksel ısı akıları elde edebilmek için büyük buharlaşma gizli ısısı, daha iyi bir ısı transferi sağlamak amacıyla yüksek bir ısı iletkenlik, işletme artlarına uygun bir donma ve kaynama noktası, fitil ve hazne malzemesinin birbiriyle uyumlu olması ve kimyasal kararlılıktır. Sonuç olarak akı kan seçimi fiyat, kullanılabilirlik, uygunluk ve yukarıda belirtilen özelliklerin dikkate alınmasıyla ısı borusunda kullanılacak olan akı kan ve miktarı bulunur. Birçok akı kan ısı borularında kullanılabilir ve bu akı kana başlı olarak ısı borusunun malzemesi seçilir (Alkaç, 1996).

Çizelge 1.1. Isı borusunda kullanılan akı kanlar (Alkaç, 1996)

Kullanılan Akı kan	Erime Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Uygun kullanım aralığı (°C)
Helyum	-272	-269	-271-269
Nitrojen	-210	-196	-203-160
Amonyak	-78	-33	-60-100
Freon 11	-111	24	-40-120
Pentan	-130	28	-20-120
Freon 113	-35	48	-10-100
Aseton	-95	57	0-120
Metanol	-98	64	10-130
Flutec PP2	-50	76	10-160
Etanol	-112	78	0-130
Heptan	-90	98	0-150
Su	0	100	30-200
Flutec PP9	-70	160	0-225
Thermex	12	257	150-395
Cıva	-39	361	100-650
Sezyum	29	670	450-900
Potasyum	62	774	500-1000
Sodyum	98	892	500-1200
Lityum	179	1340	1000-1800
Gümü	960	2212	1800-2300

### 1.3. Isı Borusunda Gerekli Akı kan Miktarı

Isı borusu içerisine konulacak akı kan miktarı önemlidir. Haznede gereğinden az miktarda akı kan varsa, evaporatörde uygulanan ısı ile akı kanın tamamı buharla ıp kondansere gönderilecek ve kondanserden yoğunlaşarak dönen akı kan evaporatördeki buharla mayı karılayamadığı için evaporatör bölgesi kuruyacaktır. Gereğinden bir miktar fazla konulması durumunda ısı borusunun çalışmasında olumsuz bir etkisi olmamaktadır. Isı borusuna doldurulacak akı kan miktarı hesaplanırken ağırlıkta kullanılan bağıntı kullanılabilir (Alkaç, 1996).

$$m = A_v \cdot L_t \cdot \rho_v + A_w \cdot L_t \cdot \varepsilon \cdot \rho_1 \quad (1.1)$$

Isı borusundaki akı kan miktarı do rudan evaporatör ve kondanserdeki ısı geçi i ile ili kilidir. Isı borusu içerisine arj edilecek akı kan miktarı çe itli limitler nedeniyle önemli olmaktadır. Literatüre göre toplam hacmin % 15-22'si oranında veya evaporatör hacminin % 40-50'si oranında akı kan koyulabilece i bildirilmi tir (Özsoy, 2006).

#### 1.4. Isı Borularında Isı Geçi i

Isı borularındaki ısı geçi i evaporatörde ve kondanserde olmak üzere iki ayrı kısımda incelenebilir.

**Evaporatördeki Isı Geçi i:** Dü ük miktardaki ısı akısı kısmen do al konveksiyonla ve fitil içinde de kondüksiyonla iletilir. Buharla ma sıvı yüzeyden olur. Isı akısı cidarla temasta olan sıvı sıcaklı mını artırdı ı için çekirdekle me bölgesinde kabarcıklar olu ur. Bu kabarcıklar buharla ma gizli ısısı ile yüzeye enerji ta ıyacıklar ve konveksiyonla ısı transferi de büyük ölçüde artacaktır. Isı akısının artırılmasıyla kritik bir de ere ula ılacak, yani sıvı buharla ıp bitecek fitil kuruyacak ve ısı borusu da çalı mayacaktır.

**Kondanserdeki Isı Geçi i:** Kondansere gelen buhar kondanserin sıvı yüzeyinde yo u maya ba lar. Buradaki olay daha önce evaporatör kısmındakine benzer durumdadır. Kondanserde kısmi sıcaklık dü ü ü ve bu sebeple de kısmi direnç olu acaktır. Sıcaklık dü ü ü sıvıya ait film tabakasında, doymu fitilde ve ısı borusu çeperinde olu acaktır. Yo u ma iki ekilde olu abilir. Ya sürekli bir sıvı yüzeyi olu turan yo u mu buhar vasıtasıyla veya çok sayıda damlaların tekkülü ile olu abilir. İlk bahsedilende, ısı borusunda film yo unla ması meydana getirir. Yo u ma önemli derecede yo u mayan bir gazın varlı ından etkilenir. Isı borusunda buharın iletimi kondanserin uç kısmında bir miktar gazın birikmesine neden olacaktır. Kondanserin bu kısmında gaz tampon bölgesinin olu masına sebep olacaktır.

## 1.5. Isı Borularındaki Limitler

Isı borularında ısının bir noktadan başka bir noktaya transferi sırasında bazı sınırlamalar vardır. Bunları; Viskoz limit, Ses limit, Köpürme Limit, Kılcal limit ve Kaynama limit'idir.

**Viskoz Limit:** Akı kanın viskozitelerinden dolayı düşük sıcaklıklarda viskoz kuvvetler buharın a a ıya do ru akı ı üzerinde etkilidir (Dunn ve Reay, 1978). Viskoz limit düşük sıcaklıklarda özellikle yerçekimine zıt veya yerçekimsiz ortamlarda fitil içerisinde meydana gelir.

**Ses Limit:** Isı borularında buhar fazında akı kan aktı ı kesit alanının sabit olması nedeniyle, evaporatörde buhar eklenmesi, kondanserde buhar eksilmesi durumunda kütle akı miktarı de i mektedir. Daralan-Geni leyen memeden farklı olarak ısı borusunda hız de i imleri sabit kesit içinden de i ken kütle akı ıyla olu ur. Dolayısıyla ısı borusu belli bir limit de erinin üzerinde bir ısıyla yüklenirse buhar fazı ses sınırına ula acaktır (Gürses ve Be e, 1989).

**Köpürme Limit:** Isı borusunun çalı ması esnasında sıvı ve buhar birbirlerine göre zıt yönlerde akar. Bu akı esnasında viskoz kayma gerilmeleri meydana gelir. E er ısı akı ı artarsa sıvı akı ı kararsızla ır. Bu esnada kayma gerilmeleri sıvı yüzey gerilme kuvvetlerinden daha büyük olabilir. Sonuç olarak sıvı damlacıkları veya köpükler buharla birlikte kondansere ta ınır. Sıvının köpürmesi aksenal ısı transferini sınırlar. Bu sınıra köpürme sınırı denir (Peterson, 1994). Evaporatörden kondansere buhar akı ı esnasında buharla birlikte sıvı taneciklerinin ta ıdı ı kondanserin üst kısmında çekiç darbeleri e klinde vuruntu sesi ile gözlenebilir.

**Kılcal Limit:** Isı borusunun çalı ması esnasında maksimum kılcal pompalama basıncının boru içindeki toplam basınç dü ümünden daha büyük olması gerekir (Peterson, 1994).

**Kaynama Limit:** Isı borularında verilen ısının belli bir de eri a masıyla fitil buhar ara yüzeyinde beklenen buharla ma fitil duvar arasında olu acak ve burada baloncuklar meydana gelecektir. Bu da sıcaklık da ılımında bölgesel farklılıklara neden olur (Özsoy, 2006).

## 1.6. Uyumluluk

Isı borularında kullanılan i akı kanları ile ısı borusu malzemesinin birbirleriyle uyumlu olmaları gerekir. E er akı kan ile malzemesi hemen yada belli bir süre sonra, yada yüksek sıcaklıklarda kimyasal reaksiyona giriyorsa bu iki malzeme birbirleri ile uyumsuz demektir. Uyumsuzlu un bazı önemli sonuçları korozyon ve yo u amayan gazlardır. Akı kan olarak su kullanıldı ı uygulamalarda korozyon en büyük tehlikedir. Dı koruyucu boru veya fitil malzemesi i gören akı kan içinde çözülürse, kondanser ve evaporatör arasında bir kütle transferi ortaya çıkabilir. Bu e kilde çözünen katı parçalar evaporatörde birikirler. Fitol malzemesinde gözeneklerin tıkanmasına neden olabilir. Çizelge 1,2’de hangi malzemelerle hangi akı kanların uyumlu oldukları verilmi tir.

Çizelge 1.2. Isı borusunda akı kan-malzeme uyumlulu u (Be e, 1988)

<b>F T L MALZEMES</b>	<b>UYGUN AKI KAN</b>
Bakır	Su, Aseton, Metanol
Paslanmaz çelik	Amonyak
Alüminyum	Amonyak
Nikel	Amonyak

## 1.7. Yüzey Gerilimi ve Yüzey Enerjisi

Bir sıvı içindeki moleküller birbirlerini çekerler. Bir sıvıdaki bir molekül, etrafındaki di er moleküller tarafından ve ortalama olarak bütün yönlerde e it bir e kilde çekilir. Molekülün sıvının yüzeyinde veya yakınında olması halinde, çekim kuvvetleri artık dengelenmez ve molekül, içeriye do ru bir toplam kuvvete maruz kalır. Bu etkiden dolayı sıvı minimum alana sahip olan bir e kil almaya ba lar. Vakumda serbest dü en bir damlacık küre e klini alır. Bu kendili inden e ilimde, sıvı yüzey gerilim altında lastik bir membran (zar) gibi davranır.

Buharla ma gizli ısısı, bir sıvının molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinin bir ölçüsü oldu undan, o alanda yüzey gerilmesi olu maktadır. Katılar da serbest yüzey enerjisine sahiptirler. Bir sıvı bir katı yüzeyle temas halinde oldu u zaman, katının yanındaki sıvıdaki moleküller, sıvılardaki di er moleküllerden gelen kuvvetlere ek olarak, katı cismin moleküllerinden gelen kuvvetlere de maruz kalır. Bu katı/sıvı kuvvetlerinin çekim ve tepki kuvvetleri olup olmamasına ba lı olarak sıvı katı yüzeyi yukarıya ve a a ıya do ru e ri yapar. Çekim ve tepki kuvvetleri için bilinen en iyi örnekler civa ve su dur. Kuvvetlerin çekim kuvvetleri oldu u durumlarda sıvı-katıya ıslak denir. Sıvı yüzeyin katı ile yaptı ı aç ı, temas aç ısı olarak tanımlanır (Ersöz, 2002).

## 2. ISI BORULARINDA KULLANILAN FITİLLER

Isı borusunda akı kan evaparatörden kondansere do ru ısı borusu içinden, kondanserden evaparatöre fitilin yardımıyla döner. Fitildeki kılcallık fitilin iç yüzeyinde olur ve bu yüzeyde bir gerilme meydana gelir. Bu gerilme ile yüksek hızda akı kan fitilin iç yüzeyinde hareket eder (Silverstein, 1992).

Fitillerin ısı borusundaki görevleri çok önemlidir. Bu malzemelerin sahip olması gereken en önemli özellik kondanser kısmında faz de i tiren akı kanın tekrar evaparatör kısmına dönü ü için gerekli gözenek büyüklü üne sahip olmasıdır. Bu özellik minimum akı direnci için önemlidir. Çalı ma esnasında maksimum kılcal pompalama basıncının artması küçük yüzey gözenekli iyle sa lanabilir (Be e, 1988).

Fitillerin göstermesi gereken önemli özellikleri daima birbirlerini etkilemektedir. Akı direncini azaltmak için büyük gözenekli fitil kullanıldı ı zaman kılcal pompalama basıncı azalacaktır. Kılcal basıncı artırmak için küçük gözenekli fitil kullanılırsa, bu kez akı direnci artacaktır. Dizayn safhasında bu iki durum için uygun bir yol seçilmelidir.

Fitil yapılarında en çok perde sargılı fitiller kullanılır. Bu tip fitillerde sarılan atıkların sıklık derecesi (mesh) sıvının akı direncini etkileyecektir. Ayrıca buradaki sıcaklık dü ümü, dü ük ısı iletkenli e sahip akı kan kullanıldı ında büyük olacaktır. Bu olumsuzlu u önlemek için sinterlenmi metal malzemeden yapılmı fitiller (sintered metal wicks) geli tirilmi tir. Bu tip fitillerde gözenek boyutu daha küçüktür. Çalı ma esnasında sıvı-buhar ara yüzeyinde büyük kılcal basınç yaratabilir Fakat gözeneklerin küçüklü ü sebebiyle sıvı akı geçitlerinde büyük basınç dü ümüne neden olur (Be e, 1988).

Çok kullanılan fitillerden biride kanallı fitillerdir. Bunlar hem basit, hem de yüksek performanslı ısı boruları uygulamalarında kullanılabilir. Bu fitillerde kanallar yüksek iletkenlikte olduklarından evaparatör ve kondanserde ısının üniform olarak da ılması

ve akı kana ısı geçi i di er fitil yapılarına kıyasla daha iyidir. Fakat kanallar eksenel yöndeki akı a bir miktar direnç yaratabilir.

Dairesel fitiller de küçük sıvı akı direnci yarattıklarından bazı durumlarda tercih edilebilirler. Fakat akı kan olarak dü ük iletkenlikte bir akı kan kullanıldı ında akı direncide büyüyecektir.

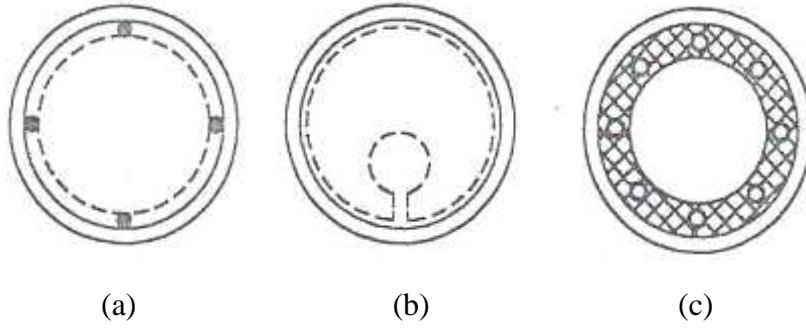
Kompozit yapılardan olan perde kaplı kanallı fitillerde büyük ısı transfer kapasitesine sahiptir. Bu tip fitillerde büyük kılcal basıncın olu ması için küçük gözenekli yerde sıvı-buhar ara yüzeyine yerle tirilmi tir. Kanallar yardımıyla üniform ısı da ılımı sa lanır.

Isı borusunda fitil yapısının tasarımı sırasında kullanılan bazı temel malzemeler vardır. Bunların ba ında örgülü metal fitillerde kullanılan metal tel perde gelmektedir. Metal fitiller, farklı tel açıları, gözenek geni li i ve yapıldı ı malzemelere göre farklılık göstermektedir. Kullanılan bu malzemeler paslanmaz çelik, bakır, nikel, bronz ve titanyumdur. Metal tozlarının kullanıldı ı basit materyal fitiller için sinterleme yapılır. Bunun sonucunda metal yapı çok gözenekli olmaktadır (Faghri, 1995).

