

**METALİK KÖPÜKLERİN TAŞITLARDA
ISI DEĞİŞTİRİCİSİ OLARAK
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlkay Onur ŞERBETÇİ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2018

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METALİK KÖPÜKLERİN TAŞITLARDA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ
OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

İlkay Onur ŞERBETÇİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2018

TEZ ONAY SAYFASI

İlkay Onur ŞERBETÇİ tarafından hazırlanan “Metalik Köpüklerin Taşıtlarda Isı Değiştiricisi Olarak Kullanımının Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 25/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Başkan : Doç. Dr. M. Serhat Başpınar
A.K.Ü. Teknoloji Fak.

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bülent Demir
Ege Üni. Ege MYO

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ
A.K.Ü. Teknoloji Fak.

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/06/2018

İlkay Onur SERBETÇİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

METALİK KÖPÜKLERİN TAŞITLARDA ISI DEĞİŞTİRİCİSİ OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

İlkay Onur ŞERBETÇİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Teknolojinin gelişimi ile birlikte malzeme endüstrisi de her geçen gün ilerlemektedir. Metalik köpükler son yıllarda ortaya çıkan yeni malzemelerdendir. Bu malzemelerin en temel özelliği olan yapısının gözenek şeklinde olması sebebiyle hafiflik, darbelere dayanım, ısı iletkenliği ve titreşim azaltma gibi avantajlara sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada alüminyum metalinin ısı iletimi göz önünde bulundurarak, alüminyum köpük malzemelerin ısı eşanjörü olarak kullanımı araştırılmıştır. Çalışmanın başlangıcında eşanjör tasarlanmış ve bu tasarıma uygun olarak açık gözenekli alüminyum köpük üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan eşanjörün iç ve dış kısmı üretilen alüminyum köpük ile doldurularak, boş ve dolu eşanjör arasında, dört adet termokupl kullanılarak sistemdeki sıvının eşanjör giriş ve çıkış sıcaklık değişimleri kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmada genel olarak alüminyum köpük içerikli eşanjör deneylerinde daha iyi sonuçlar alınmıştır. Alüminyum köpüklerin ısı iletimi arttırdığı ve yağ soğutucusu olarak taşıtlarda da kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

2018, xiv + 87 sayfa

Anahtar Kelimeler: Alüminyum Köpük, Eşanjör, Metalik Köpük, Isı Transferi

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF USE OF METAL FOAMS AS HEAT EXCHANGER IN VEHICLES

İlkay Onur ŞERBETÇİ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. İbrahim YAVUZ

Association with development of technology, the material industry also has grown up everyday. Metallic foams are new materials that have showed up in last years. Due to their porously structure which is their most key feature, they have advantages such as slightness, thermal conductivity, low vibration and resistance against to forces. So they become more important day by day.

In this study, using of aluminium foam material as a heat exchanger was investigated by taking into account thermal conductivity of aluminium. Firstly, heat exchanger was designed and aluminium foam with opened porous was produced properly. Inner and external areas of heat exchanger were filled with aluminium foam. The temperature changes in inlet and outlet of fluid in system were compared between filled and unfilled heat exchanger by using four thermocouples. According to experimental datas, better results were obtained with using of aluminium foam. So, it can be said that aluminium foams increase the thermal conductivity and can be used as lubrication cooler material in vehicles.

2018, xiv + 87 pages

Keywords: Aluminium Foam, Heat Exchanger, Metallic Foam, Heat Transfer

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, Yüksek Lisans eğitimim boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ'a, çalışmamı gerçekleştirebilmek için Alüminyum köpük imalatında desteklerini hiç esirgemeyen değerli hocam; Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR'a, benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Öğr. Gör. Muhammed ARSLAN'a, teknik resim konusundaki desteklerinden dolayı kuzenim Jeoloji Mühendisi Tolga ÇAKIR'a teşekkür ederim. Bu çalışmayı yapmama imkân ve olanak sağlayan, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan kıymetli eşime, kızıma, anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

İlkay Onur ŞERBETÇİ
AFYONKARAHİSAR, 2018

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Metalik Köpüklerin Isı Eşanjörü Olarak Kullanımı.....	2
1.2 Çalışmanın Amacı.....	5
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
2.1 Metalik Köpükle Yapılan Literatür Çalışmaları	7
2.2 Isı Değiştiricilerle İlgili Literatür Çalışmaları	11
3. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ	17
3.1 Isı Değiştiricilerinin Sınıflandırılması	17
3.1.1 Yapılarına Göre Sınıflandırma	18
3.1.2 Akış Türüne Göre Sınıflandırma	19
3.1.2.1 Tek Geçişli Isı Değiştiricileri.....	20
3.1.2.2 Çok Geçişli Isı Değiştiricileri	20
3.2 Isı Değiştiricilerinde Kullanılan Malzemeler.....	21
4. MATERYAL ve METOT	23
4.1 Alüminyum Metalik Köpük Üretimi	23
4.1.1 Alüminyum Metalik Köpük İmalatında Kullanılan Malzemeler	23
4.1.2 Vakum Döküm Sistemi	25
4.1.3 Metalik Köpüklerin Hazırlanması	26
4.1.4 Üretimi Tamamlanmış Kullanıma Hazır Alüminyum Metalik Köpük	29
4.2 Deney Düzenegi.....	29
4.2.1 Pompalar.....	31
4.2.2 TM4-N2RB Haberleşme Ünitesi.....	31

4.2.3 Termokupl	32
4.2.4 Rezistans ve Termostatı.....	33
4.2.5 USB Bağdaştırıcı	34
4.2.6 Isı Değiştirici	35
4.2.7 Autonics DAQmaster Yazılım	35
4.3 Deneysel Metot	36
4.3.1 Deney Grupları	38
4.3.1.1 Birinci Deney Grubu.....	38
4.3.1.2 İkinci Deney Grubu	38
4.3.1.3 Üçüncü Deney Grubu	39
4.3.1.4 Dördüncü Deney Grubu.....	40
4.3.1.5 Beşinci Deney Grupları	41
4.3.1.6 Debi Ayarlı Deney Grupları.....	42
5. BULGULAR.....	44
5.1 Deney Düzeneklerinden Alınan Veriler.....	44
5.1.1 İçi Boş Dışı Dolu Deneyler	44
5.1.2 İçi Dolu Dışı Boş Deneyler	45
5.1.3 2-4 Alüminyum Köpük İçi Dışı Dolu.....	47
5.1.4 İçi 4mm – 6mm Dolu Dışı Boş.....	48
5.1.5 İçi 4mm – 6mm Dolu Dışı 2mm – 4mm Dolu	49
5.1.6 Eşanjör İç Dış Düşük Debili.....	51
5.1.7 İçi Düşük Debili Dışı Yüksek Debili.....	52
5.1.8 İçi Yüksek Debili Dışı Düşük Debili.....	54
5.2 Eşanjörlerin Birbirleri İle Karşılaştırılması	55
5.2.1 İçi Köpük Malzeme ile Dolu Dışı Boş – Köpüksüz Debi Ayarlı Eşanjörlerin Karşılaştırılması.....	55
5.2.2 İçi Boş Dışı Köpük Malzemeye Dolu Eşanjörler ile – Köpüksüz Debi Ayarlı Eşanjörlerin Karşılaştırılması	57
5.2.3 İçi Dışı Köpük Malzemeye Dolu, Dışı Köpük Malzemeye Dolu Eşanjörler ile Köpüksüz Debi Ayarlı Eşanjörlerin Karşılaştırılması.....	58
5.2.4 İçi Boş Dışı Köpük Malzemeye Dolu Eşanjörlerin Paralel –Ters Akış Karşılaştırması.....	59

5.2.5 İçi 2mm – 4mm Köpük Malzemeyle Dolu Dışı Boş Eşanjörlerin Paralel – Ters Akış Karşılaştırması.....	60
5.2.6 İçi 4mm – 6mm Köpük Malzemeyle Dolu Dışı Boş Eşanjörlerin Paralel – Ters Akış Karşılaştırması.....	60
5.2.7 İçi Dışı 2mm – 4mm Köpük Malzemeyle Dolu Eşanjörlerin Paralel –Ters Akış Karşılaştırması.....	61
5.2.8 İçi 4mm – 6mm Köpük Malzemeyle Dolu Dışı 2mm – 4mm Köpük Malzemeyle Dolu Eşanjörlerin Paralel Akış– Ters Akış Karşılaştırması ..	62
5.3 Eşanjörlerin Verimlerinin Hesaplanması	62
5.3.1 İçi Boş-Dışı Dolu Paralel Akış Kapalı Sistem Verimi	63
5.3.2 İçi Boş-Dışı Dolu Ters Akış Kapalı Sistem Verimi	64
5.3.3 İçi Dolu Dışı Boş Paralel Akış Verimleri.....	65
5.3.4 İçi Dolu Dışı Boş Ters Akış Verimleri.....	66
5.3.5 İçi Dışı Dolu Paralel Akış Verimleri	67
5.3.6 İçi Dışı Dolu Ters Akış Verimleri	68
5.3.7 İçi 4mm – 6mm Gözenekli Metalik Köpük Dolu Dışı Boş Paralel Akış Verimi	68
5.3.8 İçi 4mm – 6mm Gözenekli Metalik Köpük Dolu Dışı Boş Ters Akış Verimi	69
5.3.9 İçi 4mm – 6mm Metalik Köpük Dolu Dışı 2mm – 4mm Metalik Köpük Dolu Paralel Akış Verimi.....	70
5.3.10 İçi 4mm – 6mm Metalik Köpük Dolu Dışı 2mm – 4mm Metalik Köpük Dolu Ters Akış Verimi.....	71
5.3.11 İçi ve Dışı Düşük Debili Paralel Akış Verimleri.....	72
5.3.12 İçi ve Dışı Düşük Debili Ters Akış Verimleri.....	73
5.2.13 İçi Düşük Debili Dışı Yüksek Debili Paralel Akış.....	74
5.3.14 İçi Düşük Debili Dışı Yüksek Debili Ters Akış.....	75
5.3.15 İçi Yüksek Debili Dışı Düşük Debili Paralel Akış.....	76
5.2.16 İçi Yüksek Debili Dışı Düşük Debili Ters Akış.....	77
6. SONUÇLAR	79
7. KAYNAKLAR	80
7.1 İnternet Kaynakları.....	86

ÖZGEÇMİŞ.....	87
---------------	----

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler

<i>Al-12Si</i>	Alüminyum-Silisyum alaşımı
<i>NaCl</i>	Sodyum klorür
<i>mm</i>	Milimetre
<i>g</i>	Gram
<i>cm³</i>	Santimetreküp
<i>g/cm³</i>	Gram / santimetreküp
<i>%</i>	Yüzdelik oran
<i>m²/m³</i>	Hacimdeki alan miktarı
<i>lt</i>	Litre
<i>m</i>	Metre
<i>s</i>	Saniye
<i>Dk</i>	Dakika
<i>TiH₂</i>	Titanyum hidrit
<i>BPR</i>	Bor fenolik reçine
<i>Al</i>	Alüminyum
<i>Si</i>	Silisyum
<i>Cu</i>	Bakır
<i>ADC12</i>	Alüminyum-Silisyum-Bakır alaşımı
<i>Al070</i>	Alüminyum 1070
<i>FSBE</i>	Sürtünme karışım geri ekstrüzyonu
<i>Sn</i>	Kalay
<i>C-AlF₃</i>	Karbon köpük - Alüminyum florür kompozit
<i>PU</i>	Poliüretan
<i>GFRP</i>	Cam fiber ile güçlendirilmiş plastik
<i>RFSSW</i>	Sürekli doldurulmalı sürtünme karıştırma nokta kaynağı
<i>CFRP</i>	Karbon fiber ile güçlendirilmiş polimer
<i>A356</i>	Alüminyum 356
<i>P-MSF</i>	Perlitli metal kabarcıklı köpük
<i>PPI</i>	Milyonda bir partikül
<i>PCM</i>	Faz değişim malzemesi
<i>kWs</i>	Kilowatt saat
<i>VG</i>	Vorteks jeneratörü
<i>FTHE</i>	Kanatlı-boru tip ısı eşanjörü
<i>Nu</i>	Nusselt sayısı
<i>TEG</i>	Termoelektrik jeneratörü
<i>Ni-NiCr</i>	Nikel-Nikel krom alaşımı
<i>V</i>	Volt
<i>hz</i>	Hertz
<i>a</i>	Amper
<i>rpm</i>	Devir / dakika
<i>lt/dk</i>	litre / dakika
<i>max</i>	Maximum
<i>V-AC</i>	Alternatif akım voltajı
<i>V-DC</i>	Doğru akım voltajı
<i>PC</i>	Bilgisayar

Simgeler(devam)

<i>kbps</i>	Saniye başına kilobayt
<i>bps</i>	Saniye başına bayt
<i>pin</i>	Giriş
<i>kΩ</i>	Kilo ohm
<i>L</i>	Boy
<i>W</i>	En
<i>H</i>	Yükseklik
<i>η</i>	Verim
<i>η_h</i>	Sıcak verim
<i>η_c</i>	Soğuk verim
<i>K1</i>	Soğuk kazan
<i>K2</i>	Sıcak kazan
<i>T1</i>	Termokupl soğuk su eşanjör giriş sıcaklığı (°C)
<i>T2</i>	Termokupl sıcak su eşanjör giriş sıcaklığı (°C)
<i>T3</i>	Termokupl soğuk su eşanjör çıkış sıcaklığı (°C)
<i>T4</i>	Termokupl sıcak su eşanjör çıkış sıcaklığı (°C)
<i>E</i>	Eşanjör
<i>P1</i>	Soğuk su devirdaim pompası
<i>P2</i>	Sıcak su devirdaim pompası
<i>R</i>	Rezistans
<i>RT</i>	Rezistans termostatu
<i>KV</i>	Küresel vana

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Metal köpük örnekleri a. Açık hücreli b.Kapalı hücreli (gaz enjeksiyon) yöntemi ile üretilmiş c.Kapalı hücreli (toz metalurjisi yöntemi)	2
Şekil 1.2 Açık hücre alüminyum köpük.....	3
Şekil 1.3 Kapalı hücreli alüminyum köpük.....	3
Şekil 4.1 Alüminyum metalik köpüğün üretim şeması	27
Şekil 4.2 Birinci deney düzeneği.....	38
Şekil 4.3 İkinci deney düzeneği	39
Şekil 4.4 Üçüncü deney düzeneği	40
Şekil 4.5 Dördüncü deney düzeneği.....	41
Şekil 4.6 Beşinci deney düzeneği.....	42
Şekil 4.7 Altıncı deney düzeneği.....	43
Şekil 5.1 İçi boş dışı dolu paralel akış.....	44
Şekil 5.2 İçi boş dışı dolu ters akış.....	45
Şekil 5.3 İçi dolu dışı boş paralel akış.....	46
Şekil 5.4 İçi dolu dışı boş ters akış.....	46
Şekil 5.5 İçi dışı dolu paralel akış	47
Şekil 5.6 İçi dışı dolu ters akış	48
Şekil 5.7 İçi 4mm – 6mm dolu dışı boş paralel akış	48
Şekil 5.8 İçi 4mm – 6mm dolu dışı boş ters akış	49
Şekil 5.9 İçi 4mm – 6mm dolu dışı 2mm – 4mm dolu paralel akış	50
Şekil 5.10 İçi 4mm – 6mm dolu dışı 2mm – 4mm dolu ters akış	50

Şekil 5.11 İçi dışı düşük debili paralel akış.....	51
Şekil 5.12 İçi dışı düşük debili ters akış.....	52
Şekil 5.13 İçi düşük debili dışı yüksek debili paralel akış	53
Şekil 5.14 İçi düşük debili dışı yüksek debili ters akış	53
Şekil 5.15 İçi yüksek debili dışı düşük debili paralel akış	54
Şekil 5.16 İçi yüksek debili dışı düşük debili ters akış	55
Şekil 5.17 İçi 2mm – 4mm, 4mm – 6mm, gözenekli dışı boş ile köpüksüz paralel akışların karşılaştırılması.....	56
Şekil 5.18 İçi 2 mm – 4mm, 4mm – 6mm, gözenekli dışı boş ile köpüksüz ters akışların karşılaştırılması.....	56
Şekil 5.19 İçi boş dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz paralel akışların karşılaştırılması	57
Şekil 5.20 İçi boş dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz ters akışların karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.21 İçi dışı 2mm – 4mm gözenekle dolu içi 4mm – 6mm dolu dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz paralel akışların karşılaştırılması.....	58
Şekil 5.22 İçi dışı 2mm -4mm gözenekle dolu içi 4mm – 6mm dolu dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz ters akışların karşılaştırılması	59
Şekil 5.23 İçi boş dışı dolu ile köpüksüz eşanjörün paralel – ters akışların karşılaştırılması	59
Şekil 5.24 İçi dolu dışı boş ile köpüksüz eşanjörün paralel – ters akışların karşılaştırılması	60
Şekil 5.25 İçi 4mm– 6mm gözenekli dolu dışı boş ile köpüksüz eşanjörün paralel – ters akışların karşılaştırılması	61

Şekil 5.26 İçi dışı 2mm–4mm gözenekli dolu ile köpüksüz eşanjörün paralel – Ters akışların karşılaştırılması	61
Şekil 5.27 İçi 4mm – 6mm gözenekli dolu dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz eşanjörün paralel – ters akışların karşılaştırılması.	62
Şekil 5.28 İçi boş-dışı dolu paralel akış kapalı sistem verimleri.....	63
Şekil 5.29 İçi boş-dışı dolu ters akış kapalı sistem verimleri.....	64
Şekil 5.30 İçi dolu dışı boş paralel akış verimleri	65
Şekil 5.31 İçi dolu dışı boş ters akış verimleri	66
Şekil 5.32 İçi dışı dolu paralel akış verimleri.....	67
Şekil 5.33 İçi dışı dolu ters akış verimleri.....	68
Şekil 5.34 İçi 4mm – 6mm gözenekli metalik köpük dolu dışı boş paralel akış verimi	69
Şekil 5.35 İçi 4mm – 6mm gözenekli metalik köpük dolu dışı boş ters akış verimi	70
Şekil 5.36 İçi 4mm – 6mm metalik köpük dolu dışı 2mm – 4mm metalik köpük dolu paralel akış verimi	71
Şekil 5.37 İçi 4mm – 6mm metalik köpük dolu dışı 2mm – 4mm metalik köpük dolu ters akış verimi	72
Şekil 5.38 İçi ve dışı düşük debili paralel akış verimleri	73
Şekil 5.39 İçi ve dışı düşük debili ters akış verimleri	74
Şekil 5.40 İçi düşük debili dışı yüksek debili paralel akış	75
Şekil 5.41 İçi düşük debili dışı yüksek debili ters akış	76
Şekil 5.42 İçi yüksek debili dışı düşük debili paralel akış	77
Şekil 5.43 İçi yüksek debili dışı düşük debili ters akış	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Döküm parametreleri	26
Çizelge 4.2 Alüminyum köpüklerin fiziksel özellikleri	27
Çizelge 4.3 Deney grupları	37

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Alüminyum köpükten yapılmış ısı değiştiriciler	4
Resim 1.2 Metal Köpük Isı Değiştiriciler	4
Resim 1.3 Taşıtlarda kullanılan ısı değiştiricileri a)Radyatör, b)Yağ soğutucusu.....	5
Resim 4.1 Kıırma işlemi öncesi kayaç halindeki NaCl	23
Resim 4.2 Kaya tuzlarını kıırma ve boyut ayırırırma işlemi	24
Resim 4.3 Kıırılan NaCl tanelerinin elek ile sınıflandırılması (a) ve boyutları (b).....	24
Resim 4.4 Laboratuar tip fırın.....	25
Resim 4.5 Vakum döküm sistemi (a) ve kalıbı (b)	25
Resim 4.6 Alüminyum köpük malzeme	26
Resim 4.7 (a) Ergitme işleminin yapıldığı indüksiyon ısıtıcısı ve pota. (b) Sıcaklık ölçümünde kullanılan daldırma tip termokupl ve (c) Kalıp sıcaklığını ölçmek için kullanılan lazer termometre	28
Resim 4.8 Metalik köpük.....	29
Resim 4.9 Deney düzeneğinin üstten görünümü	30
Resim 4.10 Deney düzeneğinde kullanılan pompa.....	31
Resim 4.11 PID sıcaklık kontrol cihazı	31
Resim 4.12 Termokupl	33
Resim 4.13 Eşanjör çıkışı temokupl yuvası.....	33
Resim 4.14 U Tipi Rezistans ve termostatı.....	33
Resim 4.15 Usb Bağdaştırıcı	34
Resim 4.16 Eşanjörün sökölümüş hali iç görünüşü ve toplama aşamaları	35
Resim 4.17 Dağmaster ekran görüntüsü	36

1. GİRİŞ

İç yanmalı motorların verimli çalışabilmesi için sıcaklıklarının belirli aralıklarında tutulması gerekir. Motorlar, silindirler içerisindeki yakıt hava karışımının yanmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Bu sebepten dolayı motor parçaları, çalışma esnasında çok yüksek sıcaklıklara maruz kalırlar. Silindirde ki hava-yakıt karışımının yanması sonucunda silindir içerisindeki yanma sonucu sıcaklığı anlık olarak 2500°C'ye kadar çıkabilmektedir. Oluşan bu ısının bir kısmı silindir çeperleri, silindir kapağı ve pistonlara oradan da soğutma suyuna transfer edilir. Motorun verimli çalışması açısından motor parçalarının maruz kaldığı sıcaklıklar kritik değerleri (malzemelerin sıcaklık dayanımlarını) aşmamalıdır. Bu sebeplerden dolayı motorların, daha düzgün şekilde çalışabilmesi için içten yanmalı motorlarda soğutma sistemlerine ihtiyaç vardır. Soğutma sistemlerinde soğutma suyuna geçen ısının hava ortamına atılmasında radyatörler kullanılmaktadır.

Motorlarda yanma sonucunda oluşan ısının bir kısmı da motor yağlama yağına geçmektedir. Yağlama yağları görevini yapabilmesi için belirli bir sıcaklığın üzerine çıkmaması gerekmektedir. Bu nedenle üzerindeki ısıyı dış ortama atması gerekmektedir. Yağlama yağları ya karter üzerinden ya da yağ eşanjörleri aracılığı ile motor soğutma suyuna üzerindeki ısıyı iletir. Bu sebeplerden dolayı ısı değiştiriciler taşıtlarda çok çeşitli ve yaygın olarak kullanılmak zorundadır.

Isı değiştiricileri üzerinde 1947 yılından bu yana akış ve termodinamik kayıpların önlenmesi için sayısız çalışma yapılmıştır. Son dönemlerde ısı transfer oranı yüksek olan eşanjörler ön plana çıkmıştır. İş yerlerinde, ısıtma ve soğutma proseslerinde, sanayi tesislerinde, motorlu araçların soğutma sistemlerinde radyatör olarak kullanılmaktadır (Basan 2000).

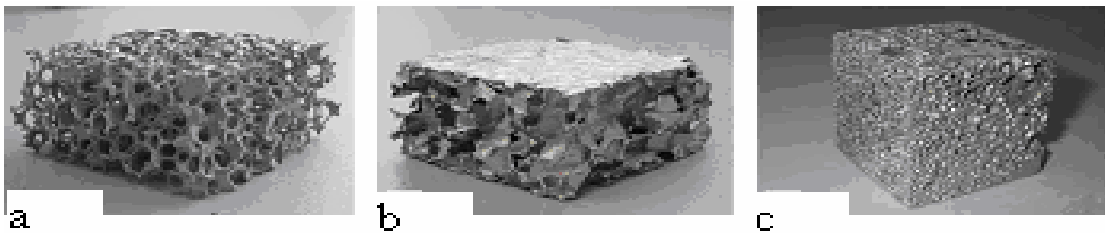
Genel olarak ısı eşanjörlerinde ki akışkanlar, birbirinden bir metal yüzey ile ayrılırlar ve ısı transferi metal yüzey üzerinden gerçekleşir. Isı eşanjörleri ısı transfer şekline, akış türüne, kullanım amacına, akışkan faz değişimlerine ve akışkan sayısına göre farklı türlerde bulunurlar (Bayram 2014).

Isı eşanjörlerinin verimli çalışabilmesi için boru çapı, gözeneklilik, yüzey alanı, ısı iletim katsayısı gibi birçok önemli husus vardır. Açık gözenekli metalik köpüklerin yüzey alanlarının geniş olması, ısı iletkenliği ve korozyon direncinin iyi olması gibi özelliklerinden dolayı, ısı değiştiricilerinde kullanılabilirler. Metalik köpüklerin bu avantajlarından dolayı metalik köpüklerin taşıtlarda ısı değiştiricisi olarak kullanımının araştırılmıştır.

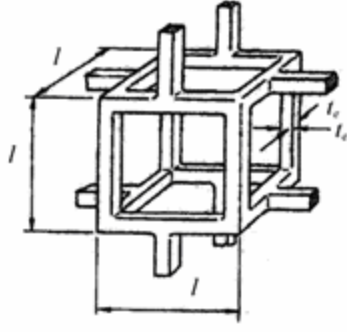
1.1 Metalik Köpüklerin Isı Eşanjörü Olarak Kullanımı

Metalik köpükler malzemeler, gözenekli bir yapıya sahiptirler ve yapay olarak elde edilirler. Gözenekli yapı, birkaç işlemlerden sonra oluşturulabilir. Doğal köpükle hiçbir ilgisi olmamasına rağmen bazı özellikleri ve görünümünden dolayı “metalik köpük veya hücreli metal” olarak isimlendirilir (Ozan 2011).

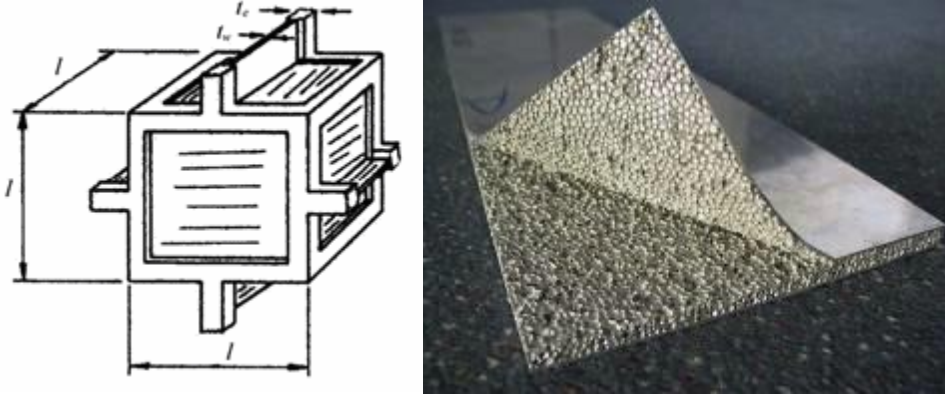
Köpük metal üretimi üzerine 1960’lı yıllarda çalışılmaya başlanmış, bu güne kadar birçok yöntem denenmiş ve halen birçok üniversite ve araştırma merkezinde üretim yöntemleri ve maliyetlerin düşürülmesi üzerine çalışmalara devam edilmektedir. Alüminyum köpük metaller açık hücreli ve kapalı hücreli olmak üzere iki farklı tipte üretilmektedir. Her iki biçimde % (80-95) oranına varan boşluk ve % (0,5-20) oranında malzemeden oluşurlar. Gözenekler birbiri ile bağlantılı bir durumda bulunuyorsa, bu tür yapıya “açık hücreli” (opened cell), hücrelerin her birinin içerisinde gaz hapsedilmiş ve birbirinden sızdırmazlık derecesinde duvarlarla ayrılmış ise “kapalı hücreli” (closed cell) alüminyum köpükler olarak adlandırılır. şekil 1.1’de metal köpük örnekleri, şekil 1.2’de açık hücre ve şekil 1.3’te kapalı hücre alüminyum köpüklerin yapısı görölmektedir (Yavuz 2010).



şekil 1.1 Metal köpük örnekleri a. Açık hücreli b.Kapalı hücreli (gaz enjeksiyon) yöntemi ile üretilmiş c.Kapalı hücreli (toz metalurjisi yöntemi).

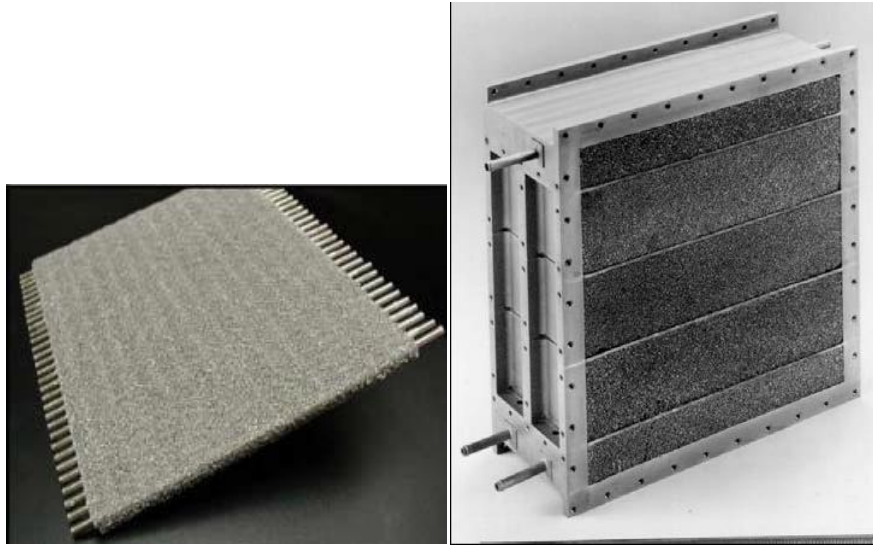


Şekil 1.2 Açık hücre alüminyum köpük (Yavuz 2010).



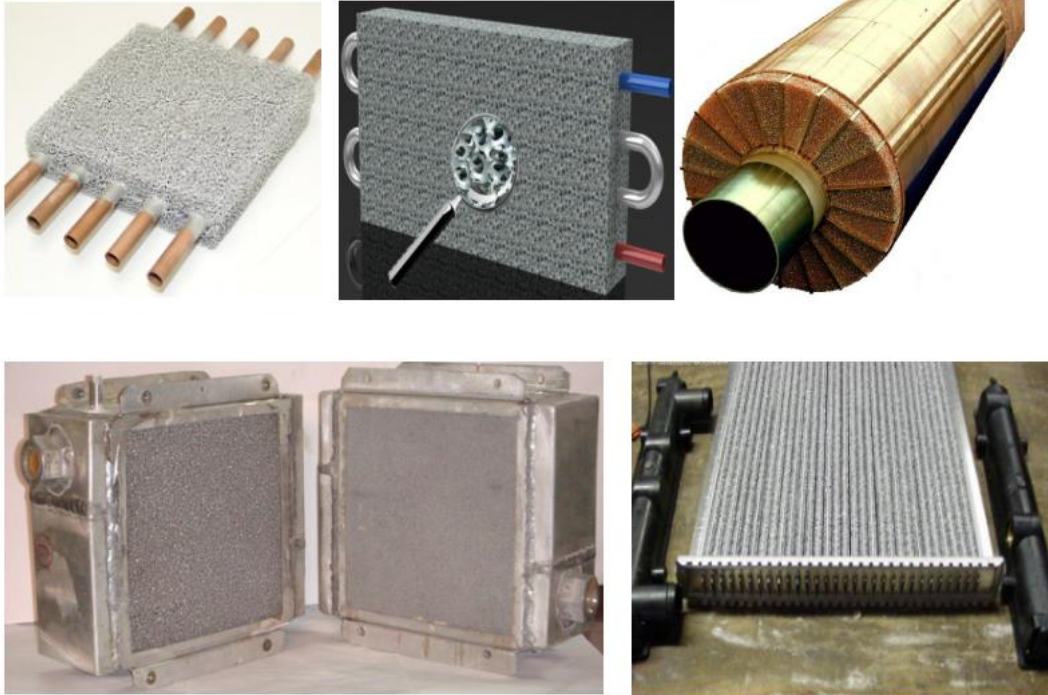
Şekil 1.3 Kapalı hücreli alüminyum köpük (Yavuz 2010).

