



**ISI BORULARININ PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN
OPTİMİZASYONU**

Doğukan KARACA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Doğukan KARACA tarafından hazırlanan “ISI BORUARININ PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Tayfun MENLİK

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Hasan ÖZCAN

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi M. Bahadır ÖZDEMİR

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 01/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Doğukan KARACA
01/07/2019

ISI BORULARININ PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN
OPTİMİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)

Doğukan KARACA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2019

ÖZET

Fosil kökenli enerji kaynaklarının zaman içerisinde tükenecek olması ve çevresel etkileri değerlendirildiğinde, enerjinin verimli kullanımının önemi artmaktadır. Bu tez çalışmasında, termosifon tipi ısı borusunda çalışma akışkanı olarak saf su kullanılarak, ısı borusunun farklı parametrelere göre performansı deneysel olarak incelenmiş ve optimum çalışma şartları belirlenmiştir. Deneysel çalışmada ısı borusu üzerinde farklı noktalardan alınan sıcaklık ölçümleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deneyler; 44,2 ml, 35,36 ml ve 17,68 ml'lik üç farklı şarj oranında; 5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s'lik üç farklı kütleli debide; 200 W, 300 W ve 400 W'lık üç farklı güç girişinde; 60 °, 75 ° ve 90 °'lik üç farklı eğim açısında yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verilerin sayısal analizi yapılarak performansa etkileri incelenmiştir. Isı borusu deneylerinde elde edilen sonuçlardan en ideal çalışma şartlarının 90° eğim açısı, 44,2 ml şarj oranı ve 5 g/s debide elde edildiği görülmüştür.

Bilim Kodu : 92808
Anahtar Kelimeler : Isı borusu, performans, eğim açısı, şarj oranı
Sayfa Adedi : 82
Danışman : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

THE OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS THAT AFFECT THE
PERFORMANCE OF THE HEAT PIPES

(M. Sc. Thesis)

Doğukan KARACA

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

The importance of efficient use of energy increases with the depletion of fossil energy resources over time and environmental impacts. In this thesis, pure water was used as study fluid in thermosyphon type heat pipe, the performance of the heat pipe according to different parameters has been experimentally investigated, optimum working conditions have been determined. In experimental study, temperature measurements taken from different points on heat pipe were transferred to computer. Experiments were conducted by using 17,68 ml, 35,36 ml and 44,2 ml charge rates for three different power inputs as 200 W, 300 W and 400 W; 5g/s, 7.5g/s and 10 g/s mass flow and by applying 60°, 75° and 90° tilt angles. The numerical analysis of data that obtained from experiments, effects of different parameters on performance was investigated. According to the results obtained from the heat pipe experiments, the optimum operating conditions were obtained at 90° slope angle, 44,2 ml charging rate and 5 g/s flow rate.

Science Code : 92808

Key Words : Heat pipe, performance, tilt angles, charging rate

Page Number : 82

Supervisor : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

TEŞEKKÜR

En başta Yüksek lisans tez çalışmalarımın her aşamasında bana yol gösteren desteğini esirgemeyen bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Tayfun MENLİK Hocam'a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarım sırasında bana katkısı olan, emeği geçen Enerji sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki değerli hocalarıma teşekkür ederim, saygılarımı sunarım. Bu yoğun süreçte bana inanan, güvenen eşim Tuğçe KARACA, annem Dr. Öznur KARACA, babam Prof. Dr. Orhan KARACA ve kardeşim Onurkan KARACA'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. ISI BORUSU	9
3.1. Isı Borusunu Oluşturan Temel Yapı Elemanları.....	9
3.1.1 Isı borusu malzemeleri	9
3.1.2. Kılcal yapı ve fitil malzemeleri.....	9
3.1.3. Isı borusunda kullanılan akışkanın seçilmesi.....	9
3.2. Isı Borusu Çeşitleri	10
3.2.1. Geleneksel ısı borusu	10
3.2.2. Termosifon tipi ısı borusu.....	11
3.2.3. Titreşimli ısı borusu	11
3.2.4. Minyatür ısı borusu	12
3.2.5. Döngülü ısı borusu.....	12
3.2.6. Yassı plaka ısı borusu	13
3.3. Isı Borusunun Avantajları	14
4. MATERYAL VE METOD	15
4.1. Deney Prosedürü.....	15

	Sayfa
4.2. Deneysel Materyal	15
4.3. Teorik ve Sayısal Analiz.....	18
4.4. Belirsizlik Analizi	19
5. DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI VE TARTIŞMA	21
5.1. 44,2 ml Saf Su Şarj Oranında Yapılan Deneyler	21
5.2. 35,36 ml Saf Su Şarj Oranında Yapılan Deneyler	38
5.3. 17,68 ml Saf Su Şarj Oranında Yapılan Deneyler	56
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	75
6.1. Sonuç.....	75
6.2. Öneriler	77
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	82

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Isı borularında kullanılan akışkanlar	10
Çizelge 4.1. Kullanılan ısı borusunun fiziksel özellikleri.....	18
Çizelge 4.2. Cihazların özellikleri, hassasiyetleri, toplam belirsizlikler.....	20
Çizelge 5.1. 200 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	21
Çizelge 5.2. 200 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	22
Çizelge 5.3. 200 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	23
Çizelge 5.4. 200 W için verim değerleri	24
Çizelge 5.5. 200 W için direnç değerleri	25
Çizelge 5.6. 200 W için iletkenlik değerleri	26
Çizelge 5.7. 300 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	27
Çizelge 5.8. 300 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	28
Çizelge 5.9. 300 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	29
Çizelge 5.10. 300 W için verim değerleri	30
Çizelge 5.11. 300 W için direnç değerleri	31
Çizelge 5.12. 300 W için iletkenlik değerleri	32
Çizelge 5.13. 400 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	33
Çizelge 5.14. 400 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	34
Çizelge 5.15. 400 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	35
Çizelge 5.16. 400 W için verim değerleri	36
Çizelge 5.17. 400 W için direnç değerleri	37
Çizelge 5.18. 400 W için iletkenlik değerleri	38
Çizelge 5.19. 200 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	39
Çizelge 5.20. 200 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	40
Çizelge 5.21. 200 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	41

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.22. 200 W için verim değerleri	42
Çizelge 5.23. 200 W için direnç değerleri	43
Çizelge 5.24. 200 W için iletkenlik değerleri	44
Çizelge 5.25. 300 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	45
Çizelge 5.26. 300 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	46
Çizelge 5.27. 300 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	47
Çizelge 5.28. 300 W için verim değerleri	48
Çizelge 5.29. 300 W için direnç değerleri	49
Çizelge 5.30. 300 W için iletkenlik değerleri	50
Çizelge 5.31. 400 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	51
Çizelge 5.32. 400 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	52
Çizelge 5.33. 400 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	53
Çizelge 5.34. 400 W için verim değerleri	54
Çizelge 5.35. 400 W için direnç değerleri	55
Çizelge 5.36. 400 W için iletkenlik değerleri	56
Çizelge 5.37. 200 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	57
Çizelge 5.38. 200 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	58
Çizelge 5.39. 200 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	59
Çizelge 5.40. 200 W için verim değerleri	60
Çizelge 5.41. 200 W için direnç değerleri	61
Çizelge 5.42. 200 W için iletkenlik değerleri	62
Çizelge 5.43. 300 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	63
Çizelge 5.44. 300 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	64
Çizelge 5.45. 300 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	65
Çizelge 5.46. 300 W için verim değerleri	66

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.47. 300 W için direnç değerleri	67
Çizelge 5.48. 300 W için iletkenlik değerleri	68
Çizelge 5.49. 400 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	69
Çizelge 5.50. 400 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	70
Çizelge 5.51. 400 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler	71
Çizelge 5.52. 400 W için verim değerleri	72
Çizelge 5.53. 400 W için direnç değerleri	73
Çizelge 5.54. 400 W için iletkenlik değerleri	74

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Perkins hermatik boru kazanı	3
Şekil 3.1. Gaugler' in patentli ısı borusu kesit resmi	4
Şekil 3.1. Geleneksel ısı borusu	11
Şekil 3.2. (a) Kapalı uçlu döngülü ısı borusu (b) Kapalı uçlu titreşimli ısı borusu	12
Şekil 3.3. Döngülü ısı borusu	13
Şekil 3.4. Yassı plaka ısı borusu	13
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	17
Şekil 4.2. Isı borusunda ısı çift yerleşimi	17
Şekil 5.1. 200 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri	21
Şekil 5.2. 200 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri	22
Şekil 5.3. 200 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri	23
Şekil 5.4. 200 W için verim değerleri	24
Şekil 5.5. 200 W için direnç değerleri	25
Şekil 5.6. 200 W için iletkenlik değerleri	26
Şekil 5.7. 300 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri	27
Şekil 5.8. 300 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri	28
Şekil 5.9. 300 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri	29
Şekil 5.10. 300 W için verim değerleri	30
Şekil 5.11. 300 W için direnç değerleri	31
Şekil 5.12. 300 W için iletkenlik değerleri	32
Şekil 5.13. 400 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri	33
Şekil 5.14. 400 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri	34
Şekil 5.15. 400 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri	35
Şekil 5.16. 400 W için verim değerleri	36

Şekil	Sayfa
Şekil 5.17. 400 W için direnç değerleri	37
Şekil 5.18. 400 W için iletkenlik değerleri	38
Şekil 5.19. 200 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri	39
Şekil 5.20. 200 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri	40
Şekil 5.21. 200 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri	41
Şekil 5.22. 200 W için verim değerleri	42
Şekil 5.23. 200 W için direnç değerleri	43
Şekil 5.24. 200 W için iletkenlik değerleri	44
Şekil 5.25. 300 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri	45
Şekil 5.26. 300 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri	46
Şekil 5.27. 300 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri	47
Şekil 5.28. 300 W için verim değerleri	48
Şekil 5.29. 300 W için direnç değerleri	49
Şekil 5.30. 300 W için iletkenlik değerleri	50
Şekil 5.31. 400 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri	51
Şekil 5.32. 400 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri	52
Şekil 5.33. 400 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri	53
Şekil 5.34. 400 W için verim değerleri	54
Şekil 5.35. 400 W için direnç değerleri	55
Şekil 5.36. 400 W için iletkenlik değerleri	56
Şekil 5.37. 200 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri	57
Şekil 5.38. 200 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri	58
Şekil 5.39. 200 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri	59
Şekil 5.40. 200 W için verim değerleri	60
Şekil 5.41. 200 W için direnç değerleri	61

Şekil	Sayfa
Şekil 5.42. 200 W için iletkenlik değerleri	62
Şekil 5.43. 300 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri	63
Şekil 5.44. 300 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri	64
Şekil 5.45. 300 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri	65
Şekil 5.46. 300 W için verim değerleri	66
Şekil 5.47. 300 W için direnç değerleri	67
Şekil 5.48. 300 W için iletkenlik değerleri	68
Şekil 5.49. 400 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri	69
Şekil 5.50. 400 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri	70
Şekil 5.51. 400 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri	71
Şekil 5.52. 400 W için verim değerleri	72
Şekil 5.53. 400 W için direnç değerleri	73
Şekil 5.54. 400 W için iletkenlik değerleri	74
Şekil 5.55. Şarj miktarı, debi ve eğim açısının verime etkisinin karşılaştırması	76

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Isı borusunun deney düzeneği görünümü.....	16

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Alan (m^2)
d_m	Çap (m)
l	Etkin Uzunluk (m)
R	Isıl Direnç (K/W)
Q	Isıtıcı Gücü (W)
K	Isıl İletkenlik (W/mK)
(λ)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
KA	Kesit Alanı (m^2)
C_p	Özgül Isı (kJ/kgK)
$\dot{m}$	Sıvı Debisi (kg/s)
S_g	Şebeke Suyu Giriş Sıcaklığı (C°)
$S_ç$	Şebeke Suyu Çıkış sıcaklığı (C°)
W_s	Toplam Belirsizlik (-)
η	Verim (-)
ΔT	Yoğuşturucu ve Buharlaştırıcı Arası Sıcaklık Farkı (K)

1. GİRİŞ

Türkiye'de enerji tüketimi, nüfusun artması, teknolojik ihtiyaçların çeşitlenmesi ve sanayinin büyümesine bağlı olarak artmaktadır. Bu durum ülkenin gelişmişlik ve refah seviyesinin arttığına bir göstergesi olarak değerlendirilirken öte yandan yenilenemez enerji kaynaklarının giderek azalmasına neden olmaktadır. Türkiye'nin fosil enerji kaynaklarından sadece linyit rezervleri yönüyle kendi ihtiyacını karşılayabilmektedir [1]. Enerjinin üretimi ve tüketim aşamalarında yaşadığımız çevreye olumsuz etkileri de değerlendirildiğinde mevcut veya alternatif enerji kaynaklarından yüksek verim almayı hedefleyen araştırmaların önemi artmaktadır. Rüzgâr enerjisi, çevreye olumsuz etkisi yok denecek kadar az olan yenilenebilir ve çevreye dost bir enerji kaynağıdır [2].

Günümüzde enerji alanında yapılan çalışmalarda amaç mevcut enerji ihtiyacını karşılayabilmek, bunu yaparken çevreye zararlı etkileri azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak, az miktarda güç harcayarak yüksek verim elde etmektir.

Enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmaları kapsayan uygulamalardan biri de ısı borusu uygulamalarıdır. Isı borusu ile ilgili yapılan çalışmalarda, ısı enerjisinin transferi için pek çok alanda kullanılan ısı borusu uygulamalarında daha iyi performans almak hedeflenmektedir. Isı borularının ısı taşıma kapasitesinin iyi olması, hareketli parçalar içermemesi, farklı geometrilerde tasarlanabilmesi ve kolay imal edilebilme imkanının olması ısı borularının başlıca avantajlarıdır.

Isı boruları sıcak ve soğuk kaynaklar arasında az sıcaklık farkı ile yüksek miktarda ısı taşımak için tasarlanmış cihazlardır [3]. 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, güneş enerjisinden yararlanılmasında, jeotermal enerjide, enerjinin depolanmasında, güç çevrimleri gibi daha pek çok alanda kullanılmaktadır [4].

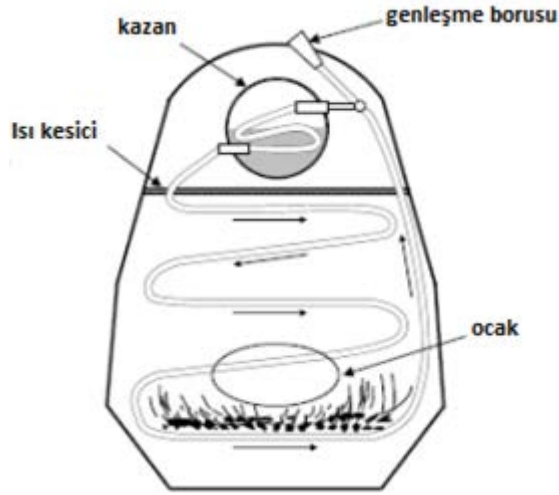
Bu tez çalışmasında termosifon tipi ısı borusunun farklı parametreler altındaki çalışma performansı incelenmiştir ve en iyi sonuçların alındığı çalışma şartlarını belirlemek amaçlanmıştır. Farklı şarj miktarları ve farklı eğim açılarında, iş yapması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, termosifon tipi ısı borusunda çalışma akışkanı olarak saf su kullanılmıştır. Saf su, şarj edilmeden önce borunun içerisi vakum edilerek buharlaştırıcı bölgesinde düşük sıcaklıklarda buharlaşma ve yoğunlaştırıcı bölgesinde ise faz döngüsü sağlanması için

yoğuşma meydana gelmesi istenmiştir. Isı borusu üzerinde, farklı noktalardan alınan sıcaklık değerleri bilgisayar ortamına aktarılarak sayısal analizleri yapılmıştır. Termosifon tipi ısı borusunun 90° , 75° ve 60° 'lik 3 farklı eğim açısı, 200 W, 300 W ve 400 W'lık üç farklı ısıtıcı güç girişi, 5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s'lik üç farklı soğutucu akışkan debisi gibi farklı çalışma şartlarına ve literatüre ek olarak; termosifon tipi ısı borusunda kullanılan çalışma akışkanının 17,68 ml, 35,36 ml ve 44,2 ml'lik üç farklı şarj oranı belirlenerek farklı şarj miktarlarındaki ısı performansın diğer farklı parametreler ile birlikte ısı borusunun ısı performansına etkisi araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geçmişten günümüze ısı borusu uygulamalarından birçok alanda faydalanılmıştır. Bu bölümde ısı borusunun ilk ortaya çıkışı ve ısı borusunun temellerini oluşturan uygulamalar ile birlikte ısı borularının farklı çalışma şartlarındaki performansını araştıran literatürdeki bazı akademik çalışmalarla ilgili özet bilgiler verilecektir.

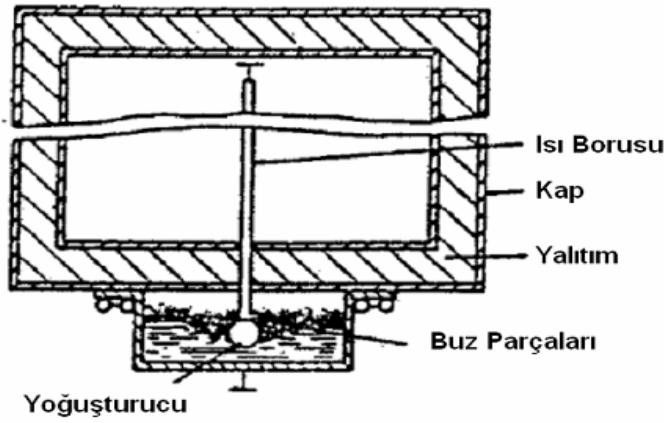
Angier March Perkins tarafından 1831 yılında tasarlanan hermetik boru kazanı, ilk ısı borusu uygulaması olarak kabul edilir. Şekil 2.1’de gösterilen bu sistemde boru içerisindeki akışkan yüksek basınç altında ve kızgın su buharı olarak tek fazda dolaşmaktadır [5].



Şekil 2.1. Perkins hermetik boru kazanı [5]

1942 yılında R.S Gaugler ilk olarak günümüz ısı borusu çalışma prensibine benzer ısı borusunu bulmuştur. Ancak Gaugler’in o dönemde çalıştığı ısı boruları bu dönemkinden bazı farklılıklar göstermiştir örneğin fitil olarak sinterlenmiş çelik fitilleri kullanılmıştır [6].

Gaugler’in tasarladığı ısı değiştiricisi içi buz dolu bir kaptan ısı borusu kullanarak soğutulacak ortamdan ısı çekmektedir. Bu düzenek Şekil 2.2’de gösterilmiştir [6].



Şekil 2.2. Gaugler'in patentli ısı borusu [6]

1963 yılında Los Alamos Laboratuvarı'nda (USA) çalışan fizikçi George Grover, ilk modern ısı borusunu icat etmiştir ve adını "ısı borusu" koymuştur. Grover'in ısı borusu için ilham kaynağı, 170 yıl önce İngiliz fırıncılar tarafından kullanılan ilkel ısı boruları olmuştur. Perkins Tüpü, Grover'in modern ısı borularının gelişimi için de "atlama noktası" görevi görmüştür. Bu tür boruların geliştirilmesi, Amerikan mucit Jacob Perkins'in hermetik boru kazanının patentini aldığı yıl 1839'da başlamıştır [7]. Grover ve arkadaşlarının asıl amacı ısı borusunu uzay araçlarında enerji geçişini sağlamak amacıyla kullanmak olmuştur, ancak ilerleyen zamanda ısı borusunun diğer uygulamalarda da büyük potansiyeli olduğu keşfedilmiştir [8]. Geçmişten günümüze literatürde ısı borularının performansı üzerine çeşitli akademik çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

Salem ve Akash (1999), ısı borusunun deneysel olarak performansını araştırmış çalışma akışkanı olarak su kullanmışlardır, fitilli ve fitilsiz iki farklı ısı borusu kullanarak 30°, 60° ve 90° eğim açısında 30 °C, 60 °C ve 90 °C sıcaklıklarda çalışmışlardır. Sonuçta özellikle ısı borusu dikey olarak konumlandırıldığında, performansın önemli ölçüde iyileştiği ve ısı borusunun fitilli ısı borusunda fitilsiz ısı borusuna göre daha iyi bir ısı transferi sağladığı belirtilmiştir [9].

Ersöz (2002), baca gazları ile atılan ısının geri kazanılması deneysel olarak incelemiştir. Isı borularında ısıtma akışkanı olarak etanol kullanılmıştır. Hazırlanan ısı borularının evaporatör bölümü prototip imalatı yapılan bir baca kanalı içerisine, kondenser bölümü ise 20x30x30 cm boyutlarındaki depo içerisine gelecek şekilde ve 45°'lik açı ile yerleştirilmiştir. Deneylerde; ısıtılan akışkan olarak su, motorin, fuel-oil ve hava kullanılmıştır. 140 °C, 150 °C, 160 °C ve 170 °C baca gazı sıcaklıklarında her bir ısıtılan

akışkanın sıcaklık değişimleri ölçülmüştür. Yapılan deneylerden, en yüksek ısı geri kazanımının sırasıyla hava, motorin, fuel-oil ve su olduğu görülmüş. Sistemin yalıtımının daha iyi yapılması ve ısı geri kazanım ünitesinde çeşitli ısı borusu tasarımları geliştirilerek evaporatör ve kondenser bölgelerinin ısı yüzeyleri arttırılarak yüksek performansla baca gazlarındaki atık ısıdan, ısı çekilebilir sonucuna varılmıştır [10].

Ong ve ark. (2003), çalışma akışkanı olarak R-134a soğutucu akışkanı kullanılan yerçekimi destekli ısı borusunun termal performansına, ısı borusu evaporatör ve kondenser bölgeleri arasındaki sıcaklık farkının, soğutma suyu debisinin ve ısı borusu çalışma akışkanı miktarının etkisini incelemişlerdir yüksek soğutma sıvısı debisi, yüksek doldurma oranları evaporatör ile kondenser arasındaki daha yüksek sıcaklık farkının termal performansı arttırdığı tespit edilmiştir [11].

Özsoy ve Acar (2005), yerçekimi destekli bakır ısı borusu için deneysel bir çalışma yapmışlar. Isı borusunun çeşitli çalışma koşullarındaki davranışı incelemişlerdir. Deneyler 0° – 90° aralığındaki çeşitli eğim açılarındadır yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda eğim açısının 0° olduğu konumda transfer edilen ısı diğer eğim açılara kıyasla daha az olduğu görülmüştür. 30° – 90° eğim açılarındaki transfer edilen ısı miktarlarında ise fazlaca bir değişimin olmadığı gözlenmiştir. Isı borusundan yatay konumunda transfer edilen ısı miktarının az olması nedeniyle evaporatör ve kondenser yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının da arttığı gözlenmiştir. Kondenser bölgesi için hesaplanan toplam ısı transferi katsayısının da 0 derecedeki eğim hariç olmak üzere yaklaşık olarak 300 – 400 W/m^2C aralığında değiştiği hesaplanmıştır [12].

Mahmood ve Akhanda (2008), silindirik, yarı silindirik ve dikdörtgen geometride olmak üzere 3 mm hidrolik çapa ve üç farklı geometriye sahip mikro ısı borularının çalışma akışkanı su seçilmiş ve deneyler 0° , 45° ve 90° ’lik eğim açılarındadır yapılmıştır. Sıcaklıklar, borunun farklı bölgelerinde kalibre edilmiş beş K tipi termokupl kullanılarak ölçülmüş; ısı kaynağı, bir ampermetre ve bir voltmetre ile ölçülen bir voltaj regülatörü ile değiştirilerek belirlenen parametreler ışığında ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Toplanan tüm veriler kullanılarak bir korelasyon geliştirilmiş, farklı eğimlerde yerleştirilmiş farklı enine kesitli mikro ısı borularının ısı transfer katsayısının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, dairesel kesitli ısı borusunun en iyi ısı performansına sahip olduğu gözlemlendiği belirtilmiştir [13].

Şimşak (2009), iki fazlı yerçekimi destekli ısı borusunun ısı performansını deneysel olarak incelemiştir. Isı borusu olarak bakır boru ve çalışma akışkanı olarak saf su, ispirto (etanol) ve antifriz kullanmıştır. Farklı ısı güçlerinde, farklı eğim açılarında ve farklı soğutma suyu debilerinde, ısı borusu yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve soğutma suyu sıcaklık farkı deneysel olarak gözlenmiştir. Deneyler, 10, 20, 30 ve 40 L/h su debilerinde, 30°, 60° ve 90° eğim açılarında ve 200, 400, 600 ve 800 W ısı yüklerinde yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, ısı borusu ısı performans açısından 90° eğim açısının ve çalışma akışkanı olarak da yüksek sıcaklıklarda ispirto ve antifrizin, düşük sıcaklıklarda ise suyun daha uygun çalışma akışkanı olduğu görülmüştür. Düşük atık ısı kaynaklarından ısı geri kazanımı amaçlı ısı borusu uygulamalarında, ısı borusunun ısı performans bakımından düşük soğutma suyu debisinde çalışma akışkanı olarak saf su daha etkin olurken, daha büyük debilerde antifrizin daha etkin çalışma akışkanı olduğu, yüksek ısı yüklerindeki ısı geri kazanımında ise çalışma akışkanı olarak ispirto kullanılmasının saf su ve antifrizle göre daha etkin olduğu görülmüştür [14].

Ürün, Çay ve Kurt (2011), yerçekimi destekli ısı borusunda çalışma akışkanı olarak R-134a soğutucu akışkanı kullanılarak, baca gazı ısı geri kazanım sisteminin ısı performansını incelenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, baca gazı hızı arttıkça ısı borusu etkinliği artarken, soğutma suyu debisi arttıkça ısı borusu etkinliği azalmıştır. Isı geri kazanım sistemindeki ısı borusu demetinin etkinliğinin baca gazı sıcaklığı ve baca gazı hızı ile doğru orantılı, soğutma suyu debisi ile ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. Buna göre ısı geri kazanım sisteminin etkinliği, 75 °C baca gazı sıcaklığında, 2.5 m/s baca gazı hızında ve 1 lt/dk soğutma suyu debisinde % 40.4 olurken, aynı değerlerde baca gazı sıcaklığı 175 °C çıkarıldığında ise %57.7 olmuştur. Isı geri kazanım sisteminde, fitilli ısı değiştiricisi kullanılmak suretiyle kondenser bölgesinden evaporatör bölgesine çalışma akışkanının geri dönmesi için yerçekimi etkisi yanında fitil etkisi de kullanılmış, böylece ısı borusu çalışma çevrimi daha kısa sürede tamamlanarak birim zamanda geri kazanılan ısı enerjisi miktarı da artmış olacağı belirtilmiştir. Isı geri kazanım sisteminde fitilli ısı borusu kullanılmak suretiyle sistemin ısı geri kazanım performansı arttırılabileceği sonucuna varılmıştır [15].