## 2.1. Fitil Çe itleri

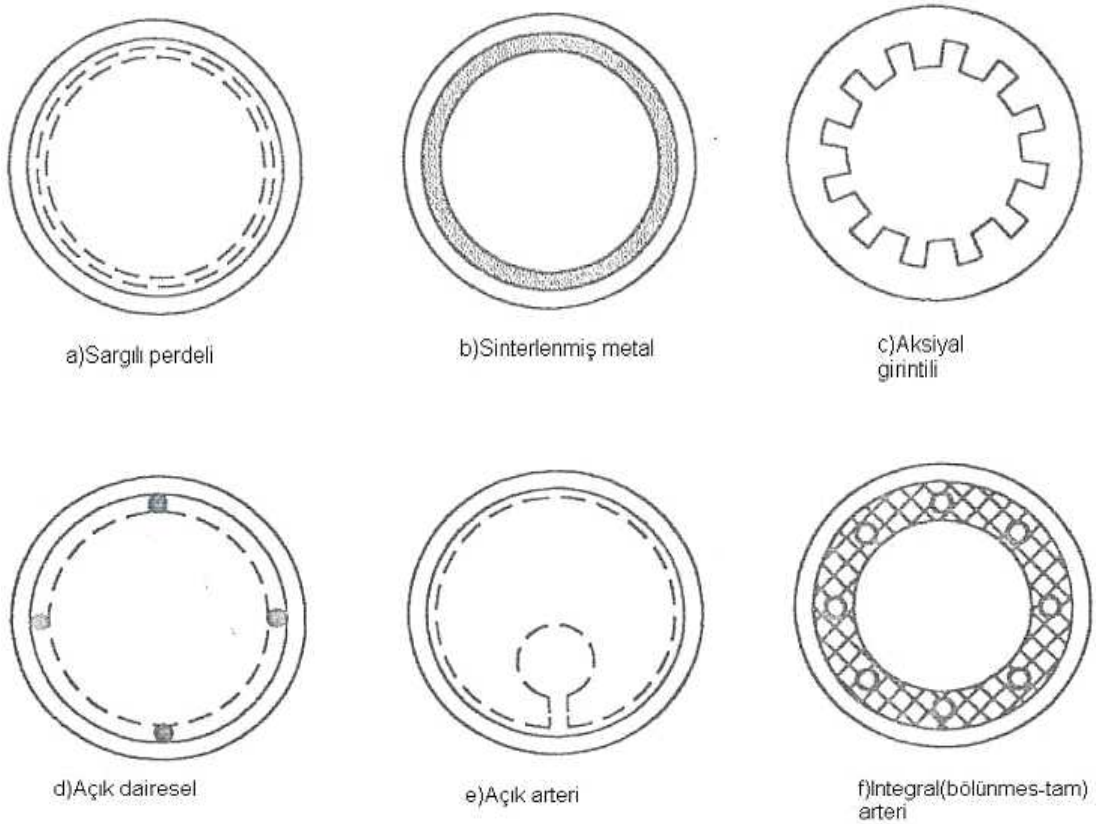
Isı borulu çalı malarda önemli bir etken olan fitiller kendi aralarında Homojen fitil ve Kompozit fitil olarak sınıflandırılabilir.

**Homojen Fitiller:** Homojen fitillerin yapısında tek malzeme kullanılır iken kompozit fitillerin yapısında birkaç malzeme birlikte kullanılmaktadır. Tek veya birkaç tabakalı metal ısı duvarına giydirilmi tir. Bundan dolayı bazı de i iklikler olmaktadır. Bu de i iklikler gözenek sayısı, alan, sargı sayısı ve sargı sıklı ıdır (Faghri, 1995). ekil 2,1.'de tipik homojen fitil örnekleri verilmektedir. Bunun yanı sıra sözü edilen fitillerde yüksek kılcal basınç ve yüksek geçirgenlik ve etkili ısı iletkenlik genellikle dü ük oldu unda zayıf bir temas vardır.



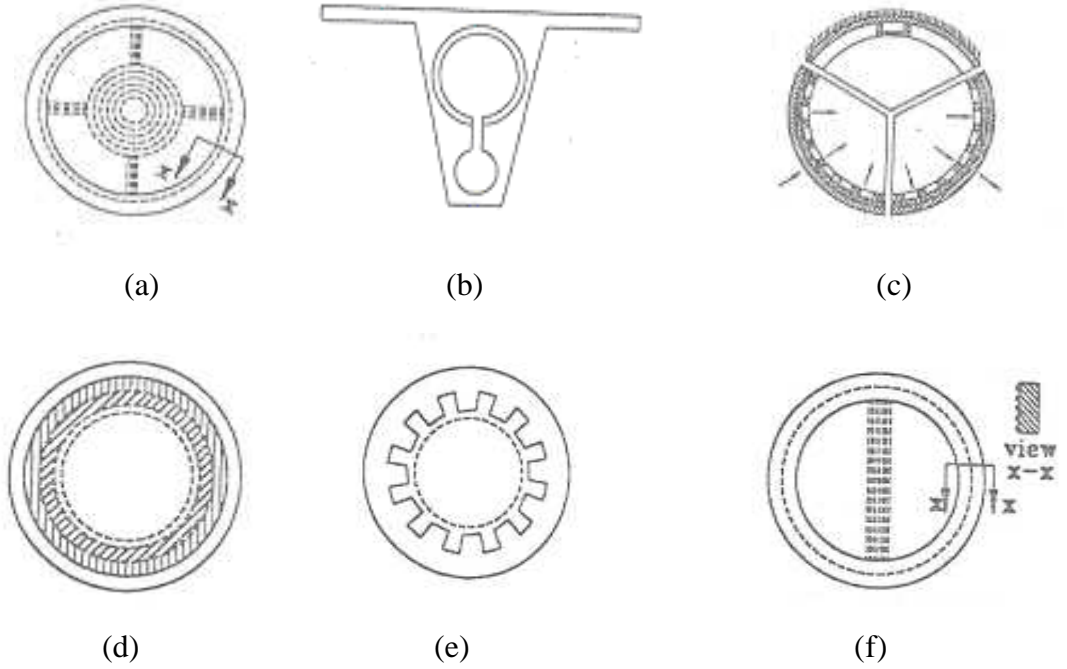
ekil 2.1. Tipik homojen fitil yerle imi (Faghri, 1995)

ekil 2.1.a'da verilen açık dairesel tip homojen fitilin kılcal pompalama ve ısı iletkenli i dü ük, geçirgenlik katsayısı yüksektir. ekil 2.1.b'de verilen açık arteri tip homojen fitilde kılcal pompalama katsayısı dü ük, ısı iletkenlik ve geçirgenlik katsayısı yüksektir. ekil 2.1.c'de verilen integral arteri tip homojen fitilin kılcal pompalama katsayısı, ısı iletkenlik katsayısı ve geçirgenlik katsayısı yüksektir. Basit ve çok geni sargılı homojen perdeli fitiller ekil 2.2'de görölmektedir.



ekil 2.2 Basit, sargılı, açık ve integral fitil yerle imi (Faghri, 1995)

**Kompozit Fitiller:** Kompozit fitiller birkaç malzemenin beraber kullanıldığı tekli fitil yapılarıdır. Kompozit fitilleri birden fazla homojen fitilin bir fitil gibi kullanıldığı fitil yapıları olarak tanımlamakta mümkündür. Tipik kompozit fitil örnekleri ekil 2.3'de gösterilmektedir. ki farklı perdenin farklı gözenek genili kompozit fitil olarak ifade edilebilir. Kompozit fitil sargılarında genellikle büyük sargılar kullanılır. Bu sargılarda ısı borusu duvarında fitilde basınç düşümü olacaktır. Tek tabakalı küçük gözenek perde karısında buhar genellikle kılcal pompalama basıncı uygular. Bazı homojen perdeli fitiller kompozit fitillerdeki ısıl iletkenli e benzemektedir. Basit aksiyal girintili fitiller özellikle tek tabakalı fitilleri gözenekli perdeler tarafından çevrelemektedir. Tek girintili ısı borularında buhar ile akı kan kanalı ayrılmaktadır (Faghri, 1995).



ekil 2.3. Tipik kompozit fitil yapıları (Faghri,1995)

ekil 2.3.a'da verilen spiral arteri tip fitil kılcal pompalama ve ısıl iletkenli i yüksek geçirgenlik katsayısı dü üktür. ekil 2.3.b'de verilen tek gözenekli kompozit fitilde kılcal pompalama katsayısı normal iken ısıl iletkenlik ve geçirgenlik katsayısı yüksektir. ekil 2.3.c'de verilen çift duvarlı kompozit fitilin kılcal pompalama

katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısı yüksek iken geçirgenlik katsayısı normal de erde ölçülmü tür. ekil 2.3.d’de verilen kompozit tip fitilin kılcal pompalama yüksek, ısı iletkenli i dü ük ve geçirgenlik katsayısı normaldir. ekil 2.3.e’de verilen girintili tip kompozit fitilde kılcal pompalama katsayısı, ısı iletkenlik ve geçirgenlik katsayısı yüksektir. ekil 2.3.f’de verilen görünümlü verilen kompozit tip fitilin kılcal pompalama katsayısı, ısı iletkenlik katsayısı ve geçirgenlik katsayısı yüksek de erdedir.

## 2.2. Fitol Tipleri

Isı borusunda kullanılan fitiller; tek katlı metal fitiller, iki katlı fitiller ve arteri fitiller ekinde sıralanır. İki katlı fitiller basit düzene e sahip sıvı akı kanının içerisinden geçti i borularda kullanılır. Arteri fitiller ise açısal olup birden fazla arterinin ayrı ayrı oldu u fitillerdir (Silverstein, 1992). İki katlı fitillere örnek vermek gerekirse iki katlı perdeli ve iki katlı girintili fitiller olarak yapılabilmektedir.

**Tek Katmanlı Fitiller:** Tek katmanlı fitillerde ısı transfer kapasitesi genellikle tek gözenekli fitil ölçüsü ve akı kan kanalındaki basınçla ilgilidir. Bazı artlarda geni gözenekler akı kan ısı ve küçük gözeneklerin kılcal basınç kapasitesini tek tabakalı homojen fitil yapısı ile ba da tırmak zordur. Sonuç olarak tek tabakalı fitiller bir veya birden fazla akı kanın artlarına ba lı olarak ısı borusunda elveri siz olabilir. Bu akı kan artları dü ük ısı transfer parametreleri, yüksek ısı transfer oranı ve uzun ısı borusu geni li i demektir (Silverstein, 1992).

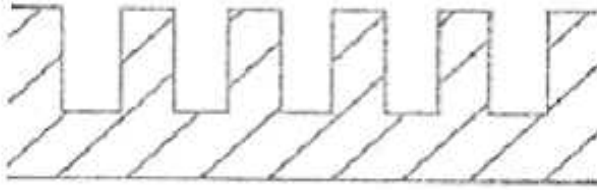
**İki Katmanlı Fitiller:** İki katlı veya kompozit fitiller yapısı kullanılan fitil türüdür. İki katlı fitillerde ısı transferi tek katlı fitillerdeki ısı transferinden büyüktür. Bu fazlalık gözenek boyutundan, akı kanın kanaldan geçti i ve kılcal pompalama tabakasından kaynaklanmaktadır. Girinti akı kanalı dairesel kanaldan daha kalın olmalıdır. Aksi takdirde aynı akı kan alanı ve ısı transfer kapasitesini sa lamalıdır (Silverstein, 1992).

**iki Katlı Perdeli Fitiller:** Bu tasarım ekli kanal kalınlıkları 0,0041inç (0,00104m) için geçerlidir. Bu tip fitiller ısı transfer miktarını artırmak katman sayısının ilavesi ile mümkündür. Kaynama limiti fitilin kalınlığı ile düzürülebilir (Silverstein, 1992).

**iki Katlı Girintili Fitiller:** iki katlı girintili fitillerde girintiden geçen akı kan yüzeyi kaplar ve kılcak bir tabaka oluşur. Bu örnekte girinti derinliği, girinti genişliği ve girintiler arasındaki mesafe  $e$  olarak kabul edilir. Kılcak pompalama tabakası iki katlı perde fitiller ile aynıdır. Girinti içerisindeki akı kan önemli bir şekilde ince olabilir. (Silverstein, 1992).

**Arteri Fitiller:** Arteri fitiller gelişen ihtiyaçları karşılamak için kalın fitilin minimize edilmesi ile akı kan fitil ile aynı yönde akı yapan fitillerdir. Arteri fitiller ile akı kan kanalı ısı borusunun iç tarafında duvara yakın kısımda ısı transferi yüksek olmaktadır. Arteri sınırı bu fitilin duvarındaki kılcak pompalama tabakasıdır. Bu fitilde kılcak pompalama tabakasının iki katlı perdeli fitiller ile aynı olduğu görülecektir (Silverstein, 1992).

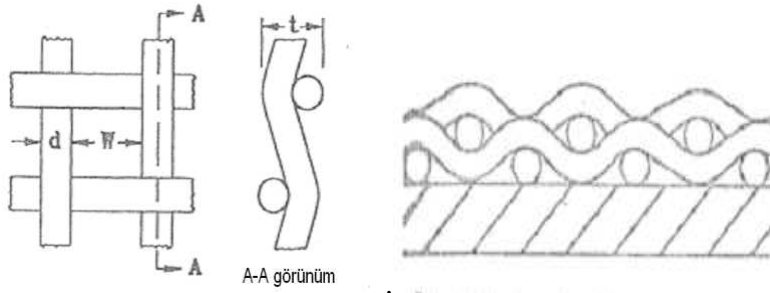
**Aksiyal Girintili Fitil:** Dönel girintili fitillerde etkili ısı iletkenlik evaporatör ve kondansör alanından farklıdır. Çünkü farklı ısı ve kütle transferi gerçekleşmektedir.



ekil 2.4. Girintili Isı Borusu Duvarı (Faghri,1995)

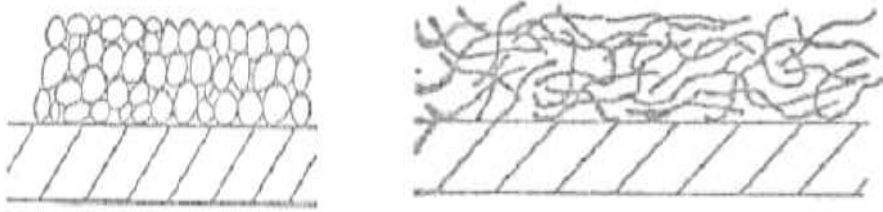
**Metal Perdeli Fitil:** Metal perdeli fitil yapısını oluşturmak kolaydır. Matematik diyagramda perde örgü ölçüsü ekil 2.5’de görülmektedir. Metal perdeli fitillerde mesh sayısı  $a$   $a$   $d$ daki (2.1) denkleminde verilmektedir.

$$N = 1/(d + w) \quad (2.1)$$



ekil 2.5. Metal perdeli fitil örnekleri (Faghri,1995)

**Sinterlenmi Metal Tozu ve Fiberler:** Özel metal tozlarının veya fiberlerinin ısı ileme tabii tutulması ile üretilirler (Faghri, 1995). Isı borularında fitil malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal tozlarından üretilmi olanlar iyi bir kılcallık sa lar.



ekil 2.6. Sinterlenmi toz metal ve metal fiber örnekleri (Faghri,1995)

### 2.3. Fitilde Kılcallık

Fitilin asıl görevi çalı ma sıvısını kondanserden evaporatöre nakletmek için kılcal basıncı sa lamaktır. Fitilden ya da kılcal yapıdan istenen belli ba lı özellikler unlardır; Küçük porozite yani gözeneklilik, yüksek geçirgenlik, fitil kalınlı ı, dü ük ısı direnç, ıslatabilirlik, uyumluluk ve ucuzluluktur (Alkaç, 1996).

Yerçekimi destekli çalı an termosifonlarda fitil kullanımı bir zorunluluk de ildir. Bu ısı borularında fitil kullanılmasının bazı yararları vardır. Bunlar; ısı borusu cidarında akı kan ile buhar arasındaki etkile imi azaltarak ta mayı önleme, evaporatördeki kaynamayı kolayla tırmak ve kondanserdeki akı kanın bütün yüzeyi kaplamasını sa layarak ısı transferini artırmak olarak ifade edilebilir (Faghri, 1995).

### 3. KAYNAK ÖZETLER

Salem ve Akash (1999), yaptıkları bu deneyde çalı ma akı kanı olarak su kullanılmı olup, fitilli ve fitilsiz iki farklı ısı borusu kullanılmı lardır. 30, 60 ve 90° e imlerde 30, 60 ve 90 °C sıcaklıklarda çalı ılmı tır. Sonuçta fitilli ısı borusunun fitilsiz ısı borusuna göre daha iyi bir ısı transferi sa lamı tır.

Isı borusundaki evaporatörün modülasyonu sırasında kılcal sıvı akı mın ve fitil ısısının artırılmasıyla beraber evaporatör yüzeyinde artı görülmektedir. Üniform fitillerin olu turulması sırasında ısı borularındaki termal de erler ölçülmü ve geli tirilmi tir (Hwang, 2007).