Yüksek ısı iletkenliği ve korozyon direnci nedeniyle, açık gözenekli alüminyum köpükler ısı eşanjörü olarak kullanılabilirler. Kapalı gözenekli köpük metaller ise düşük ısı iletkenlikleri özelliğinden dolayı, yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Bu uygulamalara bilgisayar çipleri, soğutma radyatörleri ve güç elektroniği için mikro elektronik cihazlar örnek olarak verilebilir. Resim 1.2'de alüminyum köpükten yapılmış ısı değıştiriciler görölmektedir (Yavuz 2010).



Resim 1.1 Alüminyum köpükten yapılmış ısı değiştiriciler (Yavuz 2010).

Metal köpüklü ısı değiştiriciler, kanatlı ısı değiştiricilerle çok benzer özelliğe sahiptirler. Tek fark kanatlarda metal köpük tabakasının olmasıdır. Metal köpükler ısı değiştirici için kanat görevi görmektedirler. Metal köpükler için gözenek yoğunluğu, hücre duvar kalınlığı ve köpük malzemesi cinsi hedef uygulamalar için ayırt edici özelliği oluşturmaktadır.

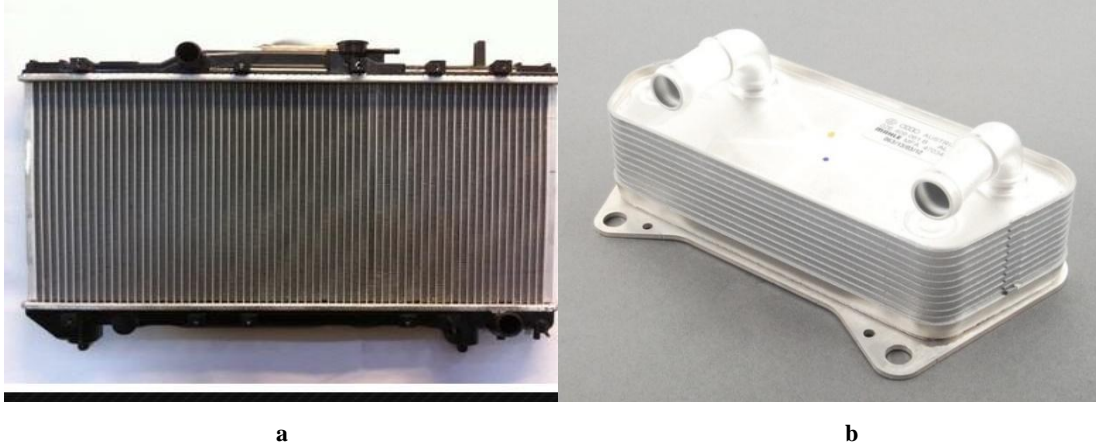


Resim 1.2 Metal Köpük Isı Değiştiriciler (Girlich 2006, Sertkaya 2008, Sertkaya 2013).

Metal köpük kanatlı ısı değiştiriciler, açık hücreli metal köpüklerden ve yaygın olarak alüminyum kanatlı köpük ısı değiştiricilerden yapılmaktadır. Isı değiştiriciler de yüzey alanı ile transfer edilen ısı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Metal köpük kanatlı ısı değiştiriciler, birim hacimde, konvansiyonel kanatlı ısı değiştiricilerden çok daha fazla yüzey alanına sahiptirler. Metal köpük kanatlı ısı değiştiricilerde birim hacimdeki yüzey alanı $10,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ değerine kadar ulaşmaktadır (Boomsma *et al.* 2003). Resim 1.2'de metal köpük ısı değiştiricilerden bazı örnekler verilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Yüksek gözenekliliği ve geniş yüzey alanı nedeniyle, açık hücreli metal köpük ısı transferi uygulamaları için çekici bir malzemedir. Taşıtlarda ısı değiştiricileri motor ve iklimlendirme radyatörleri, intercooler, şanzıman ve motor yağ soğutucuları olarak kullanılmaktadır. Radyatörlerde sıvıdan havaya ısı geçişi, yağ soğutucularında ise sıvı (yağdan) – sıvı (suya) ısı geçişi mevcuttur. Resim 1.3'te taşıtlarda kullanılan ısı eşanjörleri görölmektedir.



Resim 1.3 Taşıtlarda kullanılan ısı değiştiricileri a)Radyatör, b)Yağ soğutucusu (İnt. Kyn. 4, İnt Kyn. 5).

Isı değiştiricilerinde, yüzey alanı ısı iletiminin verimi için önemli hususlardan biridir. Alüminyum köpüklü ısı değiştiriciler, çok geniş yüzey alanına sahip olmasına rağmen endüstride henüz istenilen seviyede kullanılmamaktadır. Bunun en büyük nedeni alüminyum köpük üretimindeki zorluklar ve maliyetinin yüksek olmasıdır.

Bu tez çalışmasının amacı alüminyum köpüklerin ısı değiştiricisi olarak kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bu sebeple bir deney düzeneği ve ısı eşanjörü tasarlanmıştır. Deney düzeneğinin tasarımından sonra iki farklı gözenek boyutunda açık gözenekli alüminyum köpük üretimi yapılmıştır. Üretilen köpükler tasarlanan eşanjörün iç ve dış kanallarına yerleştirilip, eşanjörün giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek sıcaklık değişimleri tespit edilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda köpüklü ve köpüksüz durumlarda eşanjörün verimi üzerine çalışmalar yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan çalışmada literatür taraması iki grupta incelenmiştir. Birincisi metalik köpükler hakkında diğeri ise ısı değıştiriciler hakkındadır.

2.1 Metalik Köpükle Yapılan Literatür Çalışmaları

Li vd. (2018), “Geliştirilmiş mekanik özelliklere sahip TiH₂ alüminyum köpük üretmek için yenilikçi yüzey modifikasyonları” adlı çalışmada, TiH₂ köpük maddesi için yeni bir modifikasyon metoduna yer vermiş ve bor fenolik reçinesi– TiH₂ köpük maddesini ilk kez başarılı bir şekilde hazırlamışlardır. Deneysel sonuçlara göre (BPR) – TiH₂ köpük maddesi 120s’den daha uzun dayanan mükemmel bir yavaş salınımına sahiptir. Bununla birlikte (BPR) – TiH₂ ile hazırlanan köpük maddesi, TiH₂ maddesine göre daha yüksek sıkıştırma gücü ve enerji emilimine sahiptir (Li *et al.* 2018).

Hangai vd. (2018), “Dışı alüminyum köpük katman içeren ve içi yoğun alüminyum borulu vakumlu geri çevrim metodu ile yapılmış çift katmanlı tüp üretimi” adlı çalışmada, ADC12 köpük tüpü ve A1070 tüpünden oluşan iki tabakalı bir tüpü FSBE yöntemi ile üretmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre ADC12 ve A1070 ile aralarında boşluk kalmayacak şekilde bir tüp üretilebileceğı, tüplerin yeterince köpüklendiğı ve köpüklenme esnasında birleşme aksaklığı yaşanmadığı görülmüştür. Ayrıca statik sıkıştırma testleri sırasında, ADC12 tüpü, ADC12’nin kırılğan Al-Si ötektik doğası nedeniyle kırılğan bir gerilme eğrisi ile sonuçlanan bir kırılğan deformasyon sergilenmiştir (Hangai *et al.* 2018).

An vd. (2018), “Grafen partikülleriyle güçlendirilmiş alüminyum köpük imalatı” adlı çalışmada, direk köpük eritme metodu ile grafen nano partikülleriyle (GNF) güçlendirilmiş köpük üretimi yaklaşımı gerçekleştirmişlerdir. Bu yaklaşıma göre, köpük malzemesiyle birleştirilen GNF’ler, bir soğuk öğütme işlemiyle yardımcı maddenin yüzeyine gömülmüştür. Deneysel sonuçlara göre, birçok GNF’nin gözenek yüzeyinde olduğu ve kompozit oksitler ile gözenekli yüzey karışımı içinde sadece bir miktar GNF’nin gözlendiğı görülmüştür (An *et al.* 2018).

Ding vd. (2018), “Toz metalurji metodu ile üretilen alüminyum köpüklerin hücre yapısının optimizasyonu” adlı çalışmada, hücre yapısını TiH_2 'nin Sn (kalay) tozu ile ön işleme tabi tutulmasıyla güçlendirmişlerdir. Matrix karışımı hala katı haldeyken köpük oluşumunun erken safhasında TiH_2 tamamen erimiş, Sn içinde yeniden kapsüle edilmiştir. Son hücresel yapı optimize edilmiş ve düzenli dairesel hücreler elde etmişlerdir (Ding *et al.* 2018).

Islam vd. (2018), “Kapalı hücre alüminyum köpük alaşımlarının dinamik yük altında mekanik tepkimeleri ve dinamik deformasyon mekanizmaları” adlı çalışmada, yüksek hızlı kameraya bağlı olarak Split Hopkinson basınç çubuğu kullanılarak kapalı hücre stabilize alüminyum köpük alaşımlarının dinamik sıkıştırma tepkilerini araştırmışlardır. Testler 45 mm çapında ve 23 mm kalınlığında silindirik numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre darbe uygulamasında elastik ve plastik güçte belirgin bir artış gözlenmiştir (Islam *et al.* 2018).

Ling vd. (2018), “Düşük derecede tek ve tekrar edilen şoklarda alüminyum köpük sandviç tabakların dinamik davranışları hakkında deneysel çalışma” adlı çalışmada, Alüminyum köpük sandviç panellerinin (AFPS) dinamik karakterini düşük sıcaklık ve oda sıcaklığında, tek ve tekrarlanan darbe yükleri altında deneysel olarak araştırmışlardır. Tek darbe deneyi için, darbe enerjisinin artmasıyla, düşük sıcaklığın AFPS'nin dinamik tepkilerinin üzerindeki etkisi kademeli olarak artmış, düşük sıcaklıktaki AFSP sapmaları oda sıcaklığındaki sapmalara oranla azalmıştır. Tekrarlanan darbe deneyleri için, çarpma enerjisinin birikmesi nedeniyle, AFSP'lerin sapmaları darbe sayısı ile artmıştır. Darbe sayısı arttıkça yükleme aşamasındaki sertlik artmış, düşük sıcaklıkta AFSP'nin soğurulmuş enerjilerinin yanı sıra sapmalarında oda sıcaklığına göre daha düşük olduğu görülmüştür (Ling *et al.* 2018).

Wang vd. (2018), “Metal köpük sarılmış silindir etrafında yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları ile basınçlandırılmış ısı taşınımının sayısal analizi” adlı çalışmada, metal köpük katmanları ile sarılmış yatay silindirlerin etrafındaki yüksek sıcaklıklı egzoz gazının zorla taşınması üzerinde sayısal bir analiz yapmışlardır. Bu sayede, model ve ısı

transfer karakteristiklerini araştırmak için birkaç anahtar parametre tartışılmıştır (Wang *et al.* 2018).

Kostoglou vd. (2018), “Karbon köpük alüminyum florr nanokompozit malzemelerin zgn yanma sentezi” adlı çalışmada, bir yanma sentez yaklaşımı benimseyerek bir karbon köpük alüminyum florür kompozit (C-AlF₃) geliştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, karbon köpük alüminyum florür (C-AlF₃) nanokompozit malzemelerin, iyi yapılandırılmış yaş kimyasal prosedürlere uygun bir alternatif olarak, birkaç adımda ve hızlı yanma sentezi yaklaşımı kullanılarak üretilebileceği sonucuna ulaşmışlardır (Kostoglou *et al.* 2018).

Lacki ve Derlatka (2018), “PU köpük takviyesinin I-kirişin burkulma direnci üzerindeki etkisi” adlı çalışmada, PU kpgn, alüminyum alaşımlı 6061-T6 levhalar ve GFRP plakaları ile yapılmış olan I-kirişinin burkulma direnci üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu süreçte alüminyum kiriş, kompozit alüminyum cam elyaf kiriş, kompozit alüminyum-fiberglas-PU kiriş ve kompozit alüminyum-fiberglas-PU-nervür kiriş olmak üzere dört kiriş çeşidi ele almışlardır. Deney sonuçlarına göre, i-kirişlerdeki yk RFSSW noktaları tarafından taşınmasına rağmen bükme testi sırasında RFSSW noktalarının hiçbirinin hasar görmediğini ve i-kiriş ağının, poliüretan köpük ve nervrlerle takviyesi ile, alüminyum kirişe göre % 510 daha fazla burkulma direnci oluşturduğunu tespit etmişlerdir. GFRP plakaları ile gclendirilmış flanşlı alüminyum kirişe göre % 320 oranında bir burkulma direnci artışına ve GFRP plakaları ile gclendirilmış flanşlı alüminyum kirişe ve poliüretan köpükle gclendirilmış ağa göre % 40 oranında bir burkulma direnci artışına sebep olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Lacki *et al.* 2018).

Iinzeer vd. (2018), “CFRP n tabakalı ve alüminyum köpük çekirdekli hibrit sandviç yapıların mekanik özellikleri üzerinde korozyonun etkisi” adlı çalışmada, farklı köpük çekirdek katmanlarına sahip çoklu örnek varyantları 240 saate kadar bir tuz püskürtme ortamına maruz bırakmış, bu aşınmış örnekleri, düzlemsel gerilim testi kullanılarak, mekanik olarak karakterize edilmiş ve mekanik özellikleri, korozyona uğramayan referans örnekleriyle karşılaştırmışlardır. alışmalar ışığında, hem açık hem de kapalı

hücre sandviç örneklerinin hem dayanıklılık hem de sertlik bakımından önemli azalmalar gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır (Ilinzeer *et al.* 2018).

Novais vd. (2018), “Su ve alüminyum tozu maddesinin, atık içeren jeo-polimer köpüklerin özellikleri üzerine etkisi” adlı çalışmada, alüminyum maddesi ve katı-sıvı oranının doğru bir şekilde birleşmesiyle, hafif ve gözenekli jeopolimerler üretmişlerdir. Deneyleerde, jeo-polimer harçların kalorimetrik tepkileri göstermiştir ki, alüminyum tozu yükseldiğinde maksimum sıcaklığa ulaşmak için gereken sürenin azaltmış ve böylece yerinde uygulama yapmadan önce açık zamanı kısaltmıştır (Novais *et al.* 2018).

Shunmugasamy ve Mansoor (2018), “Haddelenmiş açık hücreli alüminyum köpüğün basınç davranışı” adlı çalışmada, bir açık hücreli 6101 alüminyum köpüğün, döküm yapılmış ve haddelenmiş koşullarda basınç davranışını incelemişlerdir. Deneyleerde, geleneksel haddelemenin, içyapıyı ve döküm köpüklerin nispi yoğunluğunu değiştirmek için basit bir yol olarak kullanımının uygun olduğu ve böylece çeşitli yapısal uygulamalar için mekanik özelliklerin daha uygun hale getirildiği sonucuna ulaşmışlardır (Shunmugasamy and Mansoor 2018).

Chang vd. (2018), “Süper yer çekimi alanında infiltrasyon döküm yoluyla 3 boyutlu açık hücreli alüminyum köpük üretimi” adlı çalışmada, alüminyum köpüklerin süper yerçekimi ile üretilmesini ve ürünlere etkilerini araştırmışlardır. Deneyleerde, yer çekimi katsayısının artırılmasının, öncü kanallara sızan erimiş alüminyumun yüzey gerilimini etkili bir şekilde aşabileceği ve böylece alüminyum köpüklerin ürün performanslarını önemli ölçüde arttıracığı sonucuna ulaşmışlardır (Chang *et al.* 2018).

Shaji ve Mohan (2018), “Alüminyum köpüğün, dikey, metal hidrit bazlı hidrojen depolama kabındaki sorpsiyon kaynaklı duvar gerilimine etkilerinin sayısal olarak simülasyonu” adlı çalışmada, dikey olarak hizalanmış bir metal hidrit depolama cihazının hidrojenasyonu üzerindeki duvar gerilimi gelişiminin sayısal simülasyonu üzerinde durmuş, alüminyum köpüğün hidrojenasyon üzerindeki rolü ve sonuç olarak duvar gerilimi gelişimini incelemiş ve gerilimin azaltılması için bir yöntem olarak

köpük yoğunluğunun kontrollü mekânsal değişiminin etkisini araştırmışlardır. Simülasyon sonuçları, termal olarak kontrol edilen sorpsiyon performansını arttırmak ve bu cihazlardaki duvar gerilimini azaltmak için alüminyum köpüğün uygunluğunu göstermektedir (Shaji and Mohan 2018).

Taherishargh vd. (2018), “Geniştirilmiş sıcaklıklarda genişmiş perlit-alüminyum sintaktik köpüğün mekanik özellikleri” adlı çalışmada, genişleştirilmiş perlit / A356 alüminyum sintaktik köpüğün (P-MSF) ve kitle matris materyalinin basınç özelliklerini 25 ve 500 °C arasındaki farklı sıcaklıklarda incelemiştir. Çalışmalar ışığında, köpüklerin yüksek sıcaklıktaki mekanik özelliklerinin, iki karşı etkili mekanizma ile, yani matris malzemenin yumuşaması ve köpüğün geliştirilmiş esnekliği tarafından kontrol edildiği sonucuna ulaşılmıştır (Taherishargh *et al.* 2018).

Linul vd. (2018), “Silindirik kapalı hücreli alüminyum alaşımlı köpüklerin basınç davranışı üzerindeki sıcaklık ve anizotropi etkisi” adlı çalışmada, kapalı statik alüminyum alaşım köpüklerin farklı yarı statik yükleme koşulları ve farklı sıcaklıklarda (25, 150, 300 ve 450 °C) ana mekanik özellikleri deneysel olarak incelemiştir. Çalışmalar ışığında elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, sıkıştırma deneyleri sırasında sıcaklığın artırılmasıyla, hem eksenel hem de yanal yükleme koşulları için köpük malzemenin mekanik özelliklerinde bir azalma oluşmaktadır. Ayrıca, test edilen tüm sıcaklıklarda, gözenekli yapının, yanal olarak sıkıştırıldığında, yükün düşük seviyesini ve eksenel yüklemeye kıyasla enerji emilimini tolere ettiği görülmüştür (Linul *et al.* 2018).

2.2 Isı Değiştiricilerle İlgili Literatür Çalışmaları

Flitsanov ve Kribus (2018), “Metal köpüğe dayalı yoğun dizi CPV alıcıları için bir soğutucu” isimli çalışmalarında İnç başına 20, 30 ve 40 gözenekli (PPI) alüminyum esaslı köpükleri, kompakt bir ısı eşanjöründe test etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre, ticari soğutucuya kıyasla, metal köpük ile ısı transferi ve basınç düşüşü performansının daha iyi olduğu görülmüştür. Örnek bir durumda CPV alıcı performansı üzerindeki

etkinin tahmin edilmesinin, metal köpük soğutucunun kullanılmasının elektrik üretimini yaklaşık % 1,5 arttırabileceğini göstermişlerdir (Flitsanov ve Kribus 2018).

Shi vd. (2018), “Yatay tüpler ile halka şeklindeki metal köpüklerle doldurulmuş yoğun akış üzerinde deneysel araştırmalar” adlı çalışmada, üç farklı boyutta (10, 15 ve 20 ppi) halka şeklindeki metal köpükle kaplanmış yatay tüplerdeki su buharı yoğunlaşmasının ısı transferi ve basınç düşüşünü incelemişlerdir. Ortalama ısı transfer katsayısı ayrıca, daha yüksek giriş buharı basıncı, daha yüksek buhar kütle akışı oranı ve daha yüksek soğutma suyu sıcaklığı ile artması gözlemlenmiştir (Shi *et al.* 2018)

Hamadouch vd. (2018), “Alüminyum köpük kullanarak ısı değiştirici termal hidrolik performansının geliştirilmesi” adlı çalışmada, alüminyum metalik köpük bloklarla kısmen birleştirilen dikdörtgen bir kanalda türbülanslı zorlanmış konveksiyon araştırması yapmışlardır. Deneyler, % 93,8 sabit bir gözeneklilik, 5, 20 ve 40 PPI olmak üzere farklı derecelerde ve 0,6- 0,8 ve 1 yükseklik oranlarına sahip olan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, alüminyum köpük numuneleri boyunca basınç düşüşü ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara göre, ısı transferinin ve basınç düşüşünün (en uygun ısı eşanjörleri tasarımı) tasarım hedefine ulaşması için metal köpüğün yüksekliğinin ve derecesinin optimal bir seçiminin olduğu görülmüştür (Hamadouch *et al.* 2018).

Zukowski ve Topolanska (2018), “Boru ve plakalı ısı değiştiriciler arasındaki termal performansın karşılaştırılması” adlı çalışmada, iki tip hava-hava ısı değiştiricisinin termal performansını karşılaştırmışlardır. İki sistemin deneysel testleri, aynı hava ve zemin koşullarında ve eşanjörlerin aynı yüzey alanında (12 m x 28 m) yapılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, Kuzeydoğu Polonya'nın iklim koşullarında yaz ve kış aylarında her iki tip hava-hava ısı değiştiricisinin enerji verimliliği açısından etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Zukowski *et Topolanska* 2018).

Tu vd. (2018), “Kurutucu kaplı, su emici ısı eşanjöründe nem alma dinamiği” adlı çalışmada, farklı koşullar altında gerçek zamanlı su alım modları ve zamanlarını, deneysel verilere ve diyagramlara dayalı olarak araştırmışlardır. Lineer itiş gücü

modelinin parametrelerini değerlendirme yöntemleri ve bu parametreler üzerinde giriş havası nemi, ısı transferi, sıcaklık ve ön hava hızı gibi bazı ana faktörlerin etkileri incelemiştir. Su alımındaki gözenekte bulunan higroskopik tuzun etkileri incelenmiştir (Tu *et al.* 2018).

Park (2018), “Isı eşanjörü verilerinin enerji eşitleme hatasını maksimum olasılık yöntemiyle düzeltme” adlı çalışmada, ısı değiştirici performans veri analizi sırasındaki belirsizlik yayılımını Monte Carlo simülasyonları ile incelemiştir. Monte Carlo simülasyonlarından, değişkenlerle yapılan bu düzeltmeler, verilen belirsizlikler ve gözlemlenen enerji dengesi hatası ile muhtemel olası hatalar olarak kabul edilmektedir. Önerilen metot, genellikle, her bir ısı eşanjörü konfigürasyonuna ya da eşit kapasiteli soğutucularda uygulanabilir; burada bireysel ölçüm belirsizlikleri ile gereksiz ısı transfer ölçümleri elde edilebilir (Park 2018).

Hu vd. (2018), “Nem alma koşullarında su itici kaplama ile metal köpükte ıslak hava akışının ısı transferi ve basınç düşüşü özellikleri” adlı çalışmada, su itici kaplama ile metal köpüğün içindeki ıslak havanın ısı transferi ve basınç düşüşü özellikleri deneysel olarak incelemiştir. Nem itici kaplamanın etkisini incelemek için kaplamasız metal köpükler ile karşılaştırılmıştır. Nem alma koşulu altında su itici kaplamayla metal köpüğün kapsamlı performansı, %30 ve %50 bağıl nemde kaplanmamış metal köpüğünden daha iyi; ancak %70 ve %90 bağıl nemde daha kötü olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Hu *et al.* 2018).

Orihuela vd. (2018), “Metal köpük dolgulı halkaların termohidroliği” adlı çalışmada, Alüminyum köpük ile doldurulmuş bir dişli vasıtasıyla basınçlı ısı taşınımının sayısal ve deneysel analizi gerçekleştirmiş ve akış hızı ile köpük kanal yoğunluğunun, ısı değiştiricisi performansına etkisi araştırmışlardır. Sonuçlara göre, bu modelin sadece nitel bir analiz için yararlı olduğu ve zaman alıcı deneysel ölçümleri önlemek açısından gelişmiş bir modelin daha yararlı olacağı sonucuna ulaşmışlardır (Orihuela *et al.* 2018).

Arie vd. (2018), “Güç santrallerinin kuru soğutulması için ek olarak üretilen bir ısı değiştiricinin deneysel karakterizasyonu” adlı çalışmada, santrallerin kuru soğutulması

için yeni bir hava-su ısı değiştiricisinin tasarımı, üretimi ve deneysel karakterizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Sonuçlara göre, geleneksel ısı eşanjörleri ile kıyaslandığında, dağıtıcı-mikrokanal ısı değiştiricisinin performansının daha üstün olduğu sonucuna varmışlardır (Arie *et al.* 2018).

Mustaffar vd. (2018), “Geçici çekiiş güçlü soğuma uygulaması için düzensiz metal köpükte tuz hidrat faz değişim maddesinin eritilmesi” adlı çalışmada, ilk deneysel çalışmalarla düzensiz alüminyum köpük ve tuz hidrat faz değişim malzemesine dayanan bir ısı emici kavramı oluşturmaya çalışmışlardır. Yapılan deneyler, (i) Vakum emdirme yönteminin % 96'lık bir emdirme oranı verdiği ve bu nedenle boşluk hacmi oranının % 5'i geçmediği, (ii) Erime sürelerinin giriş sıcaklıklarına bağlı olduğu, (iii) En yüksek giriş sıcaklığı 60 °C'de olduğunda, latent ısıtma periyodunun 1500 s olduğu ve PCM 50 °C giriş sıcaklığından %46 daha hızlı erittiği, (iv) 60 °C girişinde (çekiiş giriş koşullarına ortak), kompozit, makul ve gizli ısıtma dahil olmak üzere, 3500 s içinde 0,092 kW's termal enerji emdiği, (v) Orijinal ısı değiştirici tasarımı nedeniyle, yerleştirilmiş eriyik cepheleri farklı oranlarda yayıldığı (vi) Sıvı soğutucunun kullanımından kaçınmakla, sistem ağırlığını büyük ölçüde azaltacağı ve ilgili basınç düşüşü / performans komplikasyonlarından kaçınılacağı, bu nedenle, ısı borularının termal boru olarak kullanılmasının uygun olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır (Mustaffar *et al.* 2018).

Välikangas vd. (2018), “Kombine balıksırtı ve vorteks jeneratör tasarımı ile Fin-ve-borulu ısı değiştirici geliştirmesi” adlı çalışmada, VG'lerin balıksırtı yüzgeç şekli ile kanatçık ısı değiştiricisinde (FTHE) etkisini incelemişlerdir. Sonuçlara göre, bir balıksırtı yüzgeç tasarımı ile performans arttığı için VG'lerin yararlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Välikangas *et al.* 2018).

Chiappini (2018), “Açık hücreli metal köpüklerde doğal konveksiyonun sayısal simülasyonu” adlı çalışmada, doğal konveksiyon durumunda bir açık hücreli metal köpüğün ısı davranışını sayısal olarak belirlemek için çoklu-fizik yazılımı kullanmışlardır. Mevcut tüm deneysel verilerde, analiz edilen iki en-boy oranı için sadece sınırlı sayıda Ra dikkate almışlardır. İki en boy oranı için deneysel olarak

ölçülen Nu sayıları ile dikkate alınan Ra sayıları kümesi elde edilmiş ve simülasyon sonunda %15 hata tespit etmişlerdir (Chiappini 2018).

Alvandifar vd. (2018), “Hava soğutmalı ısı değiştiricilerin yeni bir nesli olarak kısmen metal köpük sarılmış tüp demeti” adlı çalışmada, metal köpük tabakaları ile sarılmış beş sıra tüplü bir tüp bankası için ısı transferi ve basınç düşüşünü sayısal olarak incelemişlerdir. Sonuçlara göre, boruları ince bir metal köpük tabakası ile kaplamanın, açık tüp bankasına kıyasla ısı transferini önemli ölçüde geliştirdiği görülmüştür (Alvandifar et al. 2018).

Nithyanandam ve Mahajan (2018), “Otomobilde atık ısı geri kazanımı için metal köpük bazlı termoelektrik jeneratörlerin değerlendirilmesi” adlı çalışmada, termoelektrik jeneratörler kullanarak verimli bir şekilde egzoz sistemleri tarafından yayılan ısının toplanması üzerinde çalışmışlardır. Sonuçlara göre, metal köpüğün farklı gözenek yoğunlukları için, TEG tarafından üretilen net elektrik gücünün metal köpük içermeyen TEG'den daha düşük olduğu kritik bir egzoz akış hızını göstermektedir (Nithyanandam et Mahajan 2018).

Alimonti vd. (2018), “Kuyu ısı değiştiriciler: Teknik bir inceleme” adlı çalışmada, WellBore Heat eXchangers (WBHX) ile ilgili mevcut literatür üç açıdan öne çıkarılarak analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, WBHX vasıtasıyla brin üretim olmaksızın jeotermal enerjinin ekstraksiyonunun fizibilitesini göstermektedir (Alimonti *et al.* 2018). Sonuç

Lai vd. (2018), “Farklı çalışma koşullarında metal köpükte gözenek yoğunluğunun ve gözenekliliğin ıslak hava akışına etkisi” adlı çalışmada, nem alma koşullarında çalışan metal köpük ısı değiştiricisinin parametrelerini optimize etmek için, gözenek yoğunluğunun ve gözenekliliğin, farklı koşullar altında metal köpüğün ısıl havasının ısı transferi ve basınç düşüşü özellikleri üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuçlara göre, PPI arttıkça, küresel ısı transfer katsayısının her zaman düşük bağıl nem koşullarında arttığını, başlangıçta arttıkça yüksek bağıl nem koşullarında azaldığını ve 20 PPI'da maksimum %12-21'lik bir artış sergilediği sonucuna varılmıştır (Lai *et al.* 2018).

Wang vd. (2018), “Emme ısı değiştiricisinde ikincil şebeke akış dağılımının entrans analizi” adlı çalışmada, ikincil aę için akış dağıtım prensibinin teorik bir analizini sunmuşlardır. Sonuçlara göre, bu prensibin emilim eşanjörünün optimize edilmiş tasarımı ve çalışması için bir referans sağladığı görülmüştür (Wang *et al.* 2018).

3. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ

Enerji, dünya çapında günden güne daha önemli bir hal alan konu olmaktadır. Günümüzde, Dünya'nın enerji ihtiyacının yarısından fazlası birincil olarak benzin ve dizel gibi geleneksel yakıtların yanması ile karşılanmaktadır (Awad *et al.* 2018). Ancak fosil yakıtların kullanımı sera gazı emisyonlarında artışa sebep olmakta ve küresel ısınmaya neden olarak iklim üzerinde kötü bir etkiye sahip olmaktadır (Isa and Ganda 2018). Bu durum bilim adamlarını alternatif enerji kaynakları arayışına ve mevcut enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanmaya yöneltmiştir. Mevcut enerji kaynaklarından verimli bir şekilde faydalanmak için geliştirilen teknolojiler, alternatif bir enerji kaynağı bulmak için geliştirilen teknolojilerden daha ekonomiktir. Dolayısıyla atık ısının geri kazanımı için geliştirilen teknolojiler sürekli gündemdedir. Atık ısının geri kazanım yollarından birisi ısı eşanjörleridir (Koyuncu 1998).

Isı değiştiriciler, arasında sıcaklık farkı bulunan birden çok akışkanın birbiriyle sıcaklık değişimi yapmasını sağlayan elemanlardır. Genellikle içerisinde akışkanların hareketini sağlayan kanalların bulunduğu mekanik ve elektronik parçalarla desteklenirler. Reküperatör gibi doğrudan ısı transferi yapan cihazlarda akışkanlar birbirine karışmazken; Rejeneratör gibi dolaylı olarak ısı transferi yapan cihazlarda akışkanlar basınç farklarından dolayı birbirine karışmaktadır (İpek 2015).

Isı değiştiricileri, genellikle ısı transferini sağlayan bir yüzeyden, giriş ve çıkış hatlarından, akışkanın dağıtımını sağlayan tanklardan meydana gelirken, herhangi bir hareketli parçaya sahip değildir. Ancak dönen tip rejeneratörler istisna bir durumdur. Isı transferinin gerçekleştiği yüzeye (akışkanları birbirinden ayırır) ana yüzey ismi verilir. Ana yüzeyde oluşan ısı transferinin artırılması amacıyla buraya ek kanatçıklar ilave edilebilir (İpek 2015).