Çakır (2015), termosifon (fitilsiz) tipi ısı borusunda çalışma akışkanı olarak içerisinde hacimsel olarak %2 Al₂O₃ (Alumina) nanopartiküller bulunan nanoakışkan kullanılarak ısı performansını arttırılması amaçlanmıştır. Deneylerde kondenser bölümünde ısının alınabilmesi için farklı kütleli debi kullanılmış, 3 farklı güç girişi sağlanmış ve ısı

borusunun 45° ve 75°'lik 2 farklı eğim açısı için deneyler yapılmıştır. Çalışma akışkanının ısı borusu performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak ısı borusunun performansında 75° eğimli ısı borusunda nanoakışkan kullanımının 7,5 g/s soğutma suyu debisinde, 300W ve 500W ısı yüklerinde ısı verimi önemli bir miktarda artırdığı görülmüş. Yapılan deneyler sonucu elde edilen verilere göre ısı dirençte önemli düşüşler elde edilmiş, ısı verim değerlerinde tam bir stabilizasyon sağlamazken; 500W'lık giriş gücünde, 0,0075 kg/s'lik kütleli debide ve 75°'lik ısı borusu eğiminde nanoakışkan ile yapılan deneyde, aynı veriler için, su ile yapılan deneye göre % 35,7 verim iyileştirilmesi elde edilmiştir [16].

3. ISI BORUSU

Isı borusu; Isıyı bir bölgeden başka bir bölgeye buharlaşma ve yoğunlaşma faz değişimi yoluyla transfer eden, termal iletkenlik kapasitesi yüksek olan ısı transfer cihazıdır [17].

3.1. Isı Borusunu Oluşturan Temel Yapı Elemanları

- Isı borusu
- Kılcal yapı ve fitil malzemeleri
- Akışkan

3.1.1. Isı borusu malzemeleri

Isı borusu hakkında yeterli bilgi edinmek için borunun verimliliğinde önemli rol oynayan temel bileşenler incelenmiştir. Birçok araştırmacı araştırmalarını, ısı borusu kabı, fitil yapısı ve çalışma sıvısı gibi bileşenlerin üzerine yapmışlardır. Bu bileşenlerin çalışmaları deneysel ve sayısal analiz yoluyla incelenmiştir [18].

3.1.2. Kılcal yapı ve fitil malzemeleri

Isı borularında fitil malzemesinin görevi kapiler basınç oluşturarak çalışma akışkanını yoğunlaştırıcıdan, buharlaştırıcıya iletilmesini sağlamak ve bu sırada çalışma akışkanını, buharlaştırıcı yüzeyine çevresel olarak dağıtmaktır. Bu durum termosifon tipi ısı borularında yer çekimi kuvveti etkisiyle gerçekleşmesinden dolayı, termosifon tip ısı borularında fitil kullanılmaz [19].

3.1.3. Isı borusunda kullanılan akışkanın seçilmesi

Çalışma sıvısının seçimi, öncelikle buharlaşma yoğunlaşma sıcaklık aralığına bağlıdır. Bunun nedeni, ısı borusundaki çalışmanın, akışkanının buharlaşma ve yoğunlaşma süreci olmasıdır. Yaklaşık sıcaklık aralığına sahip birkaç olası çalışma sıvısı mevcut olabilir ve en uygun olanı belirlemek için çeşitli özellikler incelenmelidir. Uygun çalışma sıvısının seçimi, aşağıdaki faktörler göz önüne alınarak dikkatlice yapılmalıdır.

- Cidar malzemesi ve fitil ile uyumlu olmalıdır.
- Düşük sıvı ve buhar viskozitelerine sahip olmalıdır.
- Çok yüksek yüzey gerilimine sahip olmalıdır.

- Cidar malzemelerinin ve fitilin ıslanabilirliği iyi olmalı.
- Yüksek gizli ısıya sahip olmalıdır.
- Yüksek termal iletkenliğe sahip olmalıdır.

Çalışma akışkanının en önemli özelliği, yüksek yüzey gerilimidir. Çalışma sıvısının seçimi ayrıca, meydana gelen ısı akışındaki çeşitli sınırlamalarla ilgili olan termodinamiksel kriterlere dayanmaktadır [20].

Çizelge 3.1’de bazı çalışma akışkanlarının özellikleri ve çalışma aralıkları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Isı borularında kullanılan akışkanlar [21]

Akışkan	Donma Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Çalışma Aralığı (°C)
Helyum	-272	-269	-271 / -269
Azot	-210	-196	-203 / -160
Amonyak	-78	-33	-60 / 100
Freon 11	-111	24	-40 / 120
Metanol	-98	64	10 / 130
Etanol	-112	78	0 / 130
Su	0	100	30 / 200
Civa	-39	361	250 / 650
Sezyum	29	670	450 / 900
Potasyum	62	774	500 / 1000
Sodyum	98	892	600 / 1200
Lityum	179	1340	1000 / 1800
Gümüş	960	2212	1800 / 2300

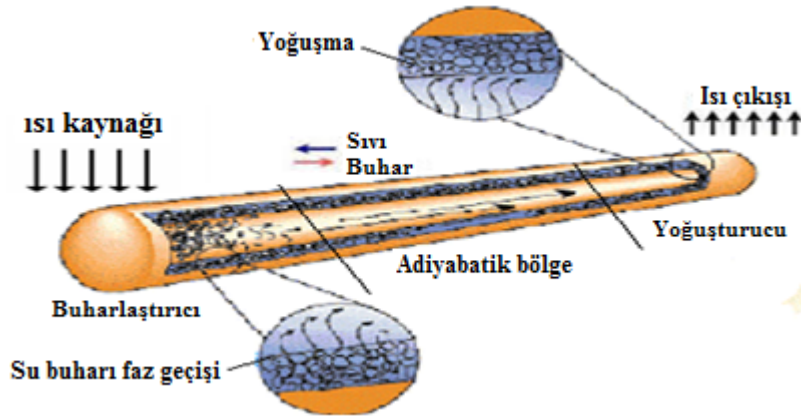
3.2. Isı Borusu Çeşitleri

Bu bölümde farklı tasarımları olan çeşitli ısı borusu tipleri ile ilgili bilgiler verilecektir.

3.2.1. Geleneksel ısı borusu

Havası alınmış kapalı bir sistem içerisinde buharlaştırıcı (evaporatör) ve yoğuşturucu (kondanser) kısımları bulunan, içerisindeki çalışma akışkanının buharlaştırıcıya yoğuşturucudan, kılcal kuvvet, kütle çekim kuvveti veya doğrudan etki eden diğer kuvvetler tarafından getirilmesiyle sıvı-buhar faz döngüsü hareketini gerçekleştiren ısı transfer cihazı olarak tanımlanır [22]. Geleneksel ısı borusu temel olarak, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi kılcal kuvvet tarafından tahrik edilen bir ısı borusu olarak adlandırılır. Geleneksel ısı borusu üç bölümden oluşur: buharlaştırıcı, adyabatik bölüm ve yoğuşturucu. Isı borusunun buharlaştırıcı kısmına ısı verildiğinde, ısı cidardan aktarılır ve sıvıya ulaşır. Buharlaştırıcı bölümündeki sıvı yeterince ısı enerjisi aldığı anda, sıvı buharlaşır. Buhar, termal enerjiyi

adyabatik bölüm boyunca, buharın sıvının içinde yoğunlaştığı ve gizli ısını serbest bıraktığı yoğunlaştırıcı bölüme taşır. Yoğuşma, yoğunlaştırıcıdan buharlaştırıcıya, sıvıya etki eden itici kuvvet tarafından geri pompalanır [23].



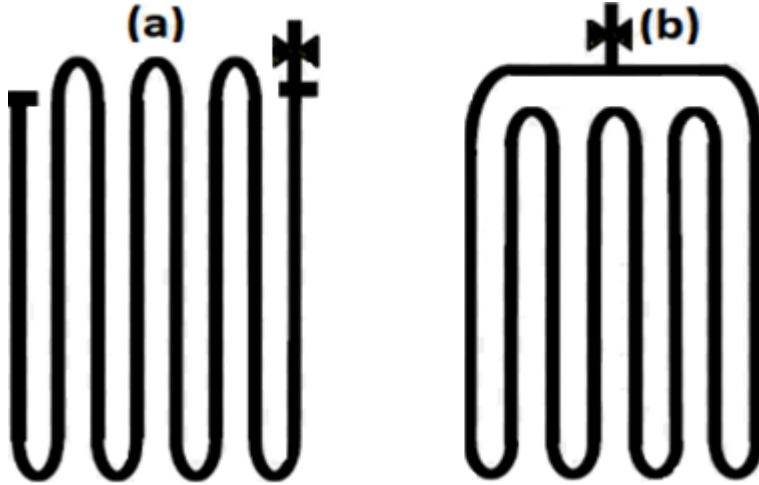
Şekil 3.1. Geleneksel ısı borusu

3.2.2. Termosifon tipi ısı borusu

Termosifon tipi ısı borusu, havası alınmış kapalı sistemlerde akışkanın yer çekimi etkisi ve sıcaklık farkı ile buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgesi arasında faz değiştirerek dolaşmasını sağlayan ısı transfer cihazlarıdır. Termosifon tipi ısı borularında fitil malzeme kullanılmamaktadır [24]. Yer çekimi etkisinden faydalanmak için yoğuşturucu kısmın yukarıda ısı girişinin yapıldığı buharlaştırıcı bölgesi alt tarafta konumlanmalıdır. Çalışma akışkanın şarj miktarı optimum olmalıdır aksi durumda yüzeyi iyi ıslatamaz, kuruma meydana gelir ve istenilen oranda ısı transferi gerçekleşmez, şarj oranı fazla olur ise basınç gradyanı oluşmaz ve istenilen faz döngüsü ile akışkan hareketi gerçekleşmez [25].

3.2.3. Titreşimli ısı borusu

Titreşimli ısı borusu; kıvrımlı kılcal boru, buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve adiyabatik kısımlardan meydana gelir. Geleneksel ısı borusundan farklı olarak buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgesi arasındaki hareketi sağlayan fitil malzeme yoktur. Buharlaştırıcıdan, yoğuşturucuya ısı geçişi, akışkanın boru içindeki faz dönüşümü esnasında oluşan basınç dalgası ve titreşim sayesinde gerçekleşir. Akış kılcallık etkisi sayesinde gerçekleştiği için seçilecek borunun iç çap ölçüsü önem kazanmaktadır. Şekil 3.2’de gösterilen titreşimli ısı borusu literatürde 2 farklı şekilde tanımlanır [26].



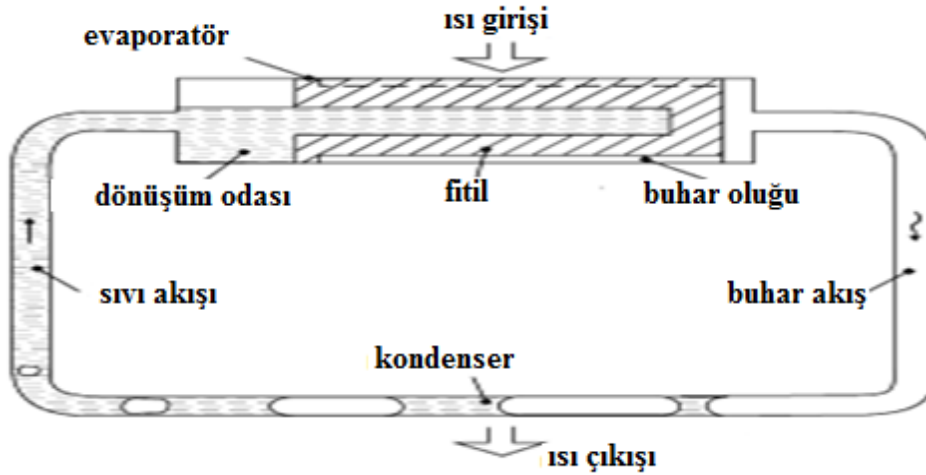
Şekil 3.2. (a) Kapalı uçlu titreşimli ısı borusu (b) Kapalı uçlu döngülü titreşimli ısı borusu [26].

3.2.4. Minyatür ısı borusu

Minyatür tip ısı boruları genellikle bilgisayar işlemcisi gibi elektronik cihaz parçalarının soğutulmasında kullanılmaktadır. Bu sebeple boyutları geleneksel ısı borularından daha küçük ölçülerde tasarlanmıştır. Çalışma prensibi konveksiyonel ısı borularındaki gibidir. Buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve fitil malzemedan meydana gelmektedir [27].

3.2.5. Döngülü ısı borusu

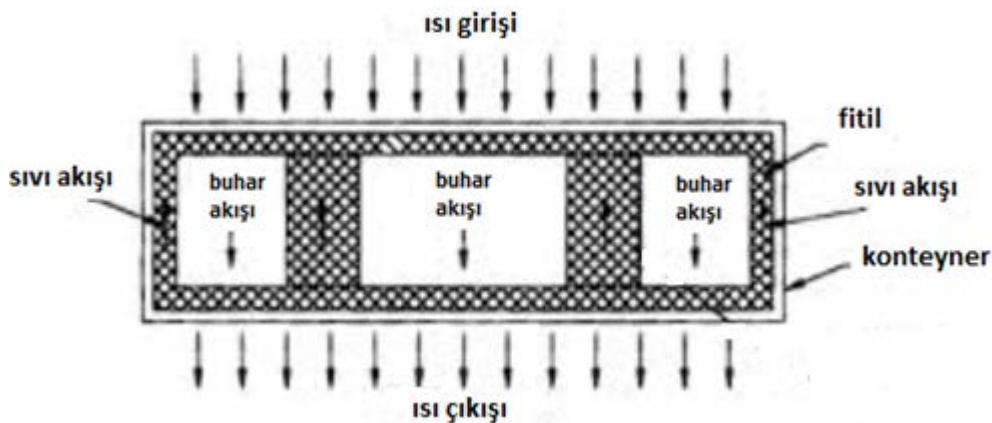
Döngülü ısı borusu geleneksel ısı borusuna benzer şekilde iki fazda çalışan, ısı taşıma cihazıdır. Geleneksel ısı borusundan farklı olarak cihazın ısı iletkenliğini arttırmak için döngülü ısı borusuna ikincil bir fitil malzeme ve ara oda eklenmiştir. Yoğuşturucudan çekilen sıvı ikinci fitil üzerinden aradaki borudan yoğuşturucuya kadar aktarıl原因 olarak ara odada birikir. Birinci fitil akışkanı ara odadan buharlaştırıcıya taşır. İkinci fitil yoğuşturucuya akışkanın sıvı fazda taşınımını sağlar. Ara oda ikinci bir yoğuşturucu olarak değerlendirilebilir [28].



Şekil 3.3. Döngülü ısı borusu [28]

3.2.5. Yassı plaka ısı borusu

Yassı plaka ısı boruları, iki düz levhayı paralel düzlemlerde birbirine birleştirerek kenarları levhaların yüzeyine normal olarak hizalanacak şekilde üretilir. Plakaların birbirlerine bakan yüzeyleri birbirine dik açılı kılcal oluklara sahiptir; yani, bir plakadaki kılcal oluklar, karşıt plakadaki olukların dik açılarıdır, böylece çalışma sıvısı her yöne akabilir. Levhadan plakaya akışkan akışı ve levhanın tüm kısımlarına bir buhar yolu sağlamak için her iki levhanın yüzeyindeki her oluğu kesecek şekilde plakalar arasına metal fitil yerleştirilir. Çalışma sıvısı, düz oluklu paneller arasına kapatılır, ısının çıkarıldığı noktalarda yoğunlaşır ve ısının uygulandığı yerlerde buharlaşır [29]. Şekil 3.4'te yassı plaka ısı borusunun kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 3.4. Yassı plaka ısı borusu [30]

3.3. Isı Borusunun Avantajları

- Isı borusu kapalı bir faz çevriminde çalıştığından, etkin termal iletkenlik çok yüksektir. Bu nedenle, evaporatör ve kondenser bölümleri arasında çok küçük bir sıcaklık farkı ile büyük miktarda ısı taşıyabilir.
- Isı borusunu sakın, gürültüsüz, bakım gerektirmeyen ve son derece güvenilir olması için ısıyı herhangi bir hareketli parça olmadan aktarabilir.
- Küçük boyutu ve ağırlığı nedeniyle, elektronik cihazların soğutulmasında kullanılabilir.
- Her iki gaz tarafında da genişletilmiş yüzeyler kullanılabilir.
- Konstrüksiyonel olarak basittir.
- Son derece iyi esnekliğe sahiptir.
- Son derece düşük sıcaklık düşümüyle önemli mesafeye yüksek miktarda ısı transfer kabiliyetine sahiptir.
- Kontrol edilebilirliği iyidir.
- Dış pompa gücü gerektirmez [31].

4. MATERİYAL VE METOD

Bu çalışmada ısı borusunun başta eğim açısı, şarj oranı ve kütleli debi olmak üzere farklı parametreler altındaki performansı incelenmiştir. Buharlaştırıcı bölgesi, yoğunlaştırıcı bölgesi ve adyabatik bölgesinden oluşan ısı borusu üzerinden alınan anlık sıcaklık değerlerinin ölçümü bilgisayar ortamına aktarılıp, sayısal analizi yapılarak, ısı borusunun farklı çalışma şartlarından hangisinde daha verimli ve etkin olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada termosifon tipi ısı borusunda 30°C ve 200°C'luk ortalama çalışma sıcaklık aralığında kullanılabilecek ve temini kolay olan saf su ile çalışılmıştır. Isı borusunda su ile uyumlu olan bakır boru kullanılmıştır.

4.1. Deney Prosedürü

Isı borusu üzerinde farklı noktalardan alınan sıcaklık değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deneyler 90°, 75° ve 60°'lik 3 farklı eğim açısı, 5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s'lik üç farklı kütleli debi, 200 W, 300 W ve 400 W'lık üç farklı güç girişi ve 17,68 ml, 35,36 ml ve 44,2 ml üç farklı saf su şarj oranı ile yapılmıştır. 20 dakikalık periyotlarla deneyler tamamlanmış ve değerler data logger aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

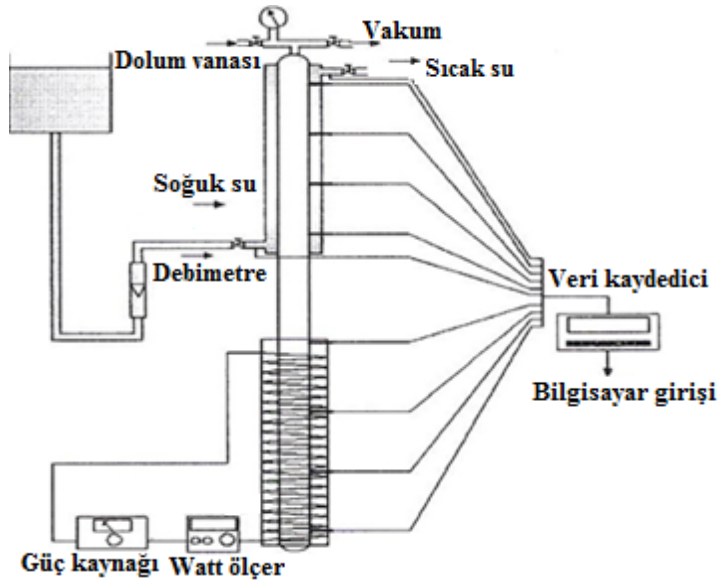
4.2. Deneysel Materyal

Sistem; buharlaştırıcı bölge, adyabatik bölge ve yoğunlaştırıcı bölgesinden oluşmaktadır. Deney düzeneğinde istenilen bölgelerin anlık sıcaklık değerlerinin ölçümü için on adet ısı çifti, soğutucunun akış hızını kontrol etmek ve ayarlamak için bir adet debimetre, eğim açısını belirlemek için bir adet eğim ölçer, vakum işlemini gözlemleyebilmek için bir adet manometre, akışkanın doldurulması için doldurma vanası ve güç kaynağı bulunmaktadır. Veri toplamak için bir adet bilgisayar, bir adet data logger (veri kaydedici) kullanılmıştır. Isı borusunun deney düzeneğinin görünümü Resim 4.2.1 de şematik gösterimi Şekil 4.1 ve ısı çifti yerleşimi Şekil 4.2 de verilmiştir. İç çapı 13 mm, dış çapı 15 mm ve uzunluğu 1 m olan düz bir bakır borunun 400 mm buharlaştırıcı, 200 mm adyabatik kısım ve 400 mm yoğunlaştırıcı kısımları mevcuttur. Kullanılan ısı borusunun fiziksel özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Buharlaştırıcı bölgesi, Ni-Cr telden oluşan, 1500 W nominal gücünde yalıtılmış bir elektrikli ısıtıcı kullanılarak ısıtılmıştır. Giriş gücü bir adet wattmetre (Fluke-43b analizörü) kullanılarak ölçülmüş ve izlenmiştir. Güç, watt cinsinden deneysel olarak

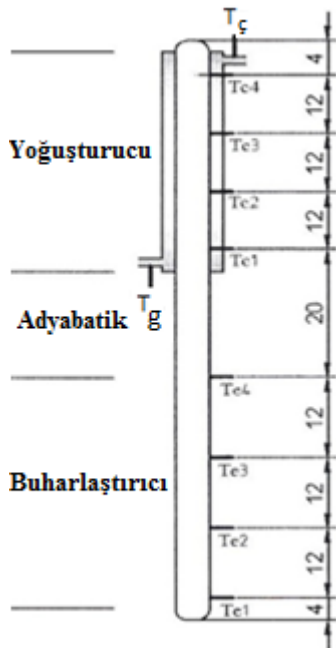
ölçülmüştür. Sistemden ısı kaybını önlemek için ısı borusunun tüm bölümleri cam yünü kullanılarak izole edilmiştir. Sıcaklığın dağılımını izlemek için kullanılan on adet k tipi termokupldan dördü buharlaştırıcıya monte edilmiştir ve dördü de yoğunlaştırıcı bölüme yerleştirilmiştir, geri kalan ikisi soğutucunun sıcaklık değişimini izlemek için soğutucunun girişine ve çıkışına yerleştirilmiştir. Termokuplların kayıtları E-680, Elimko marka veri kaydedici ile izlenmiş ve alınan değerler bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Resim 4.1. Isı borusunun deney düzeneği görünümü



Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi



Şekil 4.2. Isı borusunda ısı çift yerleşimi

Çizelge 4.1. Kullanılan ısı borusunun fiziksel özellikleri

Isı Borusunun Ana Malzemesi	Bakır
Isı Borusu Uzunluğu	100cm
Evaporatör Uzunluğu	40cm
Kondenser Uzunluğu	40cm
Adyabatik Bölge Uzunluğu	20cm
Isı Borusunun Dış Çapı	15mm

4.3. Teorik ve Sayısal Analiz

Katı bir malzemede sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye doğru ısıнын geçmesine ısı iletimi denir. Katı bir madde içinde sıcaklık farkları oluşmuş ise yüksek sıcaklık bölgesinden düşük sıcaklık bölgesine ısı, iletim yolu ile geçer.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler yardımıyla farklı debi, farklı şarj miktarı, farklı güç girişi ve farklı eğim ayarlarının ısı iletkenlik, ısı direnç ve verime etkileri aşağıdaki eşitliklerle bulunmuştur.

Verim: Isı borularında verim yoğuşturucu tarafında suya aktarılan ısıнын buharlaştırıcı tarafında çekilen ısıya oranı ile eşitlik 4.1'e göre hesaplanır.

$$\eta = [(T_{sç} - T_{sg}) * \dot{m} * C_p] / \dot{Q}_x \quad (4.1)$$

İletkenlik: Buharlaştırıcı tarafında çekilen ısıнын, boru kesit alanı boyunca buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgeleri arasındaki sıcaklık farkına oranı ile eşitlik 4.2'ye göre hesaplanır.

$$K = \dot{Q}_x / (\Delta T * KA) \quad (4.2)$$

Direnç: Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgeleri arasındaki sıcaklık farkının buharlaştırıcı tarafında çekilen ısıya oranı ile eşitlik 4.3'e göre hesaplanır.

$$R = \Delta T / \dot{Q}_x \quad (4.3)$$

4.4. Belirsizlik Analizi

Deney çalışmalarda kullanılan cihazlardan kaynaklı belirsizlikler için belirsizlik analizi yapılmıştır. Cihazın belirlenmesi, kullanılan cihazların kalibrasyonu, deneyin yapıldığı şartlar, verilerin okunması ve ölçüm cihazlarının bağlantı noktaları gibi deney sonuçlarını etkileyen hata ve belirsizliklere sebep olacak çeşitli parametreler vardır. Bağımsız değişkenlerdeki belirsizliklerin hepsinin aynı oranda verilmesi durumunda, sonuçlardaki belirsizlik de aynı oranda olacaktır. Deneysel sonuçların belirsizliği, deneysel parametrelerdeki sapmalara göre belirlenmiştir. Deneyler üç kez tekrarlanmış ve her bir testteki sıcaklıkların ortalaması kullanılmıştır. Sıcaklık ölçmede k-tip termokupl kullanılmıştır. Termal iletkenlikteki belirsizlik eşitlik 4.1'deki en küçük kareler yöntemi ile hesaplanır.

$$W_s = \left[\left(\frac{\partial S}{\partial S_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial S_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial S}{\partial S_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

S ölçülmesi gereken büyüklük, bu büyüklüğü etkileyen bağımsız değişken ise $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ şeklindedir. Her bir bağımsız değişkenin hata oranı, $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ olarak ifade edilir. S büyüklüğünün toplam belirsizliği ise W_s olarak ifade edilmektedir.