Bu çalı mada mikro ısı borularındaki fitil yerle imi ve fabrikasyon tekni i ile ısı borularındaki etkili ısıl iletkenlik üzerinde çalı ılmı tır. Sonuçta bakırdan yapılmı ısı borusunda maksimum ısıl iletkenlik  $760 \text{ W/m}^2\text{K}$  ölçülmü tür (Rightley, 2003).

Zuo (1996) tarafından yapılan çalı mada so utucular için ısı borulu sistemler çalı ılmı tır. Çalı mada kullanılan fitilin büyük gözenekli olmasından dolayı akı kan dönü ü sırasında yüksek kılcal pompalama sa ladı ı ve küçük gözenekli fitillerde ise akı kanın kanallardan geçti inde sıvı basıncının dü tü ü gözlenmi tir.

Misheck'in çalı masında (2006) fitilin ısı borusu performansına etkisi üzerinde durulmu tur. Akı kanın akı ı sırasında fitil yapısından dolayı yüksek kılcal basınç sa lanmakta ve dü ük direnç göstermektedir. Laboratuarlarda yapılan deneylerde fitil yapısının mikro olarak ısı borusu performansına etkisi gösterilmi tir.

Isı boruları, ısı kaynakları ve ısı alıcıları arasında çok yüksek ısı transferini çok dü ük sıcaklıkta geçmesini sa lamaktadır. Isı borusu fitillerinde bu limitlerden iki tanesi kılcal ve kaynama limitleridir (Williams, 2005).

Bu çalı mada Williams(2006), metal fitiller ve iki adımlı metal fitillerin ısı transfer limitlerinin ölçümü ve teorik de erlerin hesabı ile ilgili kontroller yapmı tır. Bu

deneyde kullanılan fitiller fabrikasyon yapımı olup 316 paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Sonuç olarak tezler ve analizler göstermiştir ki buharın yoğunluğu fitilin en üst tabakasında olmaktadır.

Termosifonların ısı transfer karakteristiği Noie (2005), tarafından çalışılmış ve bu çalışmada ısı transferinin performansına etki eden üç değişken açıklanmıştır. Bu değişkenler, ısı transfer oranı, çalışma sıvısı doldurma oranı ve evaporatör uzunluğunda tanımlanmıştır. Deneysel çalışma yapılan bu makalede çalışma sıvısı olarak su kullanılmış, ısı transfer oranı 100 ile 900 Watt arasında uygulanmış, doldurma oranı %30 ila %90 oranlarında alınmış ve sonuç olarak, doldurma oranı arttıkça yüzey sıcaklığı düşmekte ve değişik uzunluktaki ısı borularından farklı sonuçlar alınmaktadır.

Hwang vd.(2006) yaptıkları çalışmada ısı borusu sisteminin oluşturulması sırasında kullanılacak fitilin öneminden bahsedilmiştir. Kullanılacak fitil sıvının akışına ters yönde etki etmemesi ve sıvının evaporatörün iç yüzeyini çevrelemesinde herhangi bir sorun olmaması gerektiği belirtilmiştir. Bundan dolayıdır ki kullanılacak fitilin uygun ısı borusuyla kullanılması ve ayrıca fitilin yapım amaçlarında gerekli şartları yerine getirmesinin önemi vurgulanmıştır.

Waowaew vd.(2003) yaptıkları çalışmada ısı borusunun çalışmasında doldurma oranının önemli olduğunu bildirilmiştir. Bu çalışmada farklı oranlarda doldurma oranları alınmış ve çalışma sıvısı olarak etanol, su ve R123 kullanılmıştır. Bu deneylerde farklı çalışma sıvıları farklı tip ısı borularında denemiştir.

Yapılan başka bir çalışmada Salem vd. (1999) ait olup, bu çalışmada fitilli ve fitilsiz iki farklı bakır su ısı borusu 30, 60, 90° eğim açılarında denenmiştir. Pamuk malzemedен yapılmış fitil kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda fitilli ısı borularının toplam ısı transferi katsayısının en iyi 60° eğimde fitilsiz ısı borularında ise 90° eğimde bulunmuştur. Genel olarak fitilli ısı borularının toplam ısı transferinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Fitilin karakteristik yapısının ısı borusuna performansına etkisi Misheck vd. ( 2006) tarafından yapılan bir çalı mayla ortaya koyulmu tur. Bu çalı mada ısı borusundaki farklı fitil yapıları arasında kar ıla tırma yapılmı ve ısı borusuna etki eden artlar fitil yapısı, gözenek boyutu ve fitil malzemesi olarak sıralanmı tır.

#### 4. MATARYEL ve METOD

Bu alı mada fitilli ve fitilsiz iki farklı ısı borusu, 30, 60, 90 derece e im açılarında ve 50, 70, 90 °C i sıcaklıklarda çalı tırılması amaçlanmı tır. Çalı ma sıcaklı ı olarak orta sıcaklıklarda çalı ılmasına karar verildi inden bu aralıkta kullanılabilcek ve temini kolay olan su, metanol ve etanol akı kanlarıyla çalı ılacaktır. Bu akı kanlarla uyumlu olan bakırın ısı borusu malzemesi olarak kullanılması uygundur.

Bu alı mada olu turulan farklı sistemlerde ısı borusunun hangi durumda, hangi akı kanla ve hangi çalı ma açısında daha verimli oldu u tespit edilmeye çalı ılmı tır.

Bu deneylerde 35 cm toplam uzunlu unda ısı borusu kullanıldı. Evaporatör bölgesi uzunlu u 13 cm, adyabatik bölge 10 cm ve kondanser bölgesi uzunlu u da 12 cm olarak alınmı tır. Bu deneylerde 35 cm uzunlu unda 22 mm çapında 1.2 mm et kalınlı ında 2 adet bakır boru hazırlanmı tır. Isı borumuzun kondanser kısmını olu turmak için 13 cm uzunlu unda 35 mm çapında boru kesilmi tir. 13 cm uzunlu unda 35 mm çapındaki borunun her iki kö esinden birer cm iç tarafta kalacak ekilde 10 mm'lik matkapla zıt yönlerde delinmi tir. Bu delikler biri kondanser bölgesinde su giri i, di eri ise çıkı ı için kullanılacaktır. 22 mm ve 35 cm'lik borunun bir tarafına bakır kapak di er tarafına sarı pirinç malzeme ve orta kısmına 6 mm'lik vidalı delik aılmı tır. Açılan bu deliklerden termokupullar ısı borusu içine sabitlenir ve iç sıcaklık ölçülmü tür. Sarı pirinç malzemenin yan tarafından açılan 6 mm delik ise ısı borusunun vakum edilmesi ve akı kan arjı için kullanılmı tır.

Isı borularının daha sa lıklı çalı abilmelerinde en önemli özelliklerden biriside ısı borusunun temizli idir. Isı borusu kaynak yapılmadan önce içi asitli su (%10 asit ve %90 su) ile temizlenmi tir. Ayrıca fitil yerle tirildikten sonrada tekrar asitli su ile temizlenmi ve sonra kullanılacak akı kan ile yıkanmı tır. Birinci ısı borusu metal fitilli ve ikinci ısı borusu fitilsiz olarak imal edilmi tir. Kullanılan metal fitil krom nikel paslanmaz elik malzemededen imal edilmi ve 100 mesh örgü sayısı olup dört kat sarılmı tır.



ekil 4.1. Isı borusunda kapak olarak kullanılan sarı pirinç malzeme ve bakır kapak

Isı borusu içine fitil yerle imi yapıldıktan sonra kaynaklama i lemleri yapılmı tır. Kaynaklama i lemi yapıldıktan sonra ısı borusu üzerine ısıtıcı tel sarılma i lemi yapılmı tır.



ekil 4.2. Deneylere hazır ısı borusu örne i

Yapılan deneylerde sıcaklık ölçmek için K tipi mineral izoleli termokupullar kullanılmı tır. Isı borusu üzerinde, evaporatör bölgesinde 3 adet, adyabatik bölgenin orta noktasından 1 adet, kondanser giri ve çıkı , ısı borusu iç sıcaklı ı ve dı ortam sıcaklı ı olmak üzere toplam 8 noktadan sıcaklık ölçülmü tür. Termokupullar evaporatör ve adyabatik bölgelerindeki noktalara kelepçe ile sabitlenmi ve termokupullar ekilde gösterildi i gibi ba lanmı tır.

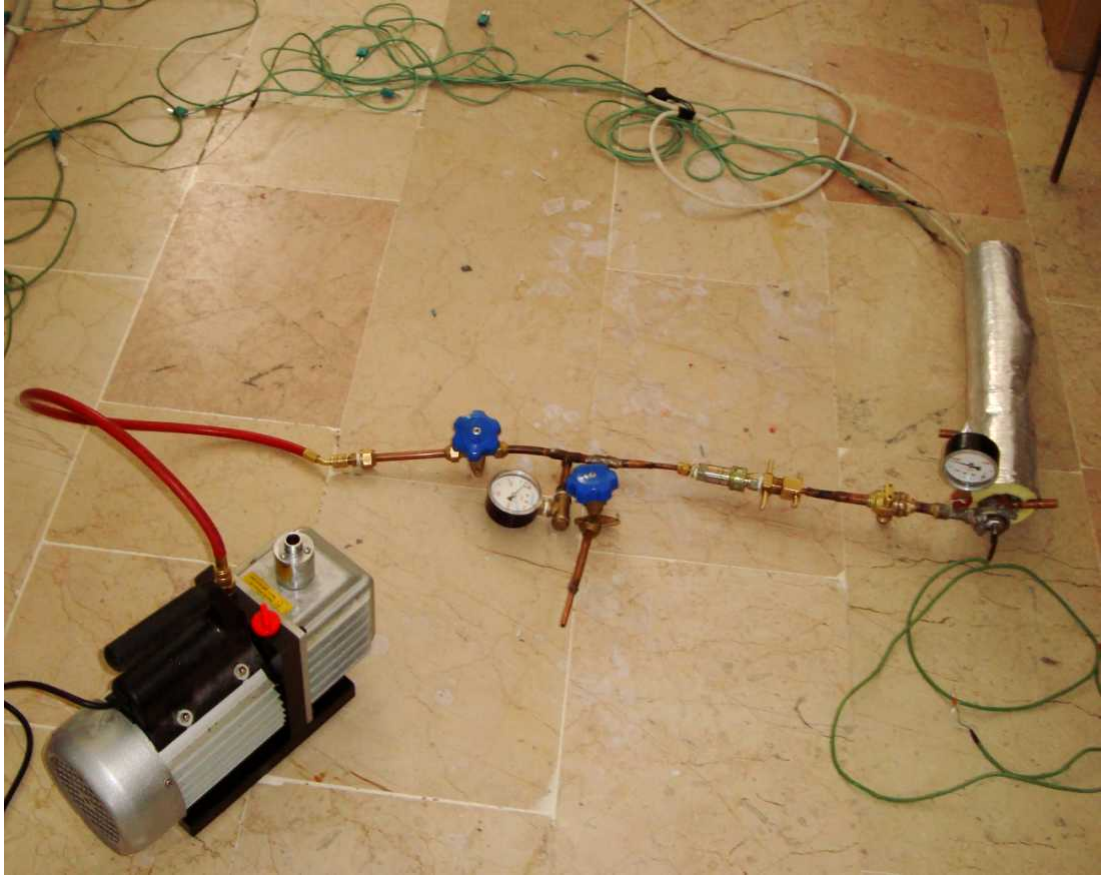


ekil 4.3. Termokupulların ısı borusuna kelepçeler yardımıyla yerle tirilmesinin gösterimi

Evaporatör üzerine 2000 W'lık bir ısı direnç (rezistans) ba lanarak elektrik verilmi tir. Isıtıcı telin her iki ucu varyak trafonun iki ucuna ba lanmı tır. Isı borusu üzerine sarılan ısıtıcı direnç üzerine önce asbest bez ile ve daha sonra 2 cm cam yünü ile sarılarak sistemden ısı kaybının önlenmesi hedeflenmi tir. Sisteme varyak trafo ile verilen elektrik enerjisini ölçmek amacıyla uygun ekilde bir voltmetre ve ampermetre ba lanmı tır.



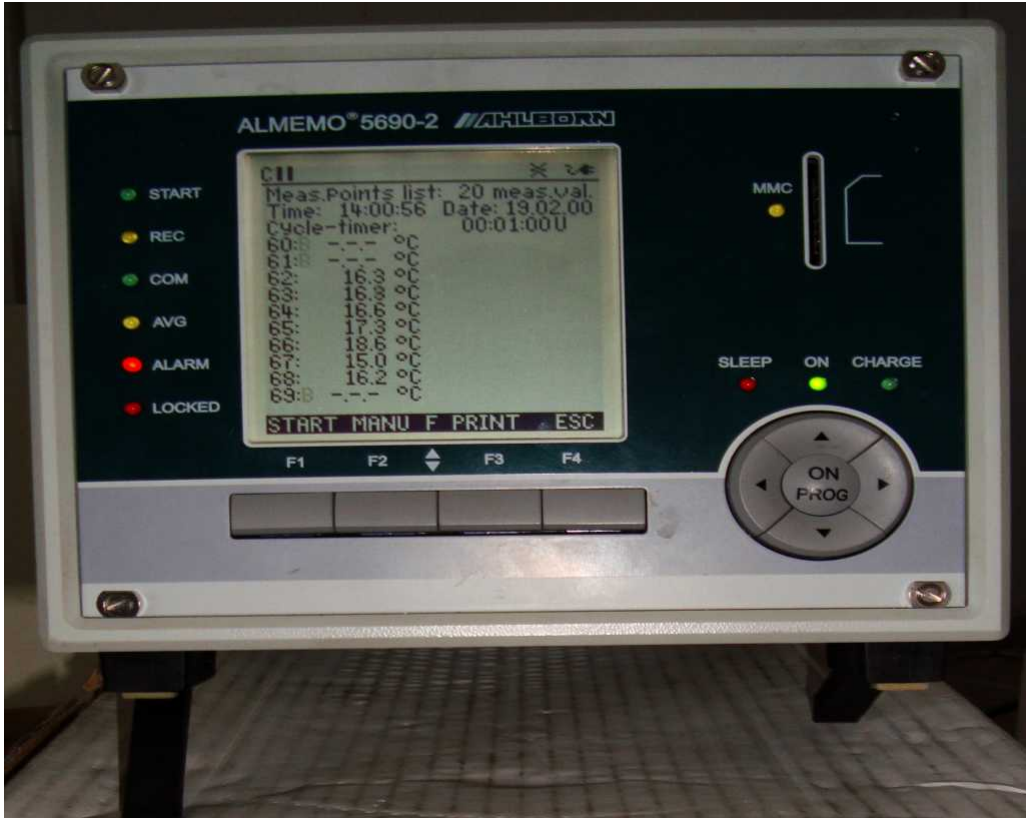
ekil 4.4. Deneylerde kullanılan Varyak trafo