3.1 Isı Değiştiricilerinin Sınıflandırılması

Isı değiştiricileri genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Bayram 2014).

1. Yapılarına göre sınıflandırma
2. Akışın türüne göre sınıflandırma

3.1.1 Yapılarına Göre Sınıflandırma

Yapılarına göre ısı değiştiriciler genellikle göre dört ana gruba ayrılır (Bayram 2014):

1. Borulu eşanjörler
 - a. Çift borulu eşanjörler
 - b. Gövde borulu eşanjörler
 - c. Spiral borulu eşanjörler
2. Levhalı eşanjörler
 - a. Contalı eşanjörler
 - b. Spiral eşanjörler
 - c. Lamelli eşanjörler
 - d. Levha bobinli eşanjörler
3. Kanatçıklı eşanjörler
 - a. Borulu eşanjörler
 - b. Plakalı eşanjörler
4. Rejenaratörler
 - a. Dönen matris
 - b. Sabit matris

Borulu ısı değiştiriciler genel olarak dairesel kesitli borulardan, eliptik, dörtgen veya burkulmuş borulardan da üretilebilmektedir. Bu eşanjörler, akışkanlar arasında yüksek seviyelerde basınç farklılığının oluştuğu yerlerde kullanılır. Gazdan sıvıya ve gazdan gaza gerçekleşen ısı transfer işlemlerinde, tıkanmaları engellemek istendiği yerlerde de tercih edilir. Bu tip ısı değiştiricileri; taşıtlarda, güç santrallerinde, iklimlendirme ve soğutma tesisatlarında kullanılabilirler (Tekin 2006, İpek 2015).

Levhalı ısı değiştiriciler isminden de anlaşıldığı gibi levhalardan meydana gelmektedir. Levhaların farklı form ve ebatlarda olması mümkündür. Genellikle düşük basınç ve sıcaklığın olduğu yerlerde kullanılırlar. Bu dezavantajlarından dolayı borulu ısı

değiştiricilere oranla göre daha az tercih edilirler. Levhalı ısı değiştiriciler dört ana gruba ayrılırlar; Lamelli, Contalı, Levha Bobinli ve Spiral (İpek 2015).

Kanatçıklı levha modelinde, yüzey alanını arttırmak için levha bükülerek çıkıntılar oluşturulur. Araç radyatörleri de bu tip ısı değiştiricilere örnektir. Kanatçıklı boru modelinde ise; boruların dış yüzeylerinde dairesel çıkıntılar bulunmaktadır (Kaçar ve Erbay 2013).

Cam, çimento, metaller gibi malzemelerin üretiminde dışarı atılan ısı enerjii kazanmak amacıyla kullanılan Rejeneratörler, proses verimliliğini arttıran depolama tipi ısı değiştiricileridir. Sabit matrisli ve dönen olmak üzere farklı türleri vardır. Bu tür ısı değiştiricileri gaz türbinleri ve taşıtlarda kullanılabilirler (Balbay 2001).

3.1.2 Akış Türüne Göre Sınıflandırma

Eşanjörlerde akış türü basınç, sıcaklık, verim, en düşük ve en yüksek akışkan hızı, akış hattı, ısı gerilmeler, borulama gibi tasarımsal parametrelere göre belirlenir. Eşanjörler akış türlerine göre tek ve çok geçişli olmak üzere iki ana gruba ayrılır (İpek 2015).

1. Tek geçişli eşanjörler
 - a. Ters akışlı eşanjörler
 - b. Paralel akışlı eşanjörler
 - c. Çapraz akışlı eşanjörler
 - d. Ayrı akışlı eşanjörler
 - e. Bölünmüş akışlı eşanjörler
2. Çok geçişli eşanjörler
 - a. Kanatçıklı eşanjörler
 - i. Çapraz ters akışlı eşanjörler
 - ii. Çapraz paralel akışlı eşanjörler
 - iii. Birleşik akışlı eşanjörler
 - b. Gövde borulu eşanjörler
 - i. Paralel ters akışlı eşanjörler

- ii. Ayrı akışlı eşanjörler
- iii. Bölünmüş akışlı eşanjörler
- c. Levhalı eşanjörler

3.1.2.1 Tek Geçişli Isı Değiştiricileri

Bu tip ısı değıştiricileri arasındaki en önemli fark akış tiplerinin ve yönlerinin farklı olmasıdır. Bu ısı değıştiricileri beş gruba ayrılırlar; Bölünmüş Akışlı, Ayrı Akışlı, Paralel Akışlı, Çapraz Akışlı ve Ters Akışlı (İpek 2015).

3.1.2.2 Çok Geçişli Isı Değiştiricileri

Gövde borulu, levhalı ve kanatçıklı olmak üzere üç gruba ayrılan bu eşanjörler, boylarının kısa olması avantajını taşıdığından yüksek verime sahiptir (İpek 2015).

Kanatçıklı Isı Değiştiricileri

Bu tür ısı değıştiricilerinde genellikle akışkan birden çok çapraz akışlı olarak geçirilir. Çapraz ters akışlı, çapraz paralel akışlı ve birleşik akışlı olmak üzere üç gruba ayrılır (İpek 2015).

Gövde Borulu Çok Geçişli Isı Değiştiricileri

Bu tip ısı değıştiricilerde ısı transfer yüzeyini büyük çaplı silindirik gövde içine yerleştirilmiş çok sayıdaki borunun toplam yüzeyi oluşturur. Gövde içindeki akışkan bu boruların yüzeylerinden akarak borular içindeki akışkan ile ısı alışverişinde bulunur (Alperen ve Kurt 2016).

Levhalı Çok Geçişli Isı Değiştircileri

Bu tip ısı değiştircilerinde akış, oluklu kanatlar arasına sıkıştırılmış olan yassı ince metal levhalarla ayrılmıştır. Bu yzeye döz veya dalgalı olabilir. Borulu tip gibi yüksek basınç ve sıcaklıkta kullanılamazlar (Yakut 2007)

3.2 Isı Değiştircilerinde Kullanılan Malzemeler

Isı değiştircileri kullanım amacına ve koşullarına (sıcaklık, akışkan, basınç) uygun olarak imal edilir. Sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde maksimum çalışma sıcaklığına dayanıklı, basıncın yüksek olduğu yerlerde maksimum basınca dayanıklı, akma sınırı veya kırılma tokluğu yüksek malzemeler seçilmelidir. Akışkan korozifse buna uygun eşanjör malzemesi seçilmelidir. Bununla birlikte unutulmamalıdır ki eşanjör malzemesinin ısıl iletkenliği dikkat edilmesi gereken en önemli özelliktir. Her ne kadar malzemenin karakteristikleri önemli ise de, malzeme maliyeti de malzeme seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kriterler göz önüne alındığında en iyi seçim olarak çelik ve bakır alaşımlar, alüminyum, kompozit malzemeler ve seramikler gösterilebilir. Bu seçenekler arasından ortam koşullarına göre bir seçim yapılabilir (İpek 2015).

Bakır, en yüksek ısıl iletkenliğe ve yüksek korozyona karşı dirence sahip bir malzemedir. Tamiri kolaydır ve uzun süre bakım gerektirmez. Yoğunluğu hemen hemen çelikle aynı olan bakır, akma sınırı ve tokluk açasından çelik kadar iyi değildir. Çelik ve alüminyuma göre pahalı olduğundan daha çok önemli bölgelerde kullanılır (İpek 2015).

Alüminyum, düşük yoğunluk ve ağırlığa sahip olması nedeniyle yüksek ağırlıkların istenmediği yerlerde tercih edilir. Tokluk ve akma sınırı özellikleri çelik alaşımlar kadar iyi olmasa da bakır alaşımları ile hemen hemen aynıdır. Çelik alaşımlara göre pahalı; bakır alaşımlara göre ucuzdur. Ayrıca kaynağının yapılması ustalık gerektirdiğinden tamirata da zordur (İpek 2015).

Çelik, bakır ve alüminyuma göre ucuz olduğundan ve yapısından dolayı yüksek sıcaklık ve basıncın olduğu yerlerde çalışmaya uygun olduğundan avantajlıdır. Ancak korozyon direnci ve ısı iletkenliği düşüktür. Bakıra göre daha zor; alüminyuma göre daha kolay tamir edilirler (İpek 2015).

Seramik, teknolojinin gelişmesi ile eşanjörlerde yerini almıştır. Korozyon direnci çok yüksektir. Bu yüzden aşınma ve korozyonun fazla olduğu yerlerde eşanjör yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılır. Bakır ve alüminyuma göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olan seramikler olsa da genellikle ısı iletkenlikleri düşüktür. Kırılgan ve pahalı olduklarından geniş bir kullanım alanı yoktur (İpek 2015).

Kompozit, farklı malzemelerin iyi yönlerini birleştirip kötü yanlarını etkisiz hale getirmek amacıyla birlikte kullanılmasıyla elde edilir (İpek 2015).

4. MATERYAL ve METOT

4.1 Alüminyum Metalik Köpük Üretimi

Deneysel çalışmalar iki bölümden meydana gelmektedir. Deneysel çalışmaların ilk bölümünde tasarlanmış olan vakum döküm sistemi ile köpük üretimi gerçekleştirilmiştir. İkinci bölümünde ise üretilen köpüklerin özellikleri belirlenmiştir. Bu bölümde deneylerde kullanılan malzemelerin özellikleri, hazırlanma yöntemleri ve köpük üretimi için kullanılan parametreler açıklanmıştır.

4.1.1 Alüminyum Metalik Köpük İmalatında Kullanılan Malzemeler

Vakum döküm yöntemi ile üretilmiş alüminyum metalik alüminyum köpükler için %99,7 saflığındaki alüminyum ve Al-12Si alaşımı kullanılmıştır. Metal köpük üretiminde açık gözenekli hücre oluşumu için çözünen tip boşluk tutucu malzeme olarak NaCl kullanılmıştır. Farklı boyutlarda büyük NaCl taneleri elde etmek için NaCl kayaç halinde temin edilmiş ve bir seri kırma ve sınıflandırma işlemine tabii tutulmuştur. NaCl kayaç görüntüsü Resim 4.1’de, kırma ve eleme işlemleri ise Resim 4.2’de gösterilmiştir.

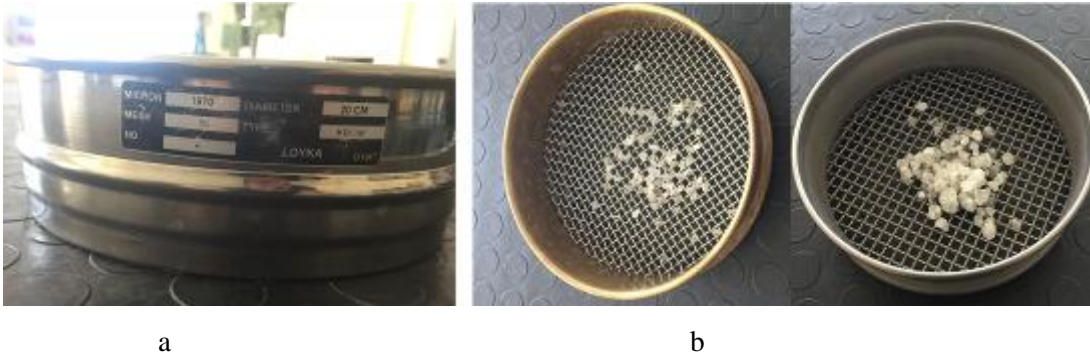


Resim 4.1 Kırma işlemi öncesi kayaç halindeki NaCl.



Resim 4.2 Kaya tuzlarını kırma ve boyut ayrıştırma işlemi.

Kırma işlemi çekiç yardımıyla gerçekleştirilmiş ve hammadde daha küçük tanelere dönüştürülmüştür. Kırılmış olan NaCl daha sonra 6 mm, 4 mm ve 2 mm açıklıklı tel eleklerden elenerek (Resim 4.3), iki farklı boyutta sınıflandırılmıştır. Bu tane boyutları sırasıyla 4 mm - 6 mm ve 2 mm - 4 mm'dir (Resim 4.3b). Farklı boyutlardaki malzeme ile metalik köpükler üretilmiştir.



Resim 4.3 Kırılan NaCl tanelerinin elek ile sınıflandırılması (a) ve boyutları (b).

Döküm sırasında nemin buharlaşıp gözeneklerde sorun oluşturmaması amacıyla kırma ve sınıflandırma işleminden sonra tuz taneleri 440 °C sıcaklıktaki fırında kurutulmuştur. Kullanılan laboratuvar tip fırın Resim 4.4'te gösterilmiştir.



Resim 4.4 Laboratuvar tip fırın.

4.1.2 Vakum Döküm Sistemi

Deneylerde kullanılan vakum döküm sistemi Resim 4.5a’da gösterilmiştir. Vakum döküm sistemi temel olarak vakum pompası, negatif basınçölçer, vakum haznesi, kalıbın oturduğu bir tabla, kalıp, filtre ve döküm sırasında oluşabilecek fazla metalin tutulduğu bir kısımdan oluşmaktadır. Sistem içindeki vakumun tahliyesi ve kalıp içinde gerçekleşecek infiltrasyon işlemi vakum kontrol vanalarının açılıp kapanması ile yönetilmektedir. Kalıp içine konulan NaCl tuzlarının vakum hava hattına kaçışını engellemek için çelik filtre kullanılmıştır. Rotary tip bir vakum pompası kullanılarak 0,95 bar vakum oluşturulabilmektedir. Boşluk tutucu malzemeyi içinde barındıran ve sıvı metalin döküldüğü kalıp çelikten imal edilmiştir (Resim 4.5b). Kalıp, yapılan dökümün kolay çıkarılması için dört parçalı cıvatalı olarak tasarlanmıştır. Döküm sonrasında olabilecek metal yapışmalarını engellemek ve dökümün daha kolay çıkmasını sağlamak için kalıp iç yüzeyine her döküm öncesinde toz grafit uygulanmıştır.



a.



b.

Resim 4.5 Vakum döküm sistemi (a) ve kalıbı (b).

4.1.3 Metalik Köpüklerin Hazırlanması

2mm– 4mm boşluklu alüminyum köpük hazırlayabilmek için kalıp yaklaşık 440 °C'ye kadar; 400g NaCl 610°C'ye kadar ısıtılır ve A-12Si külçe parçaları 860 °C'ye kadar indüksiyon sistemiyle ısıtılarak pota içerisinde sıvı hale getirilir. Kalıp, ısındığında 0,8 bar vakum düzeneğine yerleştirilir. Kalıp ile vakum düzeneği arasındaki sızdırmazlık cam macun ile sağlanmıştır. Daha sonra ısıtılmış olan tuz ve ardından Al-12Si kalıp içine dökülür. Vakum düzeneğinin vanası açılarak kalıp içerisindeki sıvılaştırılmış Al-12Si metalinin, kalıbın tabanına kadar inmesi sağlanır. Resim 4.6'da üretilen numunenin kalıptan çıkarılma aşaması görülmektedir.



Resim 4.6 Alüminyum köpük malzeme.

Çizelge 4.1 Döküm parametreleri.

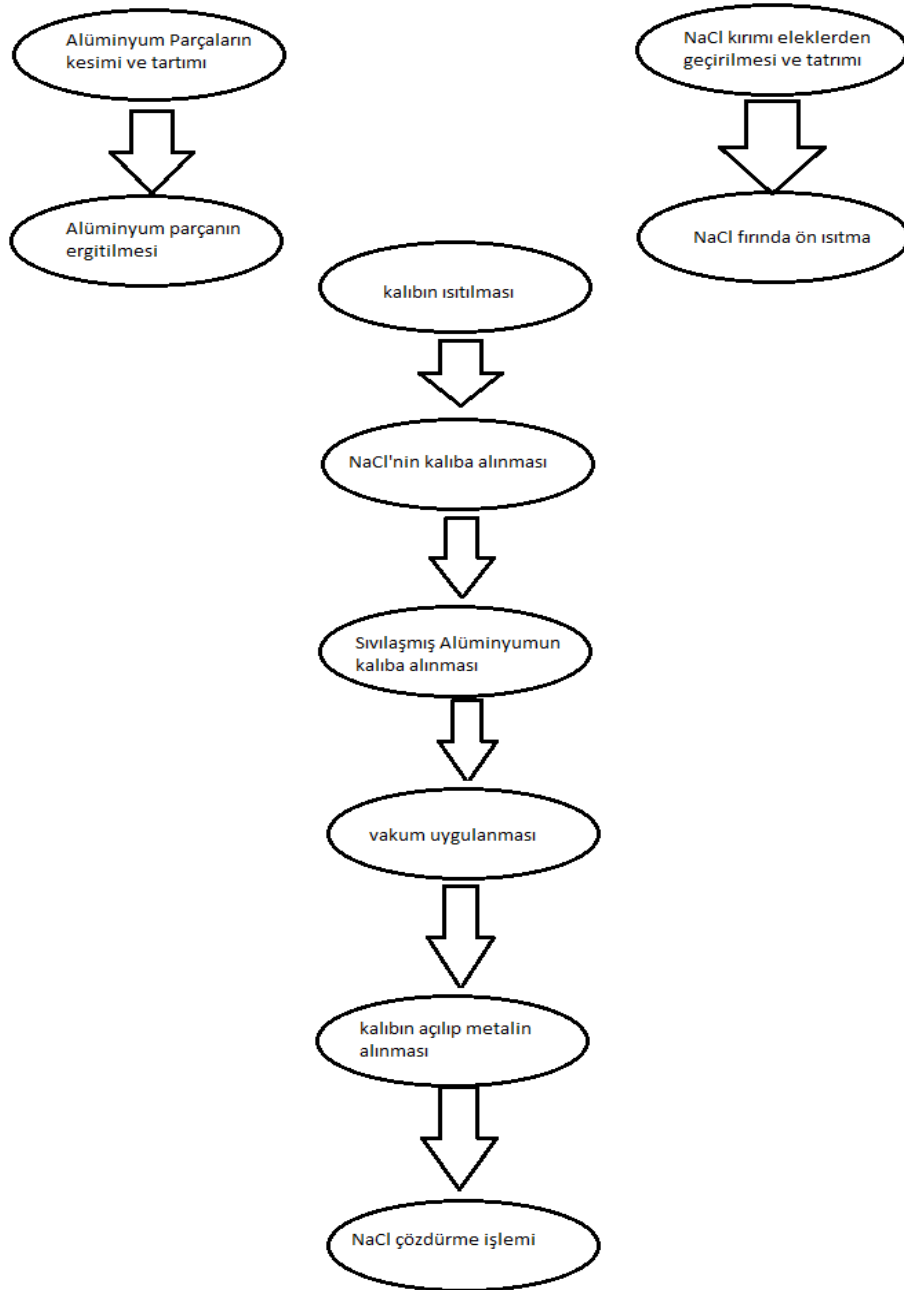
Döküm	Döküm sıcaklığı °C	NaCl ön ısıtma sıcaklığı °C	Kalıp ön ısıtma sıcaklığı °C
Numune	790	610	440

Döküm yapıldıktan sonra kalıp cıvataları sökülerek açılır ve alüminyum köpük malzeme kalıptan çıkarılır. Malzeme, soğuması ve tuzun çözünmesi amacıyla su dolu bir kaba konulur. Soğuyan malzeme şerit testere ile kesilir.

Çizelge 4.2 Alüminyum köpüklerin fiziksel özellikleri.

	Kütle (g)	Hacim (cm ³)	Yoğunluk (g/cm ³)
2 mm – 4 mm	265,96	206,6443466	1,287
4 mm – 6 mm	230,84	209,1207461	1,104

Metalik köpüklerin üretim şeması Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Alüminyum metalik köpüğün üretim şeması.

Resim 4.7a’da ergitme işleminin yapıldığı induksiyon ısıtıcısı görülmektedir. Kalıpların ön ısıtılmasında da aynı fırın kullanılmıştır. Isıtılacak kalıplar fırının çıkış noktalarında ısıtılmıştır. Pota içindeki metalin sıcaklığını ölçmek amacıyla Resim 4.7b’de gösterilen daldırma tip Ni-NiCr tip termokupl kullanılmıştır. Tuz ve fırın kenarında ısıtılan kalıbın sıcaklıkları ise lazer termometre ölçülmüş ve termometre Resim 4.7c’de gösterilmiştir. Gereken sıcaklığa ulaşan kalıp döküm sistemindeki kalıp tablasına yerleştirilir. Döküm sistemine konulan filtrenin vakum hattına yerleştirilmesinden sonra, ön ısıtması yapılan tuz taneleri kalıp içine dökülmüştür. Tuz tanelerinin sıvı metal içinde yükselmesini engellemek için yine geniş aralıklı çelik tel kafes tuzların üstüne konulmuştur. Döküm öncesi cürufu alınan pota içindeki eriyik metal son ölçümü alındıktan sonra gerekli döküm sıcaklığı teyit edildikten sonra kalıp içerisine dökülmüştür. Döküm öncesinde vakum haznesinde gerekli vakum değerine ulaşıldığı daha önceden sağlandığı için, vakum boşaltma vanası açılarak kalıbın üst kısmındaki sıvı metal vakumun boşalmasıyla hızla tuz tanelerinin arasına infiltre edilmiştir.



a.



b.



c.

Resim 4.7 (a) Ergitme işleminin yapıldığı induksiyon ısıtıcısı ve pota, (b) Sıcaklık ölçümünde kullanılan daldırma tip termokupl ve (c) Kalıp sıcaklığını ölçmek için kullanılan lazer termometre.

Dökümü yapılan kalıp açık havada soğumaya alındıktan sonra kalıp açılarak metalik köpük alınmıştır. Kalıptan çıkarılan Alüminyum metalik köpük alt ve üst kısmındaki düzensizlikler şerit testere ile düzeltildikten sonra Alüminyum metalik köpük eşanjör boyutlarına getirilmiştir. Döküm sonrasında yapı içinde kalan NaCl taneleri uygulanan su içinde çözündürme işlemi ile yapıdan uzaklaştırılmış ve Alüminyum metalik köpük hücre yapısı oluşturulmuştur. Çözündürme işlemi için şebeke suyu kullanılmıştır. Çözündürme süresi sonunda yapılan kontrollerde tüm tuz tanelerini kesit boyunca

özündüğü gözlenmiştir.

4.1.4 Üretimi Tamamlanmış Kullanıma Hazır Alüminyum Metalik Köpük

Alüminyum esaslı açık gözenekli köpükler, vakum döküm yöntemiyle çözünen tip boşluk tutucu tekniğı birleştirilerek üretilmiştir. Döküm yöntemi ile üretilmiş metalik köpüklerin işleme sonrası yapılan kesit incelemelerinde homojen bir gözenek ve yoğunluk dağılımı elde edildiğı sonucuna ulaşılmıştır (Resim 4.8).



Resim 4.8 Metalik köpük.

4.2 Deney Düzenegi

Kurulan deney düzeneginin üstten görünümü Resim 4.9'da verilmiştir. Eşanjörün birleştirilmesinde sızdırmazlığı sağlamak amacıyla sıvı conta kullanılmıştır.



Resim 4.9 Deneý düzeneęinin üstten görünümü.

- Deneý düzeneęinde kullanılan parça ve ekipmanları ařaęıda verilmiřtir.
- 2 Adet su deposu
- 2 Adet çamaşır makinesi su devir daim pompası
- 2 Adet priz
- 1 Adet komütatör anahtar
- 3 Adet sigorta
- 1 Adet 8 kanallı haberleşme ünitesi
- 1 Adet USB okuyucu bağdaştırıcı
- 4 Adet termokupl (-50 – 600 °C)
- 1 Adet termostatlı rezistans (30 – 100 °C)
- 2 Adet küresel vana
- 1 Adet dizüstü bilgisayar
- Eşanjör içerisine alüminyum köpük

Termokupl'lardan gelen bilgileri haberleşme ünitesi aracılığıyla dijital ortama aktarmada ara yüz programı olarak Autonics Daqmaster kullanılmıştır.

4.2.1 Pompalar

Deney düzeneğinde kanatçıklı tip pompa kullanılmış olup Resim 4.10'da görülmektedir.



Resim 4.10 Deney düzeneğinde kullanılan pompa.

- Deney düzeneğinde kullanılan pompanın teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.
- Su boşaltma pompaları
- Çalışma enerjisi: 175~240 V 50hz. 0,25a
- Gücü: 40 watt
- Max çalışma devri: 3000 rpm
- Kapasite: 20lt/Dk
- Max çalışma: 4 Saat Kesintisiz

4.2.2 TM4-N2RB Haberleşme Ünitesi

TM4-N2RB 30X100 çok kanallı modüler PID sıcaklık kontrol cihazı Resim 4.11'de gösterilmiştir.



Resim 4.11 PID sıcaklık kontrol cihazı.

TM Serisi multi-kanal modüler PID sıcaklık kontrol cihazları süper örnekleme hızıyla 4 kanal (100 ms)/2 kanal (50 ms) yüksek hızlı kontrol sağlar. Yan konnektörleri kablolama işini azaltır ve ek güç ve haberleşme kabloları gerektirmeden 31 birim, 124 kanala kadar yan yana genişleme birimi bağlantısını mümkün kılar. RS485 haberleşme veya özel USB kablosu vasıtasıyla bilgisayardan parametre değişimi ve değer izlemesi yapılabilir. Ek olarak, diğer kullanışlı işlevleri ile daha güvenilir kontrol sağlar.

Özellikler

- Multi-kanal (4 kanal/2 kanal) eşzamanlı kontrol imkânı
- Yüksek örnekleme hızı (100ms/50ms)
- Yan konektör kullanımıyla genişleme modülleri için haberleşme ve güç kablosu gerektirmez: Maksimum 31 birim (124 kanal/62 kanal)
- Yalıtılmış giriş terminalleri (1000 VAC dielektrik dayanımı)
- Eşzamanlı ısıtma/soğutma kontrolü
- RS485 (modbus rtu) ve özel USB kablosu sayesinde bilgisayardan parametre ayarlama: Bilgisayar yükleme programı – DAQMaster desteği: Özel USB kablosu – harici güç kaynağı ve bağlantısı gerektirmez
- Konektörlü bağlantı yapısı sayesinde kolay bakım: Sensör giriş konektörü, kontrol çıkışı konektörü, güç/haberleşme konektörü
- Multi giriş/geniş çalışma aralıkları (İnt. Kyn. 1).

4.2.3 Termokupl

TT11 Sabit kablolu olarak M12X1,5 rekorlu bayonet şeklinde üretilmektedir. Uç kısmı yay kuru ile prosese sıkıştırılır. Standart olarak Boy=30 mm Çap=6 mm'dir. Resim 4.12'de kullanılan termokupl gösterilmiştir.



Resim 4.12 Termokupl.



Resim 4.13 Eşanjör çıkışı temokupl yuvası.

İki adet olan yuvaların (Resim 4.13) içine termokupl yerleştirilerek eşanjör çıkışındaki iki sıvı boru hattının da sıcaklıkları ısı sensörleri aracılığıyla tespit edilmektedir.

4.2.4 Rezistans ve Termostatı



Resim 4.14 U Tipi Rezistans ve termostatı.

U şeklinde rezistans ve ortasındaki termostat sıcaklık sensörü yuvası, ± 5 °C tolerans ile 30-90 °C sıcaklıklarında 220V şehir şebekesi ile çalışmaktadır.

4.2.5 USB Bağdaştırıcı

IFD6500: IFD6500, USB'yi direkt RS485'e eviren kullanışlı ve genel amaçlı bir eviricidir. Herhangi bir ek güç kaynağı ve ayar gerektirmeyen basit kullanıma sahiptir. 75 ile 115200 bps arasındaki hızlarda otomatik olarak çalışmakta ve veri akış yönüne göre dönüştürmeyi otomatik gerçekleştirmektedir. RJ-45 konnektör ile RS485 cihazlara direkt bağlantı kurulabilir. Küçük boyutu ve kullanışlı yapısı ile bilgisayar üzerinden RS485 arabirimi oluşturmaktadır. USB2.0 desteği bulunmakta ve Windows XP/Vista/7 işletim sistemlerinde sorunsuz çalışmaktadır (İnt. Kyn. 2).



Resim 4.15 Usb Bağdaştırıcı.

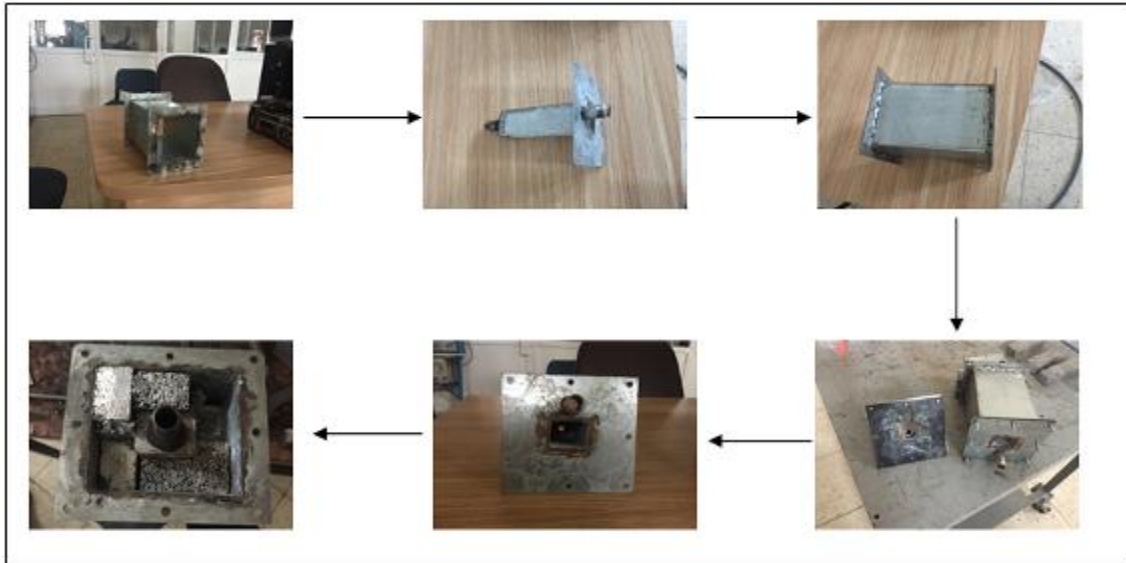
FD6500 teknik özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir (İnt. Kyn. 2):

- IFD6500 kullanışlı USB/RS-485 evirici olup, harici güç kaynağı kullanılmasına ve herhangi özel bir ayar yapılmasına ihtiyaç duymaz.
- 75~115.2 kbps geniş baud hızlarını destekler, otomatik data yönü değişimi sağlar.
- Bununla beraber RJ-45 konnektörü sayesinde kullanıcıya kolay RS-485 bağlantısı sağlar.
- Küçük boyutu, plug & play ve hot swap özelliği ile PC'den DELTA EMBU ürünlerine kolayca bağlanabilir.
- RS-485 Half-Duplex iletişimi destekler.
- Güç gereksinimi: Harici güç kaynağı gerektirmez.
- G tüketimi: 0,4 W.
- İzolasyon voltajı: 3000 V DC.
- Baud rate (bps): 75, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 bps destekler.

- RS-485 konnektör: RJ-45 (8 pin).
- USB konnektör: B tipi (dişi).
- Giriş empedansı: 96 k Ω .
- Uyumluluk: USB V2.0 özelliklerine uyumlu.
- Ölçüler (Boy x Genişlik x Yükseklik): 80 mm x 22,5 mm x 21,2 mm.
- Ağırlık: 25g.

4.2.6 Isı Değiştirici

Tasarlanan ısı değiştiricisi iç içe geçmiş iki dikdörtgen borudan oluşmakta ve boruların içerisinde ise açık gözenekli alüminyum metalik köpük ile doldurulmuştur. Sıcak ve soğuk akışkanlar pompalar aracılığıyla sıvı iletimi sağlamaktadır. Resim 4.16'da eşanjörün sökülmüş hali iç görünüşü ve toplama aşamaları verilmiştir.