Isı borusunda yapılan deneyler boyunca değişkenler ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümlerinin toplam belirsizliği, kullanılan termokuplların hassasiyeti, ölçüm problemlerinin bağlantı noktaları ve ölçüm cihazından okunan sonuçlardaki hatalardan kaynaklanmaktadır. Sıcaklık ölçümlerinin belirsizliği eşitlik 4.2 ile hesaplanır.

$$W_T = [(W_{\text{termokupl}})^2 + (W_{\text{bağlantı nok.}})^2 + (W_{\text{okuma}})^2]^{1/2} \quad (4.2)$$

$$W_T = [(0.5)^2 + (1)^2 + (0.5)^2]^{1/2} = 1.225$$

Akış hızını ölçmek için kullanılan debimetrenin belirsizliği ise, debimetreden ve okuma hatasından kaynaklanmaktadır. Debimetrenin belirsizliği eşitlik 4.3 ile hesaplanır.

$$W_m = [(W_{\text{debimetre}})^2 + (W_{\text{okuma}})^2]^{1/2} \quad (4.3)$$

$$W_m = [(0.01)^2 + (0.01)^2]^{1/2} = 0.01414$$

Elektrikli ısıtıcının belirsizliğinin hesaplanmasında wattmetre ve bu cihazdan okunan sayısal değer büyükliği göz önünde bulundurulur ve eşitlik 4.4 ile hesaplanır.

$$W_m = [(W_{\text{wattmetre}})^2 + (W_{\text{okuma}})^2]^{1/2} \quad (4.4)$$

$$W_m = [(1)^2 + (1)^2]^{1/2} = 1.415$$

Ölçülen değişkenlerin belirsizlik analizleri sonucu hesaplanan belirsizliklerin tolere edilebilir aralıklarda olduğu görülmektedir. Ölçüm cihazlarının teknik bilgileri, cihazların toplam belirsizlikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Cihazların özellikleri, hassasiyetleri ve toplam belirsizlikler

Cihaz	Teknik Özellikler	Hassasiyet	Toplam Belirsizlik
Termokupl (Data logger,Elimko E-680 model)	K tipi; ölçüm aralığı -200°C - + 1200°C	± % 0.5 °C	± % 1.225 °C
Debimetre	Ölçüm aralığı 0-10 g/s	± 0.01 g/s	± 0.01414 g/s
Wattmetre	Fluke-43b analyzer	± 1 W	± 1.415 W

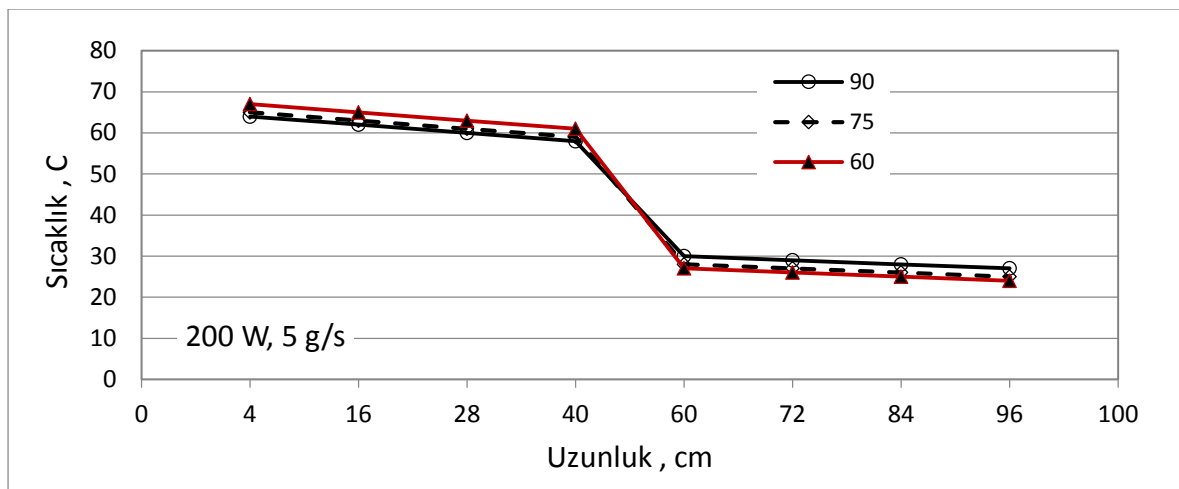
5. DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. 44,2 ml Saf Su Şarj Oranında Yapılan Deneyler

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle ve 5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen veriler Çizelge 5.1 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. 200 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

200 W			
5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	64	65	67
16	62	63	65
28	60	61	63
40	58	59	61
60	30	28	27
72	29	27	26
84	28	26	25
96	27	25	24
100			
S _g	20	20	20
S _ç	29,5	28	27



Şekil 5.1 200 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri

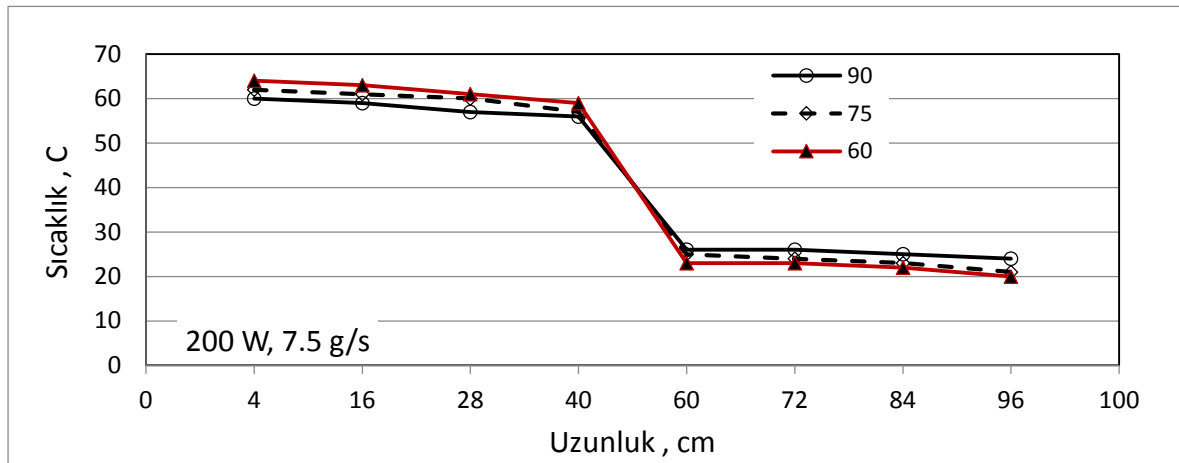
Şekil 5.1’e göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür.

Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 3 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 3 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle ve 7,5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.2 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.2. 200 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

200 W			
7,5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	60	62	64
16	59	61	63
28	57	60	61
40	56	57	59
60	26	25	23
72	26	24	23
84	25	23	22
96	24	21	20
100			
S _g	20	20	20
S _ç	26	25	24



Şekil 5.2. 200 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri

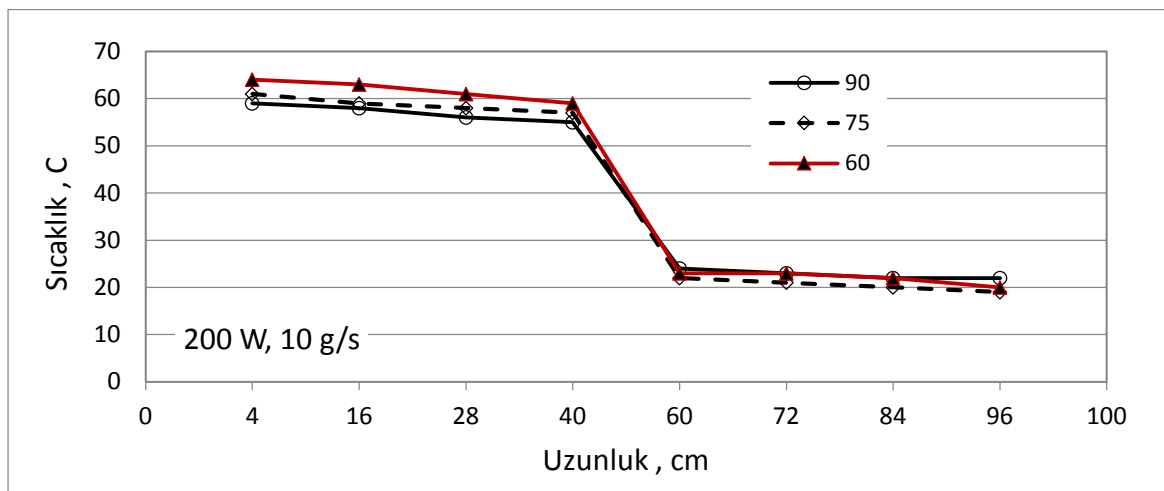
Şekil 5.2'ye göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına

göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60° , en düşük sıcaklık 90° 'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90° , en düşük sıcaklık 60° 'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60° 'de 90° 'den 3-4 $^\circ\text{C}$ fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90° 'de 60° 'den 3-4 $^\circ\text{C}$ fazla olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle ve 10 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90° , 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.3 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi şekil 5.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.3. 200 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

200 W			
10 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	59	61	63
16	58	59	61
28	56	58	59
40	55	57	58
60	24	22	21
72	23	21	20
84	22	20	19
96	22	19	18
100			
Sg	20	20	19,5
Sç	24	23	22



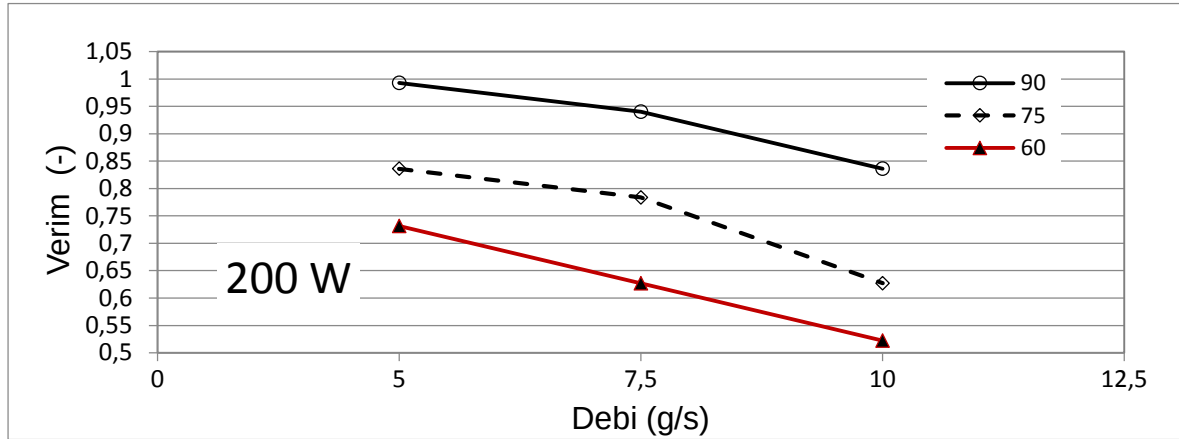
Şekil 5.3. 200 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.3'e göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğunlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 3-4 °C fazla olurken, yoğunlaştırıcı bölgesinde 90°'de 60°'den 3-4 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen verimler Çizelge 5.4 ve grafik değerleri Şekil 5.4'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.4. 200 W için verim değerleri

	200 W		
	η		
m	90°	75°	60°
5	0,992	0,836	0,7315
7,5	0,9405	0,78375	0,627
10	0,836	0,627	0,5225



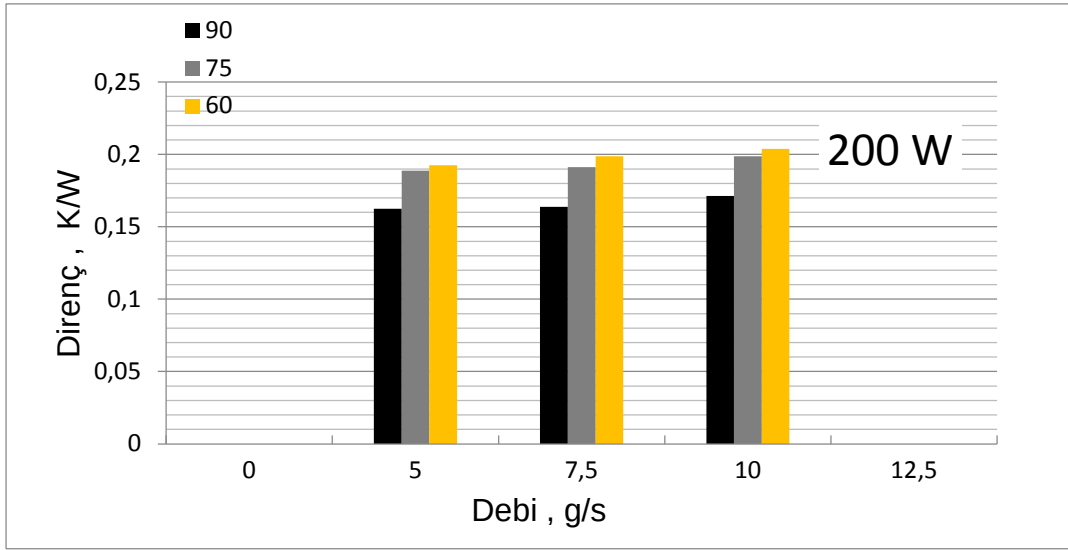
Şekil 5.4. 200 W için verim değerleri

Görüldüğü gibi kütleli debi arttıkça verim düşmektedir. Bunun sebebi ısı borusunun yüksek debilerde ısıyı tam olarak atamamasıdır. Eğim açısının düşmesi de verimi düşürmüştür.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90° ve 75° 60° eğim açılarında elde edilen direnç değerleri Çizelge 5.5 ve grafik değerleri Şekil 5.5'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.5. 200 W için direnç değerleri

	200 W		
	R		
m	90°	75°	60°
5	0,1625	0,1775	0,1925
7,5	0,16375	0,18375	0,19875
10	0,17125	0,19125	0,20375



Şekil 5.5. 200 W için direnç değerleri

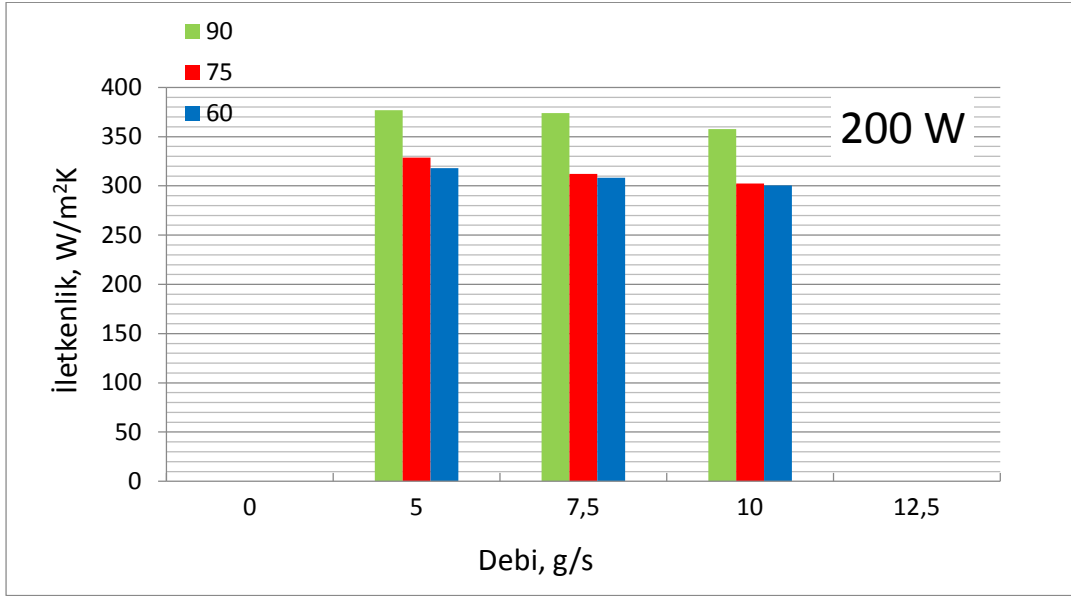
Görüldüğü gibi eğim açısının düşmesi direnci arttırmıştır. Kütlesel debinin artmasının da direnç değerini arttırdığı grafikte görülmektedir.

200 W ısıtıcı gücünde, 44,2 ml şarj oranında ve 3 farklı kütlesel debide; 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 75° açıyla ölçülen değerlere göre 1-3 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 1-3 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 60° açıyla ölçülen değerlere göre 3-4 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 3-4 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğim değerleri artıkça buharlaştırıcı bölgesi ile yoğuşturucu bölgesindeki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. 90° eğim açısında buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgeleri arasındaki sıcaklık farkındaki azalma ısı direncin düşmesine sebep olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 5.6 ve grafik değerleri Şekil 5.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.6. 200 W için iletkenlik değerleri

	200 W		
	K		
m	90°	75°	60°
5	376,8892	345,0394	318,153184
7,5	374,0121	333,3033	308,148367
10	357,632	320,2326	300,586444



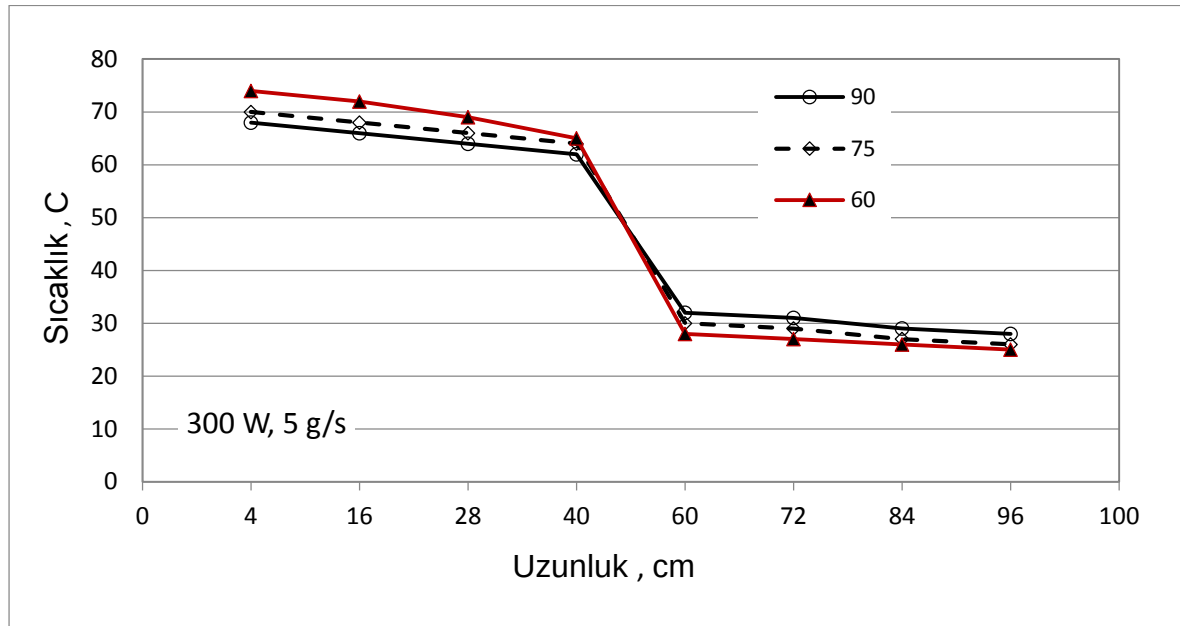
Şekil 5.6. 200 W için iletkenlik değerleri

Eğim açısı düştükçe iletkenlik değeri azalmaktadır. Kütlesel debinin artmasıyla da iletkenliğin azaldığı grafikte görülmektedir.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle ve 5 g/s kütlesel debiyle yapılan deneylerde 90° 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen veriler Çizelge 5.7 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.7. 300 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

300 W			
5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	68	70	74
16	66	68	72
28	64	66	69
40	62	64	65
60	32	30	28
72	31	29	27
84	29	27	26
96	28	26	25
100			
S _g	19	19	19
S _ç	33	32	31



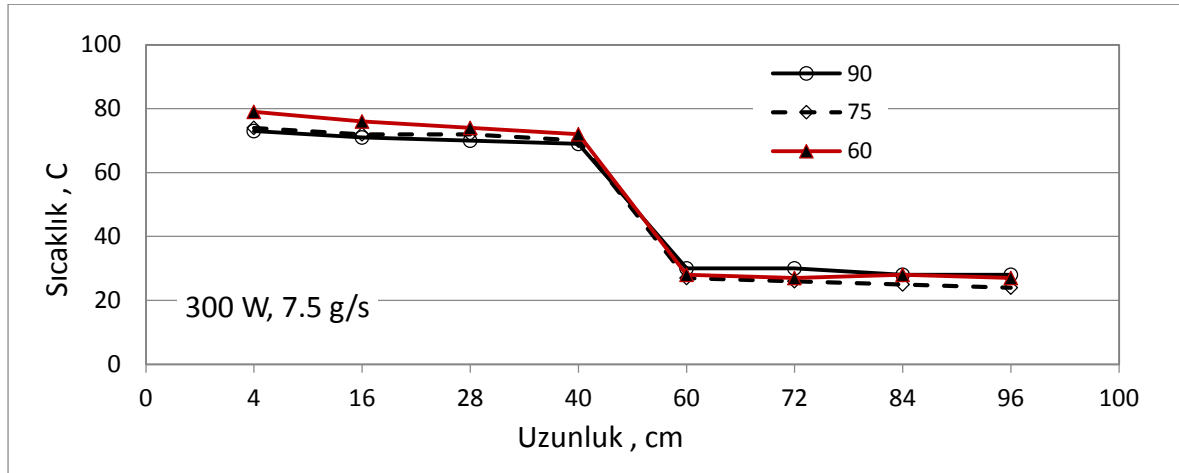
Şekil 5.7. 300 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.7'ye göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık farkları, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 3-6 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 3-4 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle ve 7,5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.8 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.8. 300 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

300 W			
7,5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	66	67	72
16	63	66	68
28	62	64	65
40	60	63	64
60	29	26	25
72	28	25	24
84	27	24	23
96	26	24	22
100			
S _g	19	19	19
S _ç	27	26	25



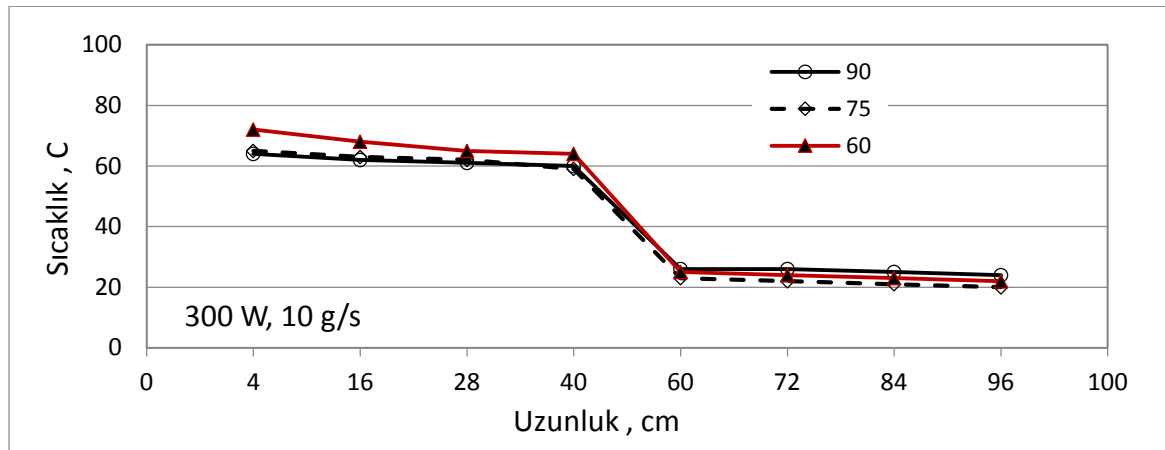
Şekil 5.8. 300 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.8’e göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°’de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık farkları, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 3-6 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°’de 60°’den 4 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle ve 10 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.9 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.9’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.9. 300 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

300 W			
10 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	64	65	71
16	62	63	70
28	61	62	68
40	60	61	66
60	26	23	22
72	26	22	21
84	25	21	20
96	24	20	19
100			
Sg	20	19	20
Sç	25	23,5	24



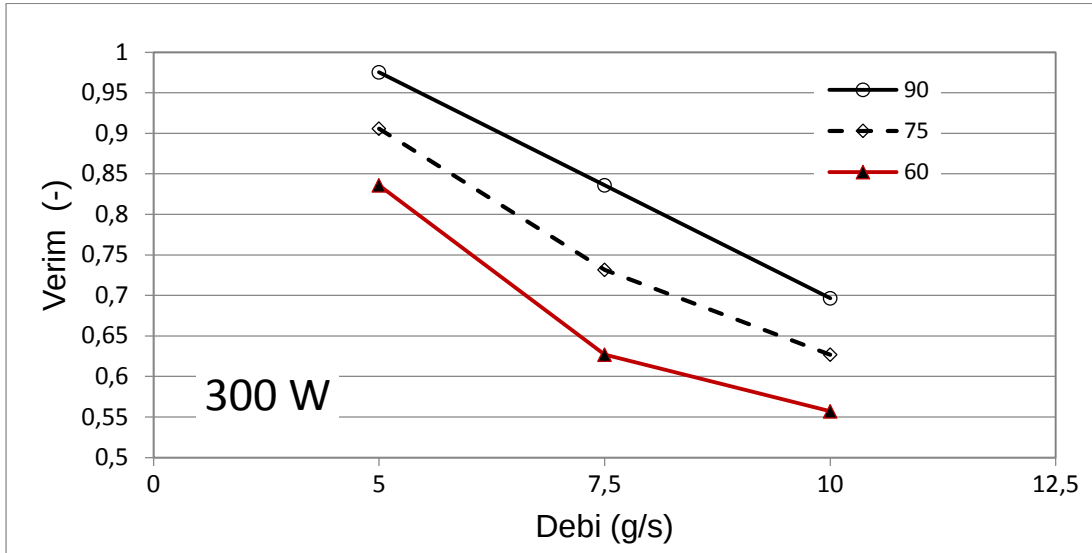
Şekil 5.9. 300 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.9’a göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°’de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık farkları, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 6-8 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°’de 60°’den 4-5 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90° 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen verimler Çizelge 5.10 ve grafik değerleri Şekil 5.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.10. 300 W için verim değerleri

