



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKLİMLENDİRME UYGULAMALARI İÇİN OPTİMUM ABSORBSİYONLU
SOĞUTUCU DİZAYN ve İMALATI**

Hasan Basri RAVUL

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Danışman

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2017

TEZ ONAYI

Hasan Basri RAVUL tarafından hazırlanan "İklimlendirme Uygulamaları İçin Optimum Absorbsiyonlu Soğutucu Dizayn ve İmalatı" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof.Dr.Muhsin KILIÇ

Başkan: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye: Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye: Doç Dr. Ali KARA
Uludağ Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi
Fizikokimya Kimya Anabilim Dalı



Üye: Prof. Dr. İlhami HORUZ
Gazi Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye: Doç. Dr. İbrahim ATMACA
Akdeniz Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.


Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü

U.Ü. 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.

23/02/2017

Hasan Basri RAVUL

ÖZET

Doktora Tezi

İKLİMLENDİRME UYGULAMALARI İÇİN OPTİMUM ABSORBSİYONLU SOĞUTUCU DİZAYN ve İMALATI

Hasan Basri RAVUL

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Muhsin Kılıç

Günümüzde artan Dünya nüfusu ve ekonomik gelişmeye bağlı olarak iklimlendirme sistemlerine olan talep hızla artmaktadır. Konvansiyonel sistemlerin yüksek elektrik tüketimi ve organik soğutucu gazların çevre üzerinde yarattığı olumsuzlar farklı teknolojilerin kullanılmasını teşvik etmektedir. Soğutma sistemlerinde alternatif olarak kullanılabilir diğer bir yöntem absorbsiyonlu soğutma sistemleridir. Bu yöntemde soğutma etkisi oluşturmak için ana enerji girdisi olarak elektrik yerine ısı kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, jeotermal enerji, atık ısı gibi kaynakları kullanabilen bu sistemler çevre dostu kabul edildiklerinden son yıllarda yeniden popüler hale gelmiştir. Absorbsiyonlu soğutma sistemleri geleneksel olarak büyük soğutma kapasitelerinde imal edilmektedirler. Küçük kapasiteli sistemlerin pazarda kendine yer bulmasındaki sıkıntı, sistem boyutlarının ve maliyetinin konvansiyonel sistemlere oranla yüksek olmasıdır. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin tanıtımı yapılmıştır. Özellikle hedef pazar olarak konut sektörü için uygun soğutma kapasitesi Türkiye'deki bina istatistikleri araştırılarak tespit edilmiştir. Sistemin kademe sayısı, soğutma şekli, solüsyon tipi gibi özelliklerinin belirlenmesinin ardından termodinamik modeli oluşturulmuştur. Sistemin enerji ve ekserji analizi hesapları yapılarak farklı çalışma sıcaklıklarındaki değişimleri analiz edilmiştir. Her bir eşanjördeki toplam ısı transfer katsayısı literatürdeki çalışmalar yardımıyla hesaplanarak eşanjörler için gerekli ısı transfer yüzey alanları bulunmuştur. Prototipin üç boyutlu tasarımı yapılarak malzeme listesi hazırlanmıştır. İmalat sırasında önemli hususlar araştırılmış, ekipman ve malzemelerin teknik özellikleri belirlenmiştir. Prototipin imalatı çeşitli yöntem ve disiplinler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin performans ölçümleri oluşturulan test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar teorik hesaplamalarla karşılaştırılarak ileriki çalışmalar için yol haritası çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Absorbsiyonlu soğutucu, COP, Ekserji, Prototip, LiBr-Su

2017, X+180 sayfa

ABSTRACT

Phd Thesis

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN OPTIMUM LiBr-WATER ABSORPTION REFRIGERATION MACHINE FOR AIR CONDITIONING

Hasan Basri RAVUL

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Demand for climate systems is increasing rapidly due to increasing world population and economic development. The high electrical consumption of conventional systems and the environmental negative effects of organic refrigerants promote the use of different technologies. Another method that can be used as an alternative to cooling systems is the absorption cooling systems. In this method, heat is used instead of electricity as the main energy input to create a cooling effect. These systems, which can use resources such as solar energy, geothermal energy, waste heat, have become popular again in recent years because they are considered environmentally friendly. Absorption cooling systems are traditionally manufactured in large cooling capacities. The difficulty in finding small capacity systems in the market is that the system dimensions and cost are higher than conventional systems. Various studies are being carried out to eliminate these disadvantages.