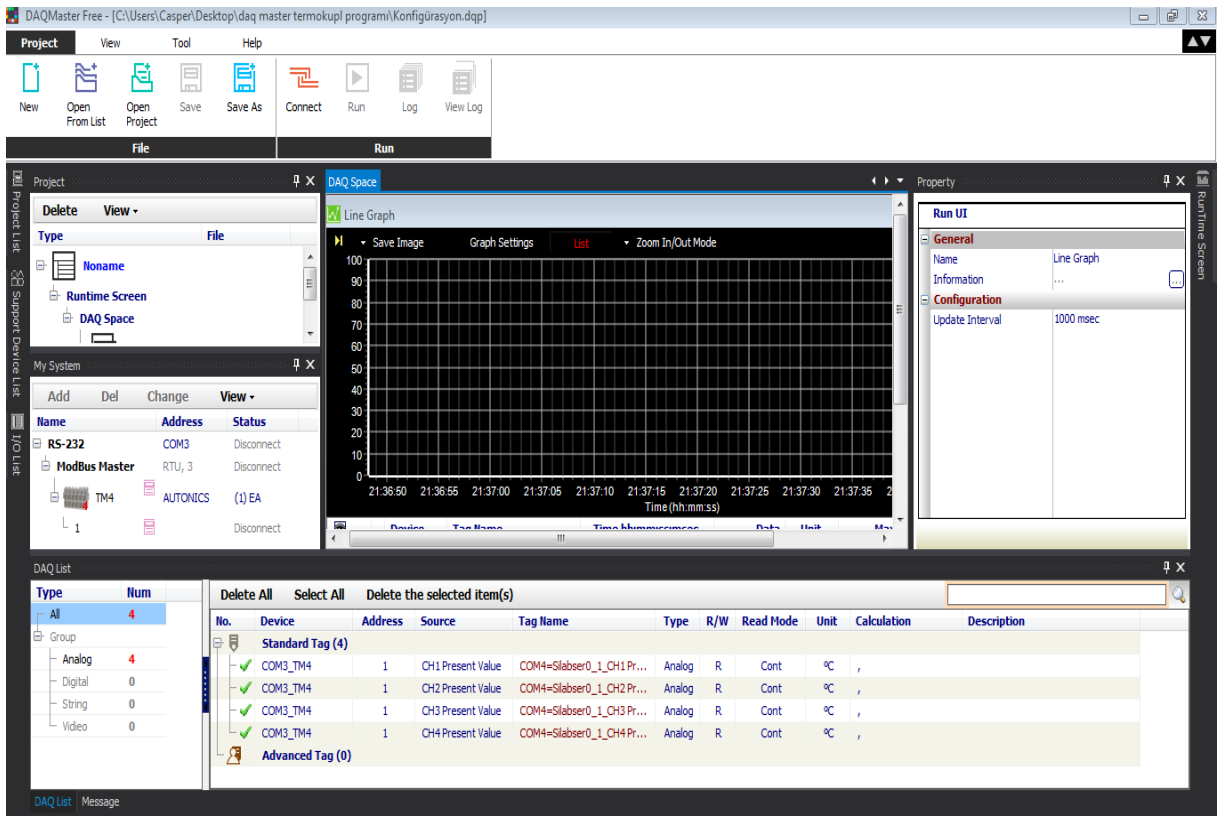


Resim 4.16 Eşanjörün sökülmüş hali iç görünüşü ve toplama aşamaları.

4.2.7 Autonics DAQmaster Yazılım

Deneylerde termokupl'dan alınan bilgilerin, bilgisayara aktarılıp grafik haline dönüştürülmesinde Autonics DAQmaster programı kullanılmıştır. Programın ekran arayüz görüntüsü, Resim 4.17'de gösterilmiştir.

- Çoklu cihaz desteklemesi
- Cihaz taraması
- Kullanıcılar için uygun ara yüz
- Proje yönetimi
- Verilerin kaydedilmesi ve izlenmesi
- Veri analizi
- Haberleşme programı
- Birçok dili desteklemesi
- Komut dizisi desteklenmesi



Resim 4.17 Daqmaster ekran görüntüsü.

4.3 Deneysel Metot

Deneylerde akışkan olarak su kullanılmıştır. Sıcak ve soğuk su kazanları ayrı ayrı su ile doldurulur. Pompalar çalıştırılır ve su doldurma işlemleri devam ettirilir. Sistem içerisinde iki hatta da resirkülasyon gerçekleşene kadar sisteme su doldurma işlemi

devam eder. Deneyler max. 30 dakika sürdürülmüş, 30 dakikadan önce sıvı sıcaklıkları eşitlenmişse veriler alınmış ve bir sonraki deneye geçilmiştir. Deneyler aşağıdaki durumlarda gerçekleştirilmiştir:

- Grup ısı değiştirici içi boş dışı dolu (2mm – 4mm gözenek)
- Grup ısı değiştirici içi dolu (2mm – 4mm gözenek) dışı boş
- Grup ısı değiştirici içi dışı dolu (2mm – 4mm gözenek)
- Grup ısı değiştirici içi (4mm – 6mm gözenek) dolu dışı boş
- Grup ısı değiştirici içi (4mm – 6mm gözenek) dolu dışı dolu (2mm – 4mm gözenek)
- Grup ısı değiştiricisi küresel vana ile debi ayarlı

olmak üzere 6 ayrı grupta 16 deney yapılmış olup Çizelge 4.3'te verilmiştir.

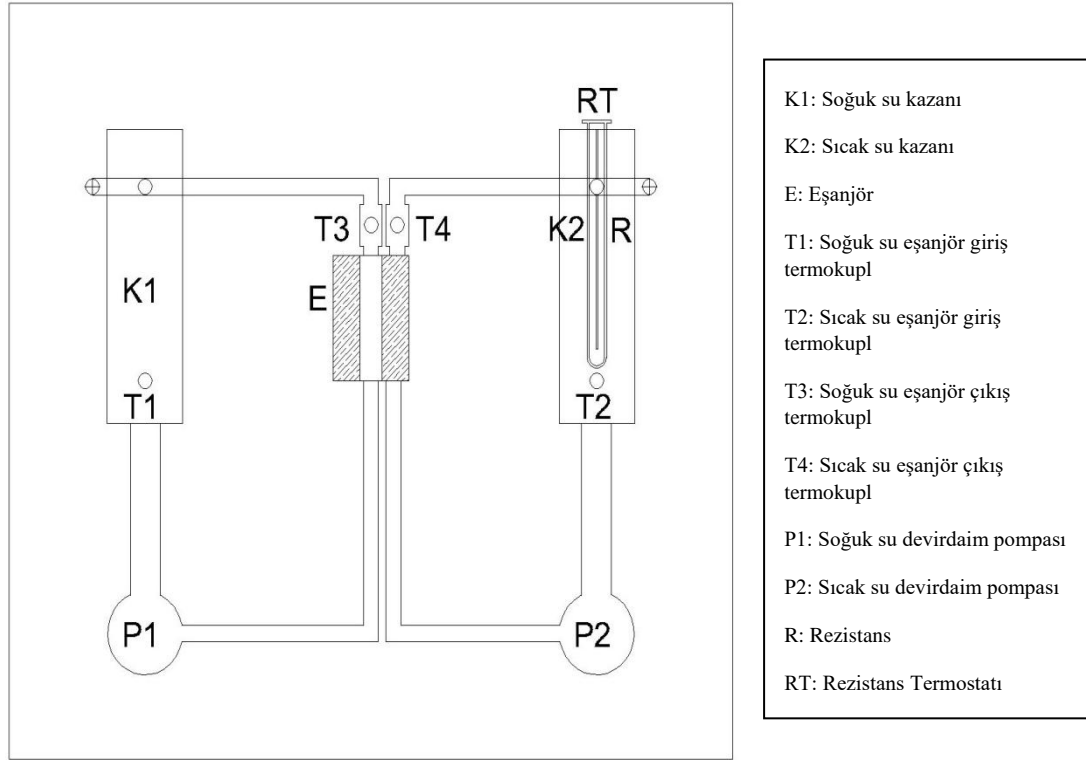
Çizelge 4.3 Deney grupları.

DENEYLER		KÖPÜK		AKIŞ ŞEKLİ		AKIŞ YÖNÜ	
GRUP	SAYI	İÇ	DIŞ	SICAK	SOĞUK	PARALEL	TERS
1 2mm-4mm gözenekli	1	Boş	Dolu	Dış	İç	+	-
	2	Boş	Dolu	Dış	İç	-	+
2 2mm -4mm gözenekli	3	Dolu	Boş	Dış	İç	+	-
	4	Dolu	Boş	Dış	İç	-	+
3 2mm -4mm gözenekli	5	Dolu	Dolu	DIŞ	İÇ	+	-
	6	Dolu	Dolu	Dış	İç	-	+
4 4mm -6mm gözenekli	7	Dolu	Boş	Dış	İç	+	-
	8	Dolu	Boş	Dış	İç	-	+
5 4mm -6mm gözenekli	9	Dolu	Dolu	Dış	İç	+	-
	10	Dolu	Dolu	Dış	İç	-	+
6 köpüksüz debi ayarlı	11	Düşük	Düşük	Dış	İç	+	-
	12	Düşük	Düşük	Dış	İç	-	+
	13	Düşük	Yüksek	Dış	İç	+	-
	14	Düşük	Yüksek	Dış	İç	-	+
	15	Yüksek	Düşük	Dış	İç	+	-
	16	Yüksek	Düşük	Dış	İç	-	+

4.3.1 Deney Grupları

4.3.1.1 Birinci Deney Grubu

Isı değiştiricisinin dış kısmı Alüminyum köpük ile doldurularak iç kısmı boş bırakılarak sisteme sıvı verilmiştir. Sıcak sıvı ve soğuk sıvı hatları kapalı sistem olarak çalışmış ve ısı değiştirici düzeneğin sıcak hattı dış kısımdan, soğuk hattı ise iç kısımdan geçirilerek ters akış ve paralel akış deneyleri yapılmıştır. Sistemin köpüklü kanalının debisi, kronometre ve dereceli 5 lt'lik su kabı kullanılarak manuel olarak kontrol edilmiştir (Debi: 5 lt/dk). Birinci grup deneyin şematik görünüşü şekil 4.2'de verilmiştir.

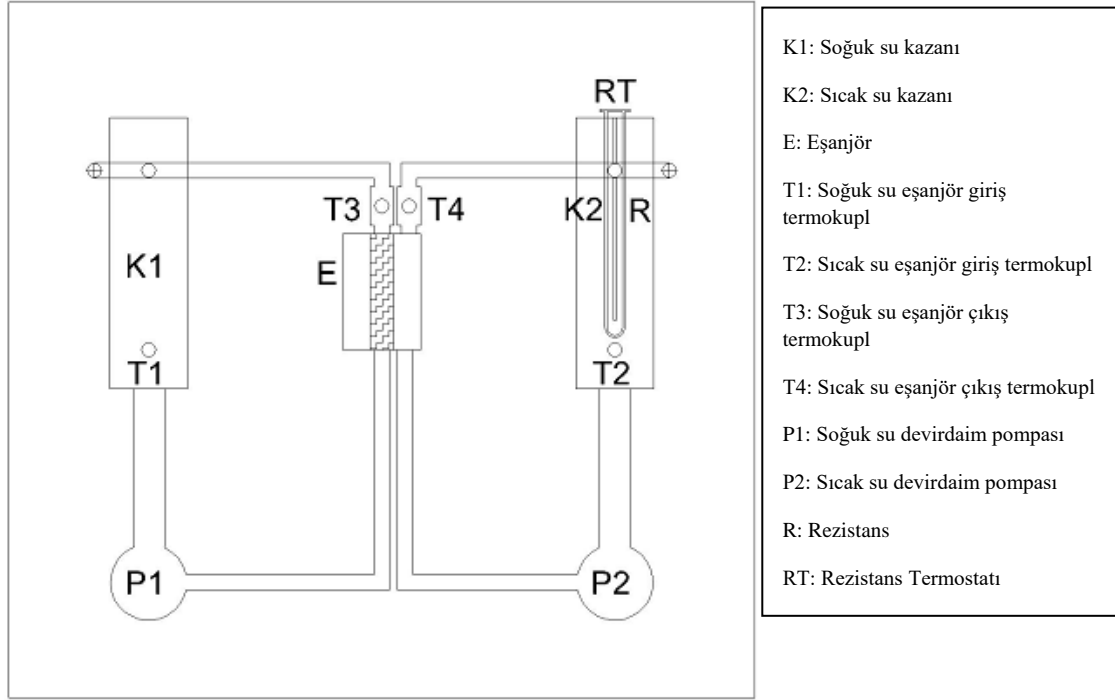


şekil 4.2 Birinci deney düzeneği.

4.3.1.2 İkinci Deney Grubu

Isı değiştiricisinin iç kısmı Alüminyum köpük ile doldurularak, dış kısmı boş bırakılarak sisteme sıvı verilmiştir. Sıcak sıvı ve soğuk sıvı hatları kapalı sistem olarak çalışmış ve ısı değiştirici düzeneğin sıcak hattı dış kısımdan, soğuk hattı ise iç kısımdan

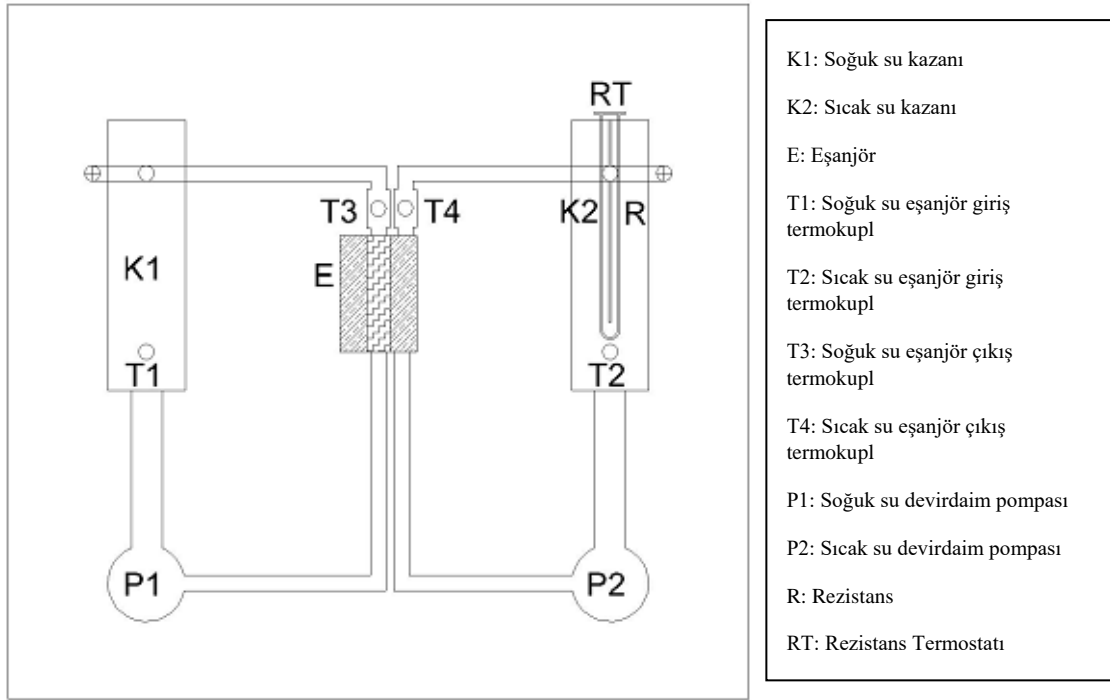
geçirilerek ters akış ve paralel akış deneyleri yapılmıştır. Sistemin köpüklü kanalının debisi, kronometre ve dereceli 5 lt'lik su kabı kullanılarak manuel olarak kontrol edilmiştir (Debi: 5 lt/dk). İkinci grup deneyin şematik görünüşü Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 İkinci deney düzeneği.

4.3.1.3 Üçüncü Deney Grubu

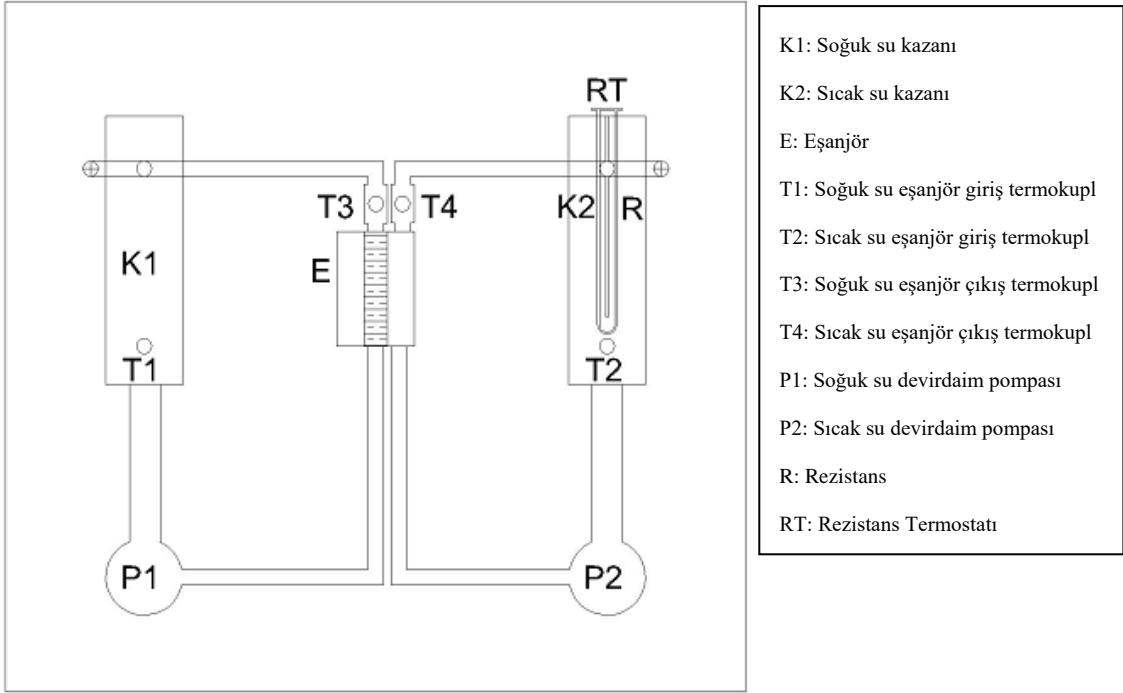
Isı değiştiricisinin iç ve dış kısmı 2mm – 4mm gözenekli Alüminyum köpük ile doldurularak sisteme sıvı verilmiştir. Sıcak sıvı ve soğuk sıvı hatları kapalı sistem olarak çalışmış ve ısı değiştirici düzeneğin sıcak hattı dış kısımdan, soğuk hattı ise iç kısımdan geçirilerek ters ve akış paralel akış deneyleri yapılmıştır. Sistemin köpüklü kanalının debisi, kronometre ve dereceli 5 lt'lik su kabı kullanılarak manuel olarak kontrol edilmiştir (Debi: 5 lt/dk). Üçüncü grup deneyin şematik görünüşü Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Üçüncü deney düzeneği.

4.3.1.4 Dördüncü Deney Grubu

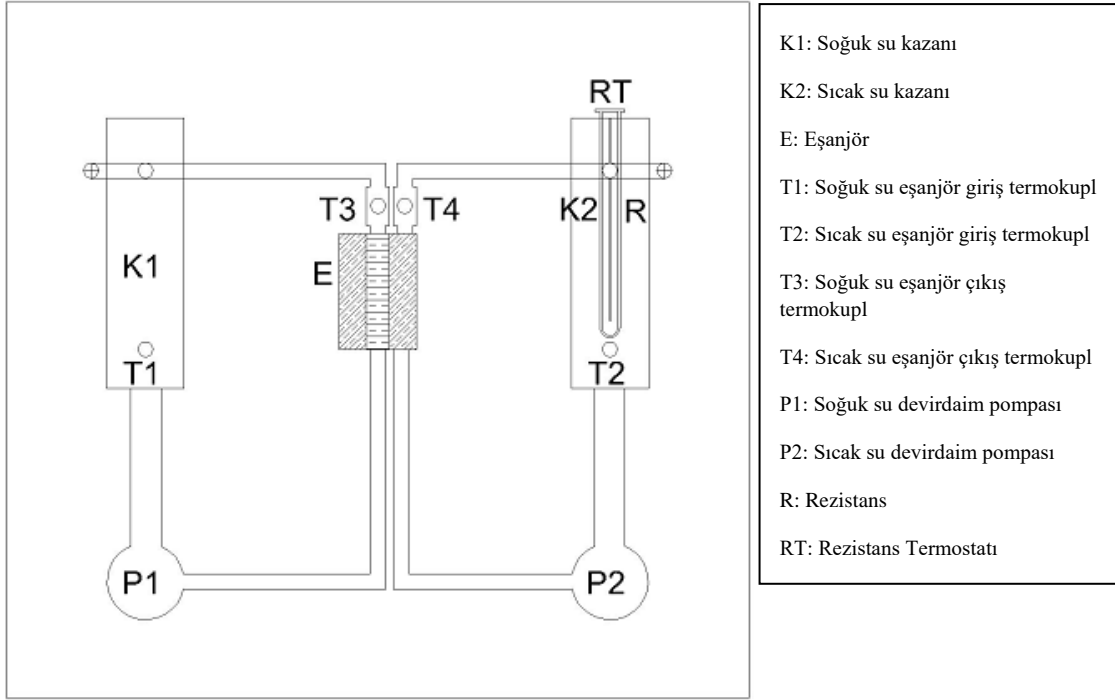
Isı değiştiricisinin iç kısmı 4mm – 6mm gözenekli Alüminyum köpük ile doldurularak dış kısmı boş bırakılarak sisteme sıvı verilmiştir. Sıcak sıvı ve soğuk sıvı hatları kapalı sistem olarak çalışmış ve ısı değiştirici düzeneğın sıcak hattı dış kısımdan, soğuk hattı ise iç kısımdan geçirilerek ters akış ve paralel akış deneyleri yapılmıştır. Sistemin köpüklü kanalının debisi, kronometre ve dereceli 5 lt'lik su kabı kullanılarak manuel olarak kontrol edilmiştir (Debi: 5 lt/dk). Şekil 4.5'te dördüncü grup deney görölmektedir.



Şekil 4.5 Dördüncü deney düzeneği.

4.3.1.5 Beşinci Deney Grupları

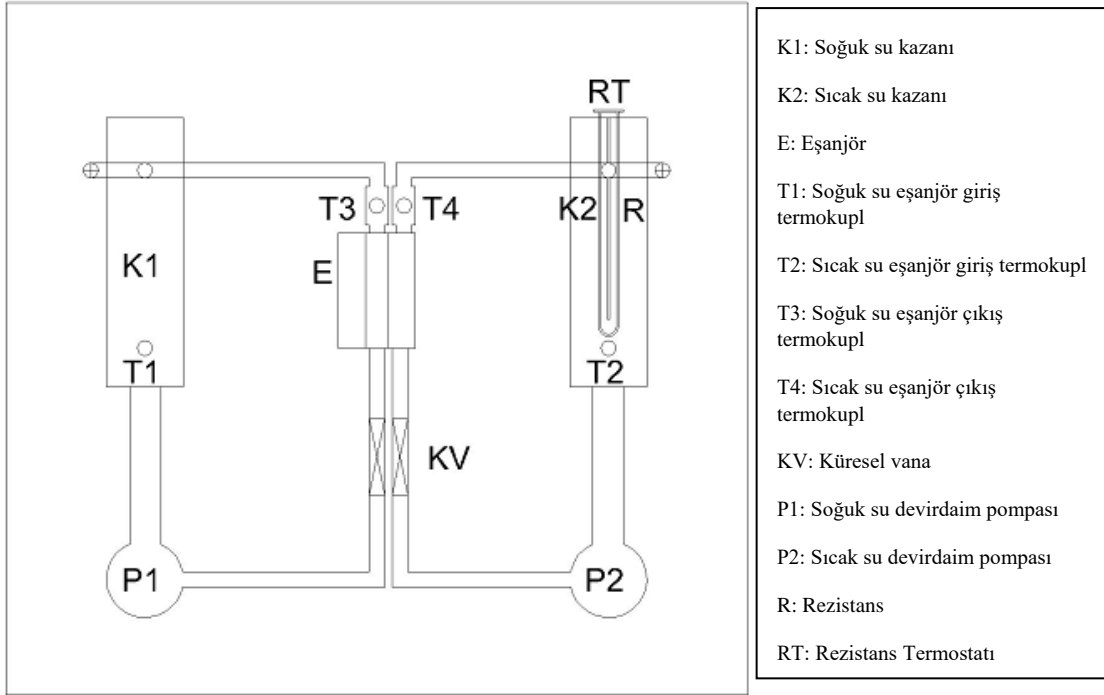
Isı değiştiricisinin iç kısmı 4mm – 6mm gözenekli dış kısmı ise 2mm – 4mm gözenekli Alüminyum köpük ile doldurularak sisteme sıvı verilmiştir. Sıcak sıvı ve soğuk sıvı hatları kapalı sistem olarak çalışmış ve ısı değiştirici düzeneğın ise sıcak hattı dış kısımdan, soğuk hattı ise iç kısımdan geçirilerek ters akış paralel akış deneyleri yapılmıştır (Debi: 5 lt/dk). Şekil 4.6’da beşinci grup deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Beşinci deney düzeneği.

4.3.1.6 Debi Ayarlı Deney Grupları

Pompa çıkışları ve eşanjör girişleri arasında küresel vana konularak debi kontrolü yapılmıştır. Deneyler 5 lt/dk'da $\sim \pm 2s - 3s$ 'lik hassasiyetle sabit debi ile köpük varolduğu düşünülerek yapılmıştır. Deneyler köpüğün var olduğu varsayılarak yapılmış, içi kısık dışı açık, dışı kısık içi açık, içi dışı kısık olmak üzere tamamlanmıştır. Şekil 4.7 'de basit görünümü verilmiştir. Şekil 4.7'de altıncı grup deney düzeneği şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 4.7 Altıncı deney düzeneği.

5. BULGULAR

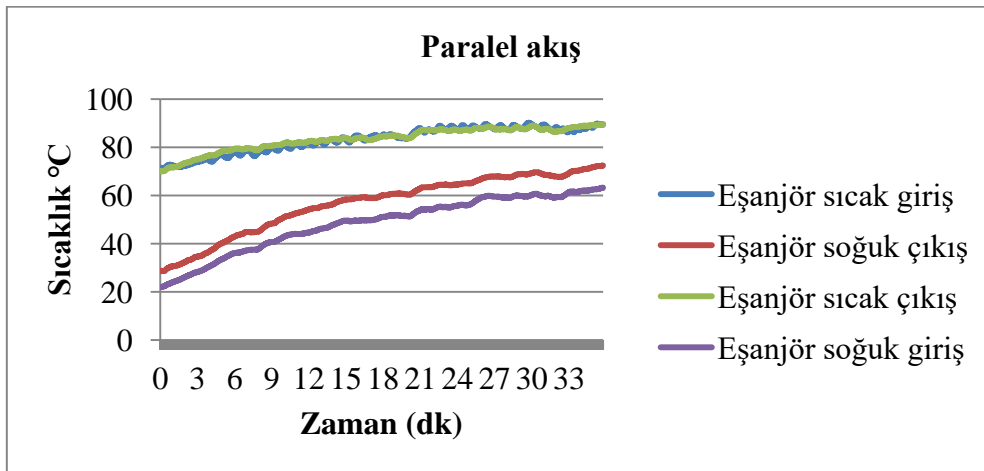
Yapılan deney sonuçları aşağıdaki gibidir. Birinci deney düzeneği hazırlanıp 6 ayrı grupta ısı değiştiriciler hazırlanıp toplamda 16 deney yapılmıştır.

5.1 Deney Düzeneklerinden Alınan Veriler

Deneylerin verileri AUTONİCS DAQMaster programından verileri 30 dakika boyunca 1 termokupl saniyede 2-3 veri aralıklarında toplamda 4 termokupl da saniyede 8-12 veri kaydedilmektedir. Bu veriler Microsoft Office Excel’de değerlendirilip zamana göre bir grafik çıkartılarak deneyler birbirleriyle karşılaştırılacaktır. Deney düzeneğinden alınan veriler şunlardır.

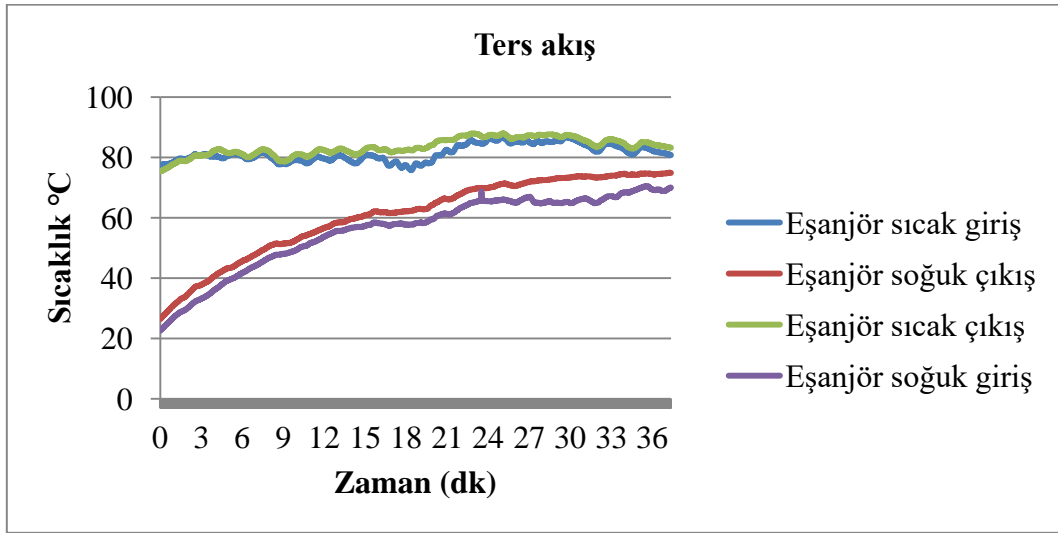
5.1.1 İçi Boş Dışı Dolu Deneyler

Yapılan deneyde eşanjörün soğuk girişi iç kısımda sıcak girişi ise dış kısımda olacak şekilde tasarlanmıştır. Deney başlangıcında eşanjör giriş sıcaklığı yaklaşık 20 °C civarında deney sonunda ise 65 °C civarında olarak ölçülmüştür. Eşanjör ısıtıcı sistem sıcaklığı ortalama 80 °C sabit tutulmaya çalışılmıştır. Isıtma sistemi eşanjör giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki fark başlangıçta 6 °C civarında iken deneyin yaklaşık 15. dakikasında bu fark 10 °C ye kadar çıkmaktadır. Şekil 5.1’de paralel akış verileri görülmektedir.



Şekil 5.1 İçi boş dışı dolu paralel akış.