	300 W		
	η		
m	90°	75°	60°
5	0,97533	0,90567	0,836
7,5	0,836	0,7315	0,627
10	0,69667	0,627	0,55733



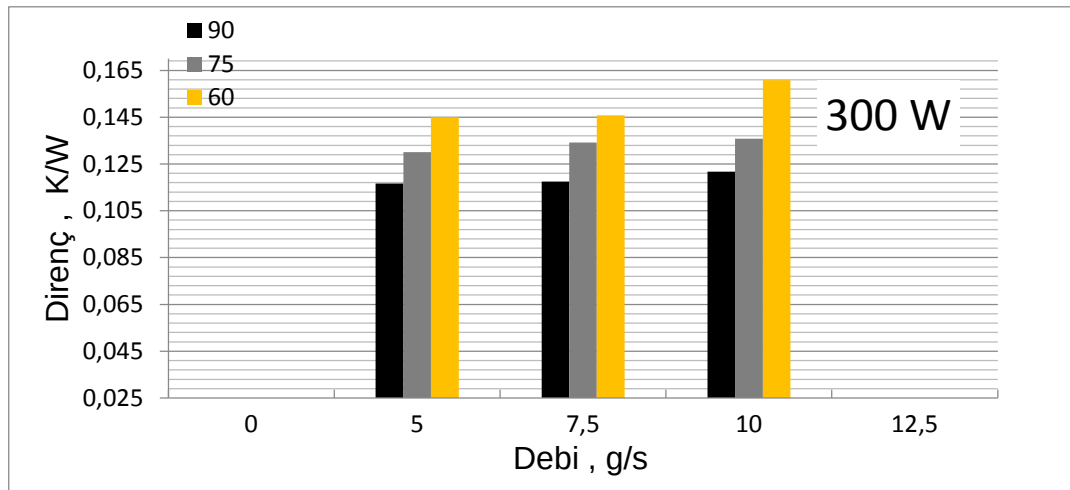
Şekil 5.10. 300 W için verim değerleri

Görüldüğü gibi kütleli debi arttıkça verim düşmektedir. Bunun sebebi ısı borusunun yüksek debilerde ısıyı tam olarak atamamasıdır. Eğim açısının düşmesi de verimi düşürmüştür.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen direnç değerleri Çizelge 5.11 ve grafik değerleri Şekil 5.11'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.11. 300 W için direnç değerleri

	300 W		
	R		
m	90°	75°	60°
5	0,116667	0,13	0,145
7,5	0,1175	0,134167	0,14583333
10	0,121667	0,1375	0,16083333



Şekil 5.11. 300 W için direnç değerleri

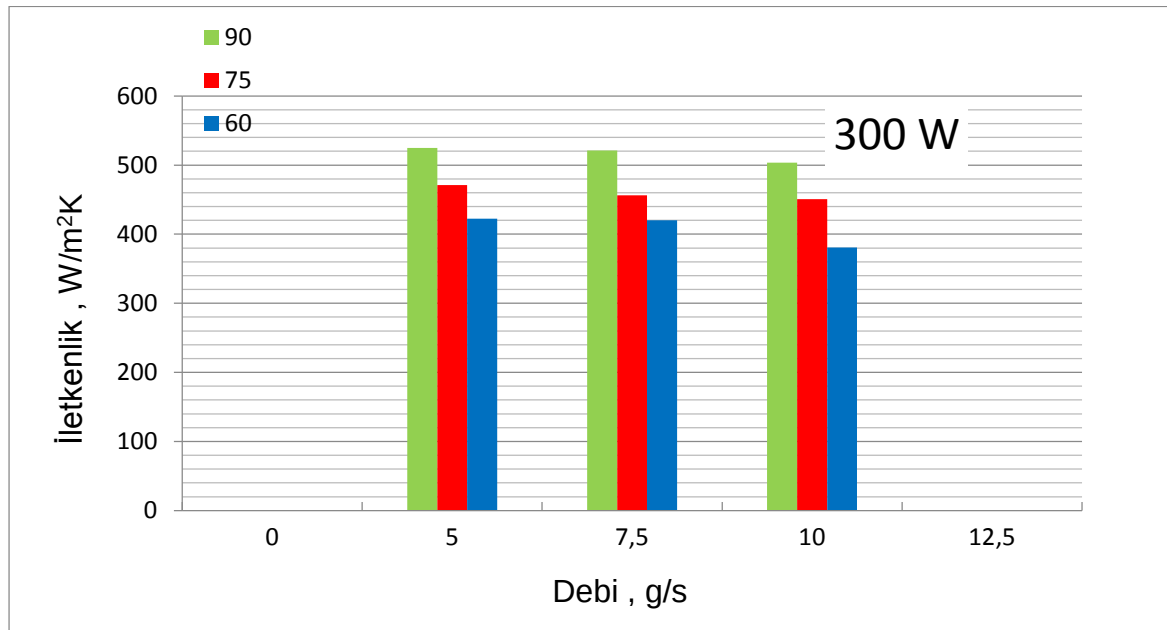
Görüldüğü gibi eğim açısının düşmesi direnci arttırmıştır. Kütlesel debinin artmasının da direnç değerini arttırdığı grafikte görülmektedir.

300 W ısıtıcı gücünde, 44,2 ml şarj oranında ve 3 farklı kütlesel debide; 90° derece açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 75° derece açıyla ölçülen değerlere göre 1-3 °C daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise 2-4 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 60° açıyla ölçülen değerlere göre 3-8 °C daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise 3-5 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğim değerleri arttıkça buharlaştırıcı bölgesi ile yoğunlaştırıcı bölgesindeki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. 90° eğim açısında buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı bölgeleri arasındaki sıcaklık farkındaki azalma ısı direncin düşmesine sebep olmuştur. Isıtıcı gücündeki artış ısı direncindeki düşüş oranını arttırmıştır.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90° 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 5.12 ve grafik değerleri Şekil 5.12’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.12. 300 W için iletkenlik değerleri

	300 W		
	K		
m	90°	75°	60°
5	524,9528	471,1114	422,375779
7,5	521,2297	456,4807	419,962203
10	503,3794	445,414	380,794744



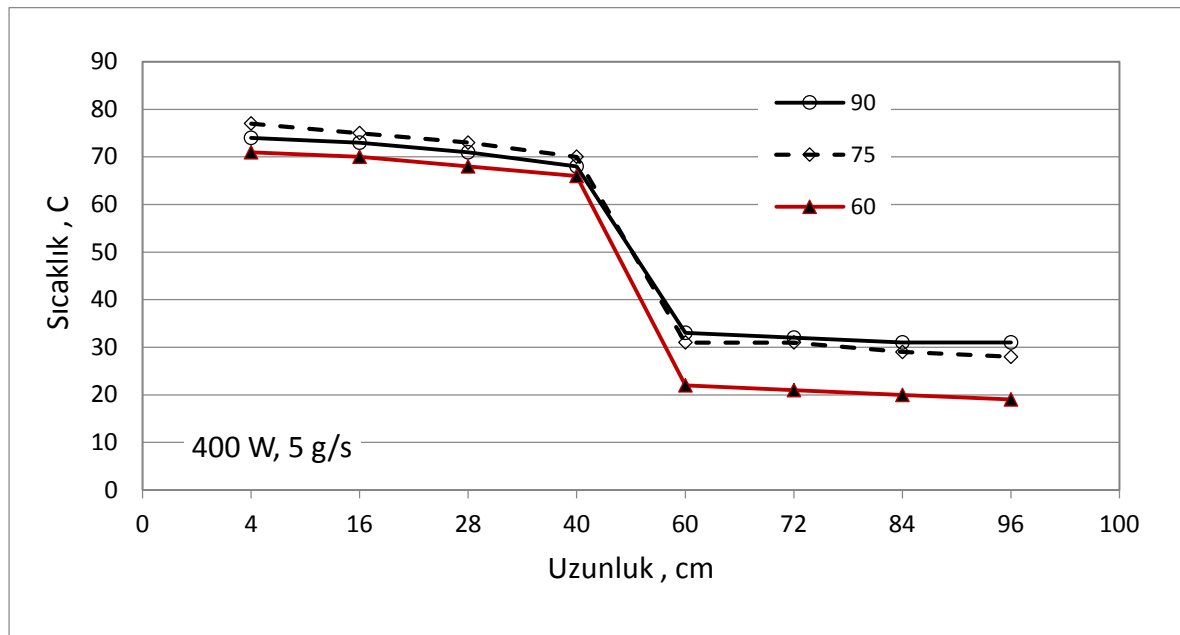
Şekil 5.12. 300 W için iletkenlik değerleri

Eğim açısı düştükçe iletkenlik değeri azalmaktadır. Kütlesel debinin artmasıyla da iletkenliğin azaldığı grafikte görülmektedir.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle ve 5 g/s kütlesel debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen veriler Çizelge 5.13 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.13’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.13. 400 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

400 W			
5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	74	77	79
16	73	75	76
28	71	73	74
40	68	70	72
60	33	31	28
72	32	31	27
84	31	29	28
96	31	28	27
100			
S _g	19	19	19
S _ç	36	35	34



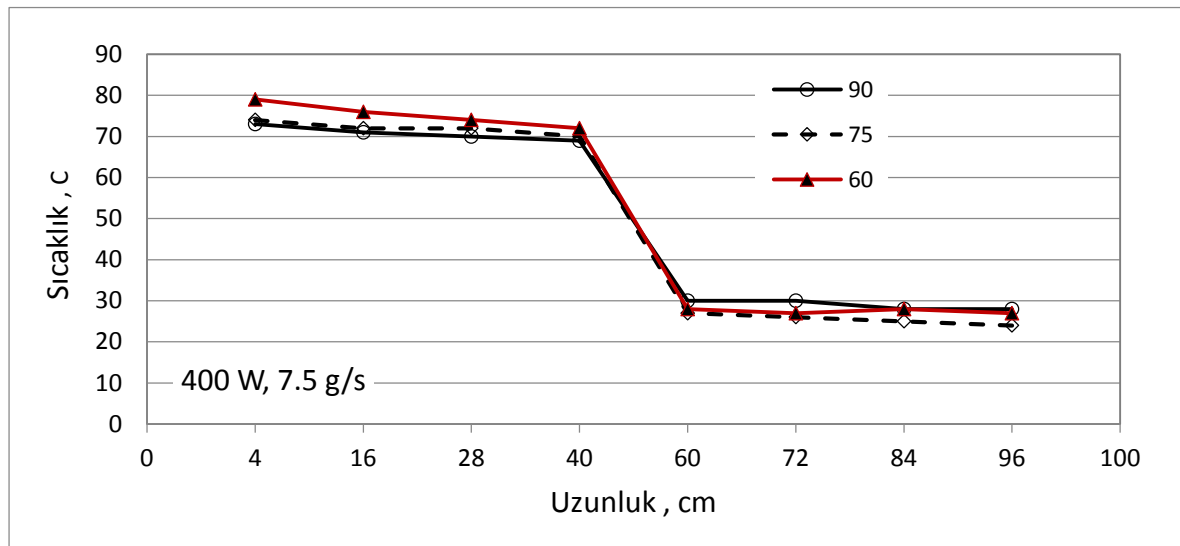
Şekil 5.13. 400 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.13'e göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık farkları, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 3-5 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde de 90°'de 60°'den 3-5 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle ve 7,5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.14 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.14’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.14. 400 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

400 W			
7,5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	73	74	76
16	71	72	75
28	70	72	74
40	69	70	73
60	30	27	25
72	30	26	24
84	28	25	23
96	28	24	22
100			
S _g	20	20	20
S _ç	31	30	29



Şekil 5.14. 400 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri

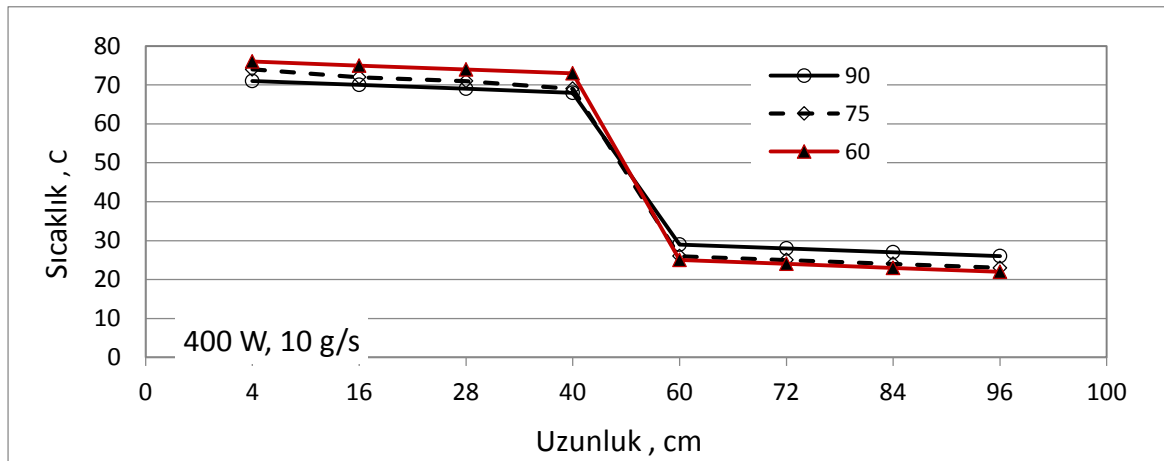
Şekil 5.14’e göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğunlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°’de gerçekleşmiştir. İki eğim

arasındaki sıcaklık farkları, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 3-4 °C fazla olurken, yoğunlaştırıcı bölgesinde 90°’de 60°’den 5-6 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle ve 10 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.15 ve Sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.15’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.15. 400 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

400 W			
10 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	71	74	75
16	70	72	73
28	69	71	71
40	68	69	70
60	29	26	24
72	28	25	23
84	27	24	22
96	26	23	21
100			
S _g	20	20	20
S _ç	27	26	25



Şekil 5.15. 400 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri

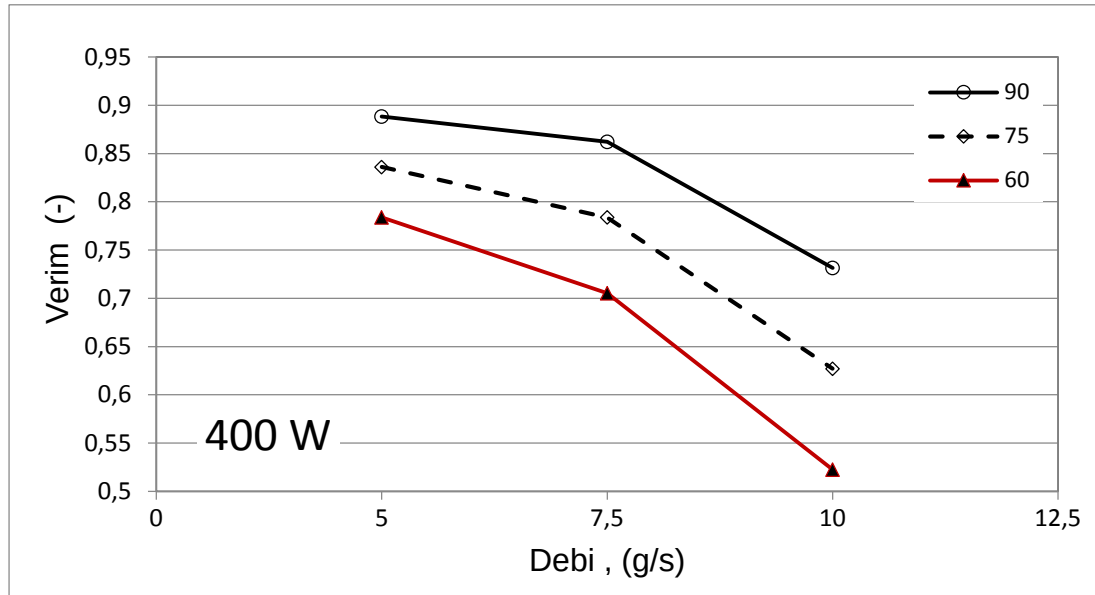
Şekil 5.15’e göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğunlaştırıcı

bölgesinde en yüksek sıcaklık 90° , en düşük sıcaklık 60° 'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık farkları, buharlaştırıcı bölgesinde 60° 'de 90° 'den $2-4^\circ\text{C}$ fazla olurken, yoğunlaştırıcı bölgesinde 90° 'de 60° 'den 5°C fazla olmuştur.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90° , 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen verimler Çizelge 5.16 ve grafik değerleri Şekil 5.16'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.16. 400 W için verim değerleri

	400 W		
	η		
$\dot{m}$	90°	75°	60°
5	0,88825	0,836	0,78375
7,5	0,862125	0,78375	0,705375
10	0,7315	0,627	0,5225



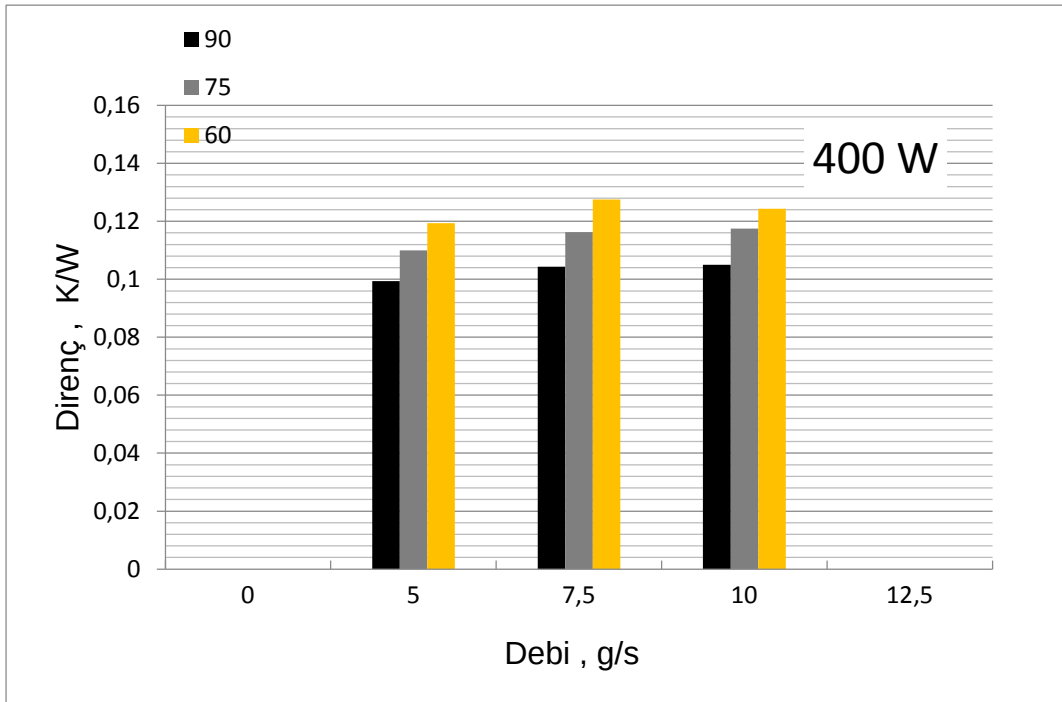
Şekil 5.16. 400 W için verim değerleri

Görüldüğü gibi kütleli debi arttıkça verim düşmektedir. Bunun sebebi ısı borusunun yüksek debilerde ısıyı tam olarak atamamasıdır. Eğim açısının düşmesi de verimi düşürmüştür.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90° , 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen direnç değerleri Çizelge 5.17 ve grafik değerleri Şekil 5.17'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.17. 400 W için direnç değerleri

	400 W		
	R		
m	90°	75°	60°
5	0,099375	0,11	0,119375
7,5	0,104375	0,11625	0,1275
10	0,105	0,1175	0,124375



Şekil 5.17. 400 W için direnç değerleri

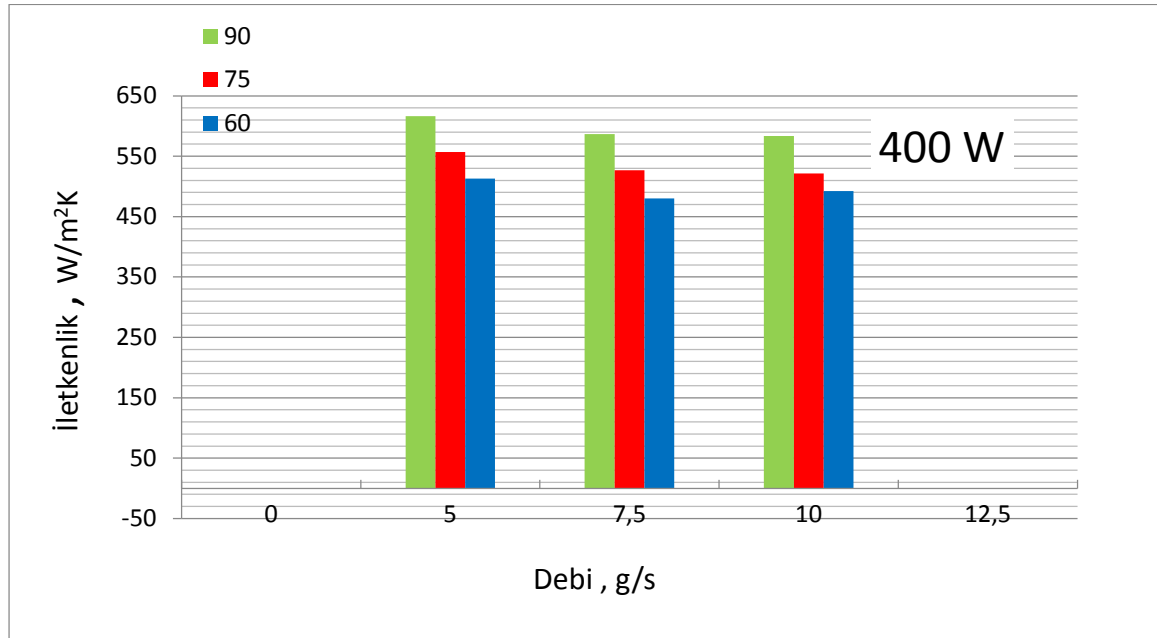
Görüldüğü gibi eğim açısının düşmesi direnci arttırmıştır. Kütleli debinin artmasının da direnç değerini arttırdığı grafikte görülmektedir.

400 W ısıtıcı gücünde, 44,2 ml şarj oranında ve 3 farklı kütleli debide; 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 75° açıyla ölçülen değerlere göre 1-3 °C daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise 1-4 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 60° açıyla ölçülen değerlere göre 2-5 °C daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise 3-6 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğim değerleri arttıkça buharlaştırıcı bölgesi ile yoğunlaştırıcı bölgesindeki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. 90° eğim açısında buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı bölgeleri arasındaki sıcaklık farkındaki azalma ısı direncin düşmesine sebep olmuştur. Isıtıcı gücündeki artış ısı direncindeki düşüş oranını arttırmıştır.

Isı borusunda 44,2 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 5.18 ve grafik değerleri Şekil 5.18’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.18. 400 W için iletkenlik değerleri

	400 W		
	K		
m	90°	75°	60°
5	616,2967	556,7681	513,04283
7,5	586,7735	526,8343	480,34893
10	583,2808	521,2297	492,41799



Şekil 5.18. 400 W için iletkenlik değerleri

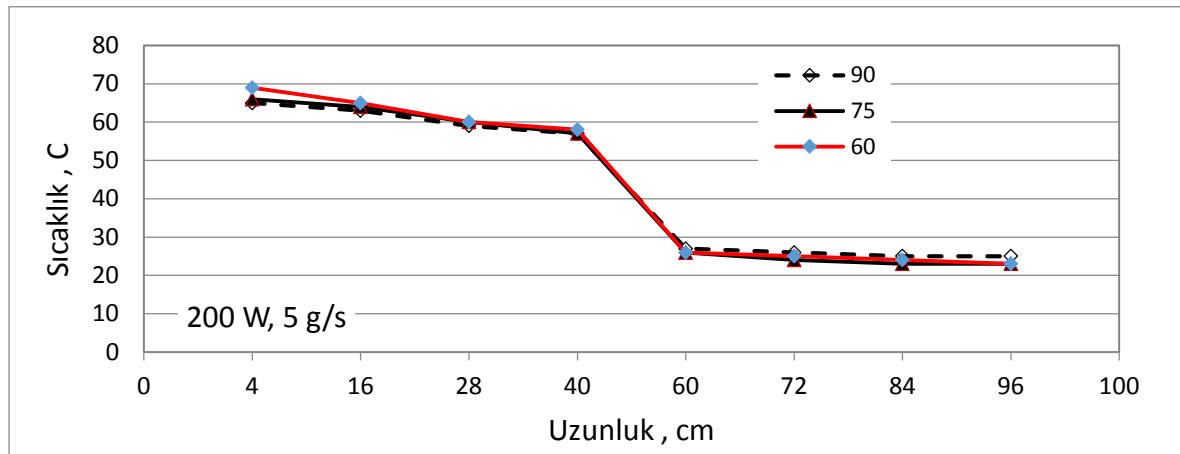
Eğim açısı düştükçe iletkenlik değeri azalmaktadır. Kütleli debinin artmasıyla da iletkenliğin azaldığı grafikte görülmektedir.