ekil 4.5. Isı borusuna vakumun yapılması

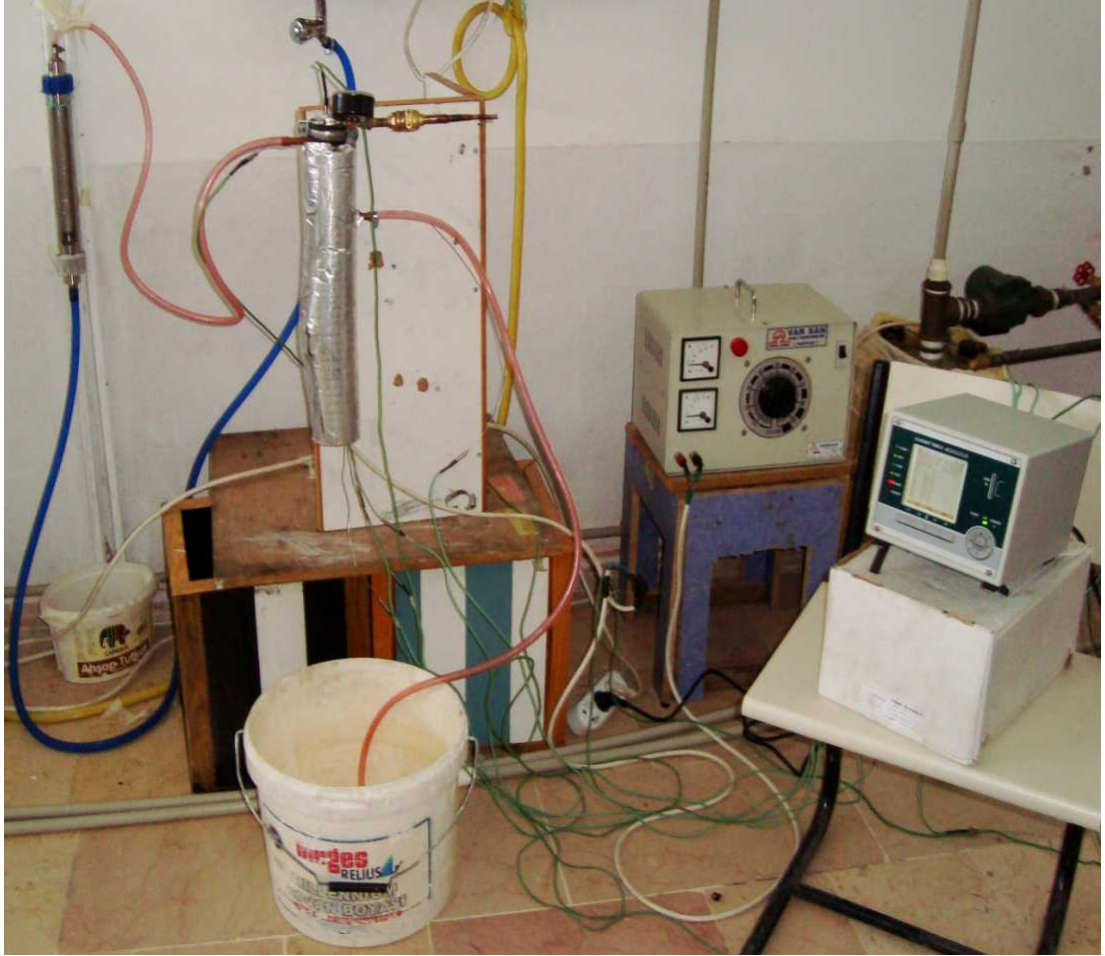
Vakum i lemi yapıldıktan sonra ısı boruların çalı masında dikkate alınacak di er bir özellik ise akı kan seçimi ve akı kan miktarıdır. Akı kan seçimi yapılırken çalı ma sıcaklıkları ve akı kanın fitil ve ısı borusu malzemesi ile uyumu çok önemlidir. Bu alı mada 50, 70 ve 90 C sıcaklıklarında çalı ılaca ı dikkate alınarak çalı ma akı kanlarını su, metanol ve etanol'un kullanılabilmesi bir öngörüdür. Akı kan seçiminde sadece sıcaklık aralı ına bakmak yeterli olmamaktadır. Aynı zamanda akı kanın yo unlu unu, buharlaşma gizli ısısını, yüzey gerilmesini ve viskozitesini de dikkate almak gerekir.

Bu deneyde evaporatör hacminin %50 si kadar akı kan kullanımı ve kondanser bölgesinde dola an su debisi, Krohne marka VA40V7R tipi bölüntülü debimetre ile llm tr. Isı borusu içindeki basıncı ölçmek için vakum göstergesi kullanılmı tır. Isı borusundaki 8 noktaya yerleştirilen termokupullardan llen sıcaklıkları kaydetmek için ALMEMO 5600-2 veri toplama nitesi kullanılmı tır.



ekil 4.6. Veri toplama nitesi

ekil 4.7’de deney düzene i görülmektedir. Deneyde ebeke suyundan gelen su önce debimetreye girmekte ve orada suyun debisi ayarlanmaktadır. Debimetreden çıkan ebeke suyu kondanser giri noktasına yönlendirilmi tir. Kondanser çıkı kısmından çıkan ebeke suyu bo bir kaptan toplanmı tir. Deneyde ısı borusu 90, 60 ve 30 ° e im açılarında çalıştırılmı tir.



ekil 4.7. Isı borusu deneyinin çalıştırılması bir düzenek

Isı borusunun evaporatör kısmından elektrikle verilen ısı enerjisi kondanser kısmında ehir ebekesinden alınan su ile çekilmi tir. Isı borusunun ta ıdı ı toplam ısı enerjisi;

$$Q = m.c_p.\Delta T \quad (4.1)$$

bulunur. Burada  $\Delta T$  ısı borusunun kondanser kısmına ehir ebekesinden giren ve kondenserde ısı alıp çıkan suyun sıcaklık farkını ifade etmektedir.

Isı borusunun kondenser kısmından transfer edilen yüzey ısı akısını ( $q$ ) hesaplamak için (4,2) e itli  $i$  kullanılabilir.

$$q = \frac{Q}{A_c} \quad (4.2)$$

Burada  $A_c$  kondenser bölgesi yüzey alanını ifade etmektedir.

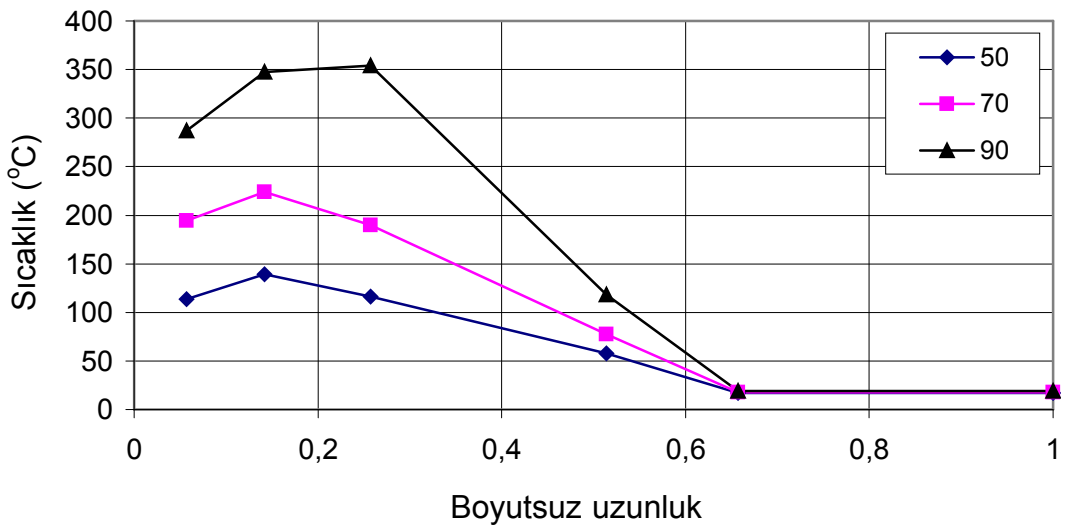
## 5. ARA TIRMA BULGULARI

Yapılan deneylerde iki ısı borusu kullanılmıştır. Birinci ısı borusu fitilsiz olarak, ikincisi ise fitilli olarak hazırlanmıştır. Fital olarak paslanmaz çelik malzemeden 100 mesh, 4 kat fital kullanılmıştır. Her iki ısı borusu da aynı artlarda çalıştırılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Isı borusu boyunca sıcaklık değişimi boyutsuz uzunluk  $x$  göre verilmiştir. Boyutsuz uzunluk sıcaklık değişimi ölçülen herhangi bir noktanın evaporatör bölgesi başlangıcına olan uzaklığının toplam ısı borusu boyuna oranı olarak tanımlanmıştır. Buna göre  $x$  de Eşitlik (5.1) ile verilmiştir.

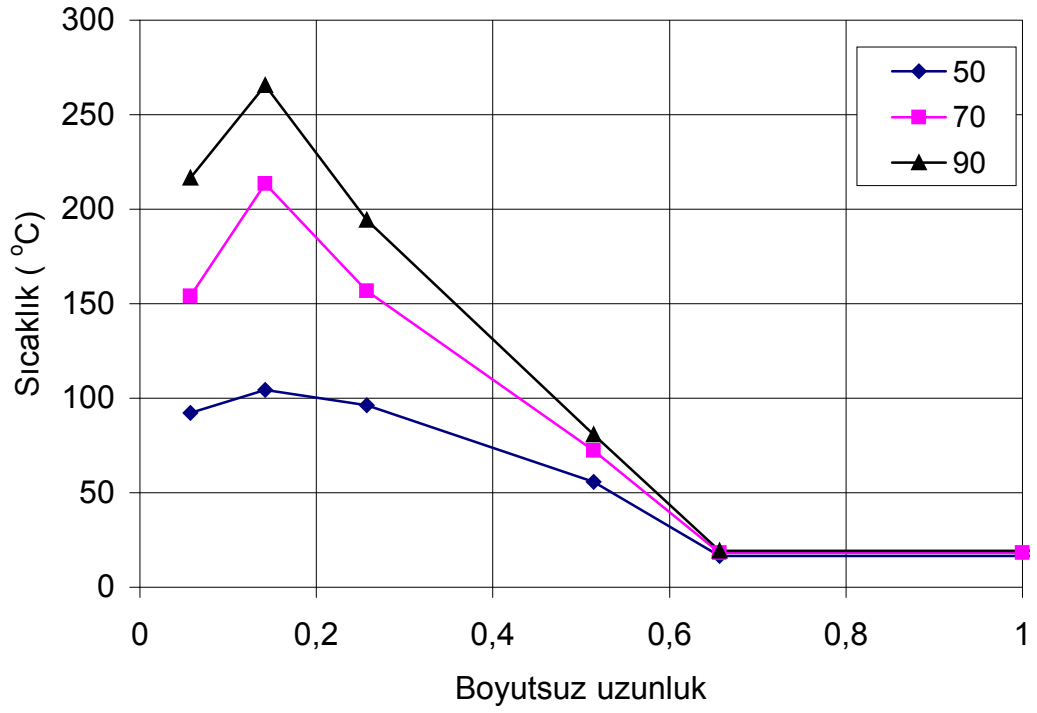
$$x = \frac{l}{L_t} \quad (5.1)$$

### 5.1. Metal Fitilli Isı Borusu için Ara Tırma Bulguları

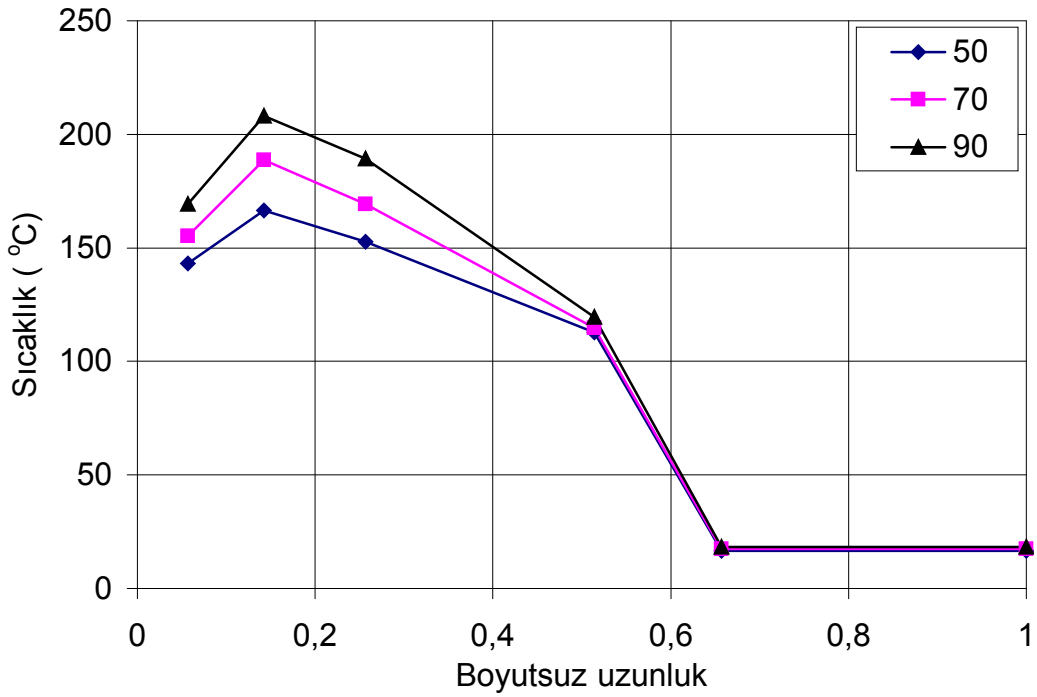
Fitilli ve fitilsiz ısı borusu kullanılarak yapılan deneylerde ısı borusu 30, 60 ve 90 derecelik eğim açılarında çalıştırılmıştır. Kondanser kısmında sistemden ısı çekmek için soğuk suyu 60 lt/h debiye ayarlanmıştır ve ısı borusu iç sıcaklığı 50, 70 ve 90 °C olduğu durumlardaki yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Aşağıda Eşitlik 5.1, 5.2 ve 5.3'de fitilli ısı borusunda farklı akışkanlar için ısı borusunun farklı iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla ısı borusu yüzey sıcaklığının değişimi verilmiştir.



Eşitlik 5.1. Fitilli ısı borusunda metanol akışkanı için 90° eğimde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklığının değişimi