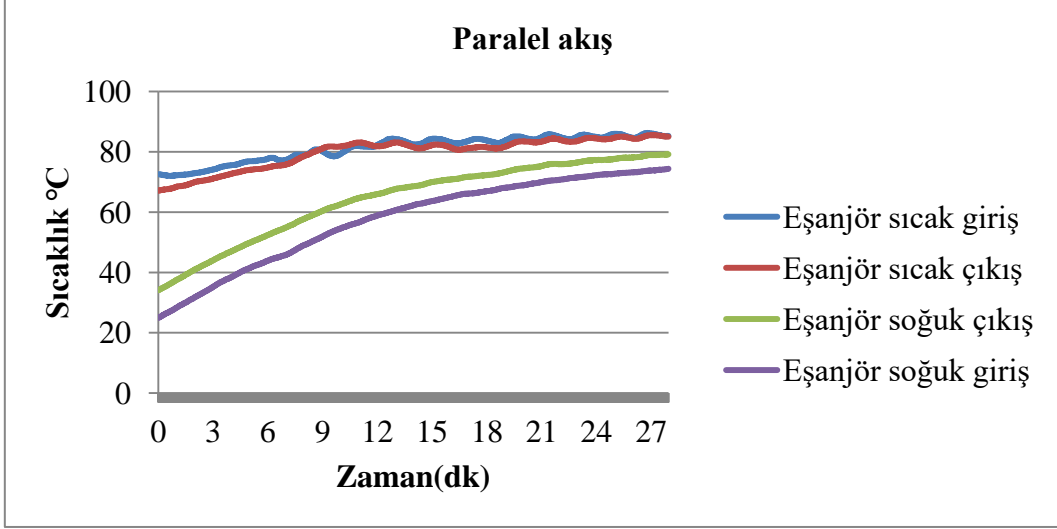
Yapılan deneyde eşanjörün soğuk girişi iç kısımda sıcak girişi ise dış kısımda olacak şekilde tasarlanmıştır. Ters akış yönü ile tasarlanmış deney düzeneğinin grafiği şekil 5.2’de gösterilmiştir. Sistemin sıcak su hattı yaklaşık 80 °C tutunmaya çalışılmıştır. Deney başlangıcında eşanjör girişi sıcaklığı yaklaşık 22-24 °C Çıkış sıcaklığı ise 27-28 °C civarındadır. Deney başlangıcındaki sıcaklık farkı yaklaşık 3-4 °C iken deney sonunda bu değer yaklaşık 8-10 °C kadar artmaktadır. 15 dakikadan sonra eşanjör de ki ısı transferini daha hızlı arttığını görülmektedir.



Şekil 5.2 İçi boş dışı dolu ters akış.

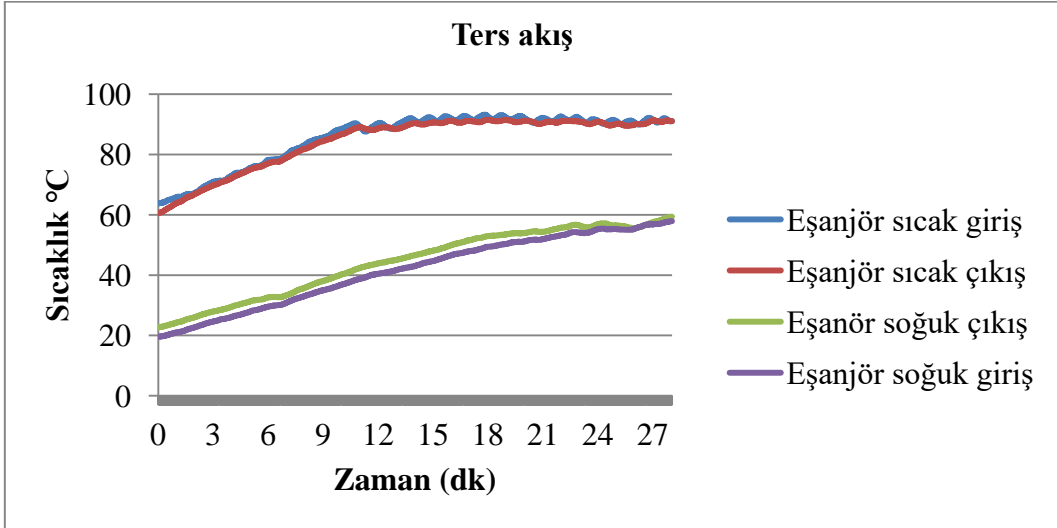
5.1.2 İçi Dolu Dışı Boş Deneyler

Yapılan bu deneyde sıcak su hattının 80 °C sabit tutulmaya çalışılmıştır. Soğuk su eşanjör girişi yaklaşık 24°C eşanjör çıkışı 33°C olduğu gözlemlenmiştir. 27 Dakikanın sonunda ise sıcak su hattını yine 80 derece civarında sabit kaldığı görülmüştür. Soğuksu hattının giriş sıcaklığı 72°C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 78 °C olduğu görülmüştür. Deney başlangıcında soğuksu hattının eşanjör giriş çıkış arasındaki sıcaklık farkı 8 °C civarında iken deney sonunda ise sıcaklık farkının 5 °C düştüğü gözlemlenmiştir. Şekil 5.3’de paralel akış grafiği görülmektedir.



Şekil 5.3 İçi dolu dışı boş paralel akış.

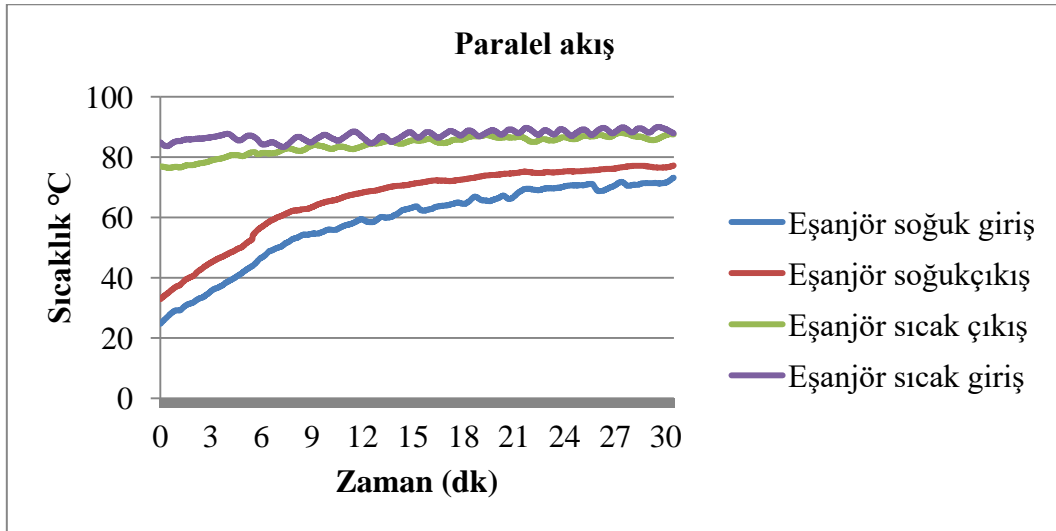
Yapılan bu deneyde sıcak su hattını 90 °C sabit tutularak soğuk su hattının ise Eşanjör giriş sıcaklığı 20 °C çıkış sıcaklığı 24 °C olduğu gözlemlenmiştir. Giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 4 °C olarak kaydedilmiştir yaklaşık 24 dakikaya kadar Eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıkları farkı 4 °C olarak kalmıştır. Deney sonunda ise Soğuksu eşanjör giriş sıcaklığı yaklaşık 58 °C çıkış sıcaklığı ise yaklaşık 60 °C olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.4’de görüldüğü üzere akış yönü ters akış kullanmıştır.



Şekil 5.4 İçi dolu dışı boş ters akış.

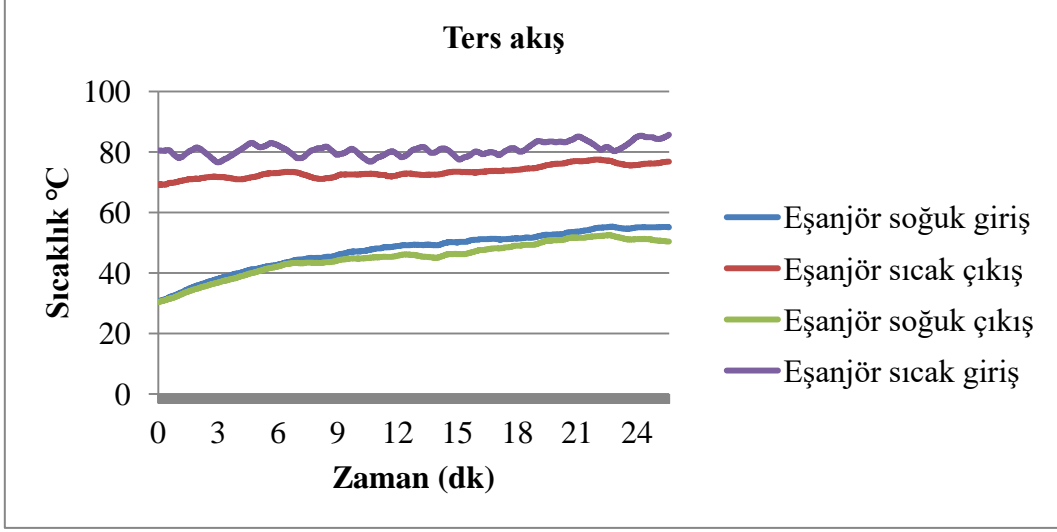
5.1.3 2-4 Alüminyum Köpük İçi Dışı Dolu

Yapılan bu deneyde sıcak su hattının yaklaşık 85 °C Sıcaklığını sabit tutmaya çalışılmıştır. Soğuk su eşanjör giriş sıcaklığı yaklaşık 23 °C çıkış sıcaklığı 31 °C olduğu gözlemlenmiştir. Deney yapım aşamasında eşanjör soğuk hattı giriş ve çıkış sıcaklıklar arasındaki farkın yaklaşık 7 – 8 °C olduğu 7 – 8. dakikalardan sonra ise bu sıcaklık farkının 12 – 13 °C ‘ye kadar arttığı grafikte gözlemlenmiştir. Deney sonunda 30 dakikalarda ise sıcaklık farkı giderek azalmış eşanjör giriş sıcaklığı 72-73 °C çıkış sıcaklığı ise 77-78 °C ‘de olduğu gözlemlenmiştir. Deney verilerinin grafiği şekil 5.5’de görülmektedir.



Şekil 5.5 İçi dışı dolu paralel akış.

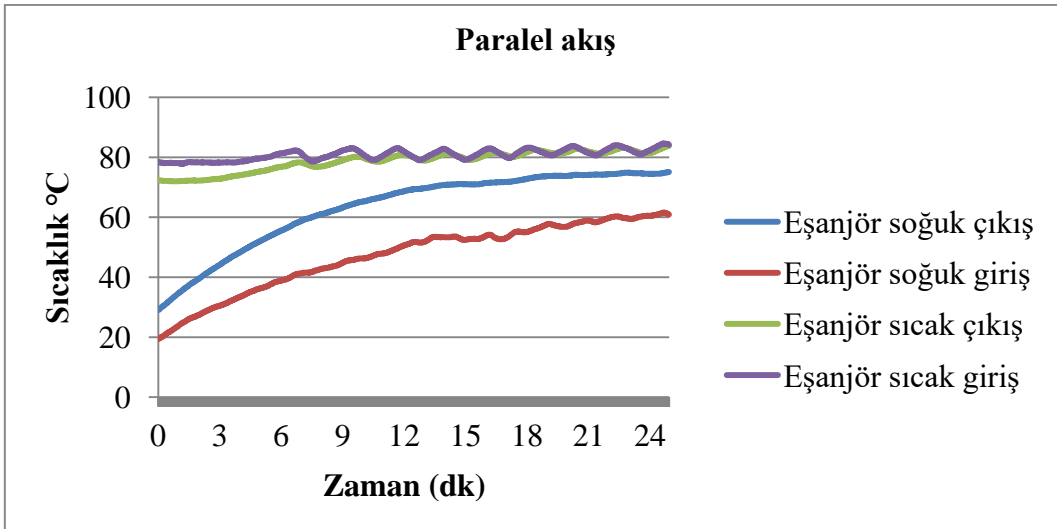
Yapılan bu deneyde sıcak su hattına 80 °C sabit tutmaya çalışılmıştır. Soğuk su hattını ise giriş sıcaklığı ve çıkış sıcaklığı 30 °C olarak ölçülmüştür. 26 Dakikanın sonunda ise eşanjör giriş sıcaklığı 54 °C olduğu tespit edilmiş ve çıkış sıcaklığı ise 50 °C olarak gözlemlenmiştir. Şekil 5.5'te deney yapılan deneyin verileri görülmektedir. Başlangıçtaki sıcaklık farkı 0 °C iken 26 dakikanın sonunda sıcaklık farkı yaklaşık 4 – 5 °C olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.6 İçi dışı dolu ters akış.

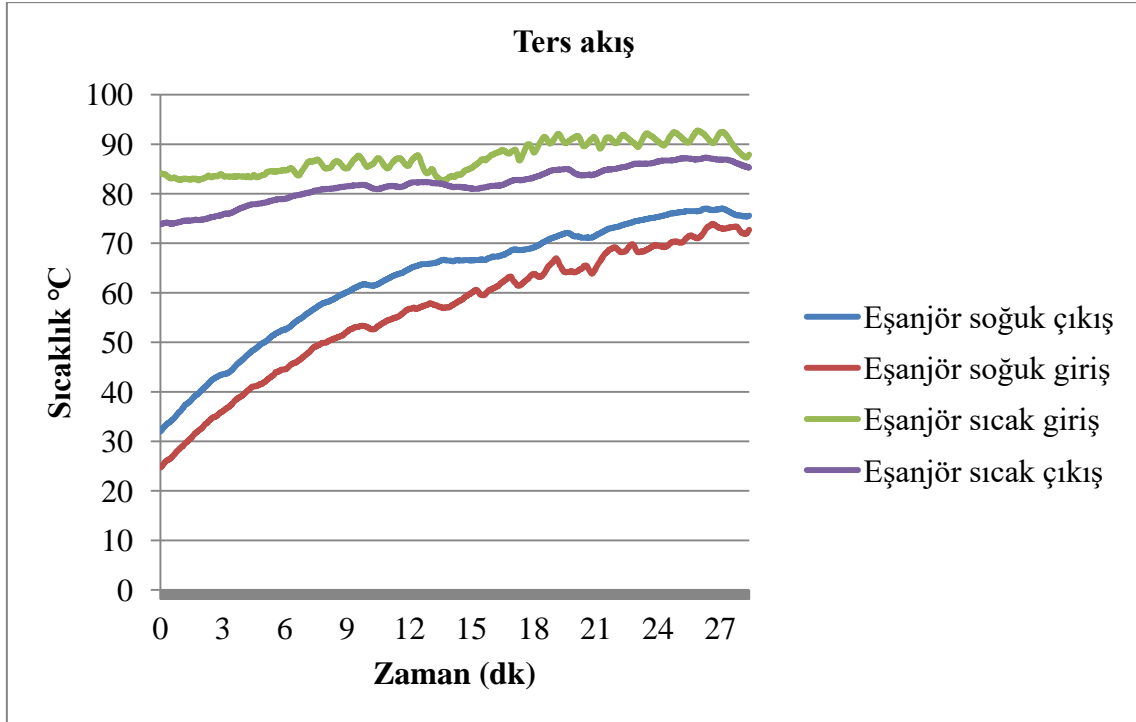
5.1.4 İçi 4mm – 6mm Dolu Dışı Boş

Yapılan bu deneyde sıcak su hattına 80 °C civarında sabit kaldığı; Soğuk su hattının eşanjör giriş sıcaklığı 21°C çıkış sıcaklığı 29 °C olduğu gözlemlenmiştir. 26 Dakikalık deney süresince 8 dakikadan itibaren sıcaklık farkı giderek artmıştır. Deney sonucunda ise sıcaklık farkının yaklaşık 12 – 13 °C olduğu eşanjör giriş sıcaklığının 61°C çıkış sıcaklığının ise 74°C olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.7 İçi 4mm – 6mm dolu dışı boş paralel akış.

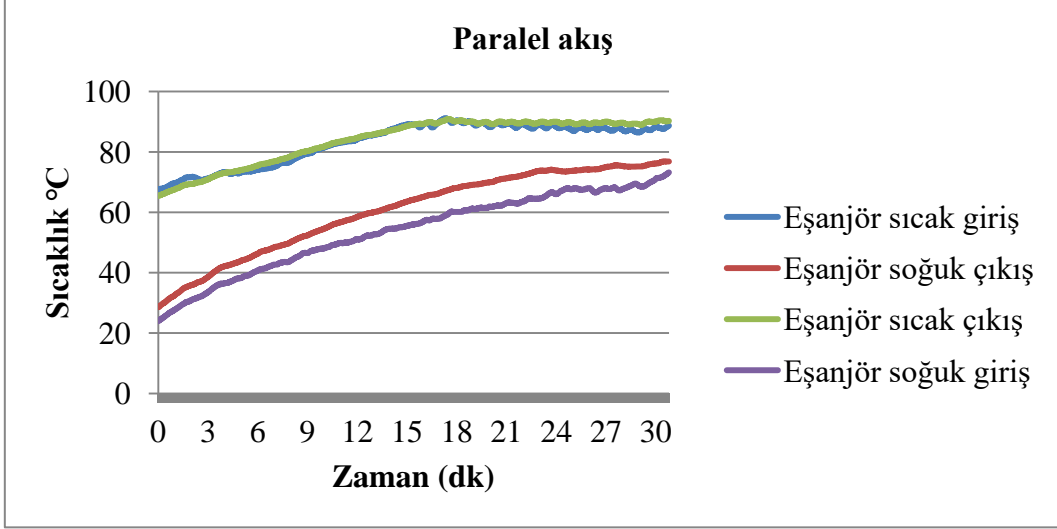
Yapılan bu deneyde sıcak su hattının sıcaklığını yaklaşık 80 °C sabit tutmaya çalıştık. Soğuk su hattının ise eşanjör giriş sıcaklığı 25 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 32 °C olarak grafiğe yansımıştır. Başlangıçtaki sıcaklık farkı 6 – 7 °C olup, 30 dakikada ise eşanjör giriş sıcaklığı 72-73 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 76 – 77 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.8 İçi 4mm – 6mm dolu dışı boş ters akış.

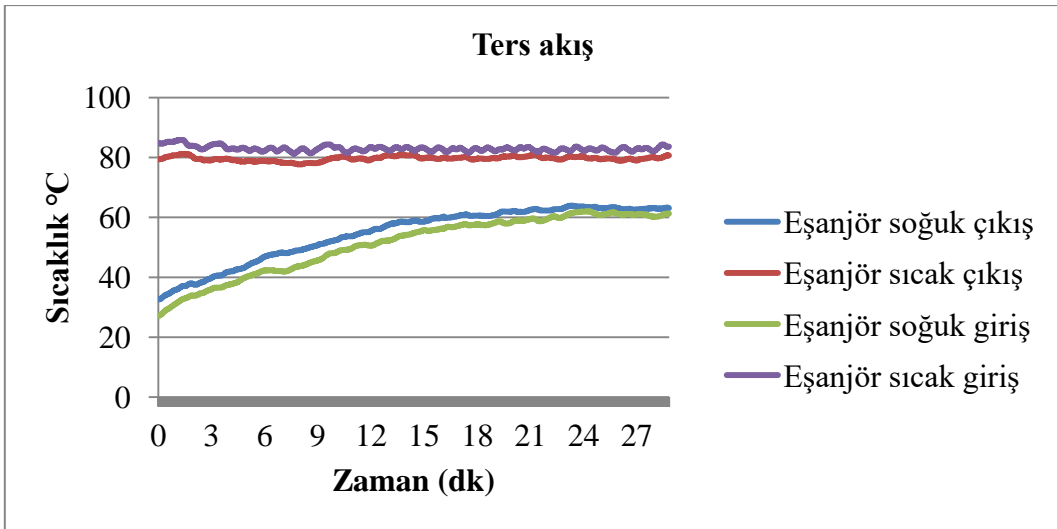
5.1.5 İçi 4mm – 6mm Dolu Dışı 2mm – 4mm Dolu

Yapılan bu deneyde sıcak su hattının sıcaklığını yaklaşık 80 °C sabit tutmaya çalıştık. Soğuk su hattının ise eşanjör giriş sıcaklığı 25 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 28 °C olarak grafiğimize yansımıştır. Başlangıçtaki sıcaklık farkı 3 – 4 °C olup, 10. dakikadan itibaren sıcaklık farkının artışı gözlenmiştir. 24. Dakikadan itibaren ise sıcaklık farkı tekrardan eski haline 2 – 3 °C olduğu görülmüştür. 30. Dakikada ise eşanjör giriş sıcaklığı 72 – 73 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 77 – 78 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.9 İçi 4mm – 6mm dolu dışı 2mm – 4mm dolu paralel akış.

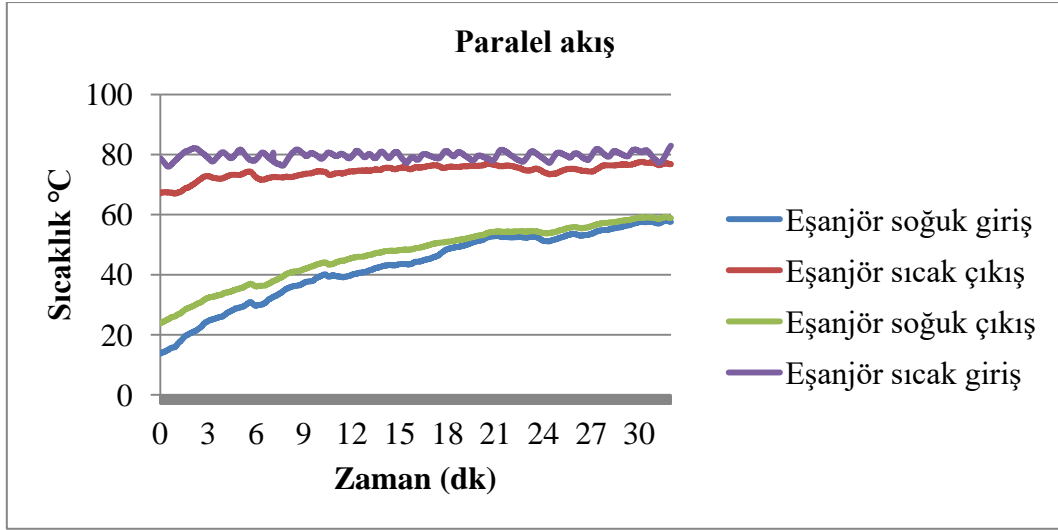
Yapılan bu deneyde sıcak su hattının sıcaklığını yaklaşık 80 °C sabit tutulmaya çalışılmıştır. Soğuk su hattının ise eşanjör giriş sıcaklığı 27 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 32 °C olarak grafiğimize yansımıştır. Başlangıçtaki sıcaklık farkı 5 – 6 °C olup, sıcaklık farkları deney sonuna kadar yaklaşık sabit kalmıştır. Deneyin sonunda ise eşanjör giriş sıcaklığı 60 – 61 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 64 – 65 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.10 İçi 4mm – 6mm dolu dışı 2mm – 4mm dolu ters akış.

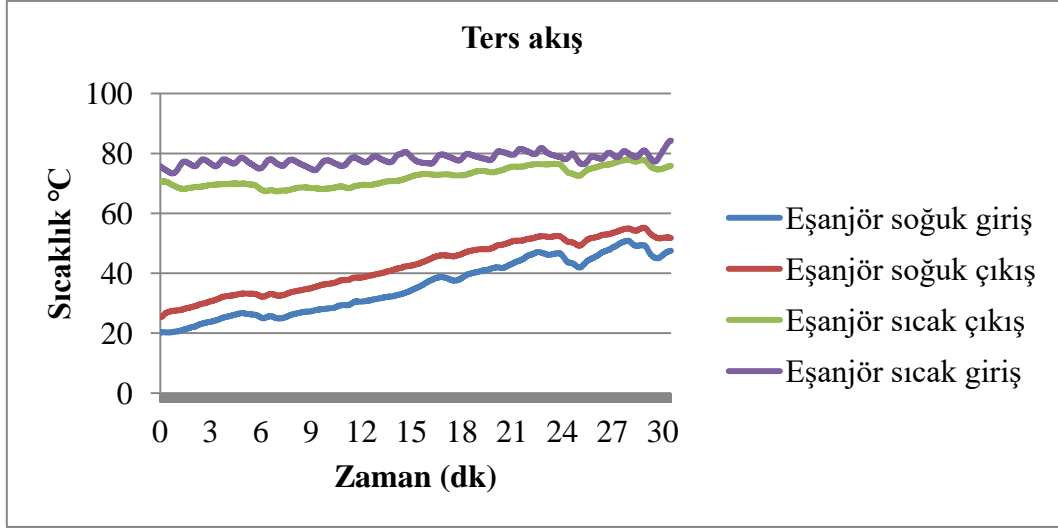
5.1.6 Eşanjör İç Dış Düşük Debili

Yapılan bu deneyde bu deneyde eşanjörün içinde köpük varmış gibi düşünülerek köpüklü halindeki debisini vana ile manuel olarak ayarlayıp deneyi başlattık. Deneyde sıcak su hattının sıcaklığını yaklaşık 80 °C sabit tutmaya çalıştık. Soğuk su hattının ise eşanjör giriş sıcaklığı 14 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 24 °C olarak grafiğe yansımıştır. İlk başta sıcaklık farkı yaklaşık 10 °C iken deneyin 30. Dakikasının sonunda ise sıcaklık farkı 1 – 2 °C dereceye kadar düştüğü gözlemlenmiştir ve eşanjör giriş sıcaklığı 58 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 60°C olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5.11 İçi dışı düşük debili paralel akış.

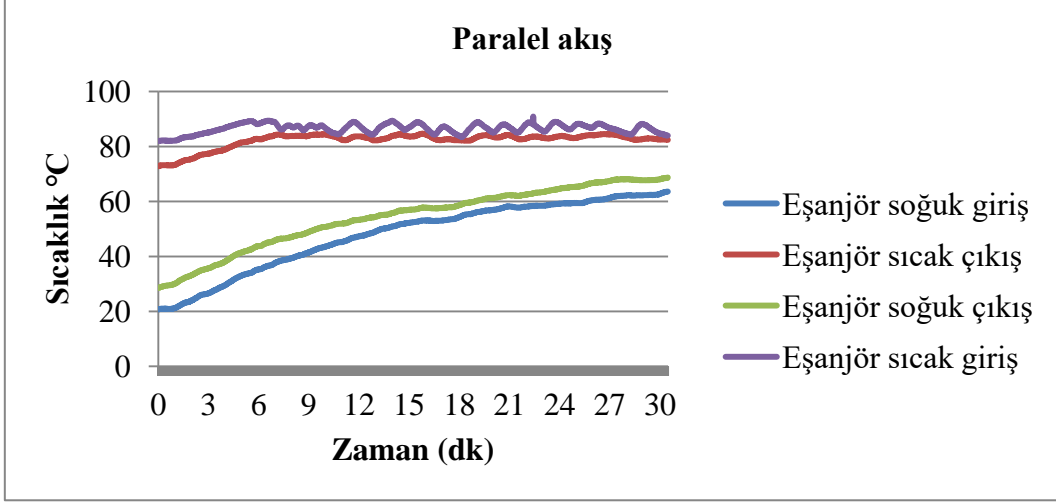
Yapılan bu deneyde eşanjörün içinde köpük varmış gibi düşünülerek köpüklü halindeki debisini vana ile manuel olarak ayarlayıp deneyi başlattık. Deneyde sıcak su hattının sıcaklığını yaklaşık 80 °C sabit tutmaya çalıştık. Soğuk su hattının ise eşanjör giriş sıcaklığı 20 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 25 °C olarak grafiğe yansımıştır. İlk başta sıcaklık farkı yaklaşık 5 °C iken deneyin 30. Dakikasının sonunda ise sıcaklık farkı 4 °C olduğu gözlemlenmiştir ve eşanjör giriş sıcaklığı 48 °C eşanjör çıkış sıcaklığı ise 52°C olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5.12 İçi dışı düşük debili ters akış.

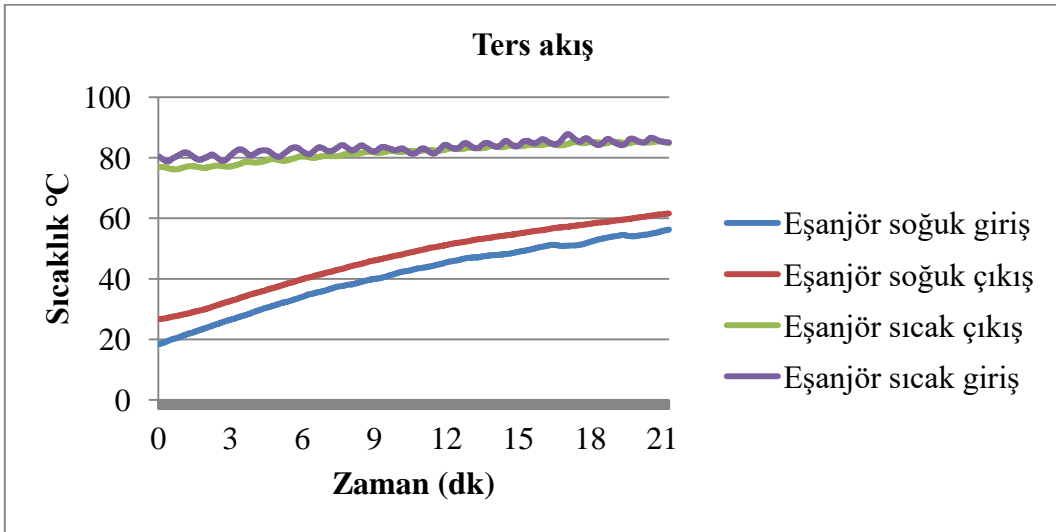
5.1.7 İçi Düşük Debili Dışı Yüksek Debili

Küresel vana ile debi değiştirerek yapılan çalışmada, eşanjör içerisindeki kanallarda sanki alüminyum köpük varmış gibi debisini manuel olarak ölçüp, küresel vana ile ayarlanan akışkanın ısı transferi hızını grafik üzerinde incelenmektedir. Deney başlangıç sıcaklığı eşanjör soğuk hat girişi 20 °C soğuk at eşanjör çıkışı 28 °C olduğu gözlemlenmiştir soğuk hat giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 8 °C eşanjör sıcak hat sıcaklığını yaklaşık 80 °C sabit tutulmaya çalışıldı. Deneyin 30 dakikalarını sonlarında ise eşanjörün soğuk hat girişini 64 °C soğuk hat çıkışının ise 68 °C olduğu gözlemlenmiştir. Soğuk hat giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 4 °C düştüğü gözlemlenmiş 30 dakika sonunda deney sonlandırılmıştır.



Şekil 5.13 İçi düşük debili dışı yüksek debili paralel akış.

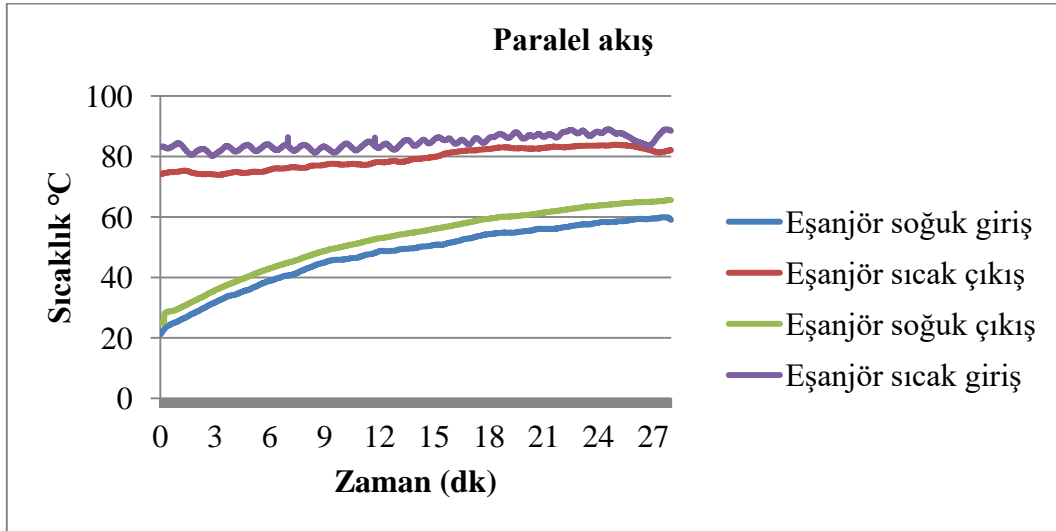
Küresel vana ile debi değiştirerek yapılan bu çalışmada, eşanjör içerisindeki kanallarda sanki alüminyum köpük varmış gibi debisini manuel olarak ölçüp, küresel vana ile ayarlanan akışkanın ısı transferi hızını grafik üzerinde incelenmiştir. Deney başlangıç sıcaklığı eşanjör soğuk hat girişi 18 °C soğuk at eşanjör çıkışı 26 °C olduğu gözlemlenmiştir soğuk hat giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 8 °C'dir. Eşanjör sıcak hat sıcaklığını yaklaşık 80 °C sabit tutulmaya çalışıldı. Deneyin 22 dakikalarını sonlarında ise eşanjörün soğuk hat girişimi 56 °C soğuk hat çıkışının ise 61 °C olduğu gözlemlenmiştir. Soğuk hat giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı 5°C düştüğü gözlemlenmiş 22 dakika sonunda deney sonlandırılmıştır.