5.2. 35,36 ml Saf Su Şarj Oranında Yapılan Deneyler

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle ve 5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.19 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.19’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.19. 200 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

200 W			
5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	64	66	69
16	63	64	65
28	59	60	60
40	57	57	58
60	27	26	26
72	26	25	24
84	25	24	23
96	25	23	22
100			
S _g	18	17	17
S _ç	27	25	24



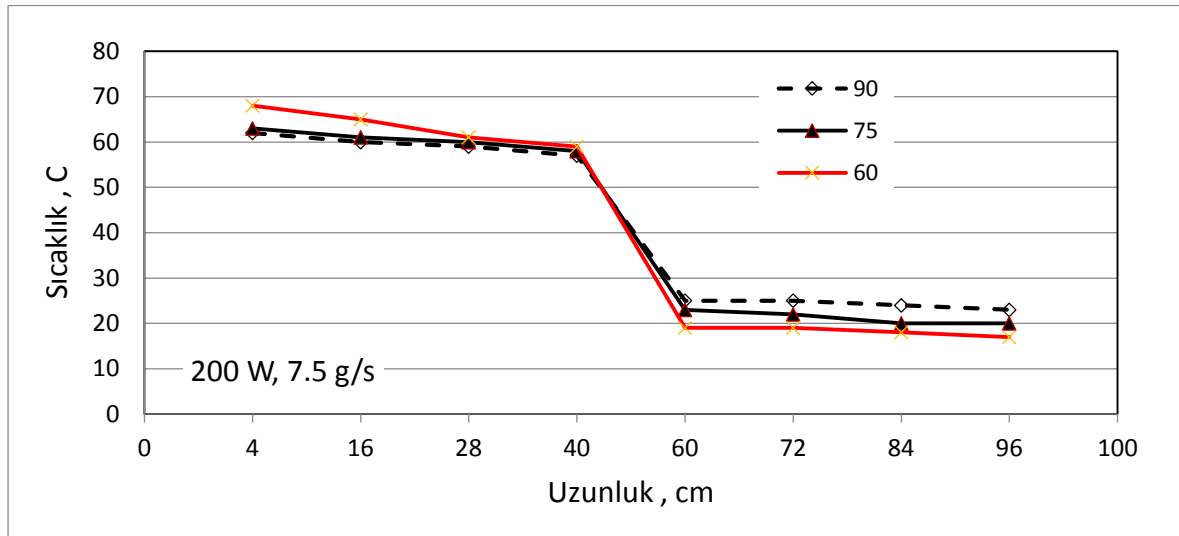
Şekil 5.19 200 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.19'a göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık farkları, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 1-5 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 1-3 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle ve 7,5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.20 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.20'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.20. 200 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

200 W			
7,5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	62	63	68
16	60	61	65
28	59	60	61
40	57	58	60
60	25	23	20
72	25	22	19
84	24	20	18
96	24	20	17
100			
S _g	18	18	18
S _ç	23	22,5	21



Şekil 5.20. 200 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri

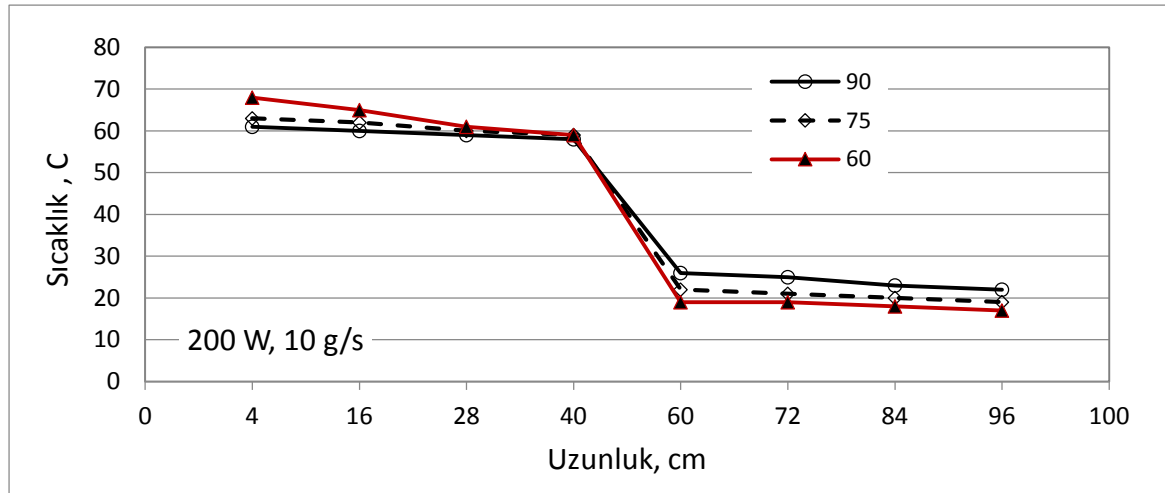
Şekil 5.20'ye göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğunlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık farkları, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 2-6 °C fazla olurken, yoğunlaştırıcı bölgesinde 90°'de 60°'den 6-7 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle ve 10 g/s kütleli debiyle

yapılan deneylerde 90° 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen veriler Çizelge 5.21 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.21’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.21. 200 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

200 W			
10 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	61	63	67
16	60	62	64
28	59	60	62
40	58	59	60
60	26	22	19
72	25	21	18
84	23	20	18
96	22	19	17
100			
S _g	19	19	17
S _ç	22,5	22	19



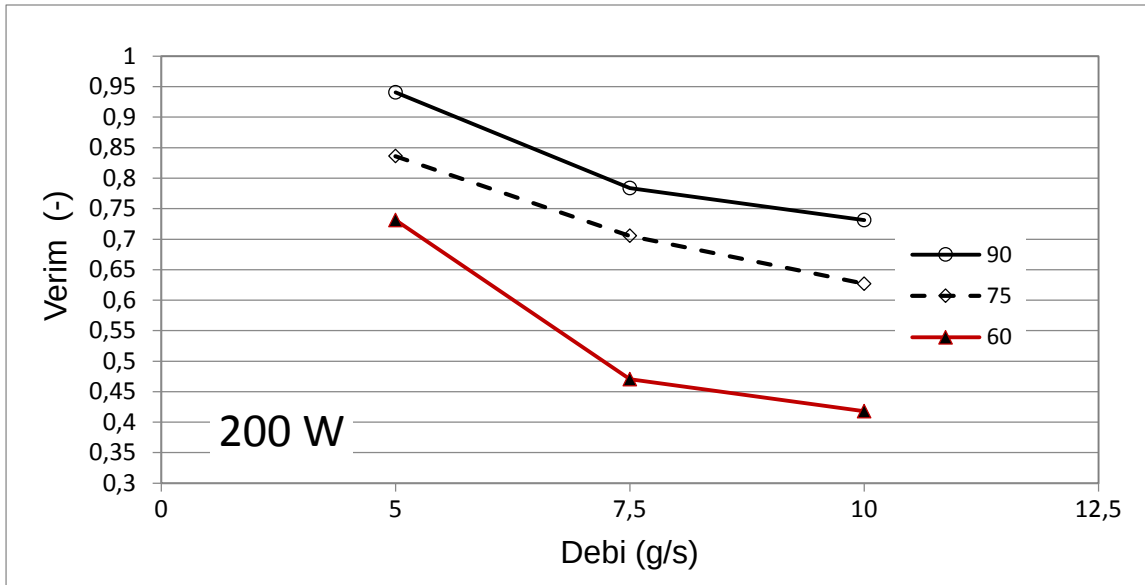
Şekil 5.21. 200 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.21’e göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°’de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 2-6 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°’de 60°’den 4-5 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen verimler Çizelge 5.22 ve grafik değerleri Şekil 5.22’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.22. 200 W için verim değerleri

	200 W		
	η		
m	90°	75°	60°
5	0,9405	0,836	0,7315
7,5	0,78375	0,705375	0,47025
10	0,7315	0,627	0,418



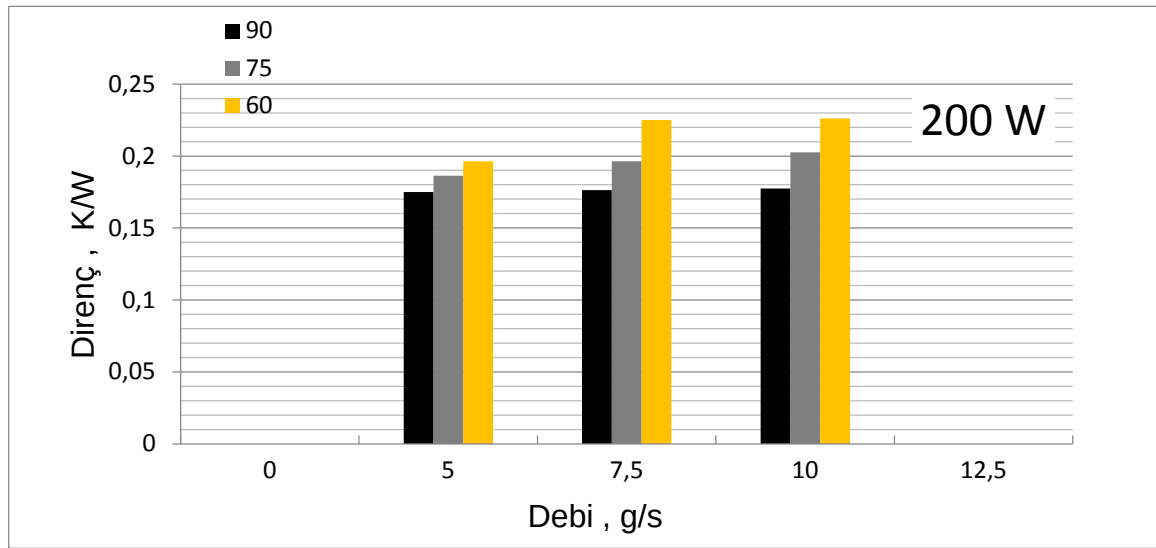
Şekil 5.22. 200 W için verim değerleri

Görüldüğü gibi kütleli debi arttıkça verim düşmektedir. Bunun sebebi ısı borusunun yüksek debilerde ısıyı tam olarak atamamasıdır. Eğim açısının düşmesi de verimi düşürmüştür.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90° 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen direnç değerleri Çizelge 5.23 ve grafik değerleri Şekil 5.23’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.23. 200 W için direnç değerleri

	200 W		
	R		
m	90°	75°	60°
5	0,175	0,18625	0,19625
7,5	0,176	0,19625	0,225
10	0,1775	0,2025	0,22625



Şekil 5.23. 200 W için direnç değerleri

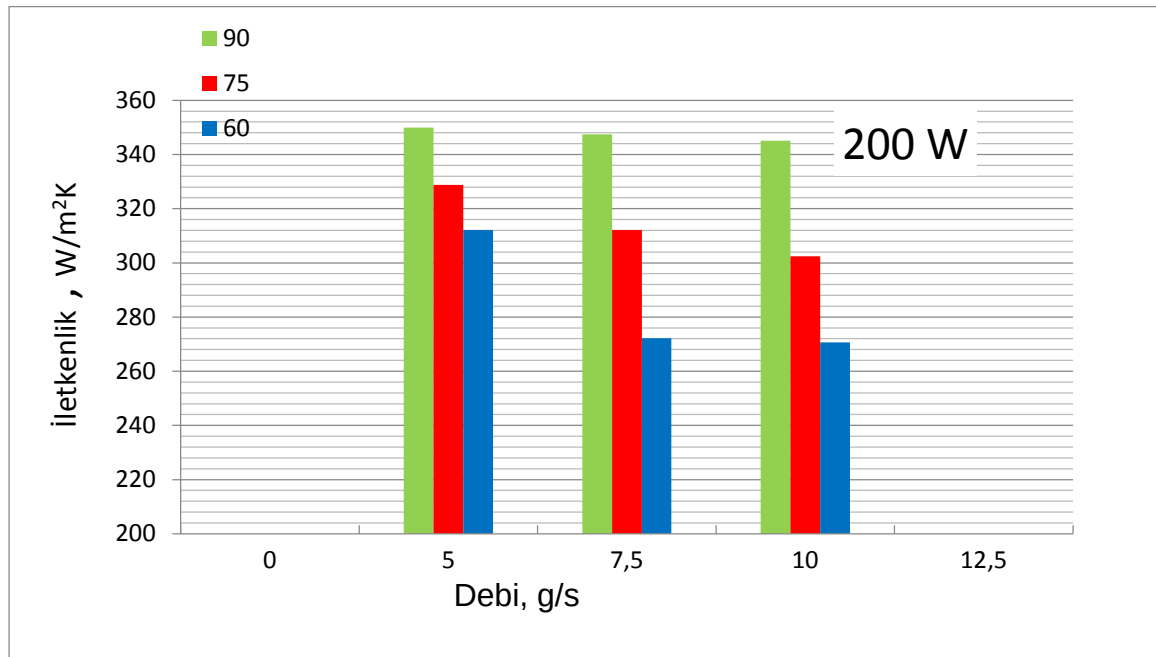
Görüldüğü gibi eğim açısının düşmesi direnci arttırmıştır. Kütlesel debinin artmasının da direnç değerini arttırdığı grafikte görülmektedir.

200 W ısıtıcı gücünde, 35,36 ml şarj oranında ve 3 farklı kütlesel debide; 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 75° açıyla ölçülen değerlere göre 0-2 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 1-4 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 60° açıyla ölçülen değerlere göre 1-6 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 1-6 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğim değerleri artıkça buharlaştırıcı bölgesi ile yoğuşturucu bölgesindeki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. 90° eğim açısında buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgeleri arasındaki sıcaklık farkındaki azalma ısıl direncin düşmesine sebep olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90° 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 5.24 ve grafik değerleri Şekil 5.24'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.24. 200 W için iletkenlik değerleri

	200 W		
	K		
m	90°	75°	90°
5	349,969	328,829	318,07382
7,5	347,486	312,074	272,19772
10	345,039	304,442	270,69387



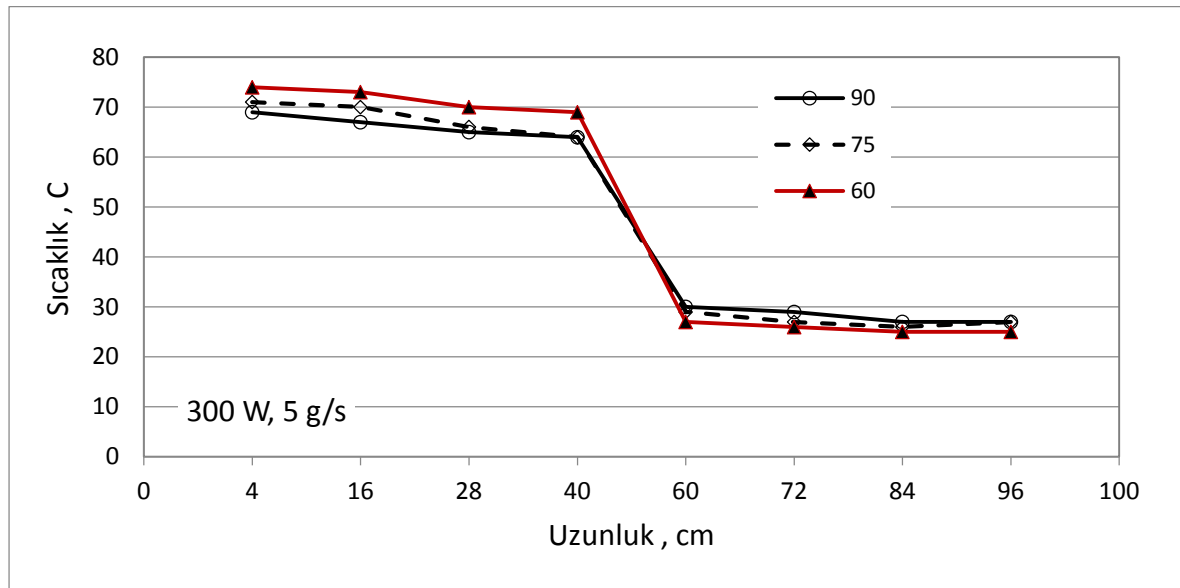
Şekil 5.24. 200 W için iletkenlik değerleri

Eğim açısı düştükçe iletkenlik değeri azalmaktadır. Kütleli debinin artmasıyla da iletkenliğin azaldığı grafikte görülmektedir.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle ve 5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.25 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.25’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.25. 300 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

300 W			
5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	69	71	74
16	67	70	73
28	65	66	70
40	64	64	69
60	30	29	27
72	29	27	26
84	27	27	25
96	27	26	25
100			
S _g	19	19	19
S _ç	32	31	30



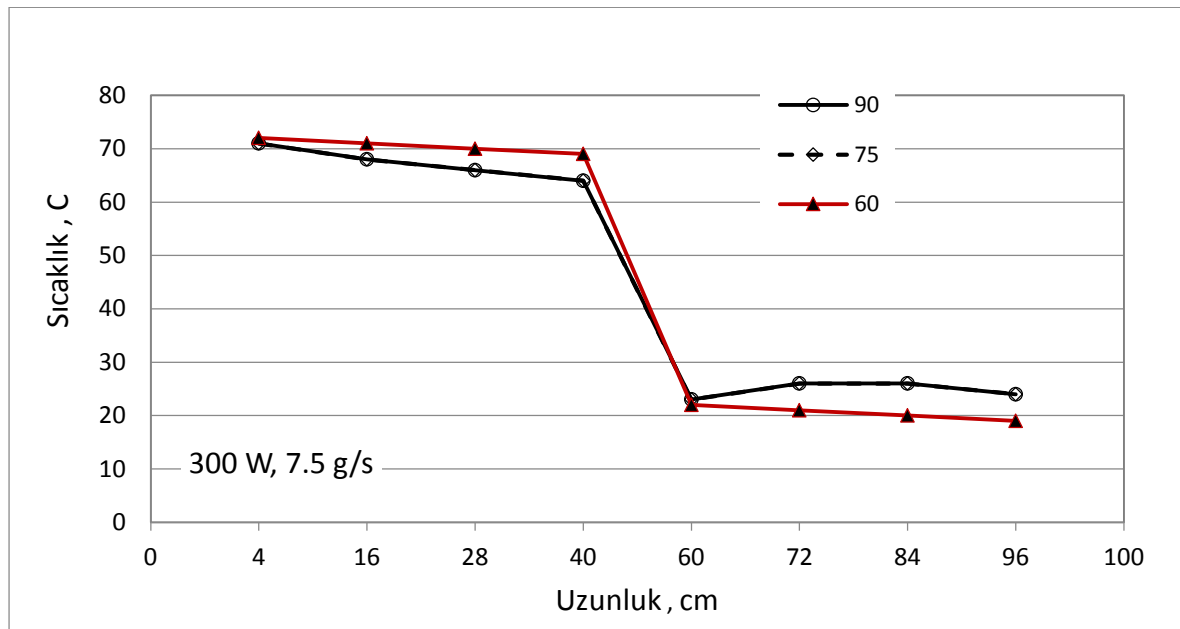
Şekil 5.25. 300 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.25'e göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 5-6 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 2-3 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle ve 7,5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.26 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.26’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.26. 300 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

300 W			
7,5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	68	71	73
16	66	68	70
28	64	66	67
40	62	64	65
60	28	26	26
72	27	26	25
84	26	24	23
96	26	23	22
100			
S _g	19	19	20
S _ç	27	26	26



Şekil 5.26. 300 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri

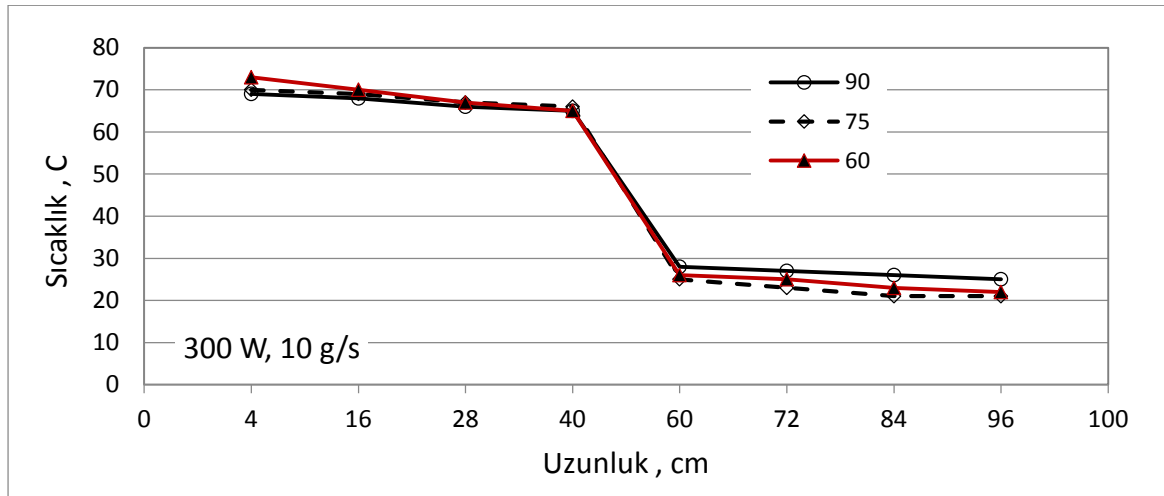
Şekil 5.26’ya göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür.

Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 3-5 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 2-4 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle ve 10 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.27 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.27'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.27. 300 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

300 W			
10 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	69	70	72
16	68	69	71
28	66	67	70
40	65	66	69
60	28	25	22
72	27	23	21
84	26	21	20
96	25	21	19
100			
S _g	19	18,5	19
S _ç	24	23	23



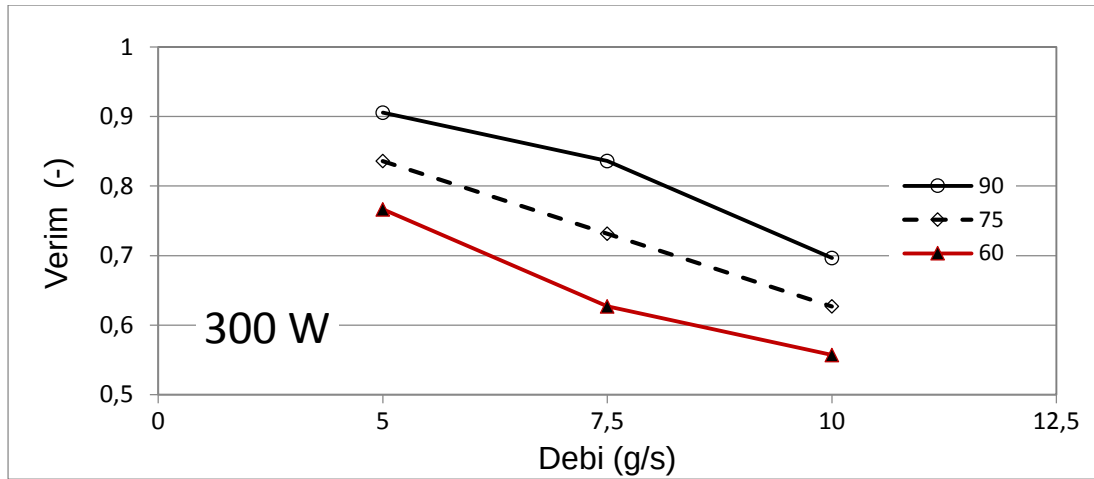
Şekil 5.27. 300 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.27 'ye göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğunlaştırıcı bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğunlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 3-4 °C fazla olurken, yoğunlaştırıcı bölgesinde 90°'de 60°'den 6 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen verimler Çizelge 5.28 ve grafik değerleri Şekil 5.28'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.28. 300 W için verim değerleri

	300 W		
	η		
$\dot{m}$	90°	75°	60°
5	0,905667	0,836	0,76633333
7,5	0,836	0,7315	0,627
10	0,696667	0,627	0,55733333



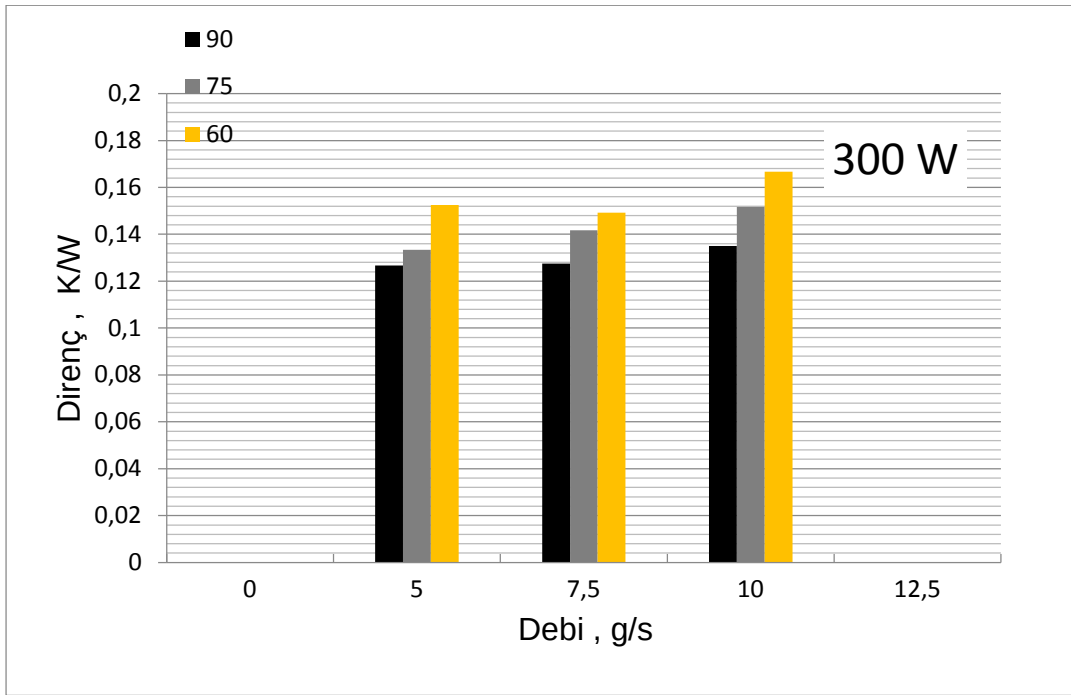
Şekil 5.28. 300 W için verim değerleri

Görüldüğü gibi kütleli debi arttıkça verim düşmektedir. Bunun sebebi ısı borusunun yüksek debilerde ısıyı tam olarak atamamasıdır. Eğim açısının düşmesi de verimi düşürmüştür.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen direnç değerleri Çizelge 5.29 ve grafik değerleri Şekil 5.29'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.29. 300 W için direnç değerleri

	300 W		
	R		
m	90°	75°	60°
5	0,126667	0,135	0,1525
7,5	0,1275	0,141667	0,14916667
10	0,135	0,151667	0,16666667



Şekil 5.29. 300 W için direnç değerleri

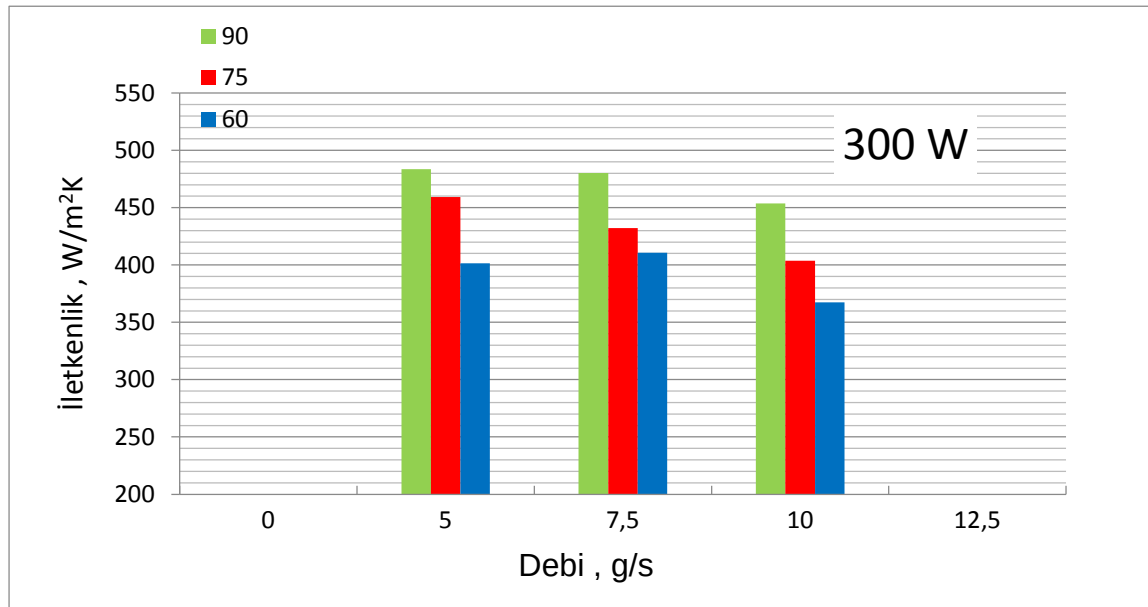
Görüldüğü gibi eğim açısının düşmesi direnci arttırmıştır. Kütlesel debinin artmasının da direnç değerini arttırdığı grafikte görülmektedir.