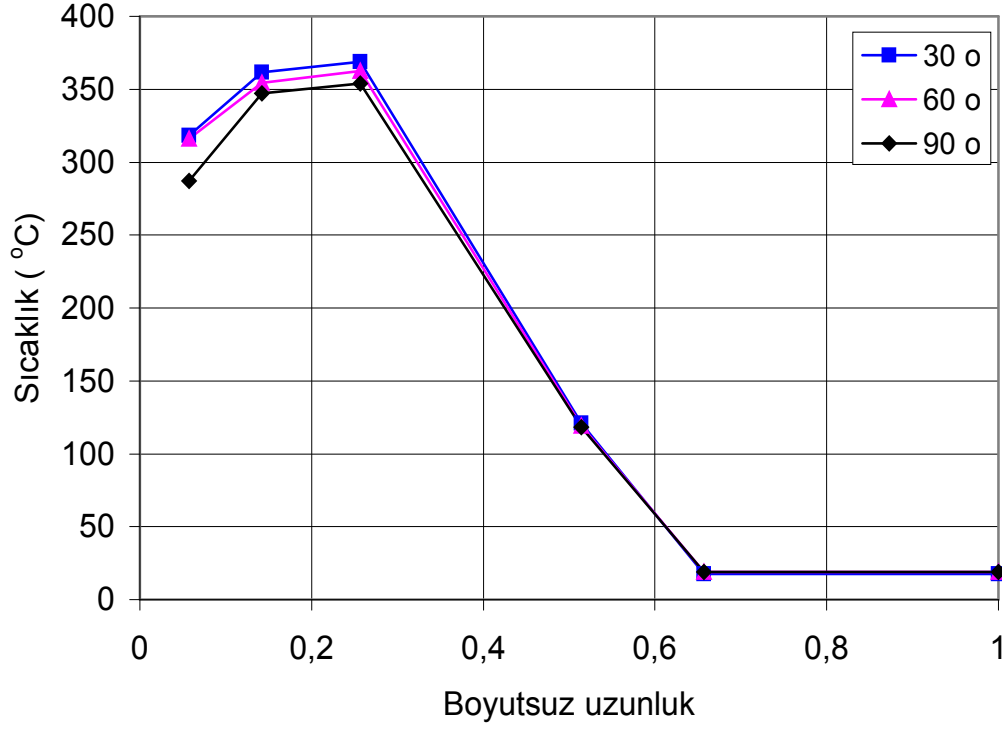


ekil 5.2. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

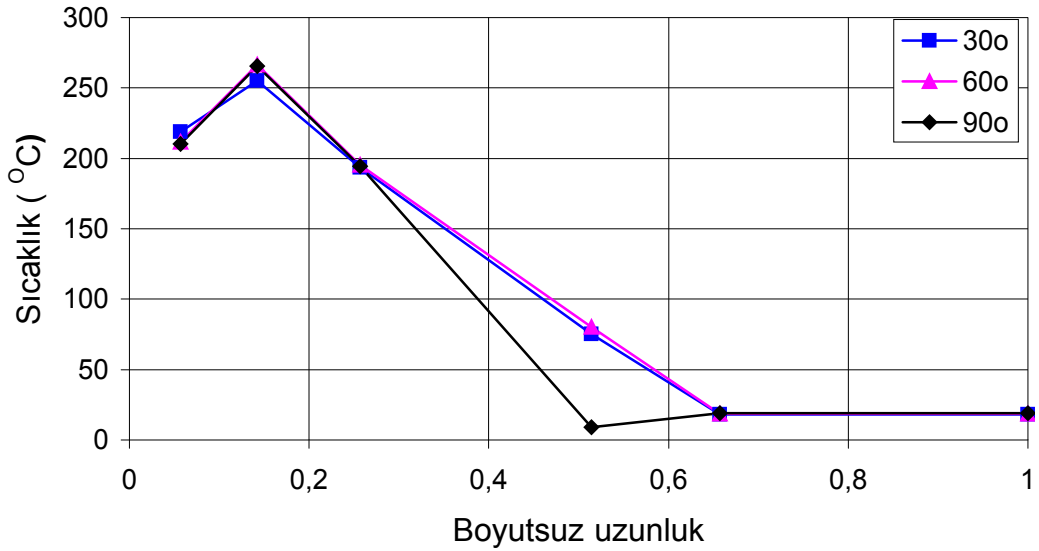


ekil 5.3. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

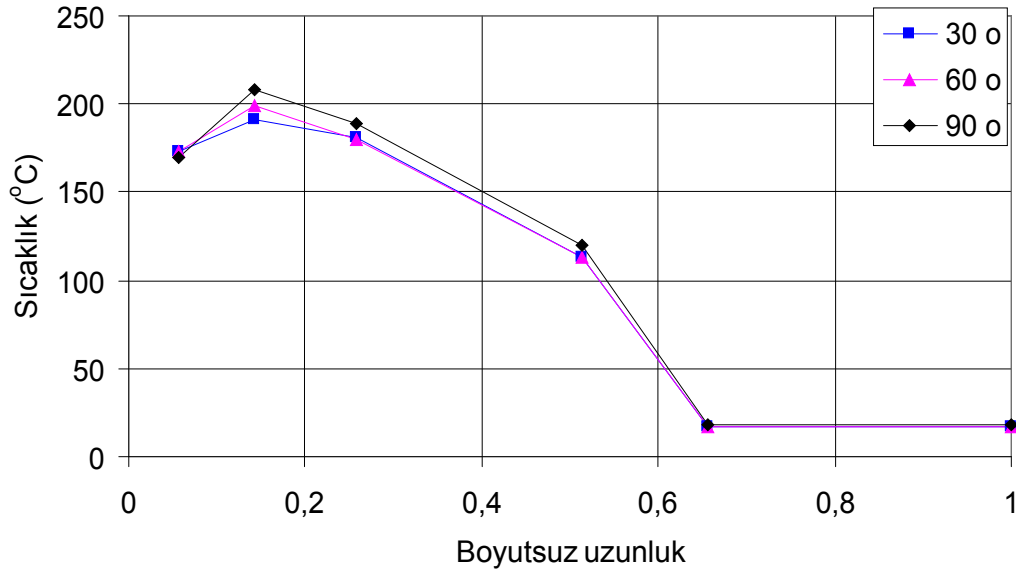
A a ıda ekil 5.4, 5.5 ve 5.6'da fitilli ısı borusunda farklı akı kanlar için ısı borusunun farklı e im açılarında çalı tırılmasıyla boyutsuz uzunlukla yüzeyi sıcaklı ının de i imi verilmi tir.



ekil 5.4. Fitilli ısı borusunda metanol akı kan için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

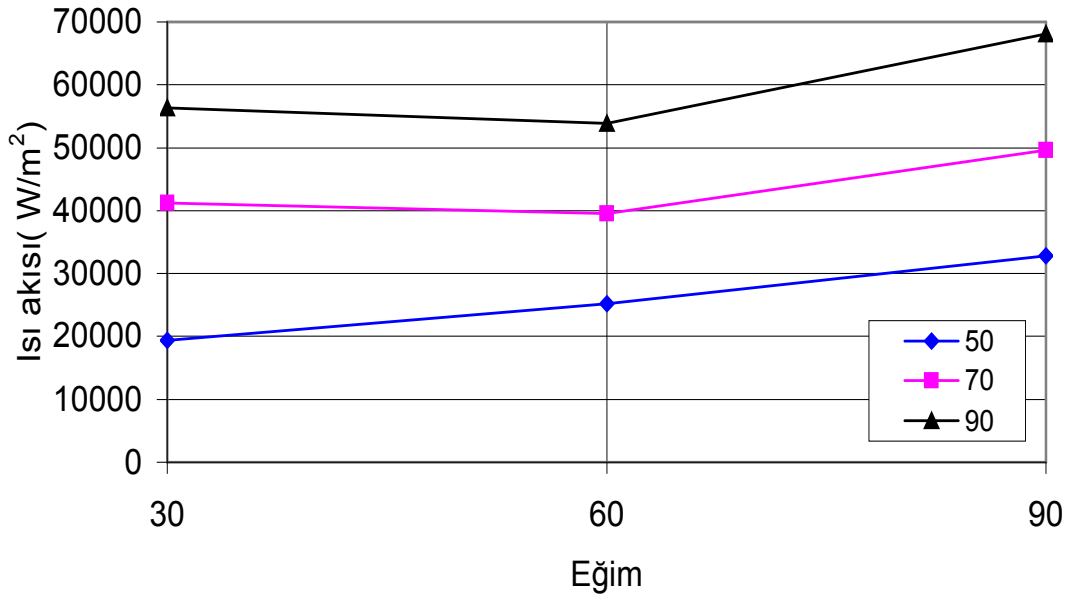


ekil 5.5. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

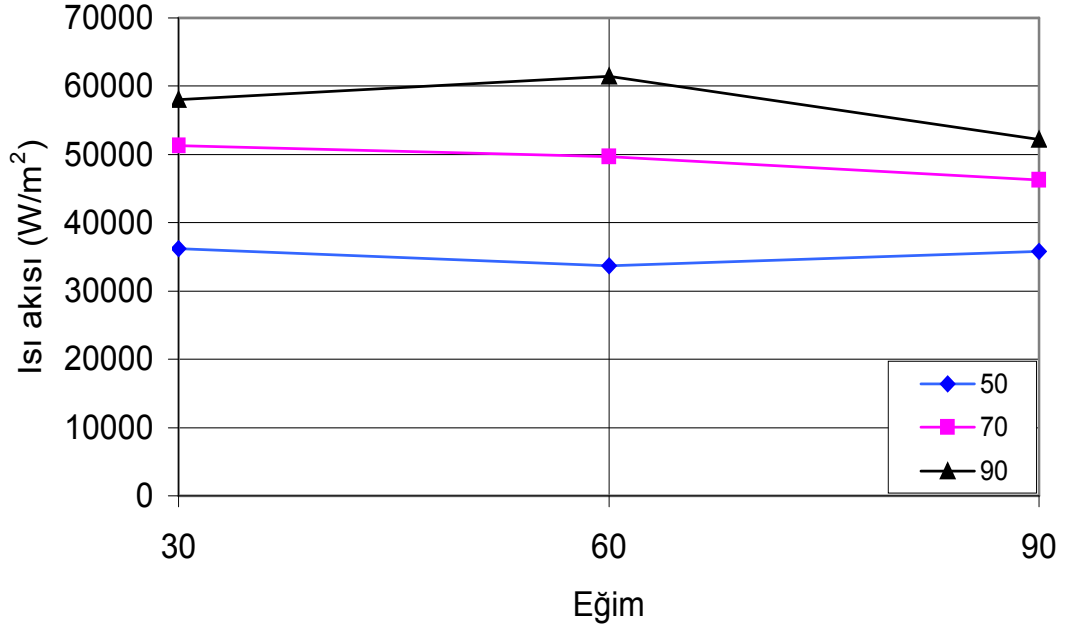


ekil 5.6. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

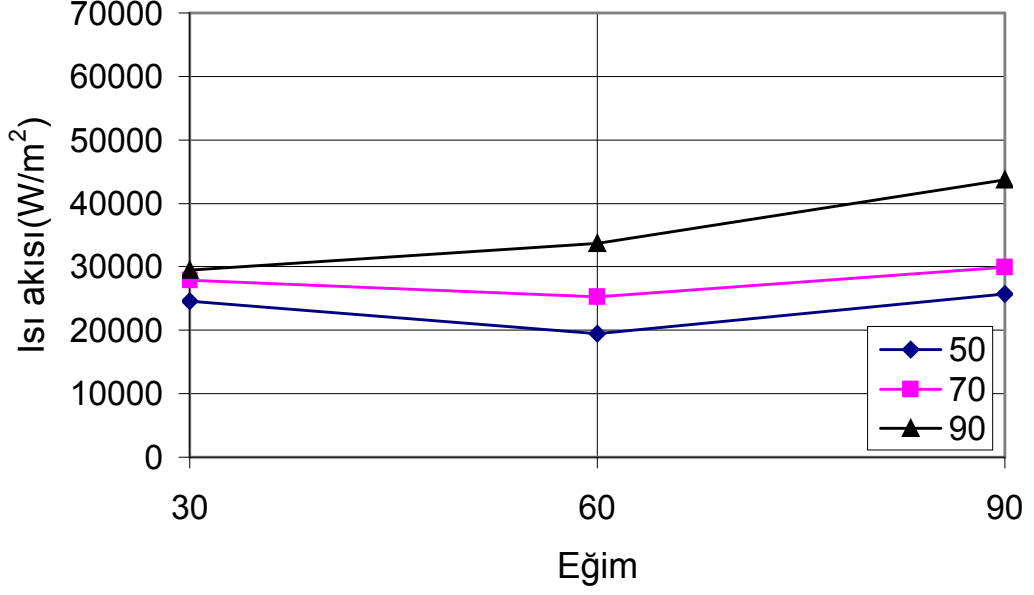
A a ıda ekil 5.7, 5.8 ve 5.9’da fitilli ısı borusunda farklı akı kanlar için ısı borusunun farklı iç sıcaklıklarında çalı tırılması durumunda e imle ısı akısının de i imi verilmi tir.



ekil 5.7. Fitilli ısı borusunda metanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle ısı akısının de i imi

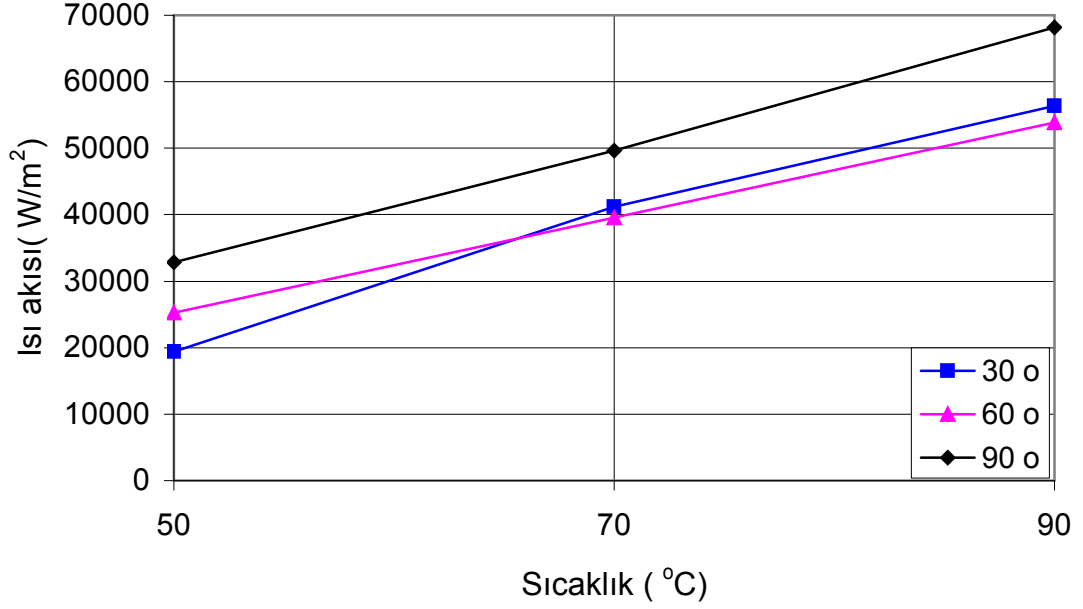


Şekil 5.8. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında eğimle ısı akısının değişimi

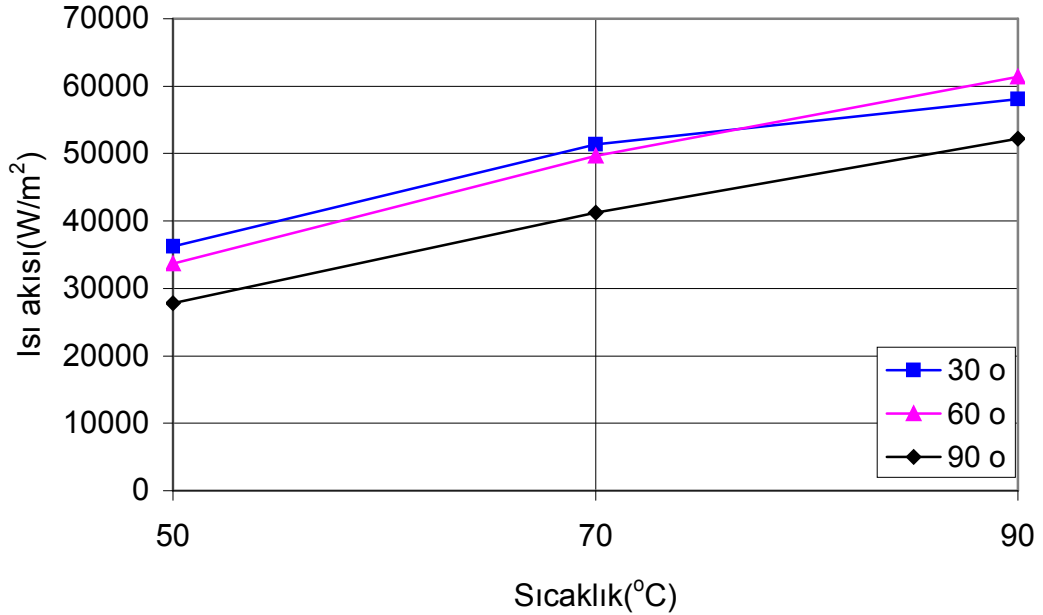


Şekil 5.9. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında eğimle ısı akısının değişimi

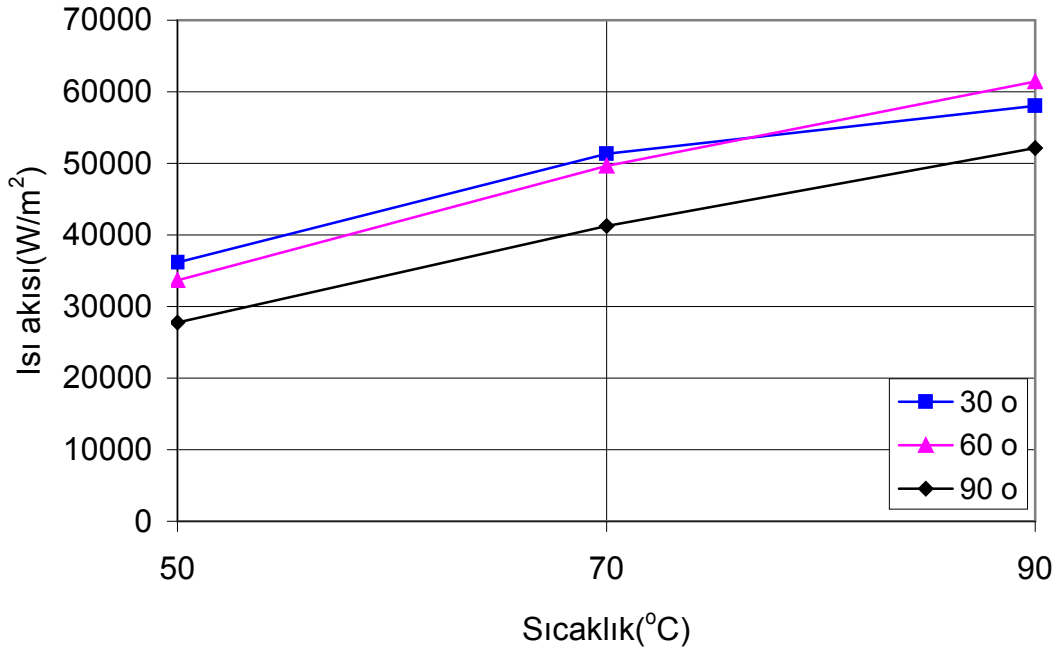
A a ıda ekil 5.10, 5.11 ve 5.12’de fitilli ısı borusunda farklı akı kanlar için ısı borusunun farklı e im açılarında çalı tırılmasında ısı borusu iç sıcaklığı ile ısı akısının de i imi verilmi tir.