Şekil 5.14 İçi düşük debili dışı yüksek debili ters akış.

5.1.8 İçi Yüksek Debili Dışı Düşük Debili

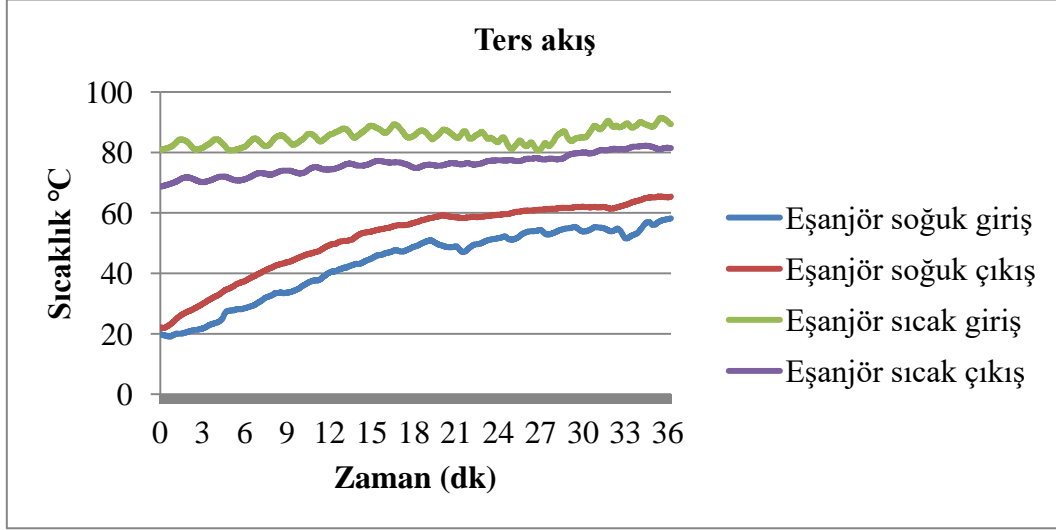
Küresel vana ile debi değiştirerek yapılan bu çalışmada, eşanjör içerisindeki kanallarda sanki alüminyum köpük varmış gibi debisini manuel olarak ölçüp, küresel vana ile ayarlanan akışkanın ısı transferi hızını grafik üzerinde incelenmiştir. Deney başlangıç sıcaklığı eşanjör soğuk hat girişi 20 °C soğuk at eşanjör çıkışı 25 °C olduğu gözlemlenmiştir. Soğuk hat giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 5°C'dir. Eşanjör sıcak hat sıcaklığını yaklaşık 80 °C sabit tutulmaya çalışıldı. Deneyin 28 dakikalarını sonlarında ise eşanjörün soğuk hat girişimi 59 °C soğuk hat çıkışının ise 66 °C olduğu gözlemlenmiştir. Soğuk hat giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı 7 °C düştüğü gözlemlenmiş 28 dakika sonunda deney sonlandırılmıştır.



Şekil 5.15 İçi yüksek debili dışı düşük debili paralel akış.

Küresel vana ile debi değiştirerek yapılan bu çalışmada, eşanjör içerisindeki kanallarda alüminyum köpük var olduğu kabul edilerek, debisini manuel olarak ölçüp, küresel vana ile ayarlanan akışkanın ısı transferi hızını grafik üzerinde incelenmiştir. Deney başlangıç sıcaklığı eşanjör soğuk hat girişi 19°C soğuk at eşanjör çıkışı 22 °C olduğu gözlemlenmiştir. Soğuk hat giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark 3 °C'dir. Eşanjör sıcak hat sıcaklığını yaklaşık 80 °C sabit tutulmaya çalışıldı. Deneyin 36 dakikalarını sonlarında ise eşanjörün soğuk hat girişimi 58 °C soğuk hat çıkışının ise 66°C olduğu

gözlemlenmiştir. Soğuk hat giriş çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı 8°C düştüğü gözlemlenmiş 36 dakika sonunda deney sonlandırılmıştır.



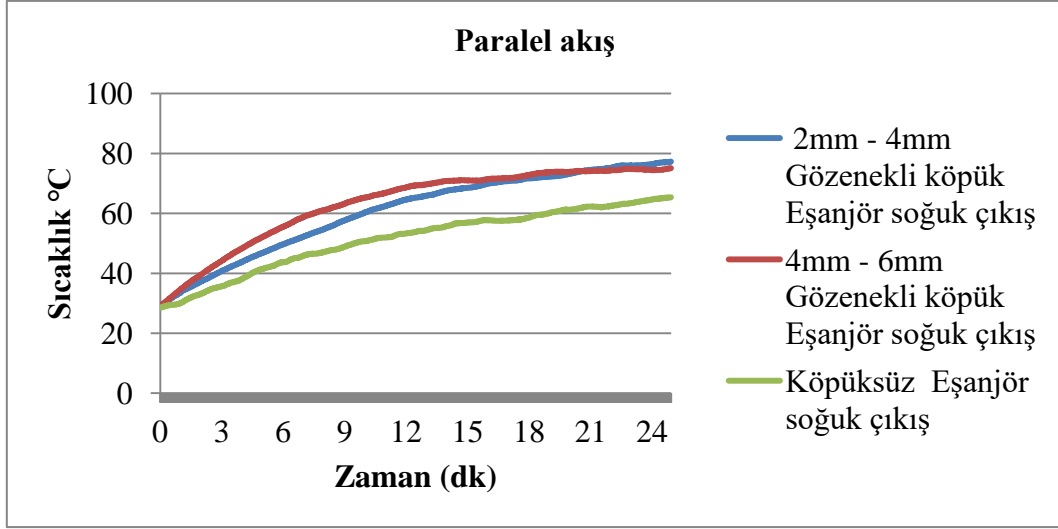
Şekil 5.16 İçi yüksek debili dışı düşük debili ters akış.

5.2 Eşanjörlerin Birbirleri İle Karşılaştırılması

Yapılan deneylerde ki alınan sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar köpüklü eşanjörler ile köpüksüz debi ayarlı eşanjörler olarak ve akış yönleri paralel akış ve ters akış olarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

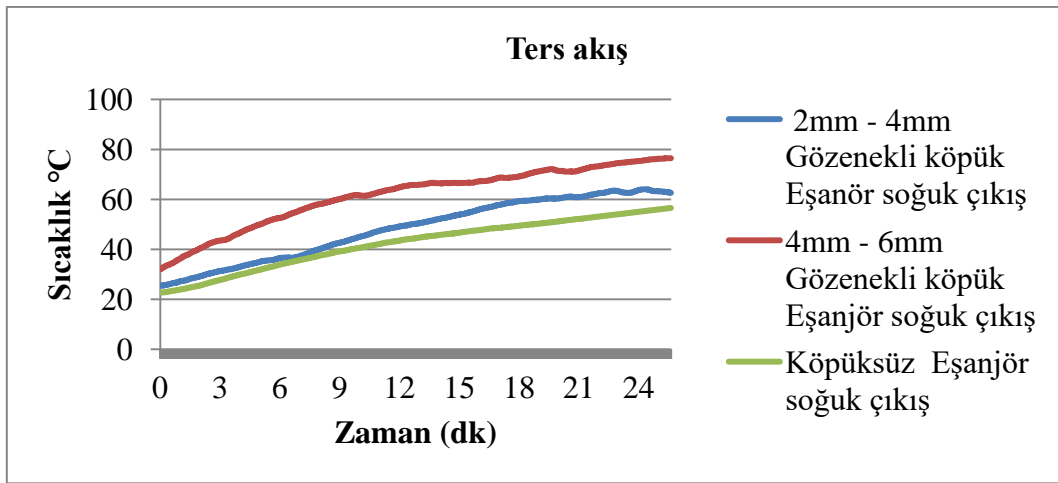
5.2.1 İçi Köpük Malzeme ile Dolu Dışı Boş – Köpüksüz Debi Ayarlı Eşanjörlerin Karşılaştırılması

Yapılan deneylerin kıyaslamasında paralel akışlı sistemin metalik köpük içerikli eşanjör deney sonuçları görülmektedir. Grafikten de görüleceği gibi köpük içeren deneyler ile köpüksüz deneyler arasında deney başlangıcından bitimine kadar bariz bir fark görülmektedir. 4mm – 6mm gözenek boyutundaki köpük ile 2mm – 4mm gözenek boyutundaki grafikler incelendiğinde başlangıçta 4mm – 6mm arasındaki numune çok daha iyi bir sıcaklık artışı sağlarken yaklaşık 15 dk.’dan sonra benzer değerler tespit edilmiştir. Deney sonunda köpüksüz eşanjör ile köpüklü olan eşanjörler ile arasında yaklaşık 10 °C lik bir sıcaklık farkı tespit edilmiştir.



Şekil 5.17 İçi 2mm – 4mm, 4mm – 6mm, gözenekli dışı boş ile köpüksüz paralel akışların karşılaştırılması.

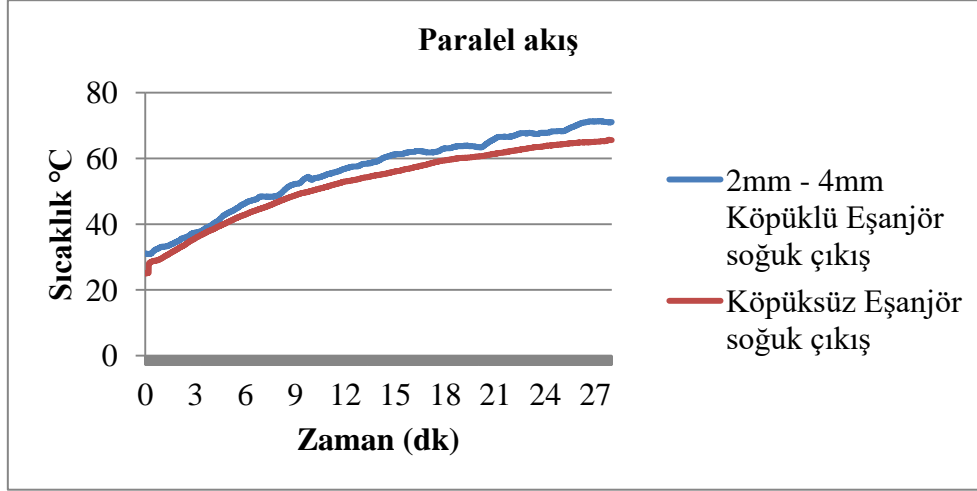
Yapılmış olan deneylerin kıyaslamasında ters akışlı sistemin metalik köpük içerikli eşanjör deney sonuçları görülmektedir. Grafikten de görüleceği gibi köpük içeren deneyler ile köpüksüz ters akışlı deneyler arasında deney başlangıcından bitimine kadar hissedilir derecede büyük bir fark görülmektedir. 4mm – 6mm gözenek boyutundaki köpük ile 2mm – 4mm gözenek boyutundaki grafikler incelendiğinde 4mm – 6mm arasındaki numune çok daha iyi bir sıcaklık artışı sağlar. Deney sonunda köpüksüz eşanjör ile köpüklü olan eşanjörler ile arasında yaklaşık 10 – 15°C’lik bir sıcaklık farkı tespit edilmiştir.



Şekil 5.18 İçi 2 mm – 4mm, 4mm – 6mm, gözenekli dışı boş ile köpüksüz ters akışların karşılaştırılması.

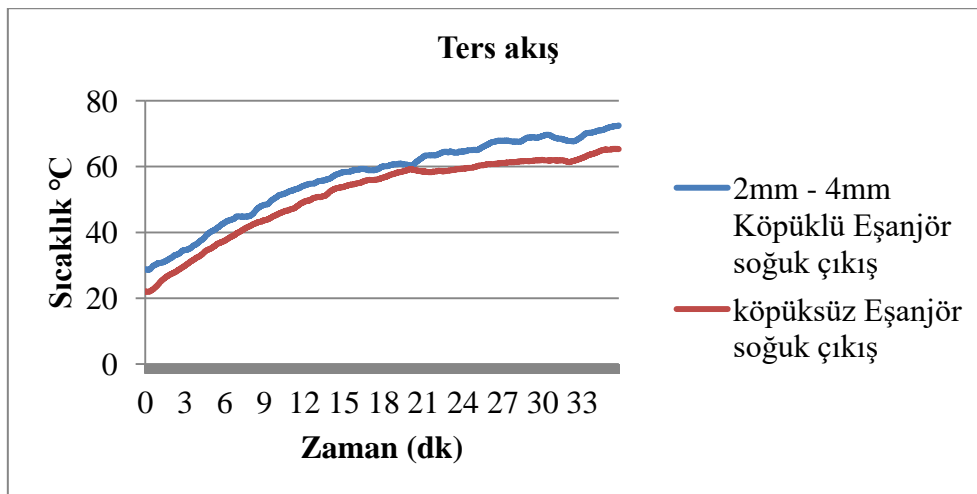
5.2.2 İçi Boş Dışı Köpük Malzemeyle Dolu Eşanjörler ile – Köpüksüz Debi Ayarlı Eşanjörlerin Karşılaştırılması

Kıyaslanan bu deney gruplarının da ise köpüksüz olan eşanjörün ısı transfer hızını daha düşük kötü olan ise daha yüksek olduğunu grafikte görmekteyiz.



Şekil 5.19 İçi boş dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz paralel akışların karşılaştırılması.

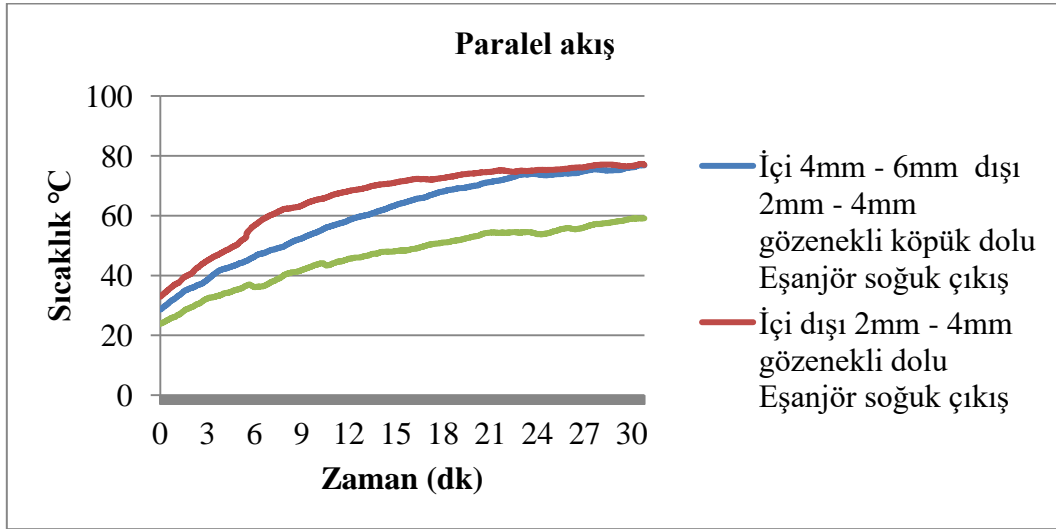
Kıyaslanan bu deney gruplarının da ise köpüksüz olan eşanjörün ısı transfer hızını daha düşük kötü olan ise daha yüksek olduğunu grafikte görmekteyiz.



Şekil 5.20 İçi boş dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz ters akışların karşılaştırılması.

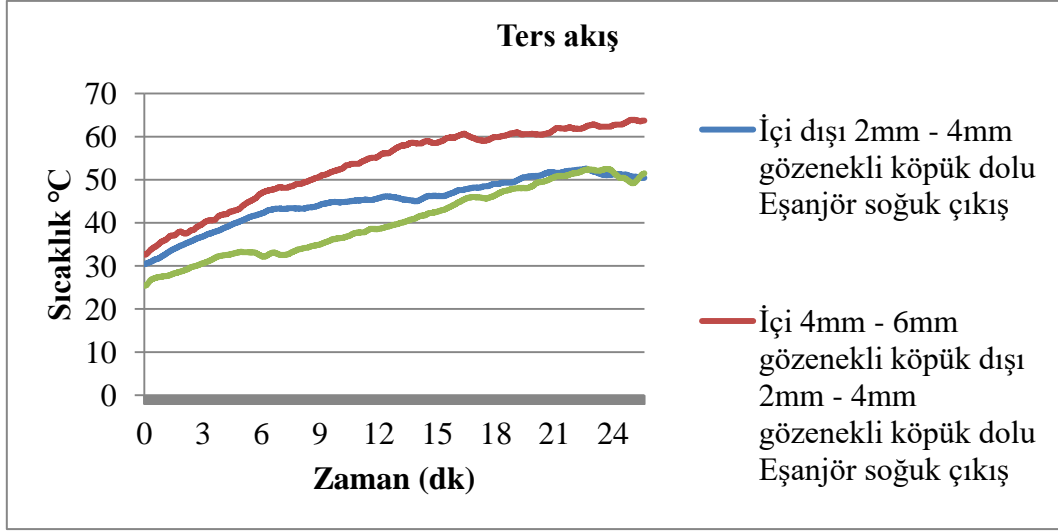
5.2.3 İçi Dışı Köpük Malzemeyle Dolu, Dışı Köpük Malzemeyle Dolu Eşanjörler ile Köpüksüz Debi Ayarlı Eşanjörlerin Karşılaştırılması

Yapılmış olan deneylerin kıyaslamasında ters akışlı sistemin metalik köpük içerikli eşanjör deney sonuçları görülmektedir. Grafikten de görüleceği gibi köpük içeren deneyler ile köpüksüz tersakışlı deneyler arasında deney başlangıcından bitimine kadar hissedilir derecede büyük bir fark görülmektedir. 2mm – 4mm gözenek boyutundaki köpük ile 4mm – 6mm gözenek boyutundaki grafikler incelendiğinde 2mm – 4mm arasındaki numune çok daha iyi bir sıcaklık artışı sağlar. Deney sonunda köpüksüz eşanjör ile köpüklü olan eşanjörler ile arasında yaklaşık 10 – 15°C’lik bir sıcaklık farkı tespit edilmiştir.



Şekil 5.21 İçi dışı 2mm – 4mm gözenekle dolu içi 4mm – 6mm dolu dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz paralel akışların karşılaştırılması.

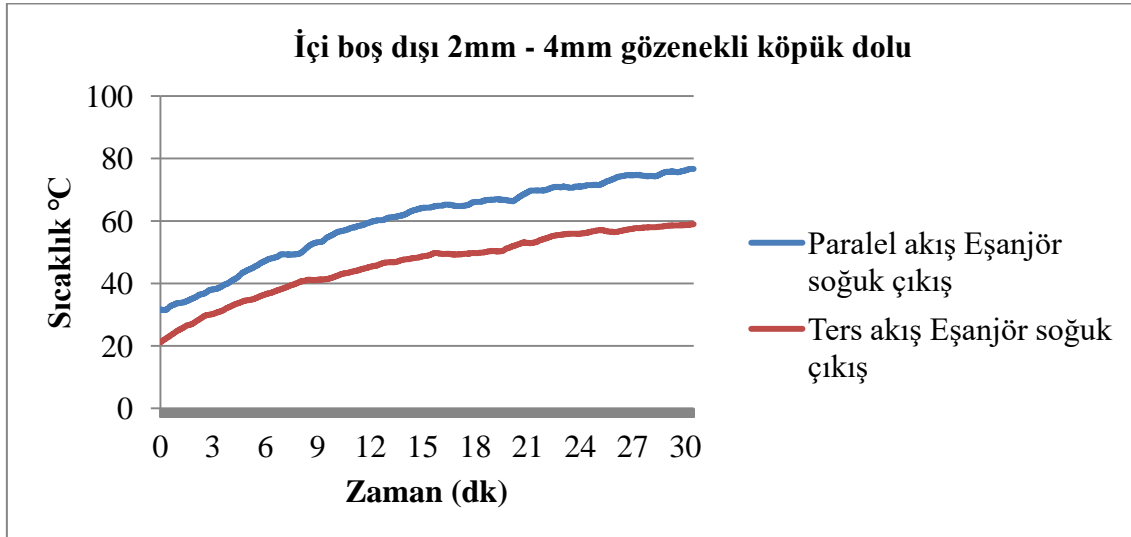
Yapılan deneylerin kıyaslamasında ters akışlı sistemin metalik köpük içerikli eşanjör deney sonuçları görülmektedir. Grafikten de görüleceği gibi köpük içeren deneyler ile köpüksüz ters akışlı deneyler arasında deney başlangıcından bitimine kadar hissedilir derecede büyük bir fark görülmektedir. 4mm – 6mm gözenek boyutundaki köpük ile 2mm – 4mm gözenek boyutundaki grafikler incelendiğinde 4mm – 6mm arasındaki numune çok daha iyi bir sıcaklık artışı sağlar. Deney sonunda köpüksüz eşanjör ile köpüklü olan eşanjörler ile arasında yaklaşık 10 – 15°C’lik bir sıcaklık farkı tespit edilmiştir.



Şekil 5.22 İçi dışı 2mm -4mm gözenekle dolu içi 4mm – 6mm dolu dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz ters akışların karşılaştırılması.

5.2.4 İçi Boş Dışı Köpük Malzemeye Dolu Eşanjörlerin Paralel –Ters Akış Karşılaştırması

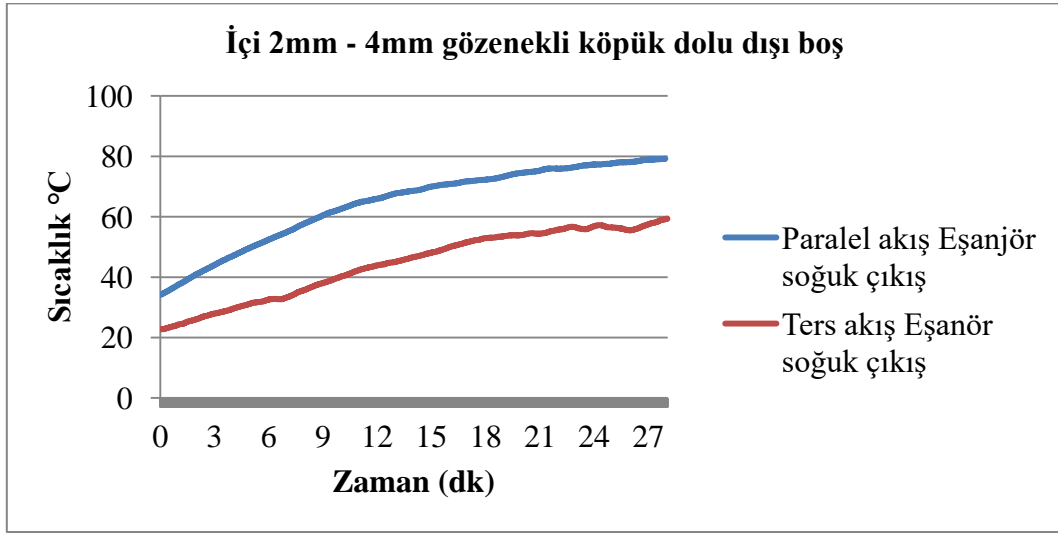
Eşanjörün içi boş dışı dolu halinin paralel akışlı ve ters akışlı kıyaslaması grafiğimizde görülmektedir. Paralel akışlı düzeneği ters akışlıya göre daha yüksek ısı transferi performansının olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.23 İçi boş dışı dolu ile köpüksüz eşanjörün paralel – ters akışların karşılaştırılması.

5.2.5 İçi 2mm – 4mm Köpük Malzemeyle Dolu Dışı Boş Eşanjörlerin Paralel – Ters Akış Karşılaştırması

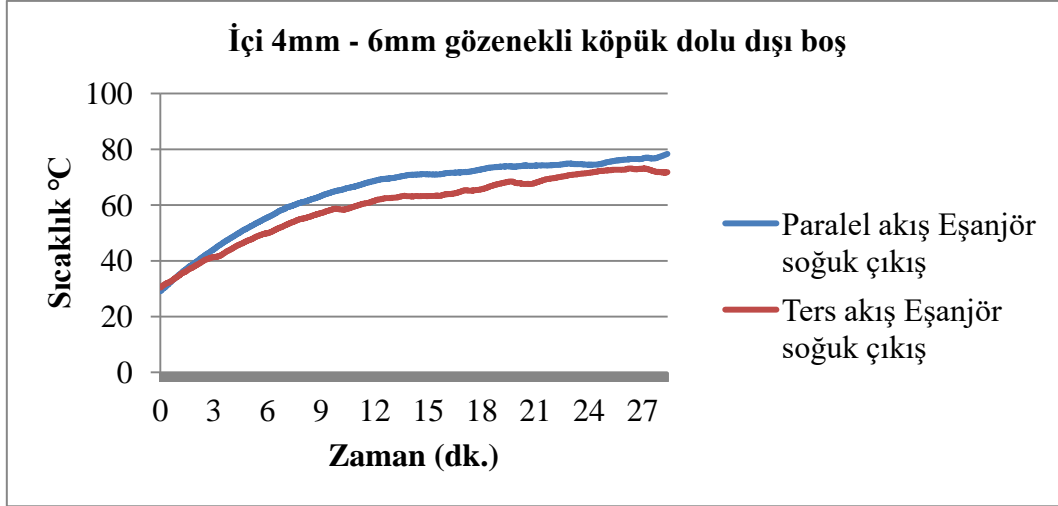
Eşanjörün içi dolu dışı boş halinin paralel akışlı ve ters akışlı kıyaslaması grafiğinde görülmektedir. Paralel akışlı düzeneği ters akışlıya göre daha yüksek ısı transferi performansının olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.24 İçi dolu dışı boş ile köpüksüz eşanjörün paralel – ters akışların karşılaştırılması.

5.2.6 İçi 4mm – 6mm Köpük Malzemeyle Dolu Dışı Boş Eşanjörlerin Paralel –Ters Akış Karşılaştırması

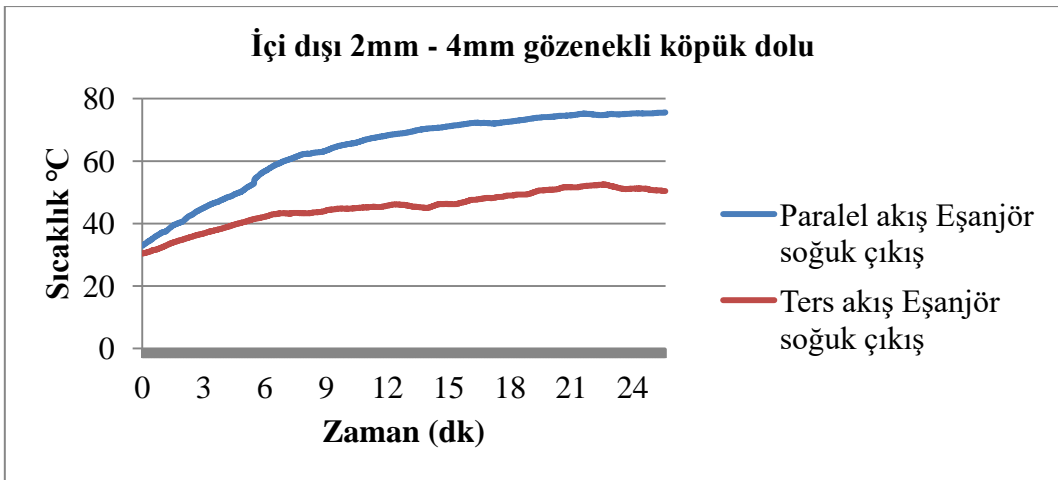
Eşanjörün içi 4mm – 6mm gözenekli alüminyum köpük dolu dışı boş halinin paralel akışlı ve ters akışlı kıyaslaması grafikte görülmektedir. Paralel akış ile ters akışın ilk 8 dakika içerisinde aynı performansının olduğu 8 dakikadan itibaren paralel akışın performansının arttığı 24 dakikada ise ters akışın paralel akış performansını yakaladığını görmekteyiz.



Şekil 5.25 İçi 4mm – 6mm gözenekli dolu dışı boş ile köpüksüz eşanjörün paralel – ters akışların karşılaştırılması.

5.2.7 İçi Dışı 2mm – 4mm Köpük Malzemeyle Dolu Eşanjörlerin Paralel –Ters Akış Karşılaştırması

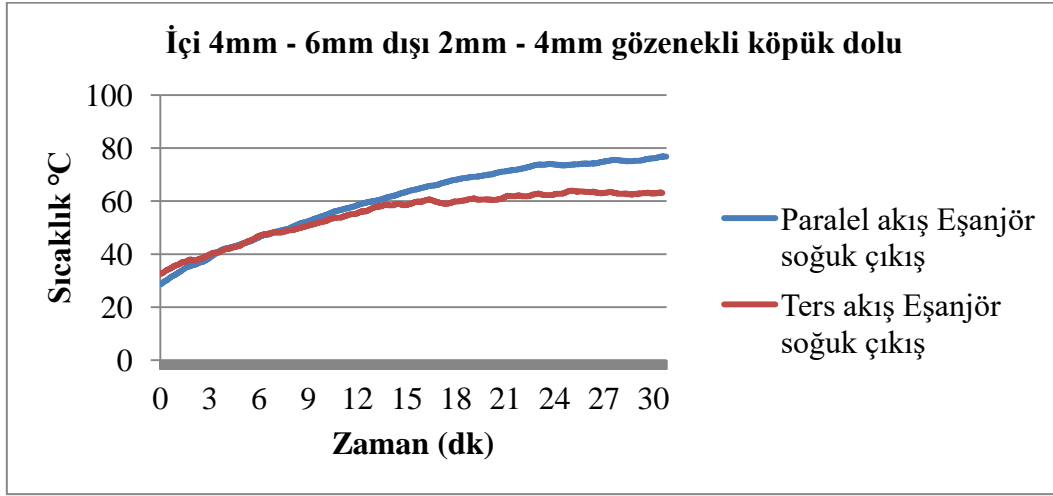
Eşanjörün içi dolu dışı boş halinin paralel akışlı ve ters akışlı kıyaslaması grafikte görülmektedir. Paralel akışlı düzeneği ters akışlıya göre daha yüksek ısı transferi performansının olduğu gözlemlenmiştir. Eşanjörün içi dolu dışı boş halinin paralel akışlı ve ters akışlı kıyaslaması grafikte görülmektedir. Paralel akışlı düzeneği ters akışlıya göre daha yüksek ısı transferi performansının olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.26 İçi dışı 2mm–4mm gözenekli dolu ile köpüksüz eşanjörün paralel – Ters akışların karşılaştırılması.

5.2.8 İçi 4mm – 6mm Köpük Malzemeyle Dolu Dışı 2mm – 4mm Köpük Malzemeyle Dolu Eşanjörlerin Paralel Akış– Ters Akış Karşılaştırması

Yapılan bu kıyaslamada ilk 3-4 dakika içerisinde ters akışın performansının biraz yüksek olduğu, yaklaşık 4 ile 9. dakikalarda aynı oranda performansının yükseldiği, 9 dakikadan itibaren paralel akışın performansına ters akışa göre biraz yüksel diye görülmektedir.



Şekil 5.27 İçi 4mm – 6mm gözenekli dolu dışı 2mm – 4mm gözenekli dolu ile köpüksüz eşanjörün paralel – ters akışların karşılaştırılması.

5.3 Eşanjörlerin Verimlerinin Hesaplanması

Eşanjör verimi eşanjörlerin karşılaştırılmasında önemli bir parametredir. Verim, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin aritmetik ortalamasıdır (Eşitlik 5.1). Sıcak hat verimi, sıcak akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları farkının, sıcak akışkanın giriş sıcaklığı ile soğuk akışkanın giriş sıcaklığı farkına oranıdır (Eşitlik 5.2). Soğuk hat verimi ise, soğuk akışkanın çıkış ve giriş sıcaklıkları farkının, sıcak akışkanın giriş sıcaklığı ile soğuk akışkanın giriş sıcaklığı farkına oranıdır (Eşitlik 5.3) (İnt. Kyn. 3).