300 W ısıtıcı gücünde, 35,36 ml şarj oranında ve 3 farklı kütlesel debide; 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 75° açıyla ölçülen değerlere göre 0-3 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 1-4 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 60° açıyla ölçülen değerlere göre 1-6 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 2-6 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğim değerleri artıkça buharlaştırıcı bölgesi ile yoğuşturucu bölgesindeki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. 90° eğim açısında buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgeleri arasındaki sıcaklık farkındaki azalma ısıl direncin düşmesine sebep olmuştur. Isıtıcı gücündeki artış ısıl dirençteki düşüş oranını arttırmıştır.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90° 75° ve 60° eğim açıları elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 5.30 ve grafik değerleri Şekil 5.30'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.30. 300 W için iletkenlik değerleri

	300 W		
	K		
m	90°	75°	60°
5	483,5091	453,663	401,6032
7,5	480,3489	432,314	410,577573
10	453,6629	403,8098	367,466928



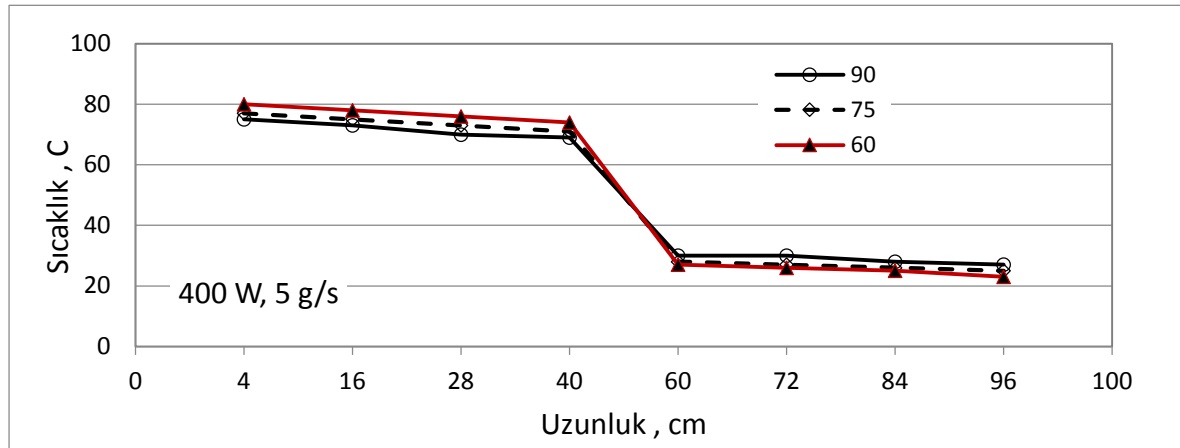
Şekil 5.30. 300 W için iletkenlik değerleri

Eğim açısı düştükçe iletkenlik değeri azalmaktadır. Kütlesel debinin artmasıyla da iletkenliğin azaldığı grafikte görülmektedir.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle ve 5 g/s kütlesel debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.31 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.31'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.31. 400 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

400 W			
5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	75	77	80
16	73	75	78
28	70	73	76
40	69	71	74
60	30	28	27
72	30	27	26
84	28	26	25
96	27	25	23
100			
S _g	18	18	18
S _ç	34	32	31



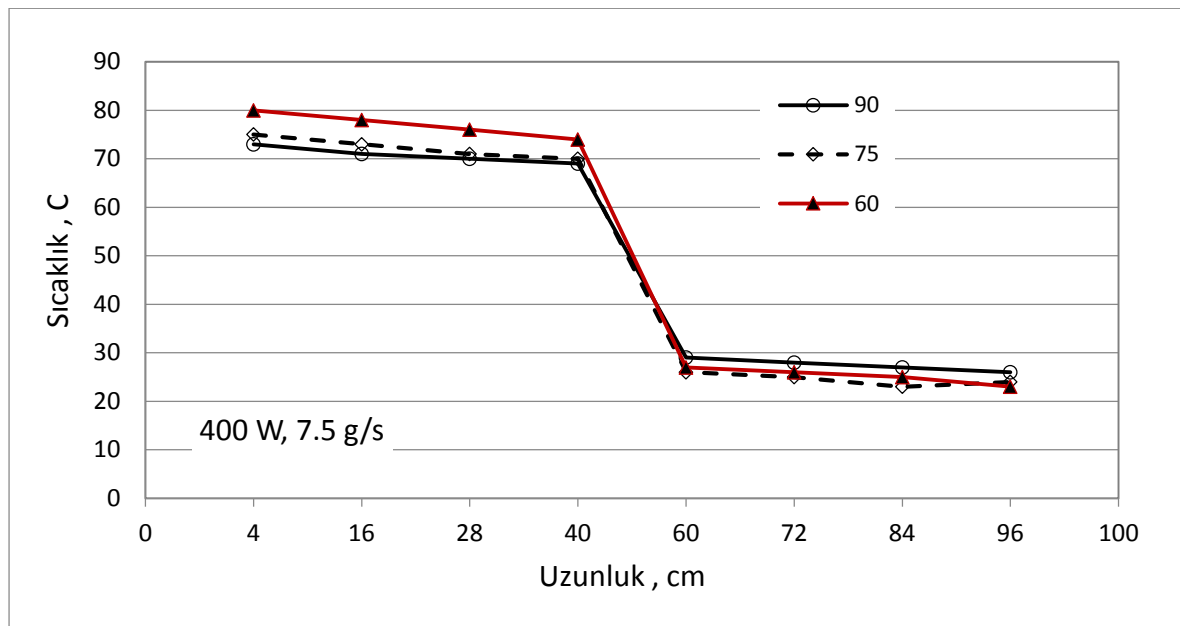
Şekil 5.31. 400 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.31'e göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 5-6 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 3-4 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle ve 7,5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.32 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.32'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.32. 400 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

400 W			
7,5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	73	75	78
16	71	73	76
28	70	71	75
40	69	70	73
60	29	26	25
72	28	25	24
84	27	23	23
96	26	24	22
100			
S _g	19	19	19
S _ç	29	28	27



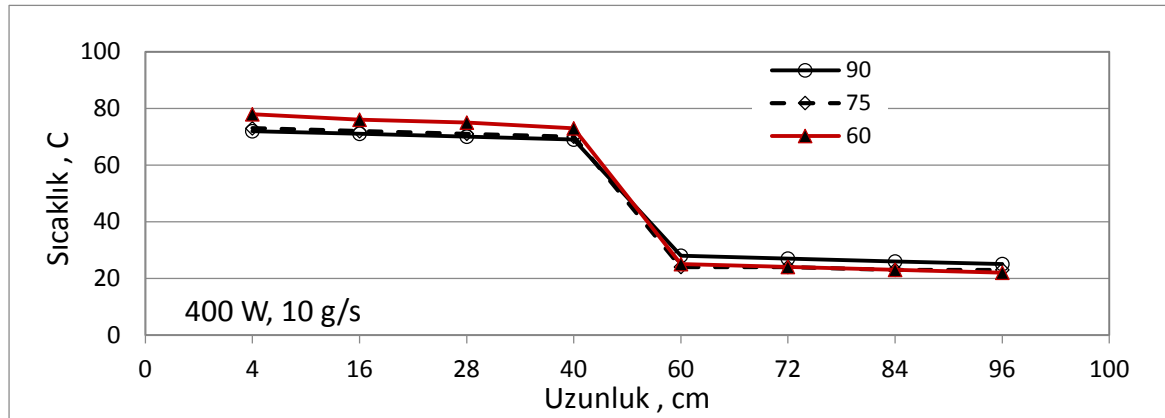
Şekil 5.32. 400 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.32'ye göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 4-5 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 4 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle ve 10 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.33 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.33’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.33. 400 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

400 W			
10 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	72	73	76
16	71	72	74
28	70	71	73
40	69	70	72
60	28	24	23
72	27	24	22
84	26	23	21
96	25	23	20
100			
S _g	19	18,5	18
S _ç	26	24	23



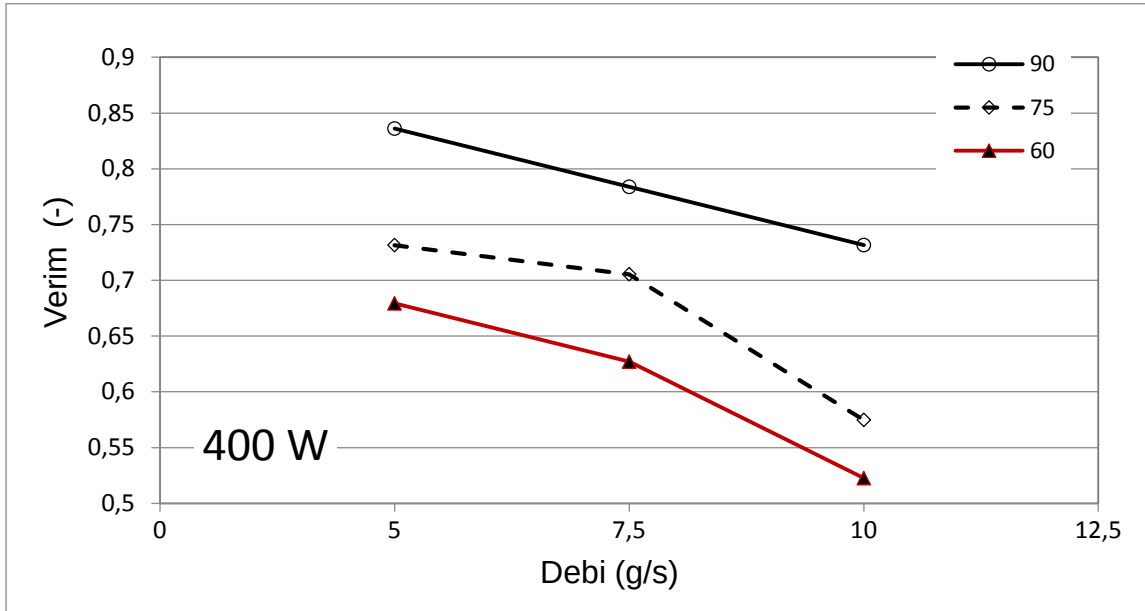
Şekil 5.33. 400 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.26’ya göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°’de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 3-4 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°’de 60°’den 5 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen verimler Çizelge 5.34 ve grafik değerleri Şekil 5.34’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.34. 400 W için verim değerleri

	400 W		
	η		
$\dot{m}$	90°	75°	60°
5	0,836	0,7315	0,67925
7,5	0,78375	0,705375	0,627
10	0,7315	0,57475	0,5225



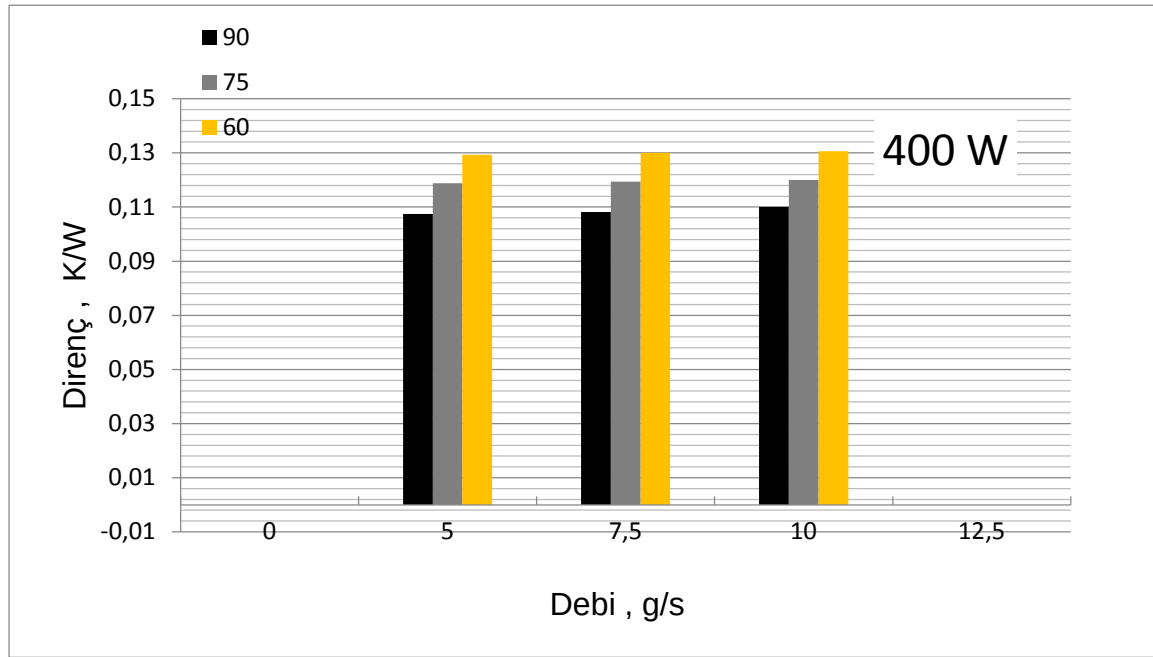
Şekil 5.34. 400 W için verim değerleri

Görüldüğü gibi kütleli debi arttıkça verim düşmektedir. Bunun sebebi ısı borusunun yüksek debilerde ısıyı tam olarak atamamasıdır. Eğim açısının düşmesi de verimi düşürmüştür.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen direnç değerleri Çizelge 5.35 ve grafik değerleri Şekil 5.35’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.35. 400 W için direnç değerleri

	400 W		
	R		
m	90°	75°	60°
5	0,1075	0,11875	0,129375
7,5	0,108125	0,119375	0,13
10	0,11	0,12	0,130625



Şekil 5.35. 400 W için direnç değerleri

Görüldüğü gibi eğim açısının düşmesi direnci arttırmıştır. Kütlesel debinin artmasının da direnç değerini arttırdığı grafikte görülmektedir.

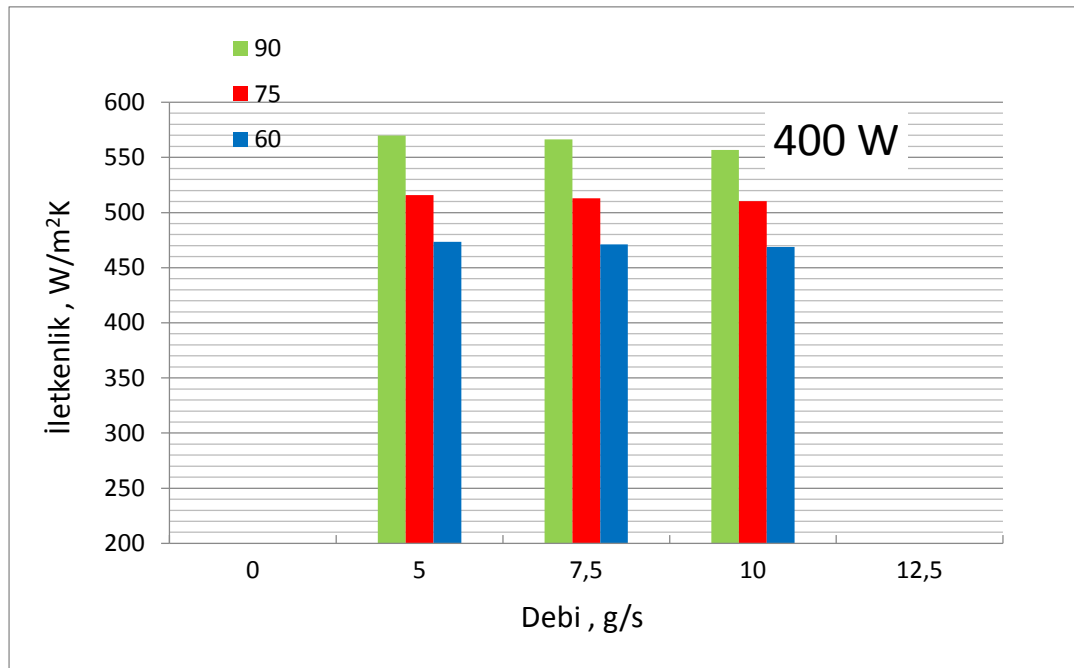
400 W ısıtıcı gücünde, 35,36 ml şarj oranında ve 3 farklı kütlesel debide; 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 75° açıyla ölçülen değerlere göre 1-3 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 1-4 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 60° açıyla ölçülen değerlere göre 1-6 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 3-5 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğim değerleri arttıkça buharlaştırıcı bölgesi ile yoğuşturucu bölgesindeki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. 90° eğim açısında buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgeleri arasındaki sıcaklık farkındaki azalma ısıl direncin düşmesine sebep olmuştur. Isıtıcı gücündeki artış ısıl dirençteki düşüş oranını arttırmıştır.

Isı borusunda 35,36 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75°

ve 60° eğim açılarında elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 5.36 ve grafik değerleri Şekil 5.36'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.36. 400 W için iletkenlik değerleri

	400 W		
	K		
m	90°	75°	60°
5	569,7162	515,7431	473,38735
7,5	566,423	513,0428	471,11145
10	556,7681	510,3707	468,85732



Şekil 5.36. 400 W için iletkenlik değerleri

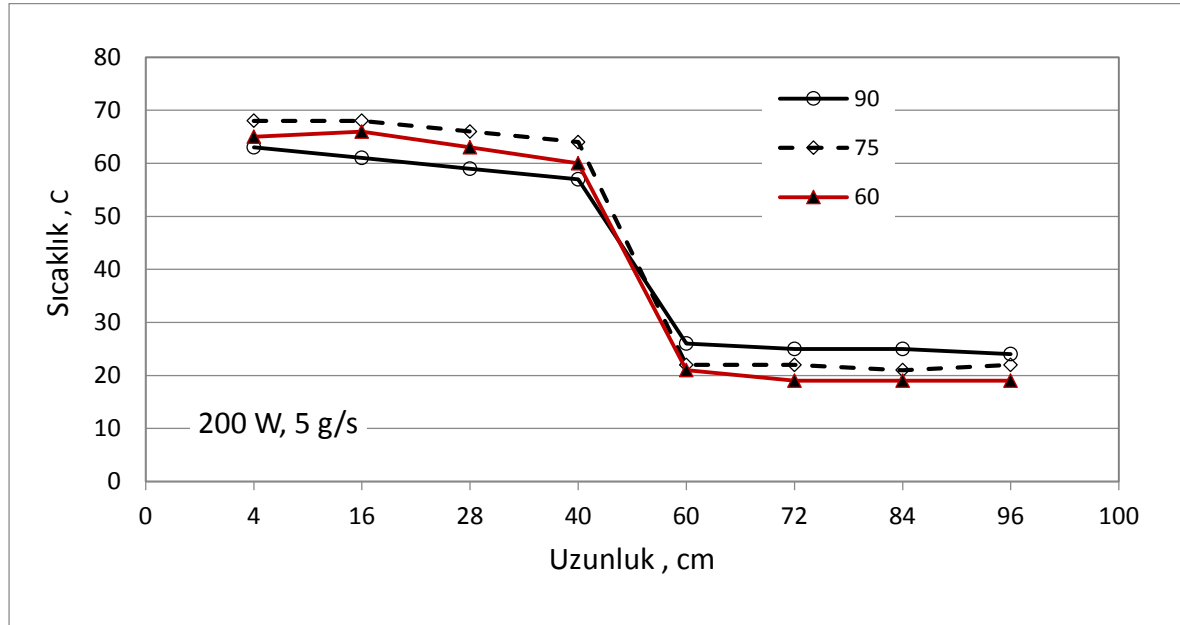
Eğim açısı düştükçe iletkenlik değeri azalmaktadır. Kütlesel debinin artmasıyla da iletkenliğin azaldığı grafikte görülmektedir.

5.3. 17,68 ml Saf Su Şarj Oranında Yapılan Deneyler

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle ve 5 g/s kütlesel debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen veriler Çizelge 5.37 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.37'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.37. 200 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

200 W			
5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	69	72	73
16	66	67	67
28	64	67	65
40	63	64	64
60	25	24	24
72	25	24	23
84	24	23	22
96	23	23	22
100			
S _g	18	18	18
S _ç	26	25	24



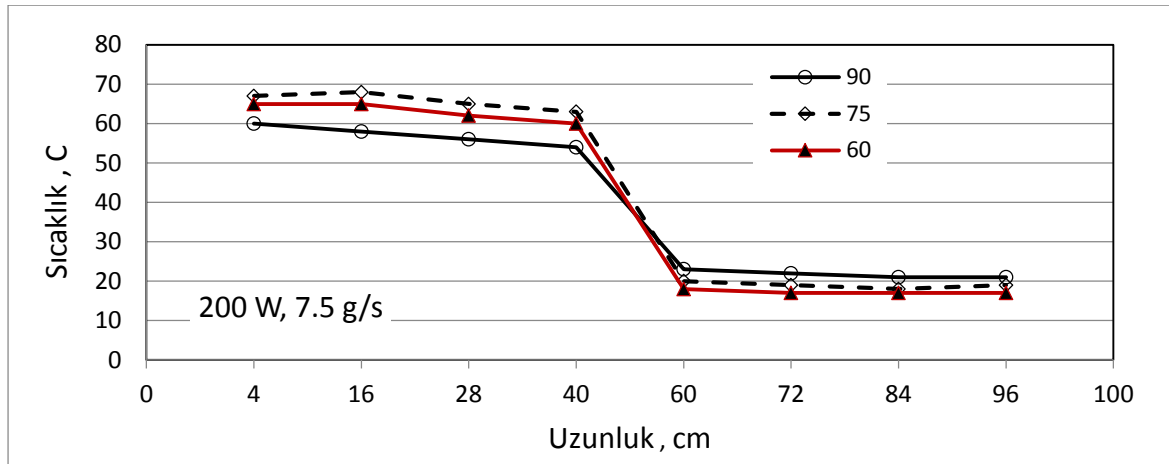
Şekil 5.37 200 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.37'ye göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 1-4 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 1-2 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle ve 7,5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.38 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.38’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.38. 200 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

200 W			
7,5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	70	71	72
16	66	69	68
28	64	67	66
40	63	64	65
60	24	22	21
72	23	22	20
84	22	21	19
96	22	21	19
100			
Sg	18	18	18
Sç	23	22	21



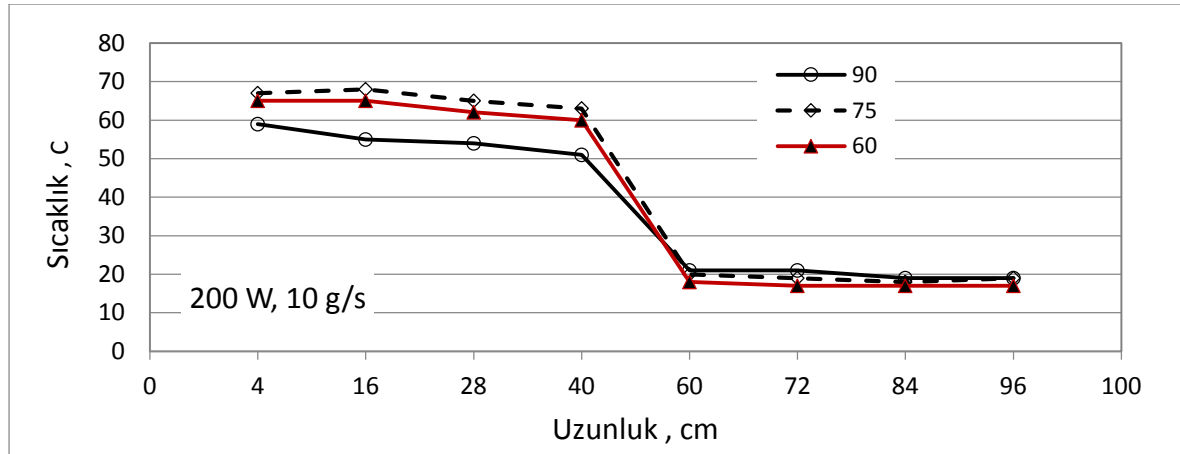
Şekil 5.38. 200 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.38’e göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°’de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 2 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°’de 60°’den 3 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle ve 10 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.39 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.39’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.39. 200 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

200 W			
10 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	69	71	72
16	65	67	68
28	64	65	66
40	63	64	65
60	23	21	20
72	22	20	19
84	22	19	18
96	21	18	18
100			
S _g	19	18,5	18,5
S _ç	22	21	20



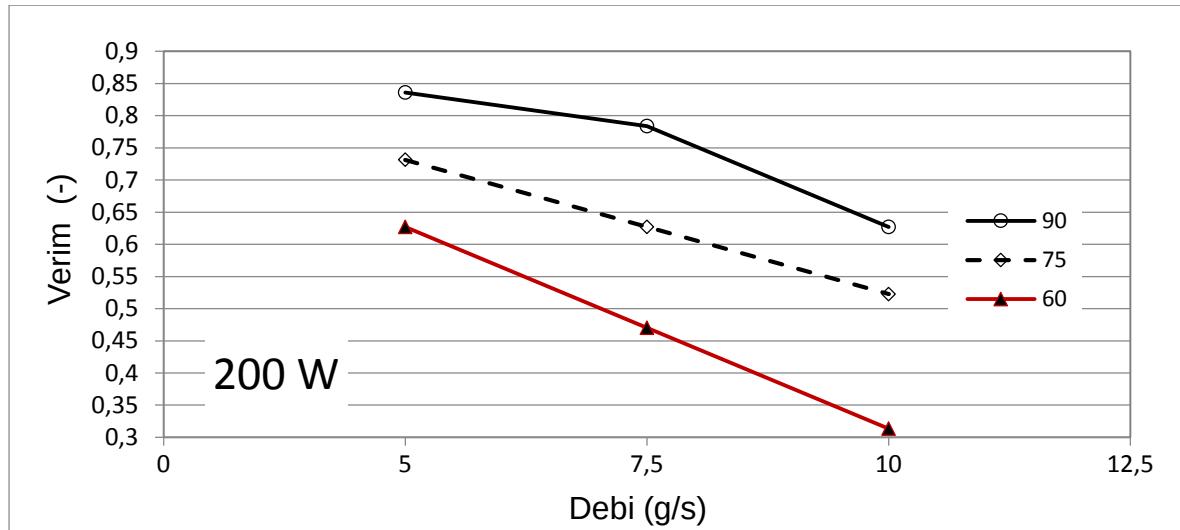
Şekil 5.39. 200 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.39’a göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°’de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 3 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°’de 60°’den 3-4 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen verimler Çizelge 5.40 ve grafik değerleri Şekil 5.40'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.40. 200 W için verim değerleri