ekil 5.10. Fitilli ısı borusunda metanol akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi

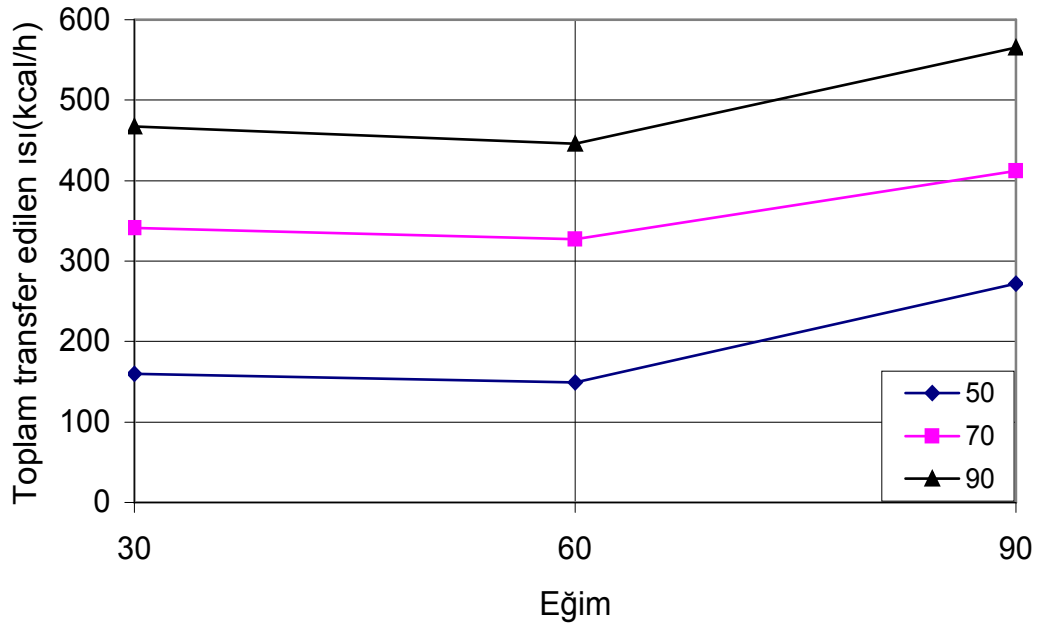


ekil 5.11. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi

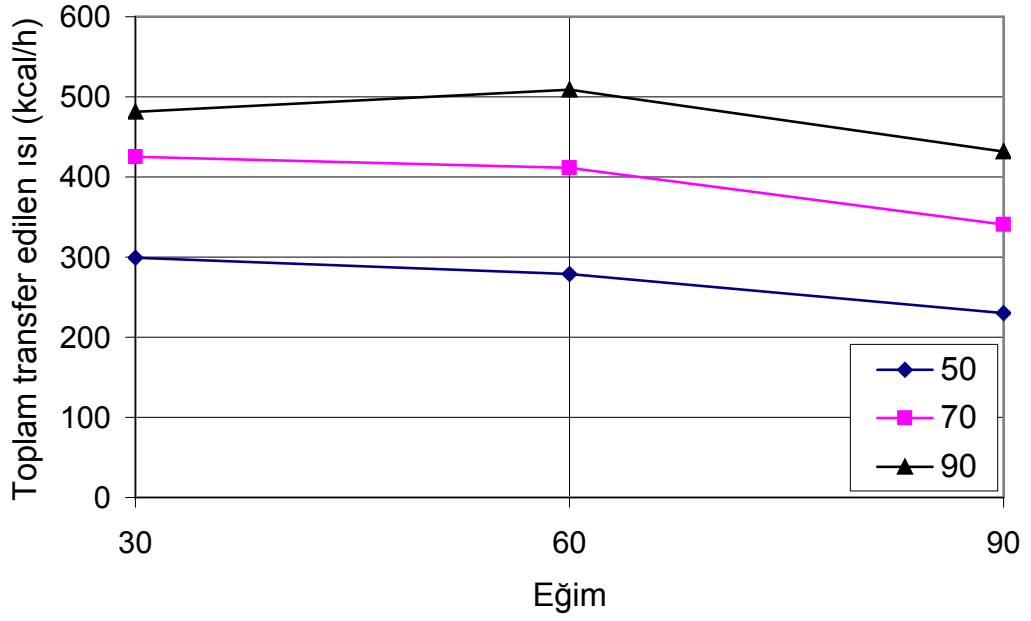


ekil 5.12. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi

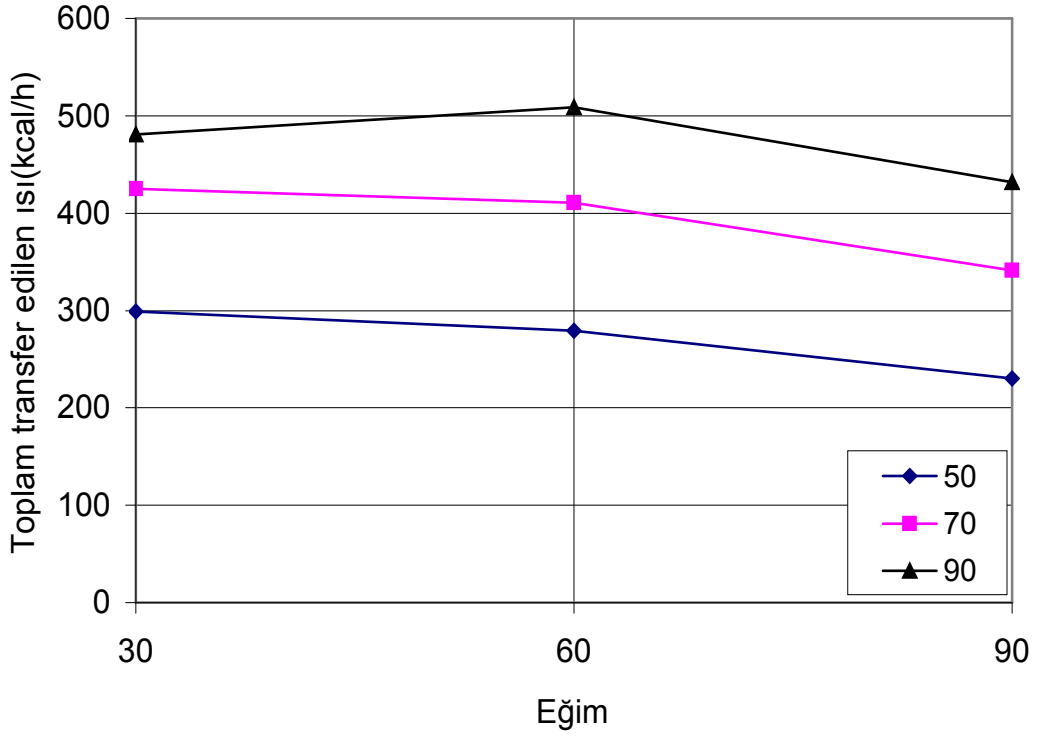
A a ıda ekil 5.13, 5.14 ve 5.15’de fitilli ısı borusunda farklı akı kanlar için ısı borusunun farklı iç sıcaklıklarda çalı tırılması durumunda e imle transfer edilen ısının de i imi verilmi tir.



ekil 5.13. Fitilli ısı borusunda metanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C sıcaklıklarında e imle transfer edilen ısının de i imi



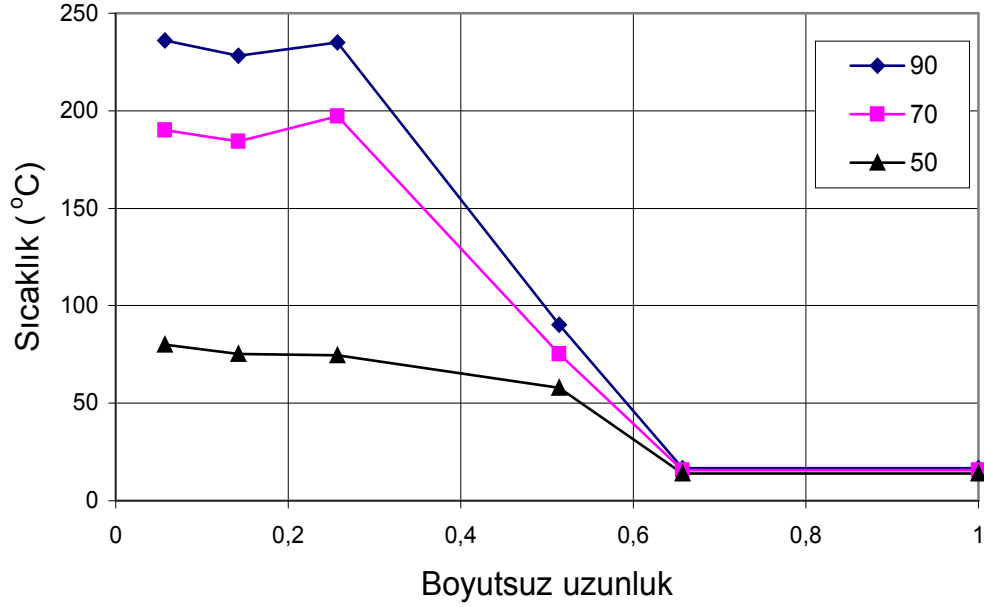
Şekil 5.14. Fitilli ısı borusunda etanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C sıcaklıklarında eğimle transfer edilen ısıнын değeri



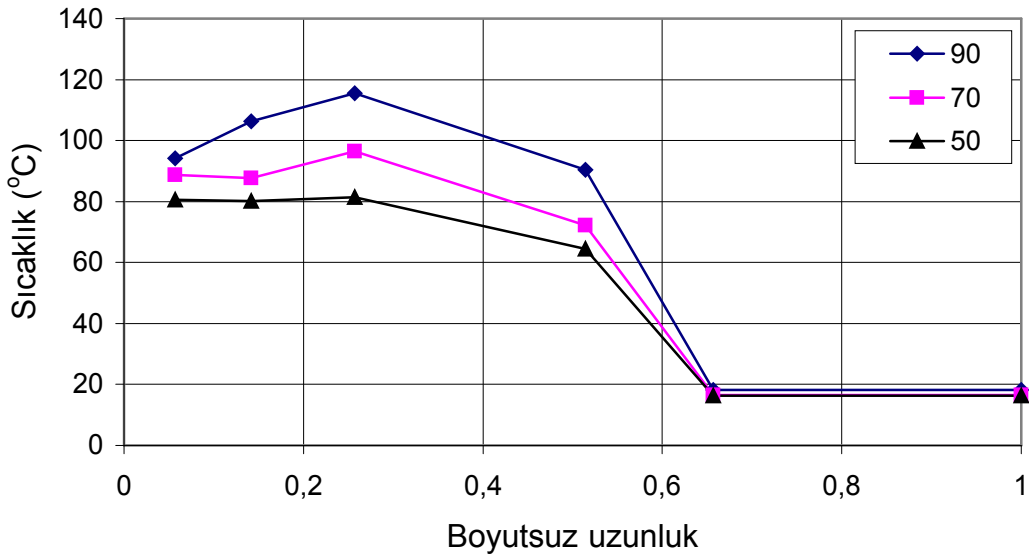
Şekil 5.15. Fitilli ısı borusunda su akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında eğimle transfer edilen ısıнын değeri

## 5.2. Fıtsız Isı Borusu için Ara tırma Bulguları

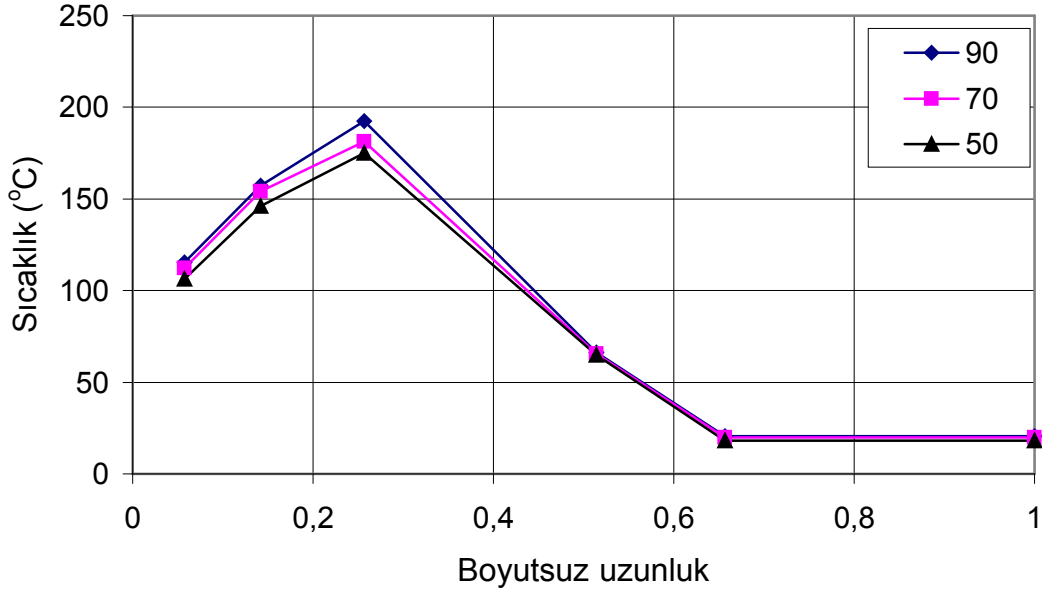
A a ıda ekil 5.16, 5.17 ve 5.18’de fıtsız ısı borusunda farklı akı kanlar için ısı borusunun farklı iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla ısı borusu yüzeyi sıcaklı ının de i imi verilmi tir.



ekil 5.16. Fıtsız ısı borusunda metanol akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

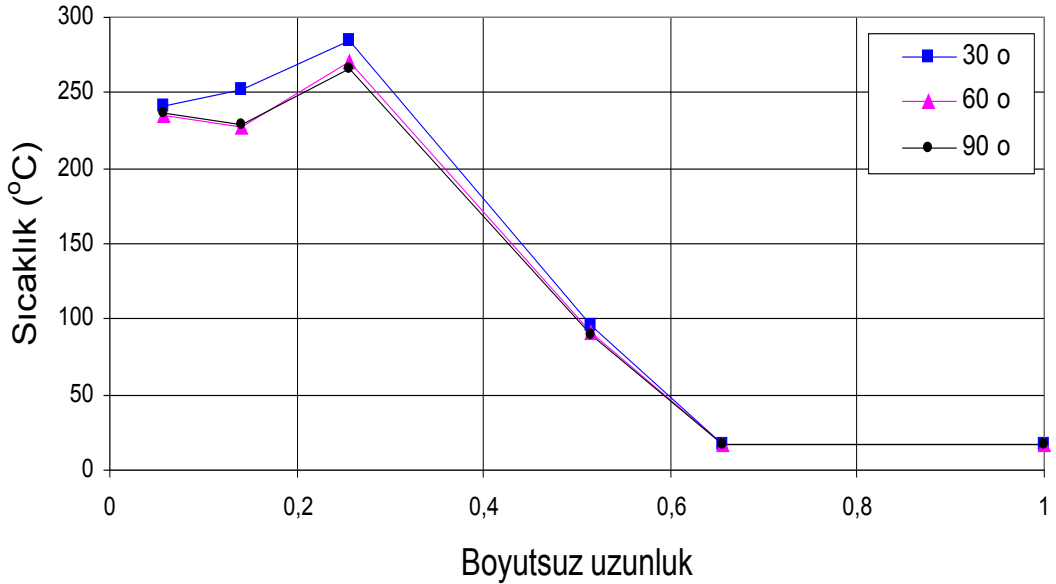


ekil 5.17. Fıtsız ısı borusunda etanol akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