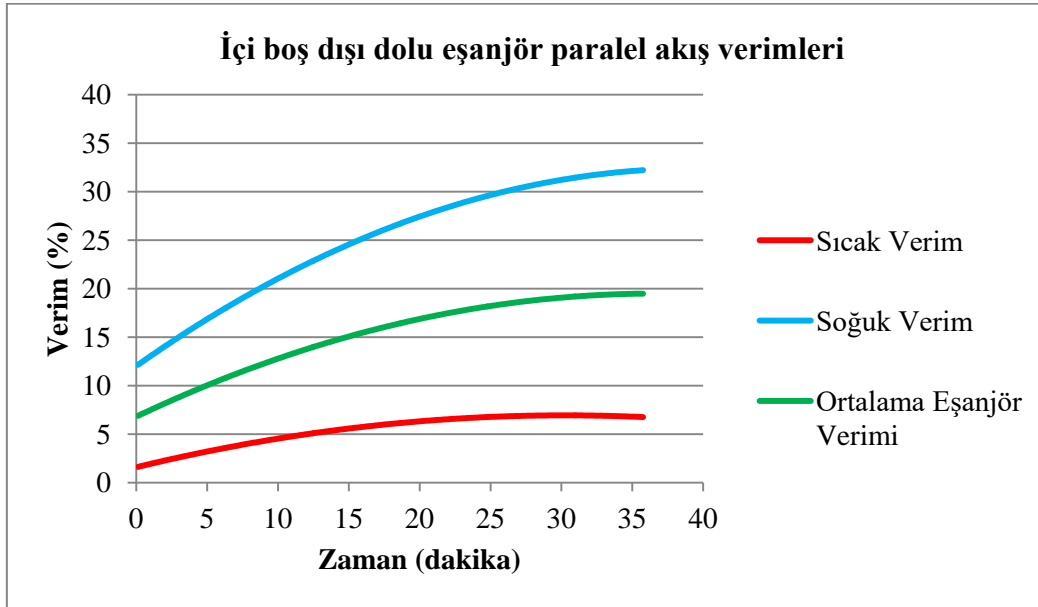
$$\eta = \frac{\eta_H + \eta_C}{2} \quad (5.1)$$

$$\eta_H = \frac{T_{H1} - T_{H2}}{T_{H1} - T_{C1}} \cdot 100 \quad (5.2)$$

$$\eta_c = \frac{T_{C1} - T_{C2}}{T_{H1} - T_{C1}} \cdot 100 \quad (5.3)$$

5.3.1 İçi Boş-Dışı Dolu Paralel Akış Kapalı Sistem Verimi

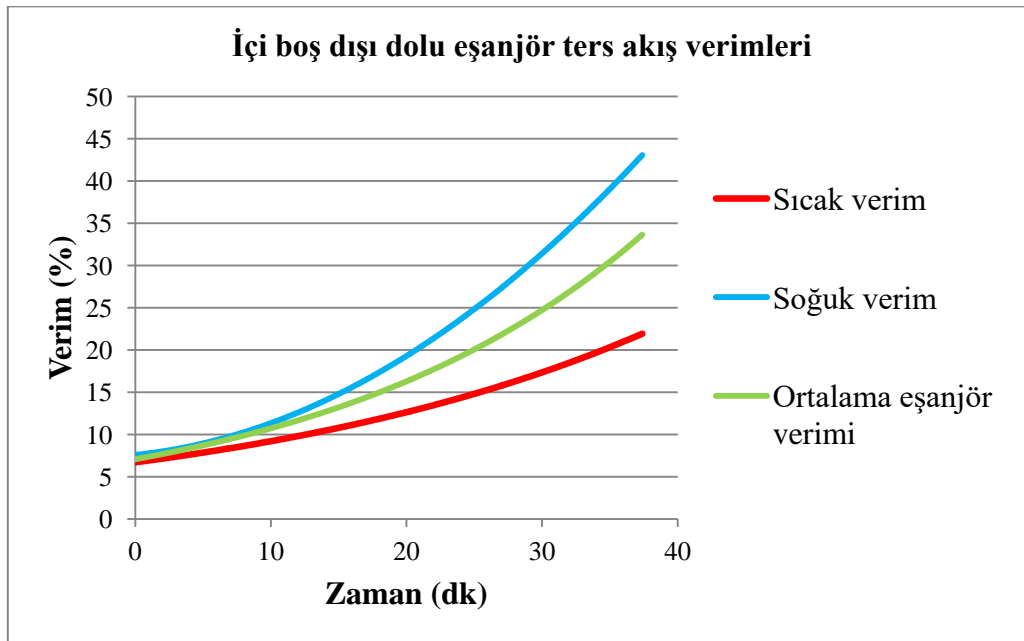
Şekil 5.28’de eşanjörün iç kısmı boş dış kısmı 2mm – 4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile dolu olan eşanjörün paralel akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının verimi en düşük olduğu ve soğuk hattının veriminin ise en yüksek olduğu görülmektedir. Soğuk hattın veriminin en yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin en düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin ortalaması olduğundan grafiklerde de sıcak hat ile soğuk hattın arasında yer almıştır. Yapılan deney de sıcak hat eşanjörün köpüklü kısmından geçtiğinden dolayı sıcaklığı üzerinde tutmaktadır.



Şekil 5.28 İçi boş-dışı dolu paralel akış kapalı sistem verimleri.

5.3.2 İçi Boş-Dışı Dolu Ters Akış Kapalı Sistem Verimi

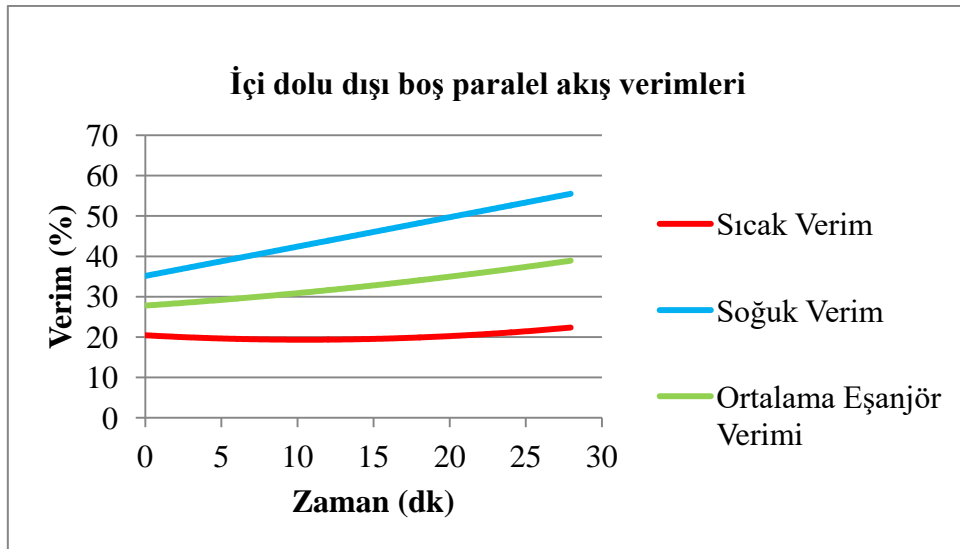
Şekil 5.29’de eşanjörün iç kısmı boş dış kısmı 2mm – 4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile dolu olan eşanjörün ters akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının veriminin, soğuk hattının veriminin ve ortalama veriminin deney başlangıcında hemen hemen aynı noktalarda olduğu görülmektedir. Verim grafiğinde sıcak hattın veriminin en düşük olduğu ve soğuk hattın veriminin ise en yüksek olduğu görülmektedir. Soğuk hattın veriminin yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hattının verimi ile soğuk hattının veriminin ortalaması olduğundan sıcak hattının verimi ile soğuk hattının verimi arasında yer almıştır. Yapılmış olan deney de sıcak hat eşanjörün köpüklü kısmından geçtiğinden dolayı sıcaklığı üzerinde tutmaktadır.



Şekil 5.29 İçi boş-dışı dolu ters akış kapalı sistem verimleri.

5.3.3 İçi Dolu Dışı Boş Paralel Akış Verimleri

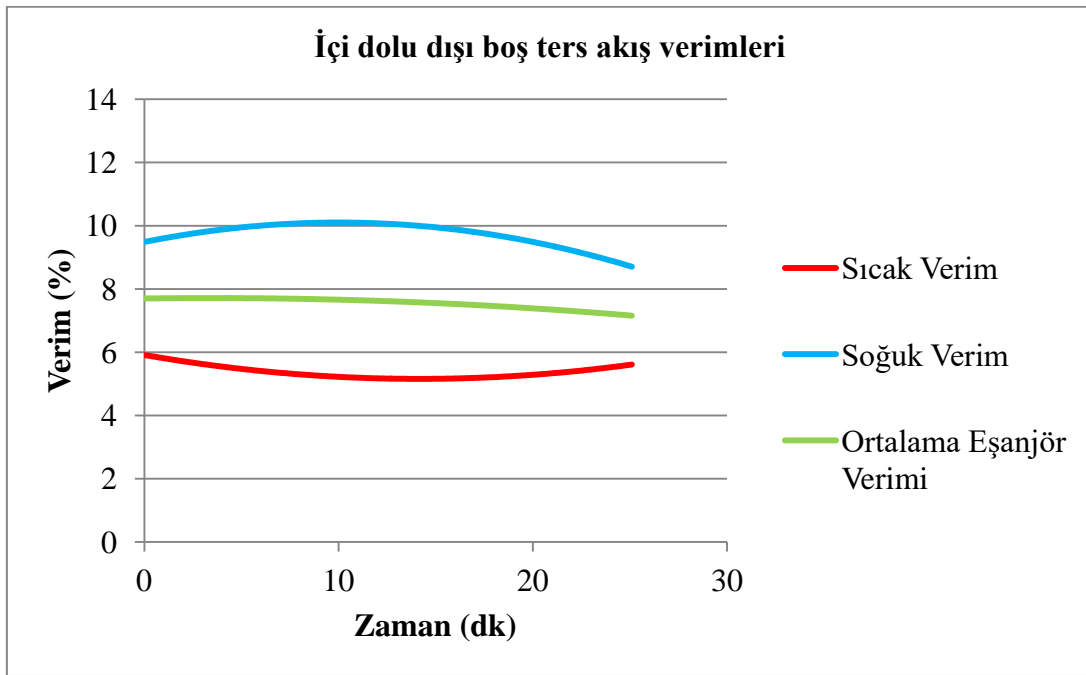
Şekil 5.30’de eşanjörün iç kısmı 2mm – 4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile dolu dış kısmı boş olan eşanjörün paralel akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının veriminin en düşük olduğu ve soğuk hattının veriminin ise en yüksek olduğu görülmektedir. Soğuk hattın veriminin en yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin en düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin ortalaması olduğundan sıcak hattın verimi ile soğuk hattın verimi arasında yer almıştır. Yapılan deney de sıcak hat eşanjörün dış köpüksüz kısmından geçmekte, soğuk hat ise eşanjörün köpüklü kısmından geçmektedir.



Şekil 5.30 İçi dolu dışı boş paralel akış verimleri.

5.3.4 İçi Dolu Dışı Boş Ters Akış Verimleri

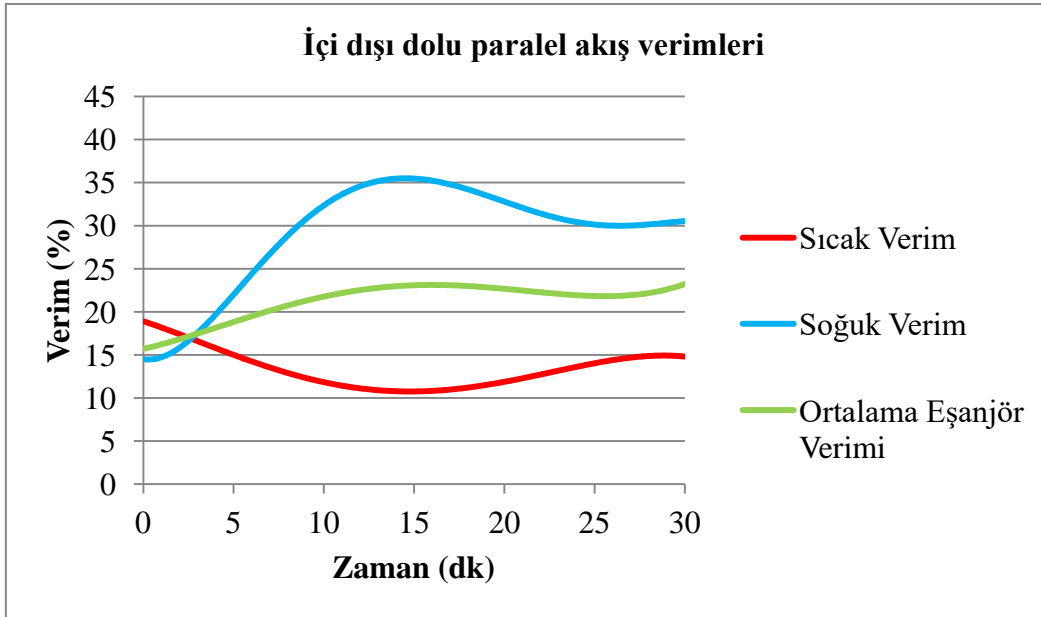
Şekil 5.31’de eşanjörün iç kısmı 2mm – 4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile dolu dış kısmı boş olan eşanjörün ters akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının verimi en düşük olduğu ve soğuk hattının veriminin ise en yüksek olduğu görülmektedir. Soğuk hattın veriminin en yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin en düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin ortalaması olduğundan grafiklerde de sıcak hattın verimi ile soğuk hattın verimi arasında yer almıştır.



Şekil 5.31 İçi dolu dışı boş ters akış verimleri.

5.3.5 İçi Dışı Dolu Paralel Akış Verimleri

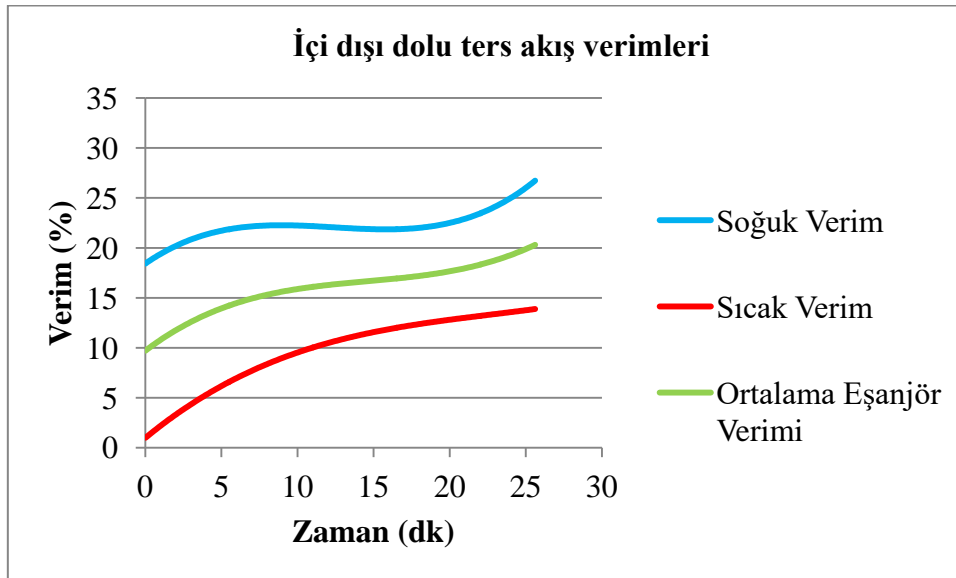
Şekil 5.32’de eşanjörün iç ve dış kısımları 2mm – 4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile doldurulmuş olan eşanjörün paralel akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının verimi başlangıçta yüksekken sonradan düştüğü, soğuk hattının veriminin ise ilk başta düşükken sonradan aniden yükseldiği gözlemlenmiştir. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin ortalaması olduğundan sıcak hattın verimi ile soğuk hattın verimi arasında yer almıştır. Yapılan deneyde eşanjörün iç ve dış kısımları köpükle dolu olduğundan bu deneyde köpüğün etkisi görülmektedir. Eşanjörün iç ve dış kısımlarında köpük bulunması nedeniyle artan yüzey alanının da etkisi görülmektedir.



Şekil 5.32 İçi dışı dolu paralel akış verimleri.

5.3.6 İçi Dışı Dolu Ters Akış Verimleri

Şekil 5.33’de eşanjörün iç ve dış kısımları 2mm – 4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile dolu olan eşanjörün ters akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının veriminin düşük olduğu ve soğuk hattının veriminin ise yüksek olduğu görülmektedir. Soğuk hattın veriminin yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hattın verimi ile soğuk hattın veriminin ortalaması olduğundan sıcak hat verimi ile soğuk hat verimi arasında yer almıştır.

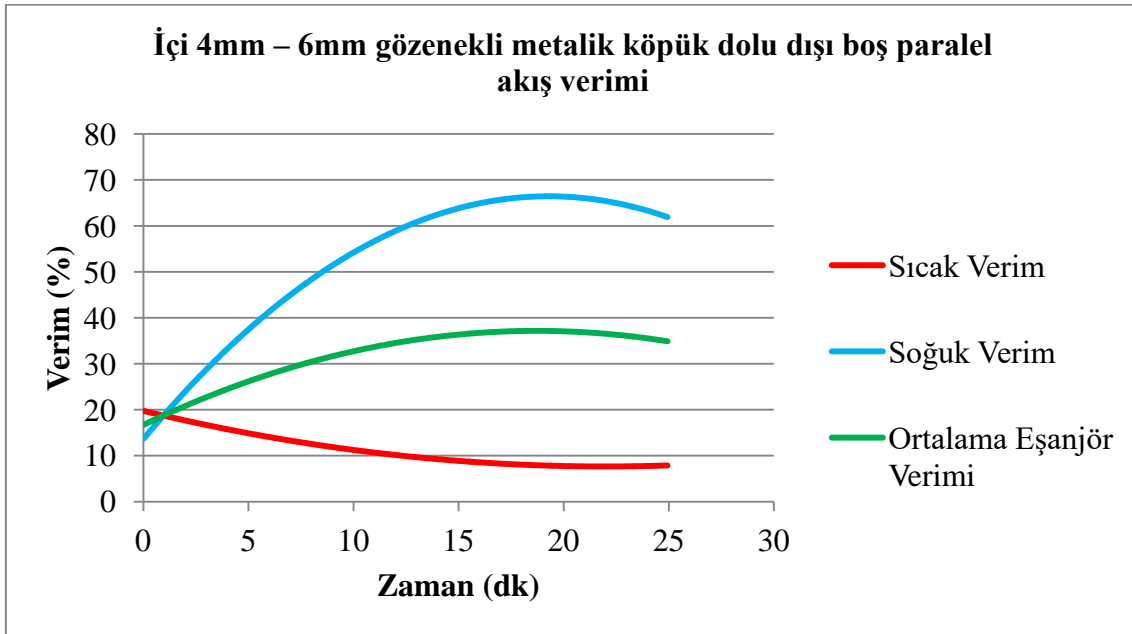


Şekil 5.33 İçi dışı dolu ters akış verimleri.

5.3.7 İçi 4mm – 6mm Gözenekli Metalik Köpük Dolu Dışı Boş Paralel Akış Verimi

Şekil 5.34’de eşanjörün iç kısmı 4mm – 6mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile doldurulmuş ve dış kısmı ise boş olan eşanjörün paralel akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının verimi ilk başta yüksekken daha sonra da düştüğü soğuk hattının veriminin ise başlangıçta düşük olduğu ve sonradan aniden yükseldiği gözlemlenmiştir. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile

sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin ortalaması olduğundan sıcak hat verimi ile soğuk hat verimi arasında yer almıştır. Yapılan deneyde eşanjörün içinin 4mm – 6mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile doldurulmuş olduğundan verimlerde yükselme görülmüştür. Eşanjörün iç kısmında bulunan 4mm – 6mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme bulunması nedeniyle artan yüzey alanının da etkisini göstermektedir.

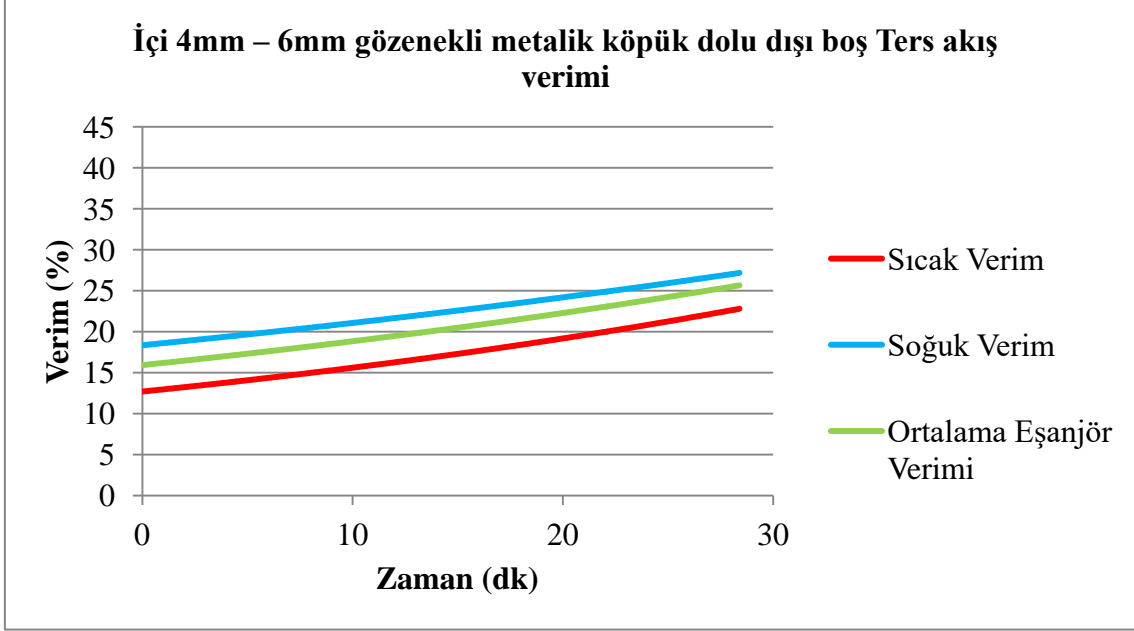


Şekil 5.34 İçi 4mm – 6mm gözenekli metalik köpük dolu dışı boş paralel akış verimi.

5.3.8 İçi 4mm – 6mm Gözenekli Metalik Köpük Dolu Dışı Boş Ters Akış Verimi

Şekil 5.35’de eşanjörün iç kısmı 4mm – 6mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile doldurulmuş ve dış kısmı ise boş olan eşanjörün ters akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının veriminin düşük olduğu ve soğuk hattın veriminin ise yüksek olduğu görülmektedir. Soğuk hattın veriminin yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin

ortalaması olduğundan sıcak hat verimi ile soğuk hat verimi arasında yer almıştır. Yapılan deney verimlerde sürekli artış olduğu gözlenmiştir.

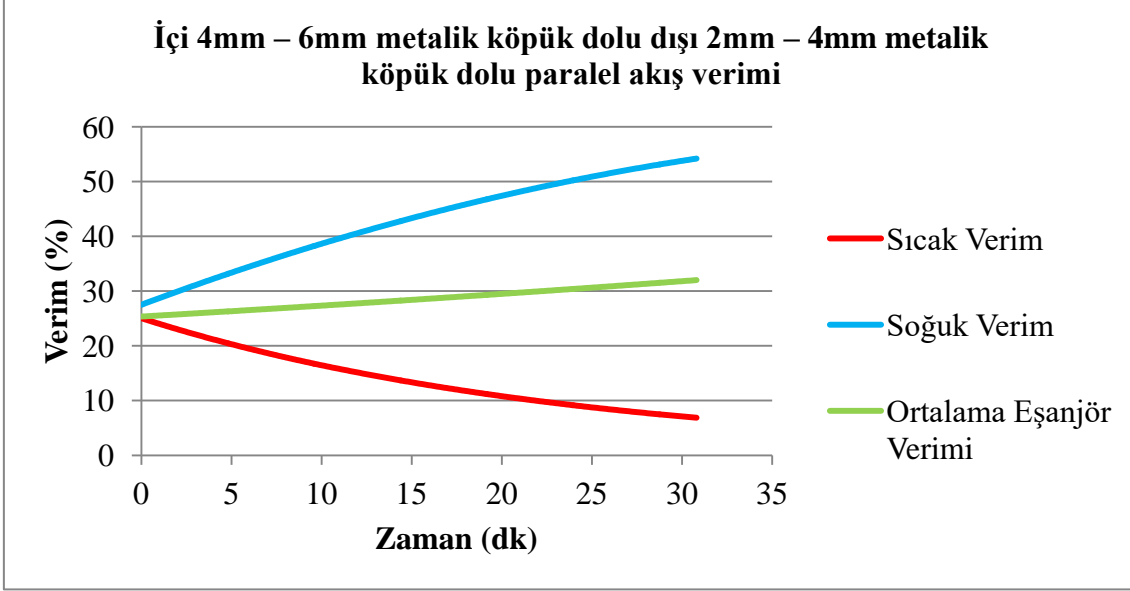


Şekil 5.35 İçi 4mm – 6mm gözenekli metalik köpük dolu dışı boş ters akış verimi.

5.3.9 İçi 4mm – 6mm Metalik Köpük Dolu Dışı 2mm – 4mm Metalik Köpük Dolu Paralel Akış Verimi

Şekil 5.36’de iç kısmı 4mm – 6mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile doldurulmuş ve kısımları 2mm – 4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile dolu olan eşanjörün paralel akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının veriminin düşük olduğu ve soğuk hattının veriminin ise yüksek olduğu görülmektedir. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin ortalaması olduğundan sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin arasında yer almıştır. Yapılan deneyde eşanjörün içinin 4mm – 6mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile, dışının ise 2mm – 4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile doldurulmuş olmasından dolayı eşanjörün ters akışlı deneyde köpüklerin etkisi ile yüksek verime sahip olduğu görülmüştür. Eşanjörün iç kısmında 4mm – 6mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ve dış kısmında ise 2mm –

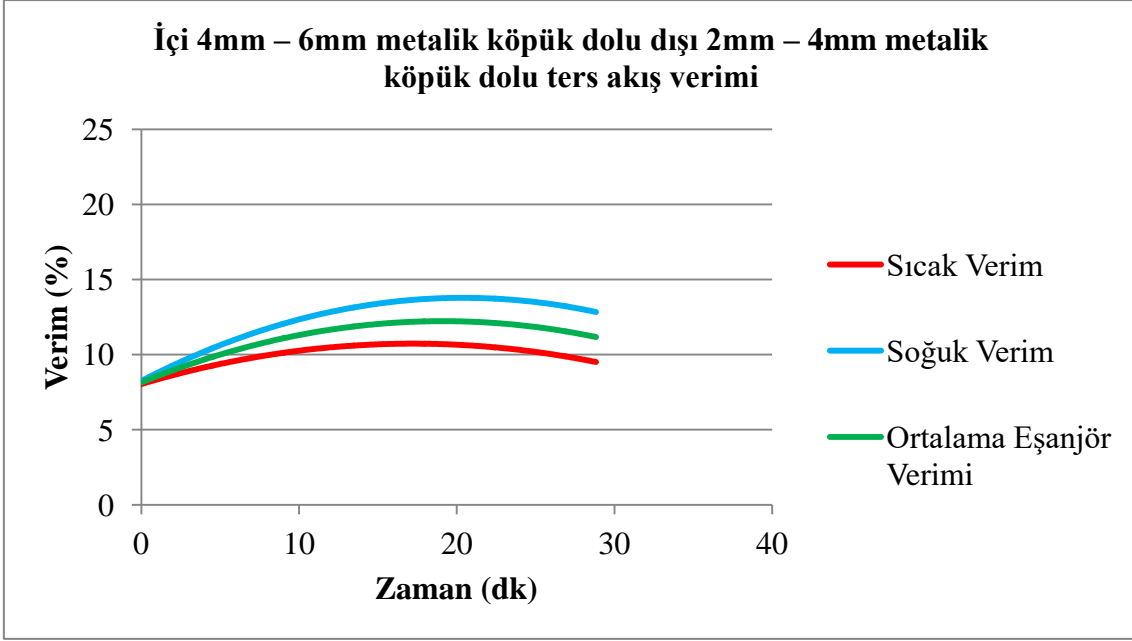
4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme bulunması nedeniyle artan yüzey alanının da etkisini göstermektedir.



Şekil 5.36 İçi 4mm – 6mm metalik köpük dolu dışı 2mm – 4mm metalik köpük dolu paralel akış verimi.

5.3.10 İçi 4mm – 6mm Metalik Köpük Dolu Dışı 2mm – 4mm Metalik Köpük Dolu Ters Akış Verimi

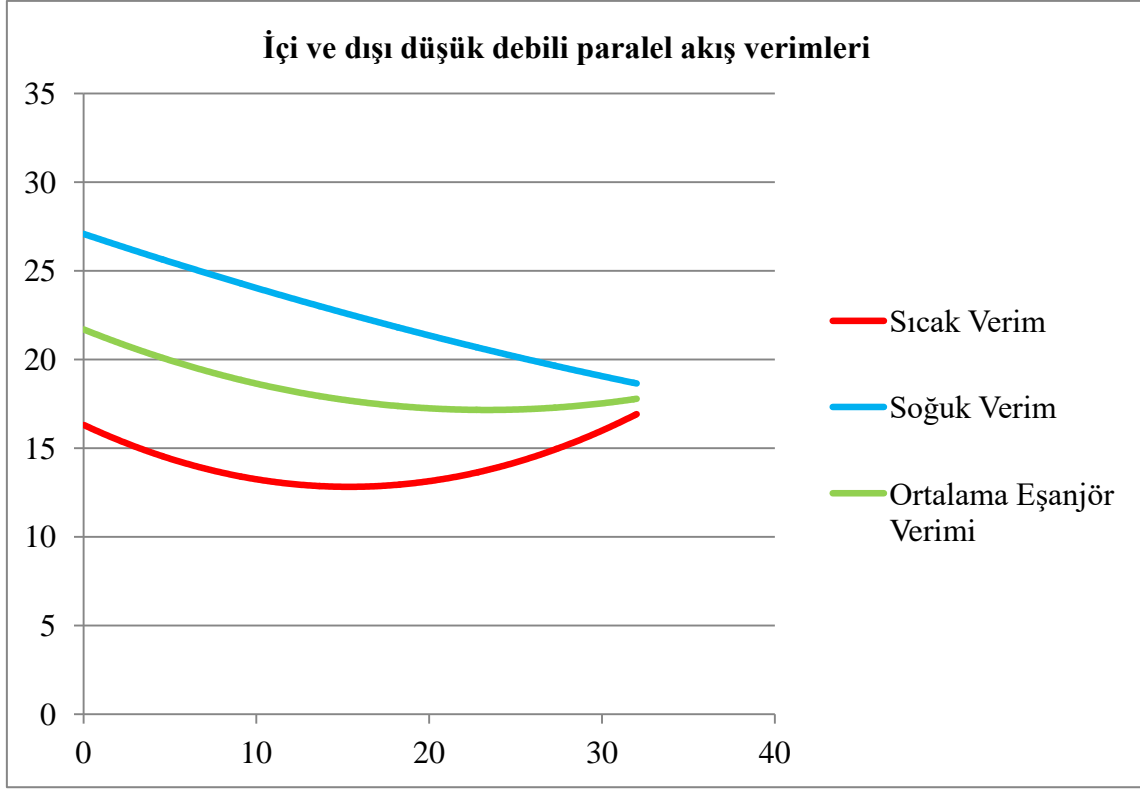
Şekil 5.37’de iç kısmı 4mm – 6mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile doldurulmuş ve dış kısımları 2mm – 4mm gözenekli alüminyum metalik köpük malzeme ile dolu olan eşanjörün ters akışlı deneyin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hat veriminin, soğuk hat veriminin ve ortalama veriminin başlangıçta yaklaşık olarak aynı noktalarda başlamış olduğu görülmektedir. Verim grafiğinde sıcak hattın veriminin düşük olduğu ve soğuk hattın veriminin ise yüksek olduğu görülmektedir. Soğuk hattın veriminin yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin ortalaması olduğundan sıcak hattın verimi ile soğuk hattın arasında yer almıştır.