	200 W		
	η		
$\dot{m}$	90°	75°	60°
5	0,836	0,7315	0,627
7,5	0,78375	0,627	0,47025
10	0,627	0,5225	0,3135



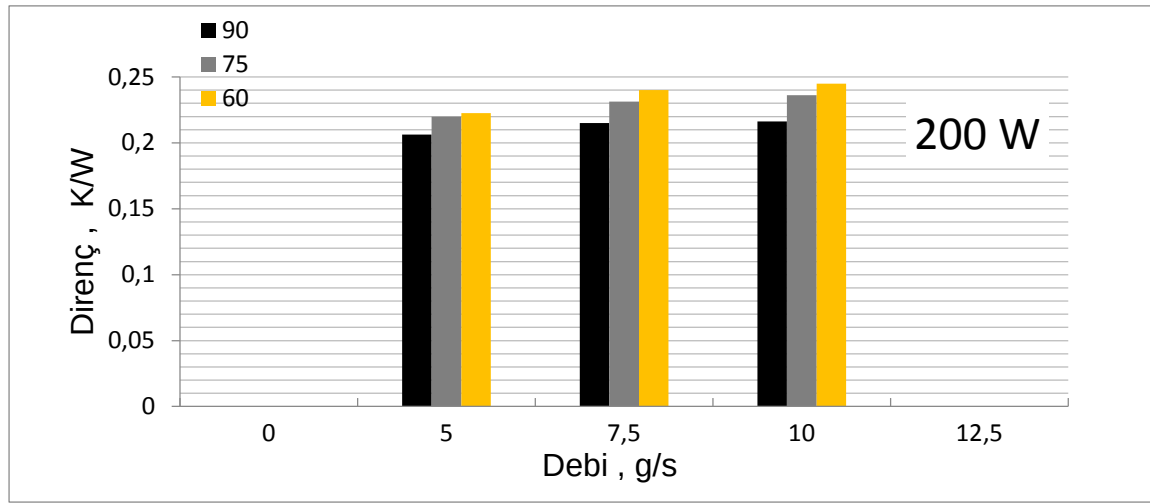
Şekil 5.40. 200 W için verim değerleri

Görüldüğü gibi kütleli debi arttıkça verim düşmektedir. Bunun sebebi ısı borusunun yüksek debilerde ısıyı tam olarak atamamasıdır. Eğim açısının düşmesi de verimi düşürmüştür.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen direnç değerleri Çizelge 5.41 ve grafik değerleri Şekil 5.41'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.41. 200 W için direnç değerleri

	200 W		
	R		
m	90°	75°	60°
5	0,20625	0,22	0,2225
7,5	0,215	0,23125	0,24
10	0,21625	0,23625	0,245



Şekil 5.41. 200 W için direnç değerleri

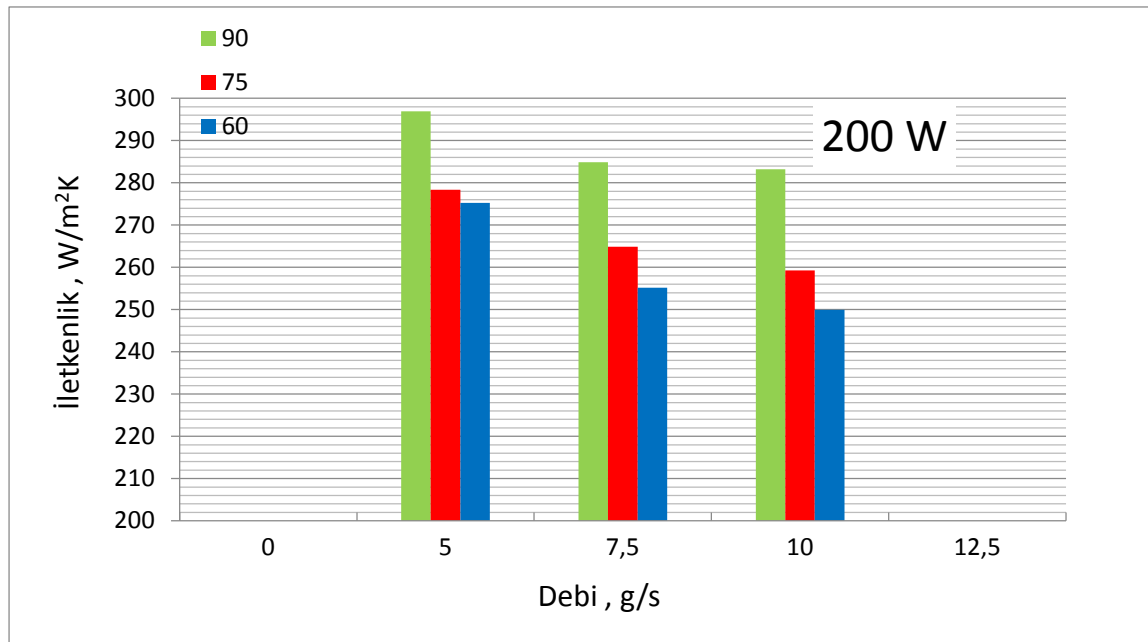
Görüldüğü gibi eğim açısının düşmesi direnci arttırmıştır. Kütlesel debinin artmasının da direnç değerini arttırdığı grafikte görülmektedir.

200 W ısıtıcı gücünde, 17,68 ml şarj oranında ve 3 farklı kütlesel debide; 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 75° açıyla ölçülen değerlere göre 1-3 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 0-3 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 60° açıyla ölçülen değerlere göre 1-4 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 1-4 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğim değerleri artıkça buharlaştırıcı bölgesi ile yoğuşturucu bölgesindeki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. 90° eğim açısında buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgeleri arasındaki sıcaklık farkındaki azalma ısıl direncin düşmesine sebep olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 200 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 5.42 ve grafik değerleri Şekil 5.42'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.42. 200 W için iletkenlik değerleri

	200 W		
	K		
m	90°	75°	60°
5	296,943	278,384	275,256126
7,5	284,8581	264,841	255,185367
10	283,2115	259,2359	249,977502



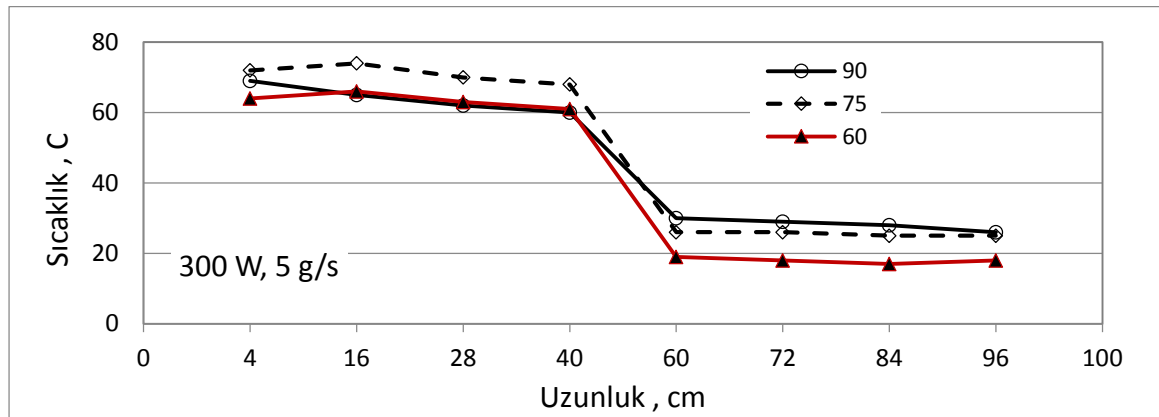
Şekil 5.42. 200 W için iletkenlik değerleri

Eğim açısı düştükçe iletkenlik değeri azalmaktadır. Kütlesel debinin artmasıyla da iletkenliğin azaldığı grafikte görülmektedir.

Isı borusunda 17,18 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle ve 5 g/s kütlesel debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.43 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.43'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.43. 300 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

300 W			
5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	71	73	74
16	71	71	72
28	68	69	70
40	66	66	67
60	31	29	28
72	30	27	27
84	30	26	26
96	28	25	25
100			
S _g	19	19	19
S _ç	30	29	28



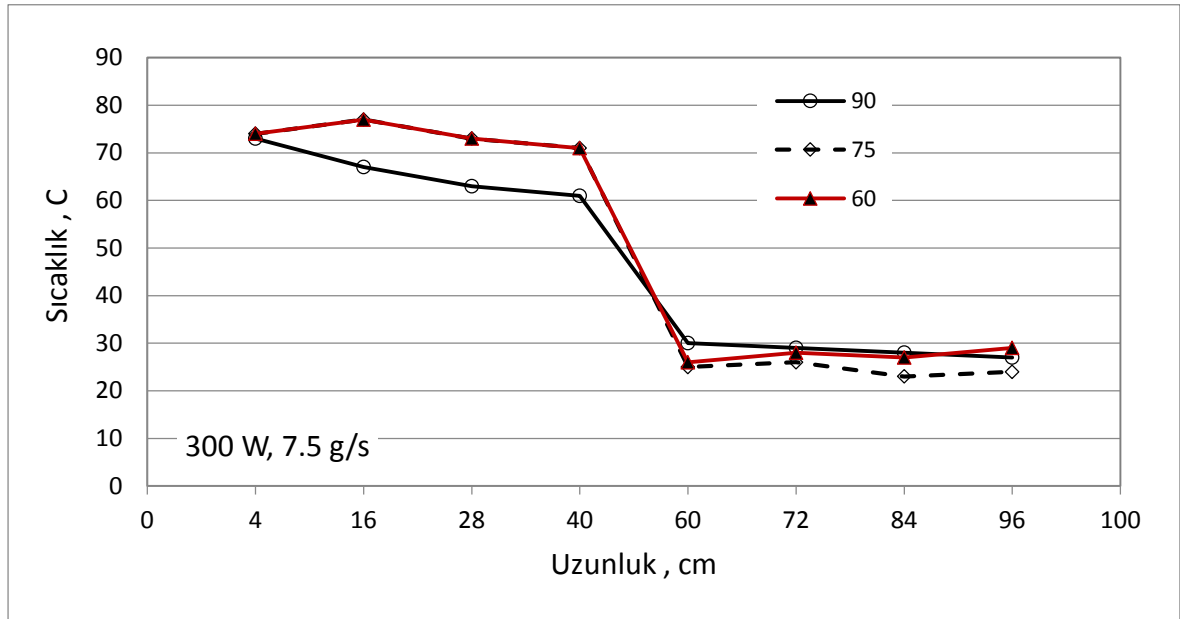
Şekil 5.43. 300 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.43'e göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 1-3 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 3-4 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle ve 7,5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.44 sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.44'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.44. 300 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

300 W			
7,5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	70	71	72
16	68	68	71
28	66	66	68
40	64	65	65
60	26	23	24
72	25	23	24
84	25	22	23
96	24	21	22
100			
S _g	18	18	18
S _ç	25	24	23



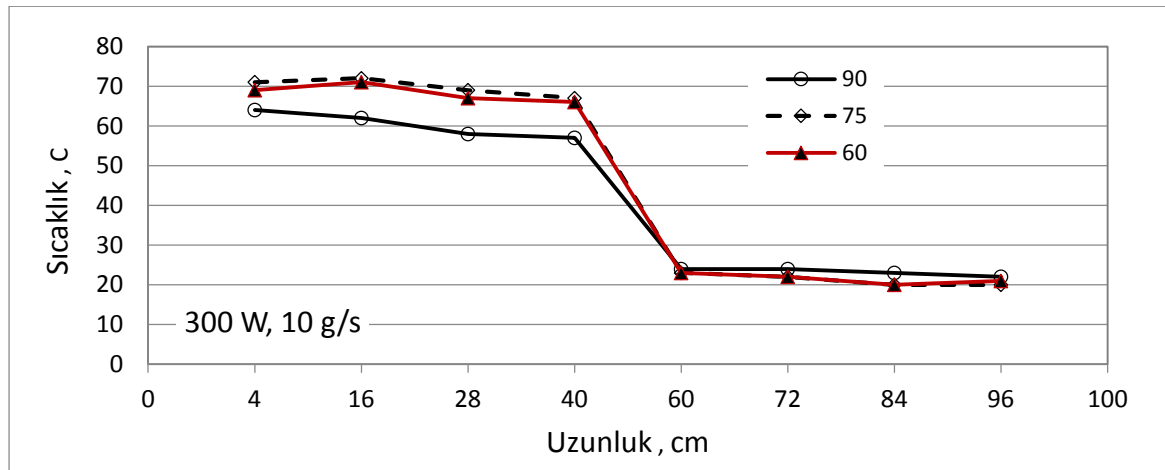
Şekil 5.44. 300 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.44'e göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 1-3 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 1-2 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle ve 10 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.45 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.45’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.45. 300 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

300 W			
10 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	69	71	73
16	67	69	73
28	66	68	71
40	65	67	69
60	25	24	23
72	25	23	22
84	24	22	21
96	23	21	21
100			
S _g	19	19	19
S _ç	24	23	22



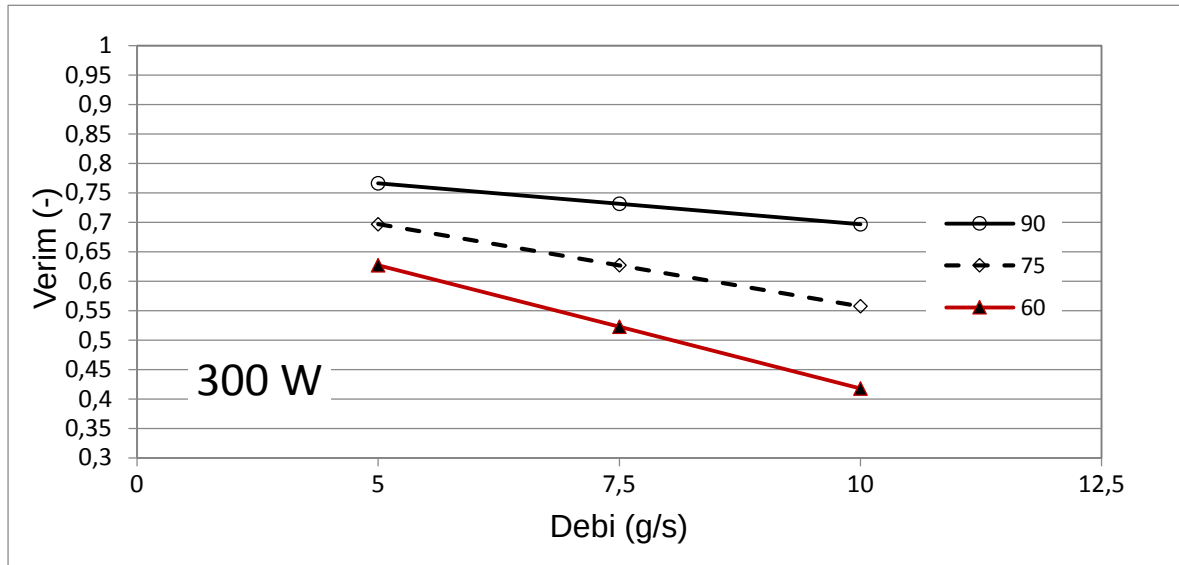
Şekil 5.45. 300 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.45’e göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°’de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 4-6 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°’de 60°’den 2-3 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen verimler Çizelge 5.46 ve grafik değerleri Şekil 5.46'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.46. 300 W için verim değerleri

	300 W		
	η		
$\dot{m}$	90°	75°	60°
5	0,76633	0,766333	0,62
7,5	0,7315	0,627	0,5225
10	0,696667	0,557333	0,418



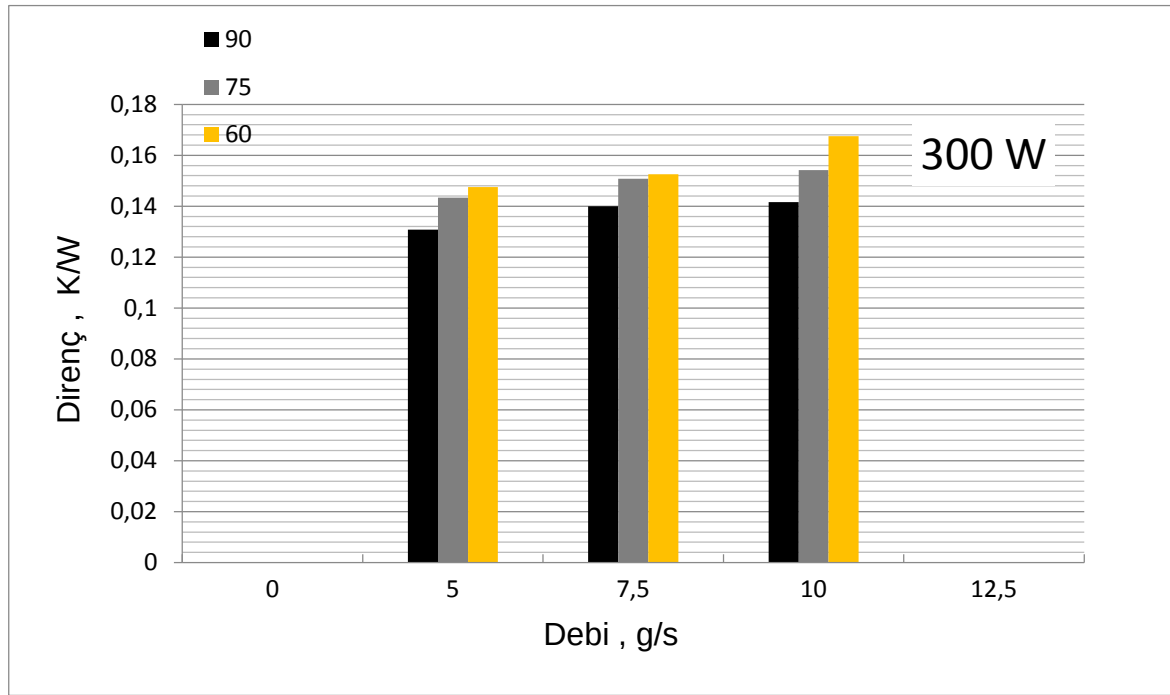
Şekil 5.46. 300 W için verim değerleri

Görüldüğü gibi kütleli debi arttıkça verim düşmektedir. Bunun sebebi ısı borusunun yüksek debilerde ısıyı tam olarak atamamasıdır. Eğim açısının düşmesi de verimi düşürmüştür.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen direnç değerleri Çizelge 5.47 ve grafik değerleri Şekil 5.47'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.47. 300 W için direnç değerleri

	300 W		
	R		
m	90°	75°	60°
5	0,130833	0,143333	0,1475
7,5	0,14	0,150833	0,1525
10	0,141667	0,154167	0,1675



Şekil 5.47. 300 W için direnç değerleri

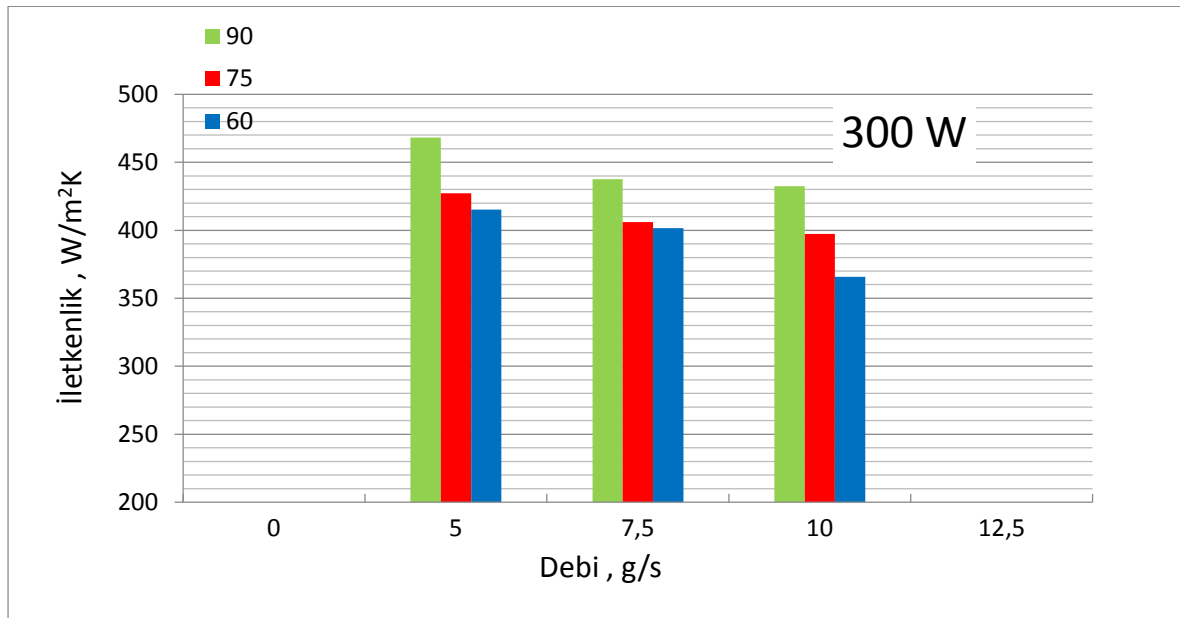
Görüldüğü gibi eğim açısının düşmesi direnci arttırmıştır. Kütlesel debinin artmasının da direnç değerini arttırdığı grafikte görülmektedir.

300 W ısıtıcı gücünde, 17,68 ml şarj oranında ve 3 farklı kütlesel debide; 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 75° açıyla ölçülen değerlere göre 0-2 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 1-4 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 60° açıyla ölçülen değerlere göre 1-6 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 1-4 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğim değerleri artıkça buharlaştırıcı bölgesi ile yoğuşturucu bölgesindeki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. 90° eğim açısında buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgeleri arasındaki sıcaklık farkındaki azalma ısıl direncin düşmesine sebep olmuştur. Isıtıcı gücündeki artış ısıl dirençteki düşüş oranını arttırmıştır.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 300 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 5.48 ve grafik değerleri Şekil 5.48’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.48. 300 W için iletkenlik değerleri

	300 W		
	K		
m	90°	75°	60°
5	468,1107	427,2871	415,216868
7,5	437,4606	406,0408	401,6032
10	432,314	397,2615	365,638734



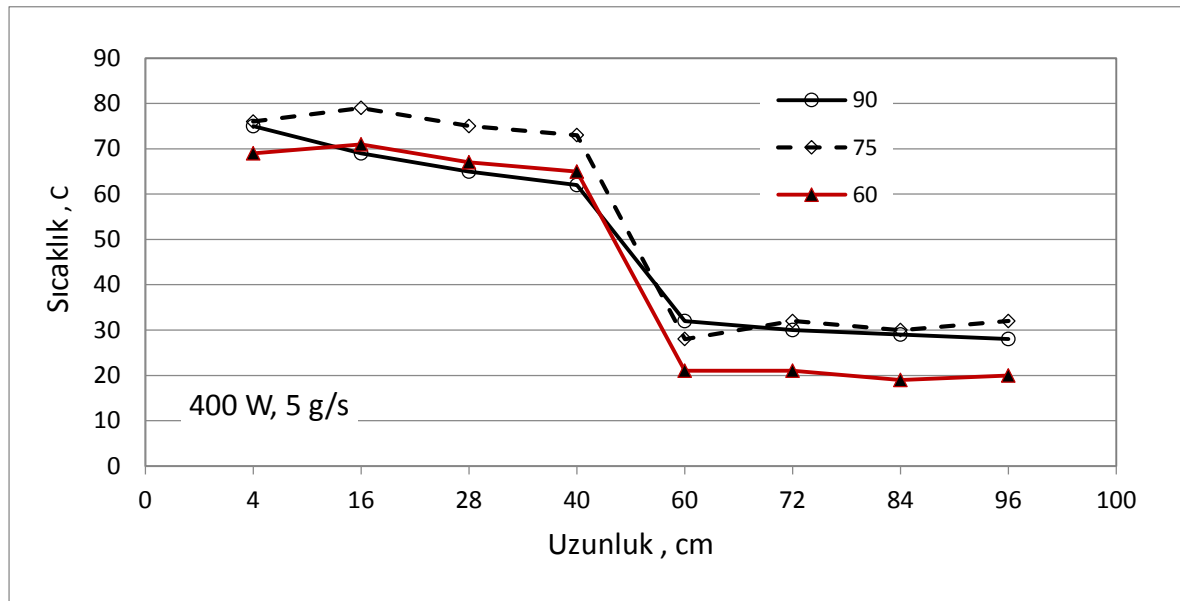
Şekil 5.48. 300 W için iletkenlik değerleri

Eğim açısı düştükçe iletkenlik değeri azalmaktadır. Kütlesel debinin artmasıyla da iletkenliğin azaldığı grafikte görülmektedir.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle ve 5 g/s kütlesel debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.49 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.49’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.49. 400 W ve 5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

400 W			
5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	76	79	81
16	74	76	79
28	73	75	77
40	72	74	76
60	30	29	28
72	29	28	27
84	28	28	27
96	28	27	26
100			
S _g	17	17	17
S _ç	31	30	29