In this study, absorption cooling systems were first introduced. Especially the cooling capacity suitable for the housing sector as the target market has been determined by investigating building statistics in Turkey. The thermodynamic model was established after determining the properties of the system such as number of stages, cooling type and solution type. Energy and exergy analysis calculations of the system have been carried out to analyze the changes at different operating temperatures. The total heat transfer coefficient in each heat exchanger is calculated with the help of literature studies and heat transfer surface areas required for heat exchangers are found. Three dimensional design of the prototype was made and a material list was prepared. During manufacturing, important issues were researched and technical specifications of equipment and materials were determined. The production of prototype has been carried out using various methods and disciplines. Performance measurements of the system were performed on the test set. Experimental results were compared with the theoretical calculations and a road map was drawn for further studies.

Key Words: Absorption chiller, COP, exergy, LiBr-Water, prototype,

2017, X+180 pages

TEŞEKKÜR

Yüce Rabbime hamdolsun.

Bu çalışma birçok kişi ve kuruluşun katkısı olmasa bitirilemezdi. Öncelikle tez çalışması boyunca yol gösteren değerli danışmanım Prof.Dr. Muhsin Kılıç'a teşekkür ederim. Her dönemdeki sıcak yaklaşımı çalışmanın bitirilmesi için gerekli motivasyonu sağlamıştır.

İkili görüşmelerimizdeki moral verici konuşmalarından dolayı Prof. Dr. Ömer Kaynaklı, proje fikrinin şekillenmesindeki katkısından dolayı Prof. Dr. İlhami Horuz, prototip çalışmaları sırasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Hüsamettin Bulut'un ismini anmadan geçemem.

Deneysel çalışmanın en büyük güçlüğü gerekli finansmanın sağlanmasıdır. Projenin gerçekleştirilmesi için gerekli finansman desteğini sağlayan Tübitak kurumuna ve Bf Teknik şirketine çok teşekkür ederim. Bir tez çalışması için oldukça yüksek maliyeti olan prototipin imalatı başka şekilde mümkün olamazdı.

Kadim dostum ve iş ortağım Fatih Mehmet Özdemir'e projeye olan katkılarından dolayı özellikle teşekkür ederim.

Sıkıntılı anlarımı paylaşan sevgili eşim Nesrin'e sabrı ve anlayışı için minnettarım.

En büyük teşekkürü üzerimde kuşkusuz en çok hak sahibi olan sevgili anneme ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	24
3.1.Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Tanıtımı.....	24
3.1.1. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin sınıflandırması.....	26
3.1.2. Absorbsiyonlu soğutma çevrimleri için çalışma çiftleri.....	26
3.1.3. Absorbsiyonlu soğutma sistem konfigürasyonları.....	28
3.2. LiBr-Su Solüsyonlu Absorbsiyonlu Çevrim.....	29
3.3. LiBr-Su Solüsyonu Kullanan Soğutucu Sistemlerinin Handikapları.....	32
3.3.1. Kristalizasyon.....	32
3.3.2. Korozyon ve malzeme uygunluğu.....	33
3.3.3. Vakum ihtiyacı.....	34
3.4. LiBr-Su Çiftli Absorbsiyonlu Soğutucu Sistemin Modellenmesi.....	35
3.4.1. Sistemin termodinamik birinci kanun analizi.....	37
3.4.2. Sistemin termodinamik ikinci kanun analizi.....	39
3.4.3. Isı değiştiricilerinin tasarımı.....	43
3.5. Toplam Isı Transfer Katsayılarının Hesaplanması.....	47
3.5.1. Evaporatör.....	48
3.5.2. Kondenser.....	50
3.5.3. Absorber.....	50
3.5.4. Jeneratör.....	51
3.6. Küçük Kapasiteli Absorbsiyonlu Soğutma Pazarı.....	53
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	58
4.1. Bilgisayar Destekli Analiz.....	58
4.1.1. Absorbsiyonlu sistem çalışma şartları.....	59
4.1.2. Termodinamik analiz.....	60
4.1.3. Eşanjör alanları.....	62
4.2. Sistem Performansını Etkileyen Unsurlar.....	64
4.3. Prototip Tasarımı.....	70
4.4.Prototip Tasarımında Önemli Hususlar.....	72
4.4.1. Korozyon ve malzeme uygunluğu.....	72
4.4.2. Kütle ve ısı transfer arttırıcıları.....	75
4.4.3. Kristalizasyon önleme yöntemleri.....	75
4.4.4. Kapasite kontrol.....	78
4.4.5. Tasarım.....	79
4.5. Prototip İmalatı.....	85
4.6. Test Sistemi.....	88
4.7. Sensör ve Donanım Seçimi.....	93