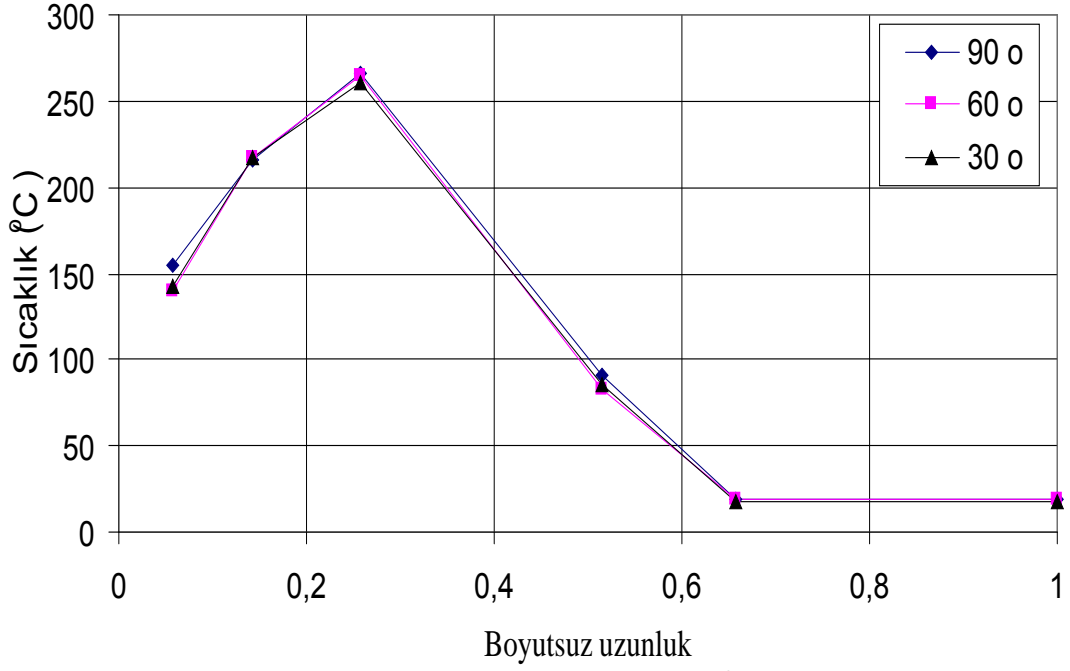


ekil 5.18. Fıtılsız ısı borusunda su akı kanı için 90° e imde 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

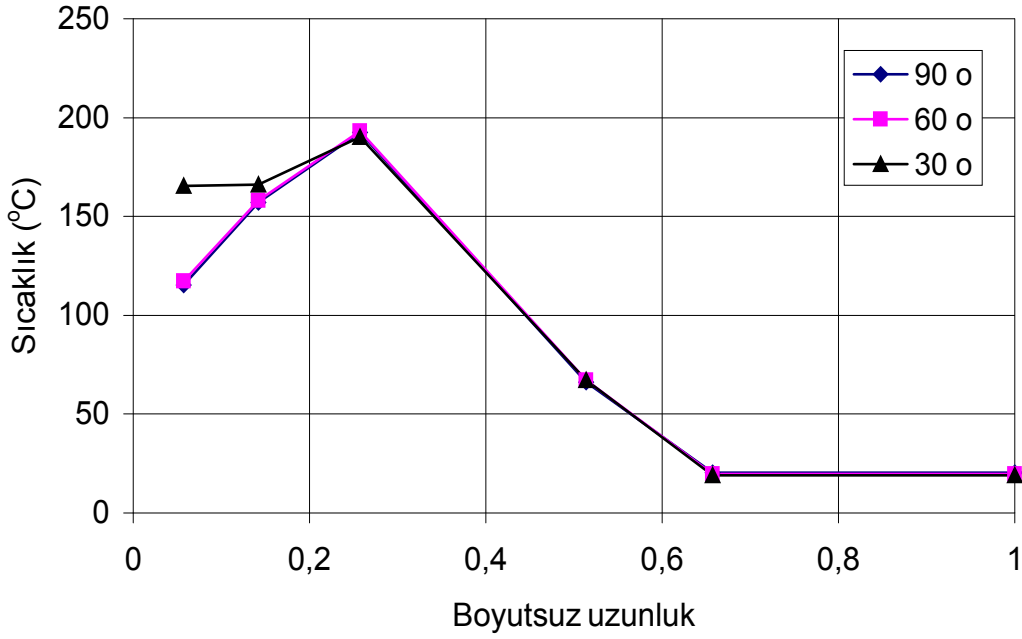
A a ıda ekil 5.19, 5.20 ve 5.21’de fıtsız ısı borusunda farklı akı kanlar için ısı borusunun farklı e im açılarında çalı tırılmasıyla boyutsuz uzunlukla yüzeyi sıcaklı ının de i imi verilmi tir.



ekil 5.19. Fıtılsız ısı borusunda metanol akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

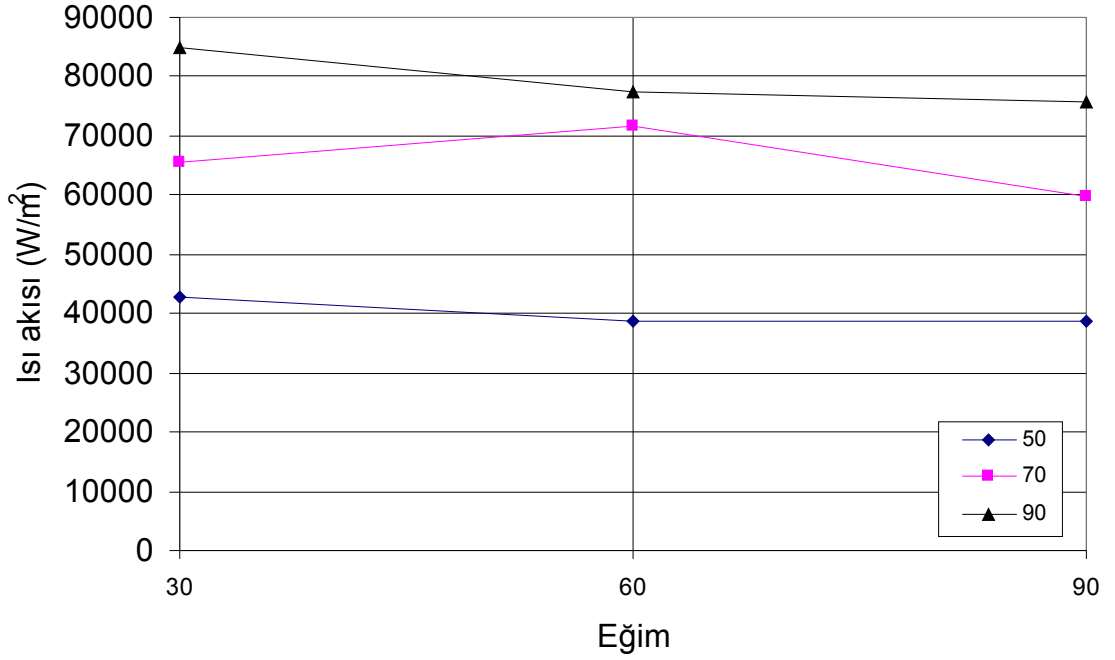


ekil 5.20. Fıtılsız ısı borusunda etanol akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

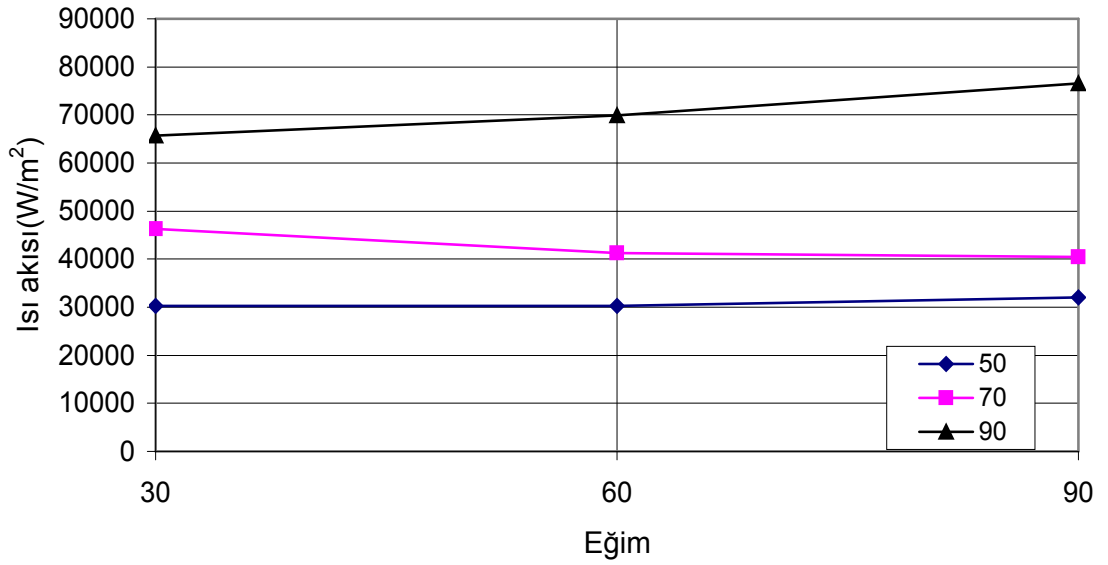


ekil 5.21. Fıtılsız ısı borusunda su akı kanı için 90 °C iç sıcaklı ında 30, 60 ve 90° e imlerde boyutsuz uzunlukla yüzey sıcaklı ının de i imi

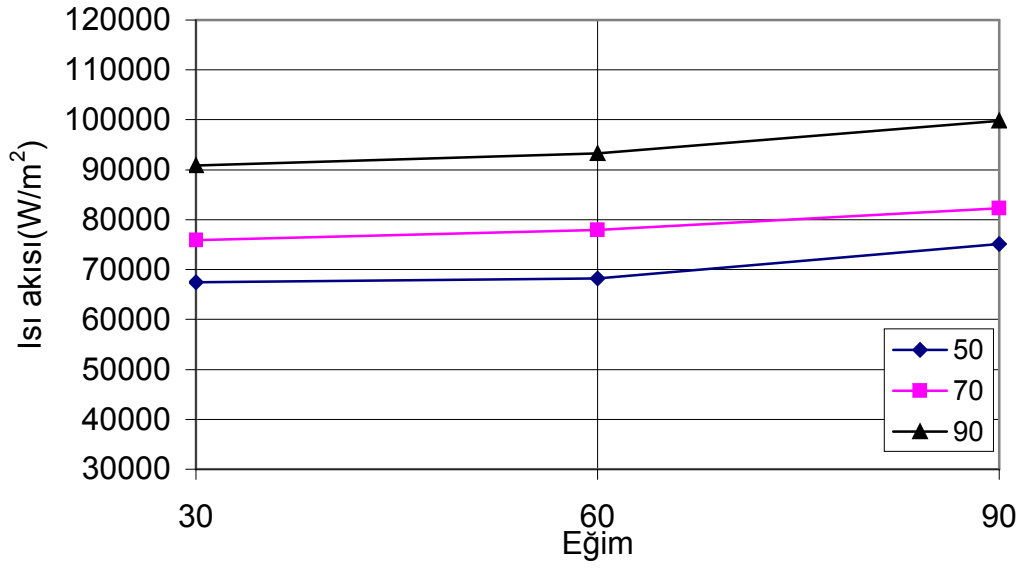
A a ıda ekil 5.22, 5.23 ve 5.24’de fitilsiz ısı borusunda farklı akı kanlar için ısı borusunun farklı iç sıcaklıklarında çalı tırılması durumunda e imle ısı akısının de i imi verilmi tir.



ekil 5.22. Fitilsiz ısı borusunda metanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle ısı akısının de i imi

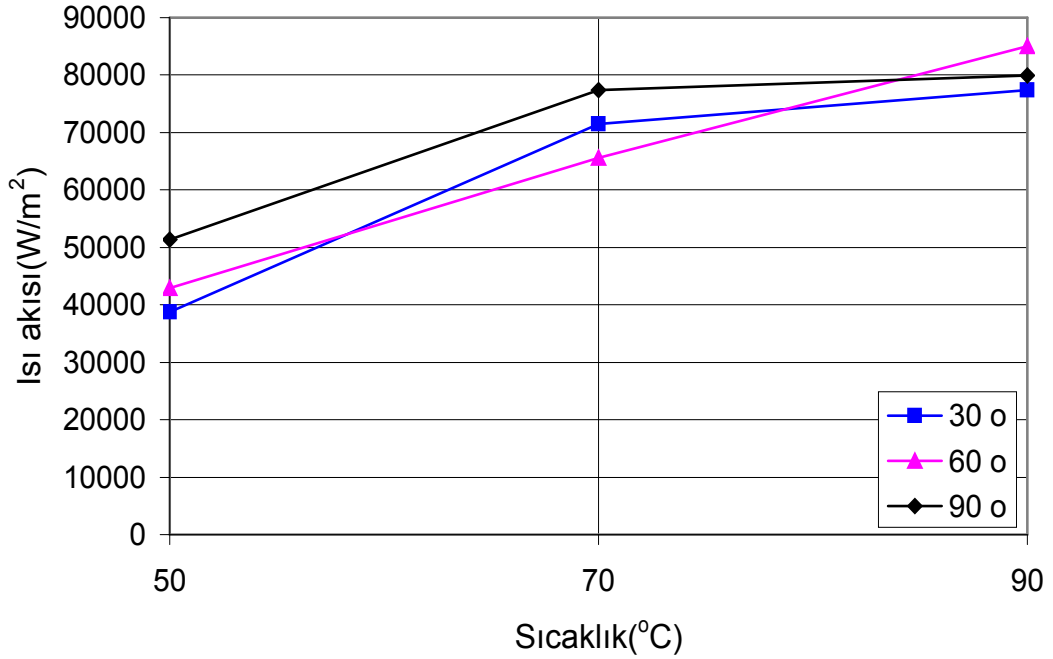


ekil 5.23. Fitilsiz ısı borusunda etanol akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında e imle ısı akısının de i imi

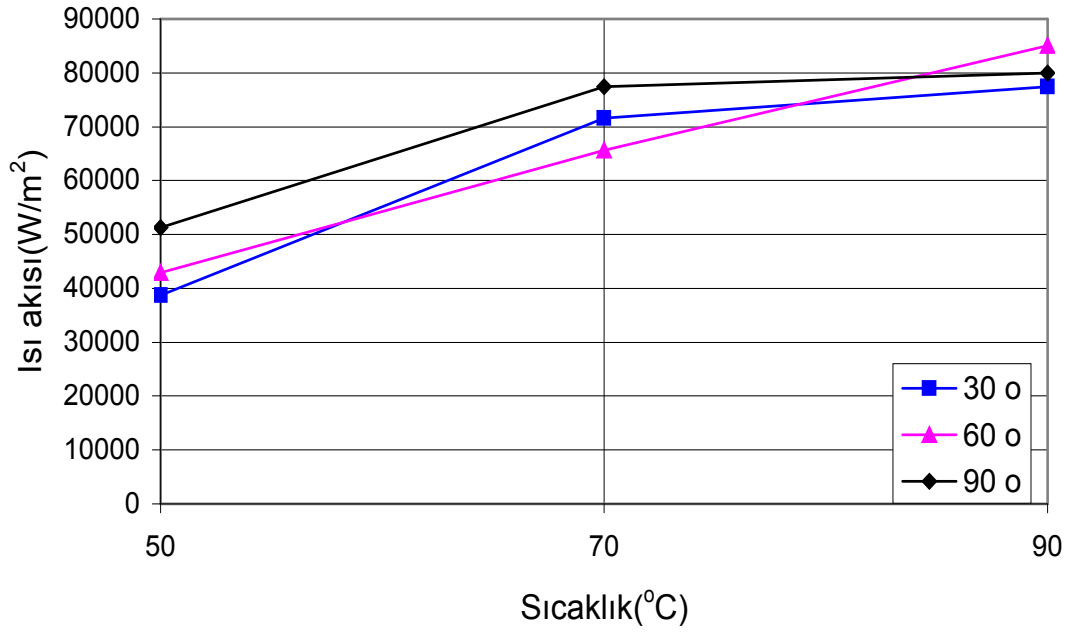


ekil 5.24. Fitilsiz ısı borusunda su akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında eğimle ısı akısının değişimi