Şekil 5.37 İçi 4mm – 6mm metalik köpük dolu dışı 2mm – 4mm metalik köpük dolu ters akış verimi.

5.3.11 İçi ve Dışı Düşük Debili Paralel Akış Verimleri

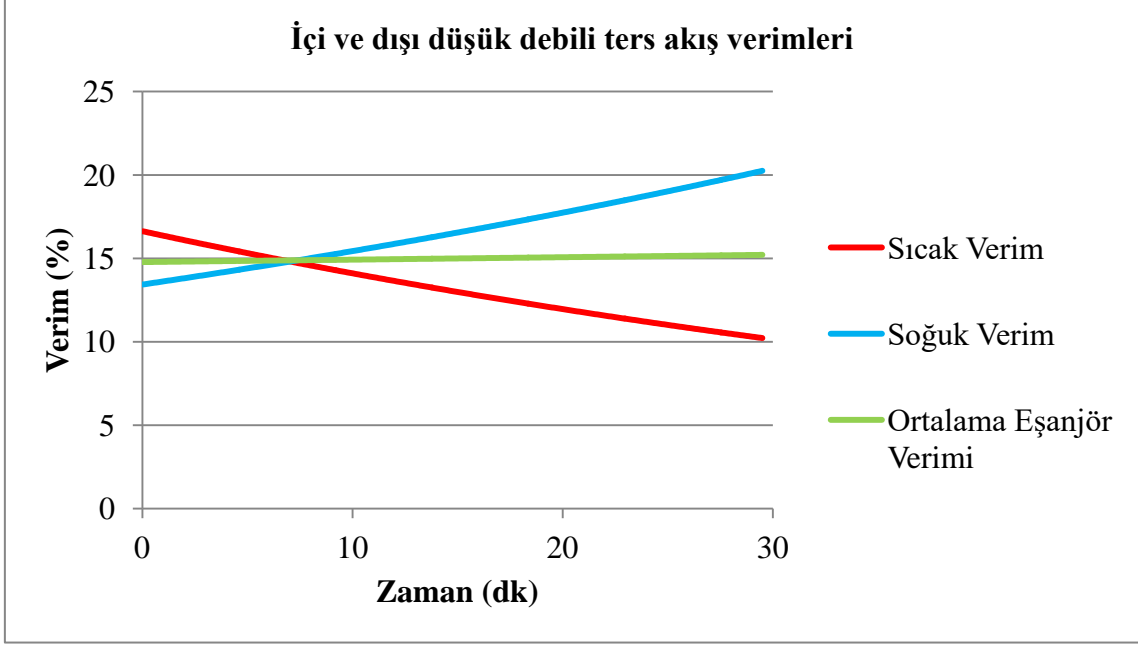
Şekil 5.38’de eşanjörün iç ve dış kısımlarındaki köpükler çıkartılmış ancak köpüğün var olduğu varsayılarak küresel vanalar ile iç ve dış debilerin düşük tutulduğu paralel akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının veriminin düşük, soğuk hattının veriminin yüksek olduğu görülmektedir. Soğuk hattın veriminin yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hattın verimi ile soğuk hattın veriminin ortalaması olduğundan sıcak hattın verimi ile soğuk hattın verimi arasında yer almış ve verimde giderek azalma olduğu görülmektedir. Verimdeki düşüş, deneyde köpük kullanılmadığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.38 İçi ve dışı düşük debili paralel akış verimleri.

5.3.12 İçi ve Dışı Düşük Debili Ters Akış Verimleri

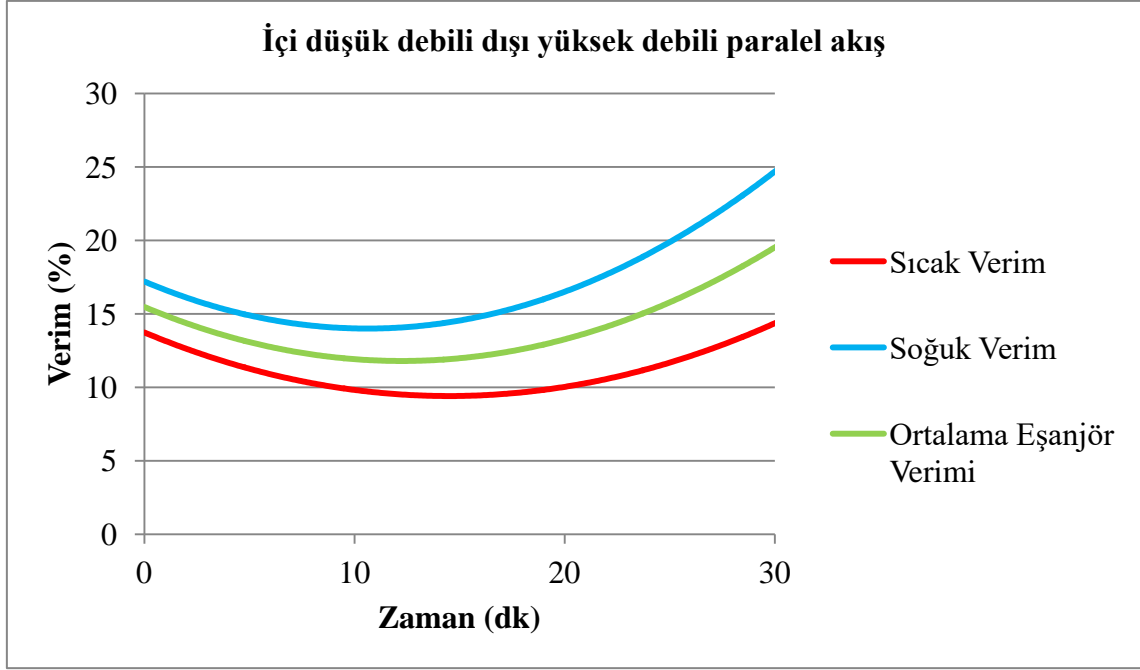
Şekil 5.39’de eşanjörün iç ve dış kısımlarındaki köpükler çıkartılmış ancak köpüğün var olduğu varsayılarak küresel vanalar ile iç ve dış debilerin düşük tutulduğu ters akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının veriminin başlangıçta yüksek, soğuk hattının veriminin ise düşük olduğu görülmektedir. Soğuk hat verimi yükselirken, sıcak hat veriminin düştüğü, ortalama eşanjör veriminin ise iki verim arasında sabit kaldığı görülmektedir. Soğuk hattın veriminin yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hattın verimi ile soğuk hattın veriminin ortalaması olduğundan sıcak hattın verimi ile soğuk hattın verimi arasında yer almıştır.



Şekil 5.39 İçi ve dışı düşük debili ters akış verimleri.

5.2.13 İçi Düşük Debili Dışı Yüksek Debili Paralel Akış

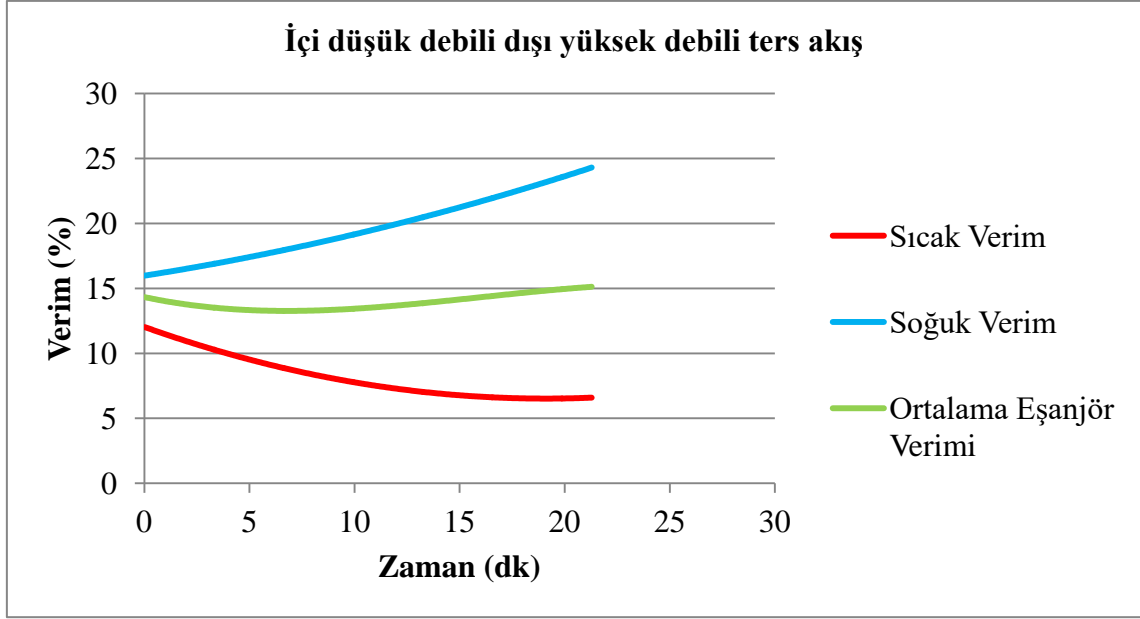
Şekil 5.40'ta eşanjörün iç ve dış kısımlarındaki köpükler çıkartılmış ancak köpüğün var olduğu varsayılarak küresel vanalar ile iç ve dış debilerin düşük tutulduğu paralel akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Deneylerde 15 dakikaya kadar verimlerde düşüş görülmekte olup bu dakikadan sonra tüm verimlerde artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebi eşanjörün yaklaşık 15 dakikaya kadar stabil hale gelmesidir.



Şekil 5.40 İçi düşük debili dışı yüksek debili paralel akış.

5.3.14 İçi Düşük Debili Dışı Yüksek Debili Ters Akış

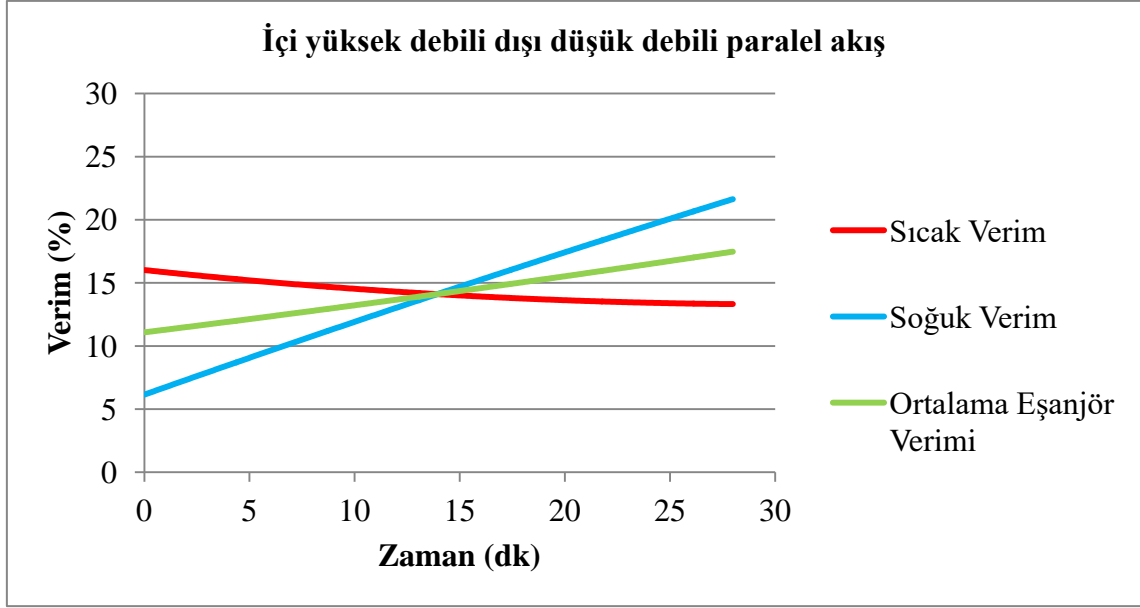
Şekil 5.41’de eşanjörün iç ve dış kısımlarındaki köpükler çıkartılmış ancak köpüğün var olduğu varsayılarak küresel vanalar ile iç ve dış debilerin düşük tutulduğu ters akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının veriminin düşük olduğu ve soğuk hattının veriminin ise yüksek olduğu görülmektedir. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hat verimi ile soğuk hat veriminin ortalaması olduğundan sıcak hattın verimi ile soğuk hattın verimi arasında yer almıştır. Sıcak hat veriminde ilk 15 dakika içerisinde bir düşüş; soğuk hat veriminde ise sürekli bir artış görülmektedir. Ortalama verimin ise, sıcak verimden etkilendiği ve istenilen performansı gösteremediği görülmektedir.



Şekil 5.41 İçi düşük debili dışı yüksek debili ters akış.

5.3.15 İçi Yüksek Debili Dışı Düşük Debili Paralel Akış

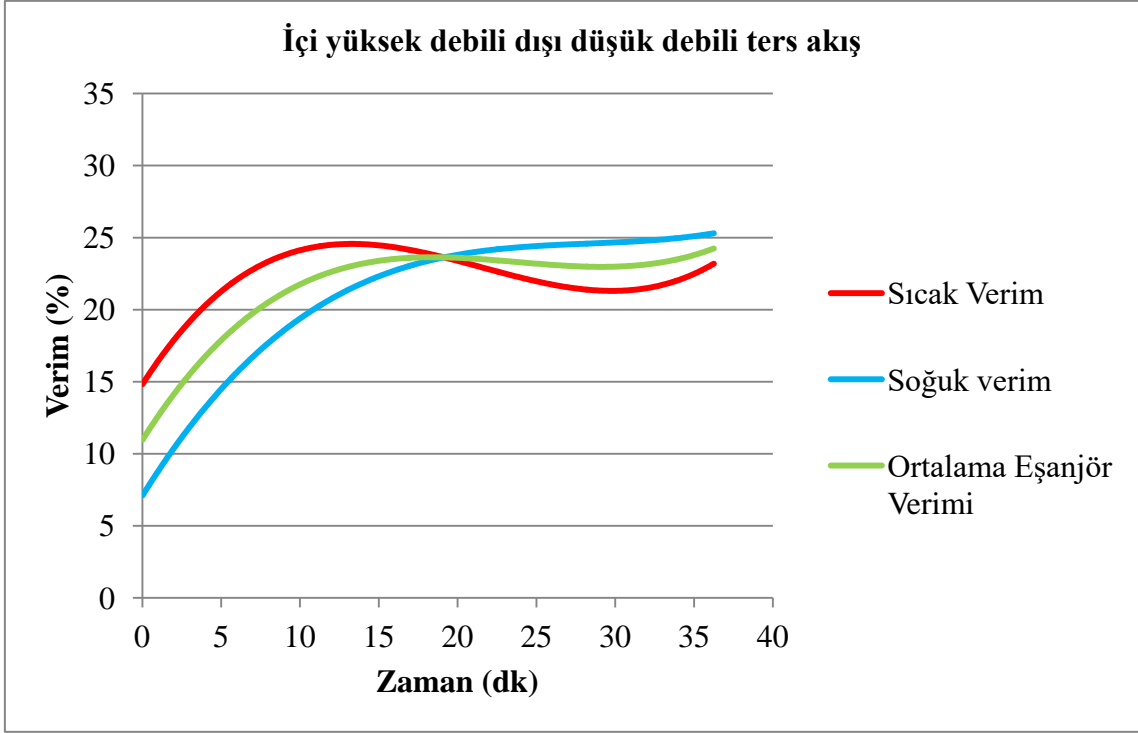
Şekil 5.42’de eşanjörün iç ve dış kısımlarındaki köpükler çıkartılmış ancak köpüğün var olduğu varsayılarak küresel vanalar ile iç debinin yüksek ve dış debinin düşük tutulduğu paralel akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının verimi başlangıçta yüksek, soğuk hattının veriminin ise düşük olduğu görülmektedir. Soğuk hat verimi yükselirken sıcak hat veriminin de düştüğü; ortalama eşanjör veriminin ise iki verim arasında sabit kaldığı görülmektedir. Soğuk verimin yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olmasının olmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hattın verimi ile soğuk hattın veriminin ortalaması olduğundan sıcak hattın verimi ile soğuk hattın verimi arasında yer almıştır.



Şekil 5.42 İçi yüksek debili dışı düşük debili paralel akış.

5.2.16 İçi Yüksek Debili Dışı Düşük Debili Ters Akış

Şekil 5.43’de eşanjörün iç ve dış kısımlarındaki köpükler çıkartılmış ancak köpüğün var olduğu varsayılarak küresel vanalar ile iç debinin yüksek ve dış debinin düşük tutulduğu ters akışlı deneyinin anlık verimi hesaplanarak zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekilde verim hesabı yapılan eşanjörün sıcak hattının veriminin başlangıçta yüksek, soğuk hattının veriminin ise başlangıçta düşük olduğu görülmektedir. Deneyin ilk 20 dakikası boyunca sıcak hat veriminin soğuk hat veriminden yüksek olduğu kaydedilmiştir. 20. dakikadan sonra soğuk verim artarken, sıcak verimin azalmış, ortalama eşanjör verimi iki verim arasında sabit kalmıştır. Soğuk verimin yüksek olmasının sebebi ise kurulan deney düzeneğinin ısıtma amaçlı olmasıdır. Sıcak hattın veriminin düşük olmasının sebebi ise termostatlı ısıtıcı ile sürekli sıcaklığının sabit tutulmaya çalışılmış olunmasıdır. Ortalama eşanjör verimi, sıcak hattının verimi ile soğuk hattının veriminin ortalaması olduğundan sıcak verim ile soğuk verim arasında yer almış ve ortalama verimde ilk 20 dakika bir şekilde artmıştır ve sonrasında sabit kalmıştır.



Şekil 5.43 İçi yüksek debili dışı düşük debili ters akış.

6. SONUÇLAR

Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Metalik köpük üretim parametreleri olarak Döküm sıcaklığı 790 °C, NaCl ön ısıtma sıcaklığı 610 °C, Kalıp ön ısıtma sıcaklığı ise 440 °C olarak tespit edilmiştir.
- Termostatlı ısıtıcının sürekli devreye girip çıkması sonucu sıcak su giriş sıcaklığını gösteren tüm grafiklerde sürekli dalgalanma göstermektedir ± 5 °C'dir.
- Paralel akışlı deneyler ters akışlı deneylere nazaran daha iyi performans vermiştir.
- Tüm deneylerde ortalama 10 dk boyunca sıcaklıklarda artış gözlemlenmiş ve sonrasında sıcaklık değişimi sabite yakın olarak seyretmiştir.
- Eşanjörün giriş çıkış sıcaklık farkı ilk 10 dakida düzensiz olup sonradan sıcaklık farkı sabitlenmiştir.
- Deney süresince tüm grafiklerde ilk 18-20 dakika boyunca hızlı bir yükseliş sonrasında daha yavaş zaman eksenini boyunca artış gözlenmektedir.
- Yapılan tüm deneylerde 4mm – 6mm gözenekli Alüminyum köpüğün 2mm – 4mm gözenekliye göre ısı iletim performansının olduğu görülmektedir.
- Metal köpük içeren tüm deneyler boş eşanjör deneylerine göre daha iyi bir performans sağlamış olup, en iyi sıcaklık artışı hem iç hemde dış kısmı metal köpük ile doldurulan deneyde elde edilmiştir.
- En iyi köpük parametrelerini, malzemesini ve boyutlarını seçmek için optimizasyon gereklidir. Bu, yüksek performanslı ısı değiştirici tasarımları için açık hücreli metal köpüğün potansiyelini açıkça göstermektedir (Huisseune *et al.* 2015).
- Yağ soğutucu olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

7. KAYNAKLAR

- Alimonti, C., Soldo, E., Bocchetti, D., Berardi, D. (2018). The wellbore heat exchangers: A technical review. *Renewable Energy*, **123**: 353 – 381.
- Alperen, M. A., Kurt, H. (2016). Gövde Borulu Isı Değişiricilerinde Gövde Tarafı Isıl Performansın Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemlerin Deneysel Verilerle Uyumluluğunun Değerlendirilmesi. 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5 November 2016.
- Alvandifar, N., Saffar-Avval, M., Amani, E. (2018). Partially metal foam wrapped tube bundle as a novel generation of air cooled heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **118**: 171–181.
- An, Y., Yang, S., Zhao, E., Wang, Z., Wub, H. (2018). Fabrication of aluminum foam reinforced by graphene nanoflakes. *Materials Letters*, **212**: 4–7.
- Arie, M. A., Shooshtari, A. H., Ohadi, M. M. (2018). Experimental characterization of an additively manufactured heat exchanger for dry cooling of power plants. *Applied Thermal Engineering*, **129**: 187–198.
- Awad, O. I., Mamat, R., Ali, O. M., Sidik, N. A. C., Yusaf, T., Kadrigama, K., Kettner, M. (2018). Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **82**: 2586- 2605.
- Balbay, A. (2001). Gövde Borulu Isı Değişiricilerinin Bilgisayar Destekli Tasarımı, Elazığ, 5 s.
- Basan, Z. (2000). Kompakt Isı Eşanjörü Tasarımı ve Isı Transfer Katsayısının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bayram, G. (2014). Farklı soğutucu akışkanlar kullanılan plakalı ısı Eşanjörlü soğutma sisteminin termodinamik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Boomsma, K., Poulikakos, D., Zwick, F. (2003). Metal Foams as Compact High Performance Heat Exchangers. *Mechanics of Materials*, **35**: 1161-76.

- Chang, K., Gao, J. T., Wang, Z., Guo, Z. C. (2018). Manufacturing 3-D open-cell aluminum foam via infiltration casting in a super-gravity field. *Journal of Materials Processing Tech.*, **252**:705–710.
- Chiappini, D., (2018). Numerical simulation of natural convection in open-cells metal foams. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **117**: 527–537.
- Ding, X., Liu, Y., Chen, X., Zhang, H., Li, Y. (2018). Optimization of cellular structure of aluminum foams produced by powder metallurgy method. *Materials Letters*, **216**: 38–41.
- Flitsanov, Y., Kribus, A. (2018). A cooler for dense-array CPV receivers based on metal foam. *Solar Energy*, **160**: 25–31.
- Girlich, D. (2006). Open Pore Metal Foam Description and Applications. GmbH Enderstrasse 94(G), 01277 Dresden, Germany.
- Hangai, Y., Otazawa, S., Takao, U., Suzuki, R., Koyama, S., Matsubara, M., Yoshikawa, N. (2018). Fabrication of bilayer tube consisting of outer aluminum foam tube and inner dense aluminum tube by friction stir back extrusion. *Materials Today Communications*, **15**: 36 – 42.
- Hamadouche, A., Azzi, A., Abboud, S., Nebbali, R. (2018). Enhancement of heat exchanger thermal hydraulic performance using aluminum foam. *Experimental Thermal and Fluid Science*, **92**: 1–12.
- Hangai, Y., Otazawa, S., Utsunomiya, T. (2018). Aluminum alloy foam-filled aluminum tube fabricated by friction stir back extrusion and its compression properties. *Composite Structures*, **183**: 416-422.
- Hu, H., Lai, Z., Ding, G. (2018). Heat transfer and pressure drop characteristics of wet air flow in metal foam with hydrophobic coating under dehumidifying conditions. *Applied Thermal Engineering*, **132**: 651–664.
- Huisseune, H., De Schampheleire, D., Ameel, B., De Paepe, M. (2015). Comparison of metal foam heat exchangers to a finned heat exchanger for low Reynolds number applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **89**: 1-9.

- Ilinzeer, S., Rupp, P., Weidenmann, K. A., (2018). Influence of corrosion on the mechanical properties of hybrid sandwich structures with CFRP face sheets and aluminum foam core, *Composite Structures*, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.01.012>
- Isa, Y. M., Ganda, E. T. (2018). Bio-oil as a potential source of petroleum range fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **81**: 69-75.
- Islam, M. A., Brown, A. D., Hazell, P. J., Kader, M. A., Escobedo, J. P., Saadatfar, M., Xu, S., Ruan, D., Turner, M. (2018). Mechanical response and dynamic deformation mechanisms of closed-cell aluminium alloy foams under dynamic loading. *International Journal of Impact Engineering*, **114**: 111–122.
- İpek, M. Y. (2015). Isı Değiştiricilerinde Ashby Yaklaşımı İle Malzeme Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Kaçar, E. N., Erbay, L. B. (2013). Isı Değiştiricilerin Tasarımına Bir Bakış. *Mühendis ve Makina*, **54**: 14-43.
- Kostoglou, N., Gunduz, I. E., Isik., T., Ortalan, V., Constantinides, G., Athanassios, G. K., Steriotis, T., Ryzhkov, V., Bousser, E., Matthews, A., Doumanidis, C., Mitterer, C., Rebholz, C. (2018). Novel combustion synthesis of carbon foam aluminum fluoride nanocomposite materials. *Materials and Design*, **144**: 222–228.
- Koyuncu, T. (1998). Havalandırmada Kullanılabilecek Çapraz Akımlı Plakalı ve Petekli Tip Isı Eşanjörlerinin Tasarımı ve Yapımı. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Lacki, P., Derlatka, A. (2018). Influence of PU foam reinforcement of I-beam on buckling resistance, *Composite Structures*, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.01.050>.
- Lai, Z., Hu, H., Ding, G., Weng, X. (2018). Influence of pore density and porosity on the wet air flow in metal foam under different operation conditions. *International Journal of Refrigeration*, **88**: 117–128.

- Li, X., Liu, Y., Ye, J., An, X., Cao, Z., Liu, X. (2018). Innovative surface modification of TiH₂ to fabricate aluminum foam with enhanced mechanical properties. *Materials Letters*, **210**: 350–353.
- Ling, Z., Kailing G., Yinggang, L., Yu, T. X., Qingwen, Z. (2018). Experimental study on the dynamic behaviour of aluminium foam sandwich plates under single and repeated impacts at low temperature. *International Journal of Impact Engineering*, **114**: 123–132.
- Linul, E., Movahedi, N., Marsavina, L. (2018). The temperature and anisotropy effect on compressive behavior of cylindrical closed-cell aluminum-alloy foams. *Journal of Alloys and Compounds*, **740**: 1172 – 1179.
- Mustaffar, A., Reay, D., Harvey, A. (2018). The melting of salt hydrate phase change material in an irregular metal foam for the application of traction transient cooling. *Thermal Science and Engineering Progress*, **5**: 454 – 465.
- Nithyanandam, K., Mahajan, R. L. (2018). Evaluation of metal foam based thermoelectric generators for automobile waste heat recovery. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **122**: 877–883.
- Novais, R. M., Ascensão, G., Ferreira, N., Seabra, M. P., Labrincha, J. A. (2018). Influence of water and aluminium powder content on the properties of waste-containing geopolymer foams. *Ceramics International*, **44**: 6242–6249.
- Orihuela, M. P., Anuar, F. S., Abdi, I. A., Odabae, M., Hooman, K. (2018). Thermohydraulics of a metal foam-filled annulus. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **117**: 95–106.
- Ozan, S., Katı, N. (2011). Metal Köpükler *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Turkey.
- Park, Y. G. (2018). Correcting energy balance error in heat exchanger data by maximum likelihood method. *Applied Thermal Engineering*, **131**: 311–319.
- Sertkaya, A. A. (2013). Metal Köpük Isı Değiştiriciler. *Mühendis ve Makina*, **54**: 22-26.

- Sertkaya, A. A. (2008). The Production of Aluminium Foam As Heat Exchanger & Heat Transfer Modelling. Ph.D. Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Selçuk University, Konya.
- Shaji, S., Mohan, G. (2018). Numerical simulation of the effect of aluminum foam on sorption induced wall strain in vertical, metal hydride based hydrogen storage container. *Journal of Alloys and Compounds*, **735**: 2675 – 2684.
- Shi, J., Zheng, G., Chen, Z. (2018) . Experimental investigation on flow condensation in horizontal tubes filled with annular metal foam. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **116**: 920–930.
- Shunmugasamy, V. C., Mansoor, B. (2018). Compressive behavior of a rolled open-cell aluminum foam. *Materials Science & Engineering A*, **715**: 281–294.
- Taherishargh, M., Linul, E., Broxtermann, S., Fiedler, T. (2018). The mechanical properties of expanded perlite-aluminium syntactic foam at elevated temperatures. *Journal of Alloys and Compounds*, **737**: 590 – 596.
- Tekin, S. (2006). Gövde–boru tipi ısı değiştiricilerinin bilgisayar destekli tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tu, Y. D., Wang, R. Z., Ge, T. S. (2018). Moisture uptake dynamics on desiccant-coated, water-sorbing heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, **126**: 13–22.
- Välíkangas, T., Singh, S., Sørensen, K., Condra, T. (2018). Fin-and-tube heat exchanger enhancement with a combined herringbone and vortex generator design. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **118**: 602–616.
- Wang, X., Zhao, X., Fu, L. (2018). Entransy analysis of secondary network flow distribution in absorption heat exchanger. *Energy*, **147**: 428 – 439.
- Yakut, M. Z. (2007). Soğutucu Akışkan-Hava ile alışan Isı Değiştiricilerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yavuz, İ. (2010). Metalik Köpük Malzemeler ve Uygulama Alanlar. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2**: 49 – 58.

Zukowski, M., Justyna, T. (2018). Comparison of thermal performance between tube and plate groundair heat exchangers. *Renewable Energy*, **115**: 697e710.

7.1 İnternet Kaynakları

1. <https://f.platinmarket.com/1978/dosyalar/files/TM.pdf> 20.06.2018
2. http://www.automation24.ir/media/uploads/files/products/DELTA_IFD6500_User_Manual.pdf, 20.06.2018
3. <http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/makine/Dosyalar/1.E%C5%9Fanj%C3%B6r%20Deneyi%282%29.pdf>, 20.06.2018
4. <https://tr.all.biz/aluminyum-oto-radyatorleri-rms-radyator-sanayi-g62706>, 18.07.2018
5. <https://merttugoto.com/urunler/3868/sanziman-yag-sogutucusu-audi-a3-golf-jetta-pas-sat-touran>, 18.07.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: İlkay Onur ŞERBETÇİ
Doğum Yeri ve Tarihi	: Uşak 02.10.1987
Yabancı Dili	: İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta)	: 0 (535) 222 89 99 / ioserbetci@gmail.com
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	
Lise	: Uşak Atatürk Lisesi / FEN (2001-2004)
Ön Lisans	: Uşak Üniversitesi Uşak MYO Otomotiv (iö) (2006-2008)
Lisans	: Pamukkale Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Programı (2010-2012)
Yüksek Lisans	: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. İş Güvenliği (Tezsiz) (2014-2015) : Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (2014-2018)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

Orak Sağlık Güvenlik Birimi Bünyesinde İş Güvenliği Uzmanı (2016 – 2018).
Uşak Üni. Sivil Havacılık MYO Motorlu Araçlar Tekn. Böl. Uçak Teknolojisi prog.
Hava Araçları Motorları Öğrt. Gör. (2017 – 2018 Güz)
Han Araç Muayene İstasyonu A.Ş. İstasyon Amir Yrd. (2015 – 2016)
Oksan Köseoğlu Madencilik İnşaat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti İş Güvenliği Uzmanı
(2015 – 2016).
Ortak Sağ. Güv. Birimi Bünyesinde İş Güvenliği Uzmanı (2014 – 2015).
Milli Eğitim Bakanlığı Uşak Halk Eğitim Merkezi ücretli öğretmenlik (2012-2013).
Motorlu Taşıtlar Sürücü Kursu Motor, Direksiyon, Trafik ve Çevre Bilgisi Uzman
Öğreticisi, Müdür V. (2009 – 2018).