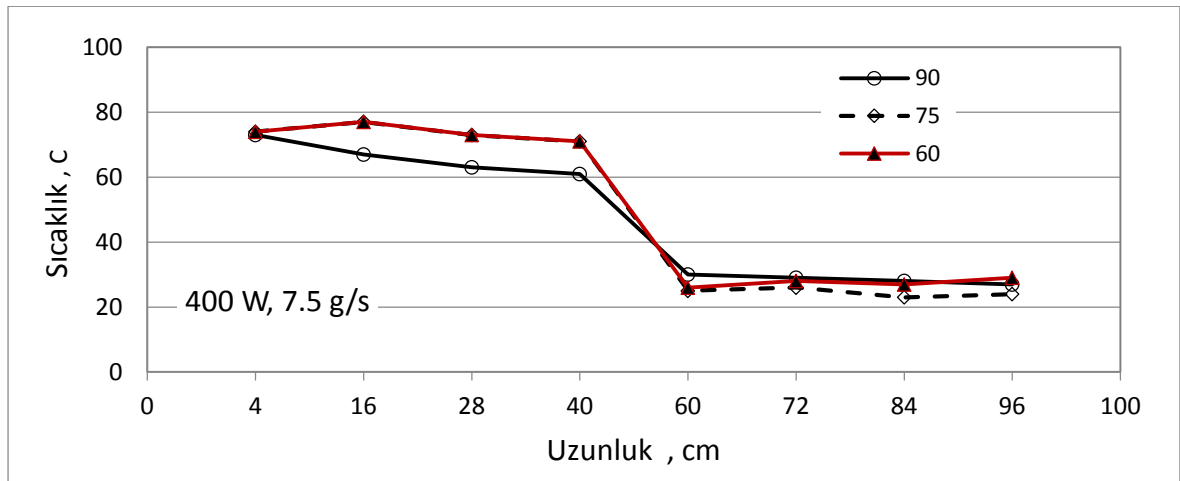
Şekil 5.49. 400 W ve 5 g/s için sıcaklık değerleri

Şekil 5.49'a göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°'de 90°'den 4-5 °C fazla olurken, yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 1-2 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle ve 7,5 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.50 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.50’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.50. 400 W ve 7,5 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

400 W			
7,5 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	74	78	79
16	73	77	78
28	71	76	76
40	70	74	75
60	29	26	25
72	28	25	24
84	27	24	23
96	26	23	22
100			
S _g	17	17	17
S _ç	27	25	24,5



Şekil 5.50. 400 W ve 7,5 g/s için sıcaklık değerler

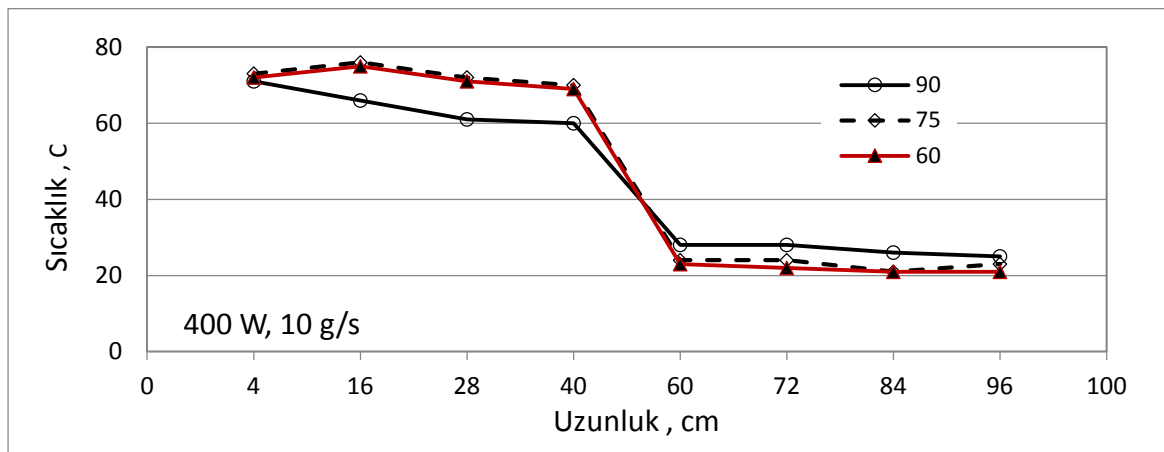
Şekil 5.50’ye göre 90°’lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°’de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°’de gerçekleşmiştir. İki eğim arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 5 °C fazla olurken,

yoğuşturucu bölgesinde 90°'de 60°'den 5 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle ve 10 g/s kütleli debiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen veriler Çizelge 5.51 ve sıcaklığın ısı borusu boyunca değişimi Şekil 5.51'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.51. 400 W ve 10 g/s için deney sonucu elde edilen veriler

400 W			
10 g/s			
	90°	75°	60°
0			
4	73	76	77
16	72	74	75
28	70	73	74
40	69	72	72
60	28	23	22
72	27	23	21
84	26	21	20
96	24	20	19
100			
Sg	20	20	20
Sç	26	25	24



Şekil 5.51. 400 W ve 10 g/s için sıcaklık değerleri

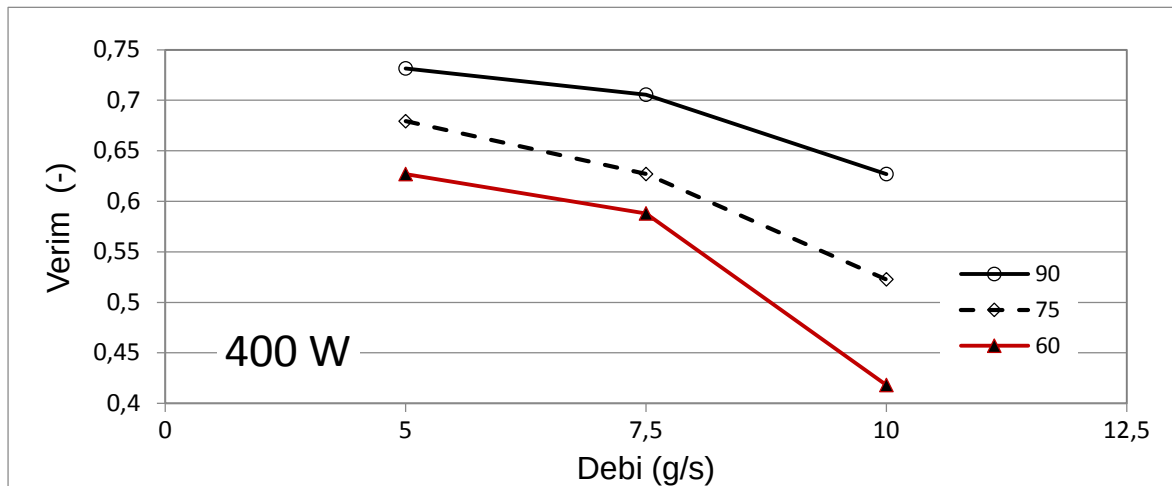
Şekil 5.51'e göre 90°'lik eğim açısında buharlaştırıcı sıcaklığının diğer eğim durumlarına göre daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Buharlaştırıcı bölgesinde en yüksek sıcaklık 60°, en düşük sıcaklık 90°'de; yoğuşturucu bölgesinde en yüksek sıcaklık 90°, en düşük sıcaklık 60°'de gerçekleşmiştir. İki eğim

arasındaki sıcaklık değerleri, buharlaştırıcı bölgesinde 60°’de 90°’den 2-4 °C fazla olurken, yoğunlaştırıcı bölgesinde 90°’de 60°’den 5-6 °C fazla olmuştur.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen verimler Çizelge 5.52 ve grafik değerleri Şekil 5.52’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.52. 400 W için verim değerleri

	400 W		
	η		
$\dot{m}$	90°	75°	60°
5	0,7315	0,67925	0,627
7,5	0,862125	0,705375	0,587813
10	0,627	0,5225	0,418



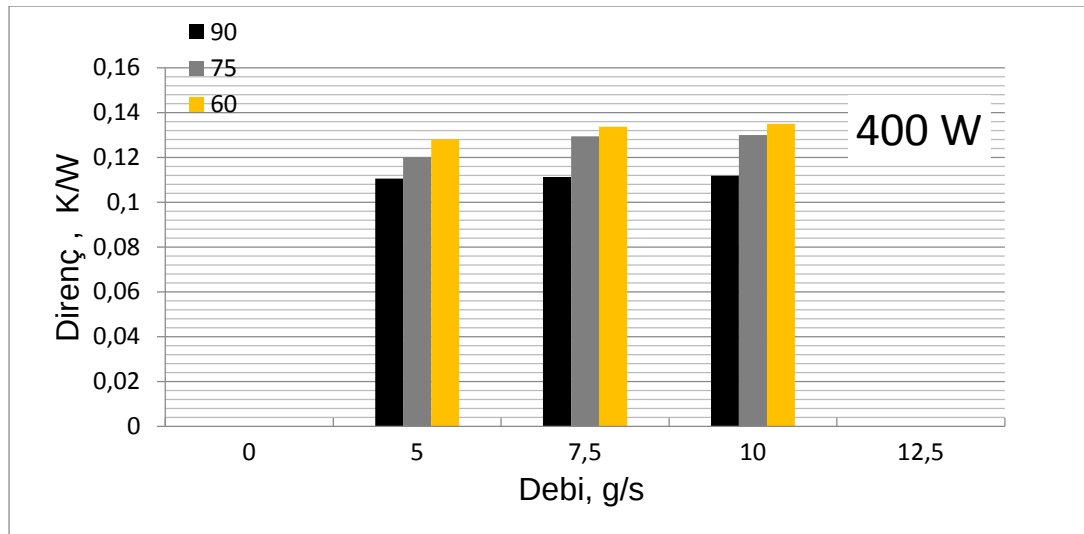
Şekil 5.52. 400 W için verim değerleri

Görüldüğü gibi kütleli debi arttıkça verim düşmektedir. Bunun sebebi ısı borusunun yüksek debilerde ısıyı tam olarak atamamasıdır. Eğim açısının düşmesi de verimi düşürmüştür.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açılarında elde edilen direnç değerleri Çizelge 5.53 ve grafik değerleri Şekil 5.53’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.53. 400 W için direnç değerleri

	400 W		
	R		
m	90°	75°	60°
5	0,110625	0,12	0,128125
7,5	0,11125	0,129375	0,13375
10	0,111875	0,13	0,135



Şekil 5.53. 400 W için direnç değerleri

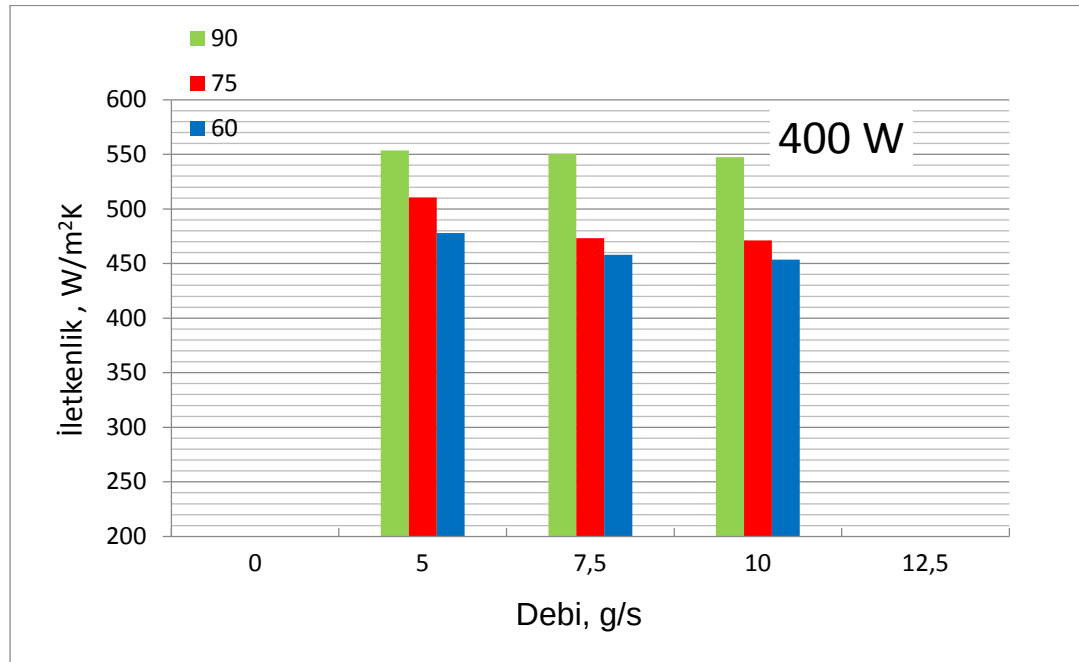
Görüldüğü gibi eğim açısının düşmesi direnci arttırmıştır. Kütlesel debinin artmasının da direnç değerini arttırdığı grafikte görülmektedir.

400 W ısıtıcı gücünde, 17,68 ml şarj oranında ve 3 farklı kütlesel debide; 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 75° açıyla ölçülen değerlere göre 1-4 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 0-5 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. 90° açıyla ölçülen değerlerin buharlaştırıcı bölgesindeki sıcaklıklarının 60° açıyla ölçülen değerlere göre 2-6 °C daha düşük, yoğuşturucu bölgesinde ise 1-6 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Eğim değerleri artıkça buharlaştırıcı bölgesi ile yoğuşturucu bölgesindeki sıcaklık farkının azaldığı görülmektedir. 90° eğim açısında buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölgeleri arasındaki sıcaklık farkındaki azalma ısıl direncin düşmesine sebep olmuştur. Isıtıcı gücündeki artış ısıl dirençteki düşüş oranını arttırmıştır.

Isı borusunda 17,68 ml saf su şarj oranında, 400 W güç girişiyle yapılan deneylerde 90°, 75° ve 60° eğim açıları elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 5.54 ve grafik değerleri Şekil 5.54'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.54. 400 W için iletkenlik değerleri

	400 W		
	K		
m	90°	75°	60°
5	553,6225	510,3707	478,00576
7,5	550,5123	473,3873	457,90271
10	547,4368	471,1114	453,66287



Şekil 5.54. 400 W için iletkenlik değerleri

Eğim açısı düştükçe iletkenlik değeri azalmaktadır. Kütleli debinin artmasıyla da iletkenliğin azaldığı grafikte görülmektedir.

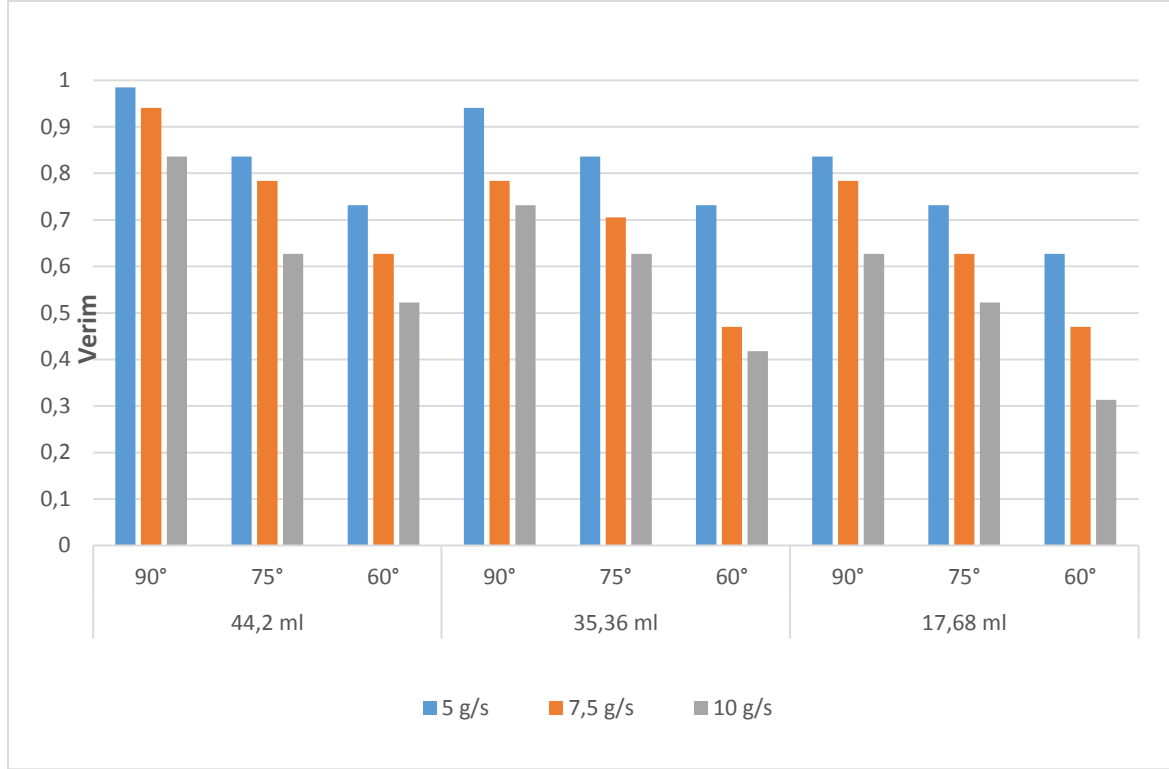
6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuç

Bu tez çalışmasında, termosifon tipi ısı borusunun farklı parametreler altındaki performansı deneysel olarak incelenerek ısı performansın en iyi olduğu çalışma şartları belirlenmiştir. Grafik ve çizelgelerde görüldüğü gibi ısıtıcının gücü arttıkça iletkenlik değerleri de artmakta, direnç değerleri ise azalmaktadır. 44,2 ml saf su şarj miktarında, 5 g/s debide ve 90° eğim açısında; iletkenliğin, 400 W güç değerinde 300 W güç değerine göre %17,5 ve 200 W güç değerine göre ise % 63,8 arttığı görülmüştür. 44,2 ml saf su şarj miktarında, 5 g/s debide ve 90° eğim açısında; direncin, 400 W güç değerinde 300 W güç değerine göre %14,82 ve 200 W güç değerine göre ise %38,84 azaldığı görülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre diğer tüm parametrelerin aynı olduğu şartlarda, şarj miktarı azaldıkça verim değerinin de azaldığı görülmüştür. 200 W güç değerinde, 5 g/s debide ve 90° eğim açısında; verimin, 44,2 ml şarj miktarında 35,36 ml şarj miktarına göre %11 arttığı ve 17,68 ml şarj miktarına göre ise %25 arttığı görülmüştür. Yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucunda en iyi verim değerlerinin 44,2 ml şarj miktarında olduğu görülmüştür, yine bu şarj miktarında verim ile ısı iletkenlik değerleri yüksek, ısı direnç değerleri ise daha düşük olduğu görülmüştür. Kütlesel debinin artması da ısının tam olarak atılamamasına neden olmuştur, bu sebepten kütlesel debi arttıkça verim azalmıştır.

Termosifon tipi ısı borusunda, tüm şarj miktarlarında eğim açısı düştükçe yapılan deneylerden alınan sonuçlara göre verim değerlerinin azaldığı görülmüştür. 44,2 ml saf su şarj miktarında 200 W güç değerinde ve 5 g/s debide; verimin, 90° eğim açısında 75° eğim açısına göre %25 arttığı ve 60° eğim açısına göre ise %42,86 arttığı görülmüştür. Deneyler sonucu elde edilen grafiklerde eğim açısı azaldıkça direnç değerlerinin arttığı, iletkenlik değerlerinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.55. Şarj miktarı, debi ve eğim açısının verime etkisinin karşılaştırması

Şekil 5.55 ‘de yapılan deneyler neticesinde sabit ısıtıcı gücünde (200 W) çalıştırılan yer çekimi destekli ısı borusunun; çalışma akışkanı şarj miktarının, eğim açısının ve sisteme giren şebeke suyunun kütleli debisinin verim değerlerine etkisi görülmektedir.

Termosifon tipi ısı borusunda, en yüksek verim; 90° eğim açısında ve 44,2 ml saf su şarj miktarında elde edilmiştir. Eğim açısı düştükçe ısı iletkenlik değerleri düşmüş, direnç değerleri artmıştır. Şarj miktarı azaldıkça ısı iletkenlik azalmış, ısı direnç değerleri ise artmıştır. Isı borusuyla ilgili literatürdeki benzer çalışmalar incelediğinde bu tez çalışmasından alınan sonuçları destekler nitelikte bazı sonuçların alındığı görülmüştür. Salem ve Akash (1999) ve Şimşak (2009) yaptıkları deneysel çalışmada eğim açısının 90° olmasının ısı performans açısından daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Ong ve ark. (2003) termosifon tipi ısı borusuyla yaptıkları deneysel çalışmada da şarj oranının yüksek olması ısı performansı artırdığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak; bu tez çalışmasında elde edilen deneysel sonuçlar neticesinde ve yapılan sayısal analizler doğrultusunda termosifon tipi ısı borusu 90° eğim açısında ve 44,2 ml saf su şarj miktarının karşılık geldiği ısı borusu iç hacminin 1/3 oranında şarj edilerek kullanılmalıdır.

6.2. Öneriler

Isı borularının performansının artırılması enerji maliyetlerinin düşürülmesine, aynı zamanda endüstride ve gündelik hayatta kullanılan ısı borusu sistemlerinde, enerji kaybını azaltarak çevresel zararların da azaltılmasına fayda sağlayacaktır. Sistemin eğim açısının artması düşük sıcaklık farkı altında yüksek ısı transferi sağlamıştır. Çalışma akışkanının optimum oranda şarj edilmesi, sistemin sağlıklı sıvı buhar faz döngüsü oluşturarak termosifon tipi ısı borusunun verimini arttırmıştır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında farklı parametreler altında yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar termosifon tipi ısı borusu ile ilgili yapılacak araştırmalara katkı sunabilecek bazı sayısal veriler sağlamıştır. Yapılan deneylerde çalışma akışkanı olarak yalnız saf su kullanılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda aynı parametreler altında saf suya alternatif çalışma akışkanlarının ısı performansına etkisi araştırılabilir; ayrıca farklı ısı borusu malzemesinin ve fiziksel özelliklerinin de ısı transferine etkisi incelenebilir. Isı borusu performansı üzerine yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen bilimsel verilerin endüstriye uyarlanması atık ısıdan faydalanmak vb. ısı borusu uygulamalarında ısı performansının artırılmasına katkı sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 38.
2. Koç, E., Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Durumu - Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 48-50.
3. Arslan, G. (2007). *Üç Kolonlu Titreşimli Isı Borusunun Matematiksel Modellenmesi ve Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-3.
4. Yıldırım, H. (2009). *Yer Çekimi Destekli Isı Borularında Fitol Kullanımının Çalışma Performansına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2-4.
5. Beşe, U. (1988). *Baca Gazları İçin Isı Borusu Tasarımı ve Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2.
6. Çıkın, A. (1988). *Isı Boruları*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-30.
7. İnternet: Los Alamos National Laboratory. Inspired Heat-Pipe Technology. URL: https://www.lanl.gov/science/NSS/issue1_2011/story6full.shtml/ Son Erişim Tarihi: 12.04.2019.
8. Genceli, O. F. (1976). Isı Borusu. *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Isı Tekniği ve Ekonomisi Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 19, 1-29.
9. Salem, S. A. Akash, B.A. (1999). Experimental Performance Of a Heat Pipe. *Int. Comm. journal of Heat Mass Transfer*, 26(5), 679-684.
10. Ersöz, M. A. (2002). *Baca Gazlarındaki Atık Isının Isı Borusu ile Geri Kazanımının Araştırılması*, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ankara.
11. Ong, K. S., Haider, M. (2003). Performance of a R-134A Filled Thermosiphon. *Applied Thermal Engineering*, 23, 2373-2381.
12. Özsoy, A., Acar M. (2005). Yerçekimi Destekli Bakır-Su Isı Borusu İçin Deneysel Bir Çalışma. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 90, 13-18.
13. Mahmood, S. L., Akhanda A.R. (2008). Experimental Study on The Performance Limitation of Micro Heat Pipes of Non-Circular Crosssections. *Thermal Science journal*, 12, 91-102.
14. Şimşak, O. (2009). *Isı Geri Kazanım Amaçlı Isı Borusu Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

15. Ürün, E., Çay, Y., Kurt, H. (2011). *Isı Borulu Isı Geri Kazanım Sistem Performansının Deneyisel Olarak İncelenmesi*, 6 th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ.
16. Çakır, M. T. (2015). *Alimüna İçeren Nanoakışkan Kullanılarak Isı Borularının Performansının İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
17. Bejan, A., Kraus, A. D. (2003). *Heat Transfer Handbook*, (First Edition) USA: John Wiley and Sons Inc, 16, 1182-1183.
18. Mohamed, H. A. (2016). *Heat Pipes for Computer Cooling Applications*, Published by Intechopen, 4, 53-55.
19. Dunn, P.D., Reay, D.A. (1982). *Heat Pipes*, (Third Edition) UK: Pergamon Press, 201-256.
20. Reay, D., Kew, P. (2005). *Heat Pipes Theory Design And Application*, (Fifth Edition), USA: imprint of Elsevier Linacre House, 3, 107-108.
21. Alkoç, Ö. (1996). *Isı Borusu Prensibinin Güneşli Su Isıtıcılarına Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 8.
22. Faghri, A. (2014). Heat pipe: Review, Opportunities and Challenges. *Frontiers in Heat Pipes*, 5(1), 2-3.
23. Mahjoub, S., Mahtabroshan, A. (2008). Numerical Simiulation of a Conventional Heat Pipe. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 29, 117–122.
24. Noie, S. H. (2006). Investigation of Thermal Performance of an Air-To-Air Thermosyphon Heat Exchanger Using E-Ntu Method. *Applied Thermal Engineering*, 26, 559–567.
25. Groll, M. (1981). Entrainment or Flooding Limit in a Closed Two-Phase Thermosyphon. *Journal of Heat Recovery Systems*, 1(4), 275-285.
26. Aksoy, M. (2004). *Pulsatif Isı Borularının Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-8.
27. Chowdhury, M. and Uddin, A.U. (2009). Cpu Cooling of Desktop Computer By Parallel Miniature Heat Pipes. *Journal of Mechanical Engineering*, 40(2), 104-108.
28. Maydanik, Y. F. (2005). Loop Heat Pipes. *Applied Thermal Engineering*, Russia, 25, 636-639.
29. Bruce, D., George L.F. (1977). Flat-Plate Heat Pipe. *United States Patent Documents, Worldwide Applications*, 1-4.
30. Vijayakumar, P., Sajaraj, S., Santhoshkumar, R. (2016). Review on Conventioanal, Modern Heat Pipes And It's Applications. *International Research Journal of Engineering and Technology*, (3), 516.

31. Hızal, G., Aras, M., Sürücü, B., Akış, S., Buğatekin R. A. (2011). *Isı Borusu ile CPU Soğutulması*, Dönem Projesi, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, 7.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARACA Doğukan
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.11.1990, Van
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (546) 464 65 74
 e-mail : dogukankaraca@outlook.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2014
Lise	Aydın Yesevi Anadolu lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Mmo Ankara/Teknik Hizmetler Birimi	Ürün Denetçisi
2014-2015	Aquamath	Tasarım Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Menlik T., Kılıç F., Sözen A., Karaca D. (2017). *Isı Borularının Performansını Etkileyen Parametrelerin Optimizasyonu*. 2. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu, Kırıkkale.

Hobiler

Yüzmek, Elektro gitar çalmak, Koşmak



GAZİ GELECEKTİR..