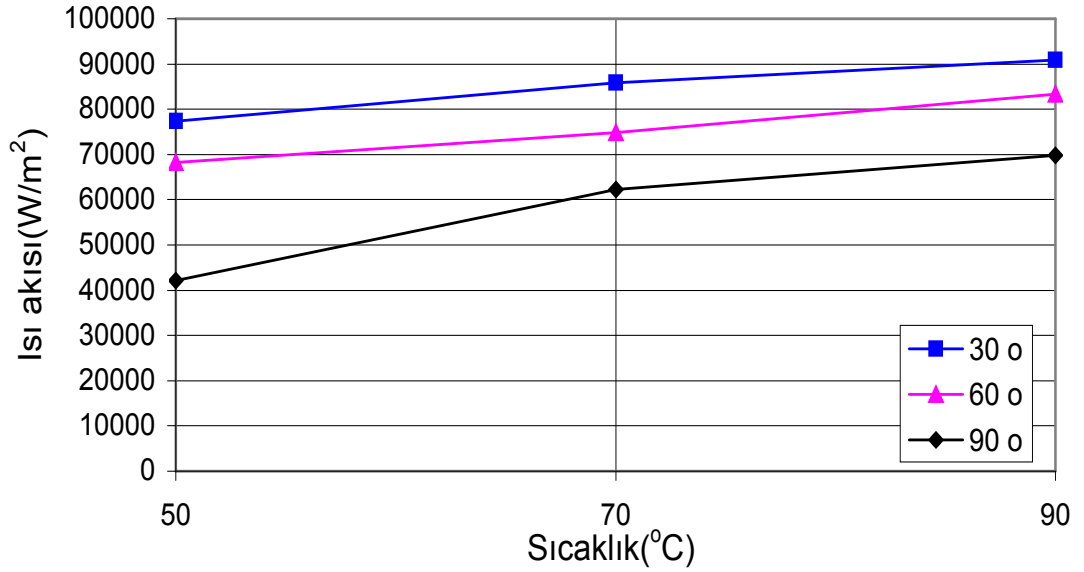
Ayrıca ekil 5.25, 5.26 ve 5.27’de fitilsiz ısı borusunda farklı akı kanları için ısı borusunun farklı eğim açılarında çalıştırılmasında ısı borusu iç sıcaklığı ile ısı akısının değişimi verilmiştir.



ekil 5.25. Fitilsiz ısı borusunda metanol akı kanı için 30, 60 ve 90° eğimlerde iç sıcaklıkla ısı akısının değişimi

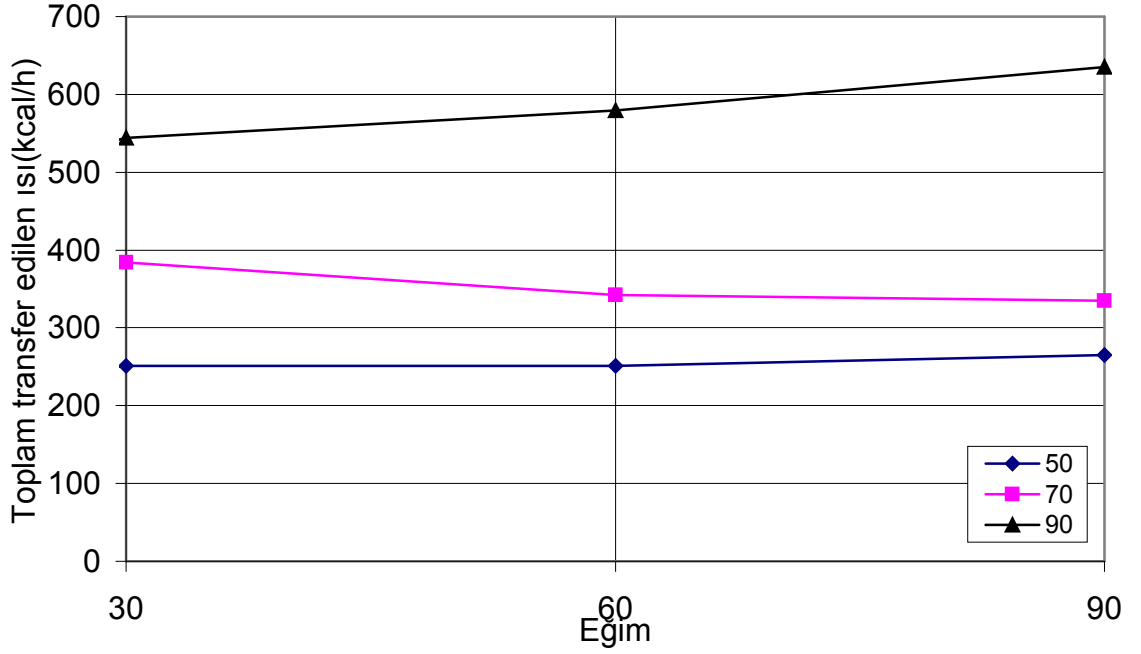


ekil 5.26. Fıtsız ısı borusunda etanol akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi

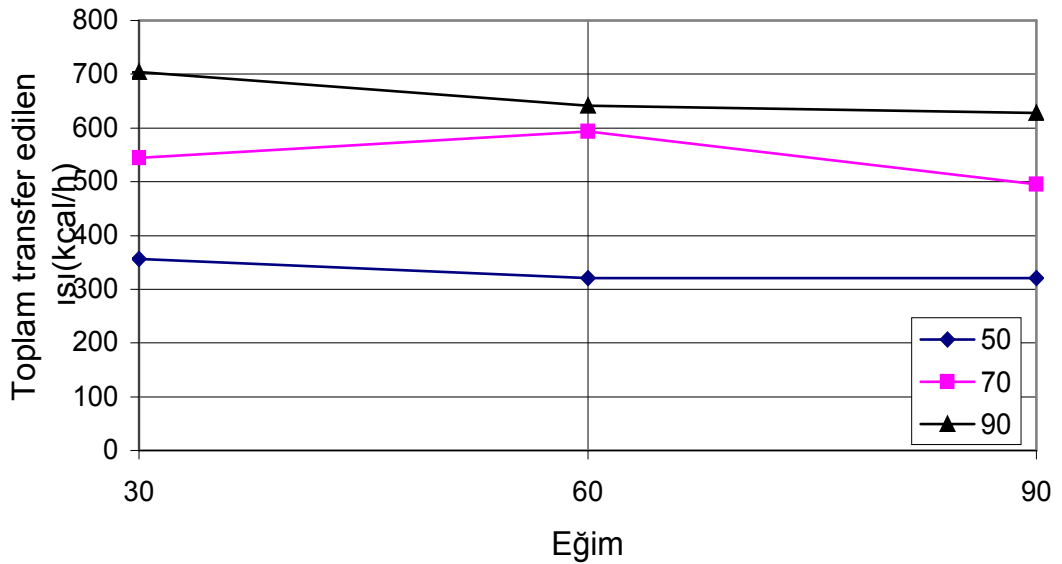


ekil 5.27. Fıtsız ısı borusunda su akı kanı için 30, 60 ve 90° e imlerde iç sıcaklıkla ısı akısının de i imi

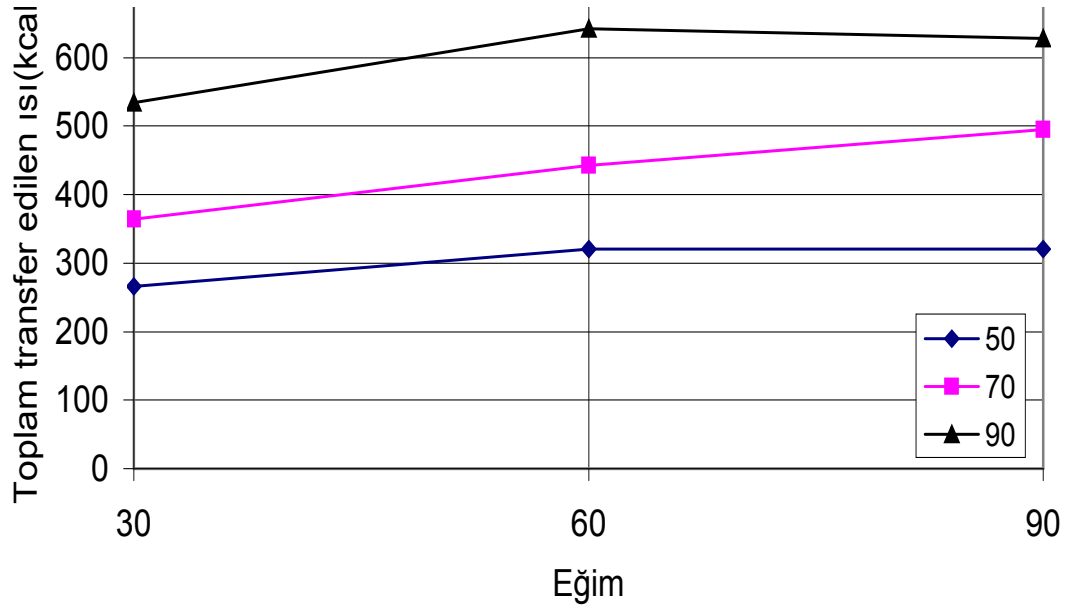
A a ıda ekil 5.28, 5.29 ve 5.30'da fitilsiz ısı borusunda farklı akı kanlar için ısı borusunun farklı iç sıcaklıklarda çalıştırılması durumunda emile transfer edilen ısının de i imi verilmi tir.



ekil 5.28. Fitilsiz ısı borusunda metanol akı kanı için 50, 70 ve 90°C iç sıcaklıklarında emile transfer edilen ısının de i imi



ekil 5.29. Fitilsiz ısı borusunda etanol akı kanı için 50, 70 ve 90°C iç sıcaklıklarında emile transfer edilen ısının de i imi



Şekil 5.30. Fıtsız ısı borusunda su akı kanı için 50, 70 ve 90 °C iç sıcaklıklarında eğimle transfer edilen ısınnın değeri

## 6. TARTI MA ve SONUÇ

Deneysel bulgulara göre fitilli ve fitilsiz ısı borusu için farklı sonuçların çıktığı görülmüştür. Metal fitilli ısı borulu deney sonuçları incelendiğinde ekil 5.1, ekil 5.2 ve ekil 5.3 de görüldüğü gibi iç sıcaklık arttıkça yüzey sıcaklıklarının da arttığı gözlenmiştir. ekil 5.15, ekil 5.16 ve ekil 5.17'deki fitilsiz ısı borusu sonuçlarında da iç sıcaklık arttıkça yüzey sıcaklığının arttığı görülmüştür ama sıcaklık artışı fitilli ısı borularında fitilsizlere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Yüzey sıcaklığının yüksek olması ısı transferinin yeteri kadar yapılamadığının bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Isı borusu iç sıcaklığı ile transfer edilen ısının değişimi gösteren grafikler incelendiğinde her iki ısı borusu için de iç sıcaklık arttıkça transfer edilen ısı artmaktadır. Ancak fitilsiz olan ısı borusunun, fitilli olana göre daha iyi bir ısı transferi sağladığı görülmüştür. Fitilsiz ısı borusunda en iyi ısı transferi akışkanın su olduğu durumda sağlanmıştır. Akışkanın etanol olması durumunda en az ısı transferi sağlanmıştır. Ancak ısı borusunda fitil kullanılması durumunda 90° eğerde en iyi performansı metanol, 30 ve 60° eğerde ise etanol göstermiştir.

Eğim açılarının değişimi ile ısı borularının transfer ettiği ısıyı gösteren grafikler incelendiğinde genellikle eğimin artmasıyla transfer edilen ısının arttığı gözlenmiştir. Fitilsiz ısı borusunda bu artış akışkan olarak su kullanıldığında açıkça görülmekle birlikte metanol ve etanol'de eğimle birlikte transfer edilen ısının artmasında bir kararlılık gözlenmemiştir. Fitilli ısı borusunda ise metanol kullanıldığında eğimle birlikte ısı transferinde artış gözlenirken su ve etanol için eğimle ters orantılı bir değişim gözlenmiştir.

Sonuç olarak yapılan çalışmada ile yerçekimi destekli ısı borularında bu çalışmada kullanılan fitil yapısı ile fitilin ısı transferini azaltıcı bir etkisi olduğu gözlenmiştir.

## 7. KAYNAKLAR

Abit, E., 1990. Theoretical and Experimental Analysis of the Double Walled Concantric Heat Pipe. stanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 60s., stanbul.

Aksoy, M., 2004. Pulsatif Isı Borularının Analizi. stanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 78s., stanbul.

Be e, U., 1988. Baca Gazları için Isı Borusu Tasarımı ve Optimizasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi , 97s., zmir.

Çelik, M., Ta ıtların Isı Borusu Yardımıyla Eksoz Gazı Enerjisinden Yararlanarak Isıtılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 65s., Ankara,1988.

Dunn, P.D., Reay, D.A., 1994. "Heat Pipes", Fourth Edition, Elsevier Science Ltd., 348p., Great Britain.

Ersöz, M.A., 2002. Baca Gazlarındaki Atık Isının Isı Borusu ile Geri Kazanımının Ara tırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 77s., Ankara.

Faghri A., 1995. Heat Pipe Science and Technology. 874p., New York.

Huang, G.S., Kaviany, K., Anderson, W.G., Zuo J., 2007. Modulated Wick Heat Pipe. International Journal of Heat and Mass Trasfer, 50, 1420-1434.

Misheck, G., Huang, X., Juncie, G., 2006. Influence of wick characteristics on heat pipe performance. International Journal of Energy, 30, 489-499

Noie, S.H., 2005. Heat Transfer Characteristics of a Two-Phase Closed Thermosyphon. Applied Thermal Engineering, 25, 495-506.

Olgun, B., 2003. Termosifon Sistemlerinde ki Fazlı Akımların ncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi 76s., stanbul.

Ömür, H., 1999. ki Fazlı Termosifonlu Sistemler. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi ,103s., zmir.

Özsoy A., 2002. Isı Borusu ve Uygulamaları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Doktora Semineri, 38s., Isparta.

Özsoy A., 2005. Isıtma Sistemlerinde Isı Geri Kazanımında Isı Borularının Uygulanabilirli i, Ekserji ve Ekonomik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, 109s., Isparta.

Peterson, G.P., 1994. An Introduction to Heat Pipes Modeling Testing and Applications. John Wiley and Sons Inc., 356p., New York.

Rightley, M.J., Tigges, C.P., Givler, R.C., Robino, C.V., Mulhall, J.J., Smith, P.M., 2003. Innovative Wick Design for Multi-Source Flat Plate Heat Pipes. Microelectronics Journal, 34, 187-194.

Salem, S.A., Akash, B.A., 1999. Experimental performance of a heat pipe. Int. Comm. Heat Mass Transfer, 26, 5, 679-684.

Silverstein, C.C., 1992. Design and Technology of Heat Pipes for Cooling and Heat Exchange. 368p., Washington.

Tatlıo lu, Ç., 1995. Isı Borularının Termodinamik Analizi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 96s., Kayseri.

Williams, R.R., Daniel, K.H., 2004. The heat transfer limit of step-graded metal felt heat pipe wicks. International Journal of Heat and Mass Transfer, 48, 293-305

## ÖZGEÇM

Adı Soyadı : Hasan YILDIRIM

Do um Yeri ve Yılı : O uzeli / Gaziantep 06/07/1982

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce



E itim Durumu(Kurum ve Yıl) :

Lise : Kilis Anadolu Teknik Lisesi, 2001

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine E itimi  
Bölümü, Tesisat Ö retmenli i Programı, 2006