4.8. Otomasyon Sistemi.....	98
4.9. Deneysel Çalışma Sonuçları.....	100
5. SONUÇ.....	106
KAYNAKLAR.....	109
EKLER.....	115
EK 1. Absorbsiyonlu Sistem Solüsyonları.....	116
EK 2. İleri LiBr-Su Termodinamik Çevrimleri.....	121
EK 3. Tek Kademeli Absorbsiyonlu Sistemin EES Modeli.....	127
EK 4. Belirsizlik Analizi.....	143
EK 5. Prototip Test Verileri	146
ÖZGEÇMİŞ	180



SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
\dot{m}	Kütlesel debi [kg/s]
x	Solüsyon konsantrasyon oranı
\dot{Q}	Isı gücü [kW]
\dot{W}	Mekanik güç [kW]
\dot{W}_p	Pompa gücü [kW]
h	Özgül entalpi [kJ/kg]
h_o	Ölü hal özgül entalpisi [kJ/kg]
h_d	Dış ısı taşınım katsayısı [kW/m ² K]
h_i	İç ısı taşınım katsayısı [kW/m ² K]
Fr	Akış oranı
V	Hız [m/s]
g	Yerçekimi ivmesi [m/s ²]
z	Yükseklik [m]
s	Özgül entropi [kJ/kgK]
s_o	Ölü hal özgül entropisi [kJ/kgK]
T	Sıcaklık [°C]
τ	Boyutsuz tesir katsayısı
φ	Özgül ekserji [kJ/kg]
Ψ	Ekserji verimi
U	Toplam ısı transfer katsayısı [kW/m ² K]
A	Isı transfer yüzey alanı [m ²]
D	Boru çapı [m]
k	Isı iletim katsayısı [kW/mK]
F	Kirlilik faktörü [m ² °C/W]
f	Sürtünme faktörü
Γ	Akış oranı [kg/ms]
μ	Dinamik viskozite [kg/ms]
ρ	Yoğunluk [kg/m ³]
σ	Yüzey gerilimi [N/m]
k_h	Boru kanat yüksekliği [m]
k_s	Boru kanat adımı [m]
Re	Reynolds sayısı
Nu	Nusselt sayısı
Re_{tran}	Reynolds referans değeri
Bo	Bond sayısı
L	Boru boyu [m]
L_h	Islak boru boyu [m]
Pr	Prandl sayısı
B_h	Boru yüksekliği [m]
\bar{h}_D	Ortalama ısı transfer katsayısı [kW/m ² K]
$h_{d,f}$	Kanatlı boru dış ısı transfer katsayısı [kW/m ² K]
T_f	Film sıcaklığı [°C]

T_{sat}	Doyma sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_s	Yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_{lm}	Logaritmik sıcaklık farkı [$^{\circ}C$]
h_{fg}	Buharlaştırma entalpisi [kJ/kg]
N	Dikeydeki eşanjör boru sayısı
$N_{eş}$	Eşanjör boru sayısı
ρ_l	Sıvı fazında yoğunluk [kg/m^3]
ρ_v	Buhar fazında yoğunluk [kg/m^3]
h_{fg}'	Modifiye edilmiş faz değişim entalpisi [kJ/kg]
k_l	Likit fazda ısı iletim katsayısı [kW/mK]
μ_l	Dinamik viskozite [kg/ms]
τ_f	Boru birim boyundaki film akış debisi [kg/ms]
k_f	Film ısı iletim katsayısı [kW/mK]
d_f	Boru çevresinde ortalama film kalınlığı [m]
Re_f	Film Reynolds sayısı
q''	Özgül ısı akışı [kW/m^2]
Nu_f	Film tipi Nusselt sayısı
n	Devir sayısı [$1/s$]
Q_v	Hacimsel debi [m^3/s]
T_o	Ölü hal sıcaklığı [$^{\circ}C$]
P_o	Ölü hal basıncı [kPa]

Kısaltmalar

Açıklama

ABS	Absorber
STK	Soğutma tesir katsayısı
COP	Coefficient of performance (Soğutma tesir katsayısı)
Hbr	Hidrobromik asit
SHX	Solüsyon ısı değiştiricisi
KV	Kısılma vanası
EES	Engineering Equation Solver
JEN	Jeneratör
KON	Kondenser
EVAP	Evaporatör
2EH	2-ethyl-1-hexanol
CFC	Chlorofluorocarbon
BST	Basit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Buhar sıkıştırırmalı basit soğutma çevrimi.....	24
Şekil 3.2. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin P-h diyagramı.....	25
Şekil 3.3. Absorbsiyonlu soğutma çevrimi.....	25
Şekil 3.4. Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemi.....	30
Şekil 3.5. Basitleştirilmiş Dühring diyagramı.....	30
Şekil 3.6. LiBr-Su solüsyonu kristalizasyon eğrisi.....	32
Şekil 3.7. Tek kademeli LiBr-Su solüsyonlu soğutucunun şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.8. Evaporatördeki sıcaklık değişim diyagramı.....	44
Şekil 3.9. Kondenserdeki sıcaklık değişim diyagramı.....	45
Şekil 3.10. Jeneratördeki sıcaklık değişim diyagramı.....	45
Şekil 3.11. Absorberdeki sıcaklık değişim diyagramı.....	46
Şekil 3.12. SHX sıcaklık değişim diyagramı.....	47
Şekil 3.13. Polysmart projesi (2006-2010,32 firma).....	53
Şekil 3.14. Manisa Turgutlu hastanesi (Anonim 2012a).....	56
Şekil 4.1. Değişik kondenser sıcaklıklarında jeneratör sıcaklığına bağlı COP ve Ψ değişimi.....	64
Şekil 4.2. Değişik evaporatör sıcaklıklarında jeneratör sıcaklığına bağlı COP ve Ψ değişimi.....	65
Şekil 4.3. Solüsyon eşanjörü etkinlik katsayısına göre COP ve Ψ değişimi.....	66
Şekil 4.4. Boyutsuz tesir katsayısının farklı kondenser sıcaklıklarında bağlı olarak değişimi.....	66
Şekil 4.5. Boyutsuz tesir katsayısının farklı evaporatör sıcaklıklarında bağlı olarak değişimi.....	67
Şekil 4.6. Ekserji verimi ve akış oranının jeneratör sıcaklığına bağlı değişimi.....	68
Şekil 4.7. Sistem elemanlarının ekserji kayıplarının jeneratör sıcaklığına bağlı değişimi.....	68
Şekil 4.8. Absorbsiyonlu sistem elemanlarının standart şartlar altında ekserji kayıplarının oransal değişimi.....	70
Şekil 4.9. Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma prototip şeması.....	71
Şekil 4.10. Absorbsiyonlu sistem kristalizasyon tehlike bölgesi.....	76
Şekil 4.11. Tipik J boru uygulaması.....	77
Şekil 4.12. Absorbsiyonlu soğutma sistemi kapasite kontrol düzeneği.....	78
Şekil 4.13. Absorbsiyonlu soğutucu prototipinin üç boyutlu tasarımı.....	80
Şekil 4.14. Eşanjör boru detayları.....	83
Şekil 4.15. Saf LiBr.....	84
Şekil 4.16. Eşanjörlerin yerleşim planı.....	86
Şekil 4.17. Prototip yarı mamül kesiti.....	86
Şekil 4.18. Prototip genel görünüşü, sağ.....	87
Şekil 4.19. Prototip genel görünüşü, sol.....	87
Şekil 4.20. Absorbsiyonlu soğutma test sistemi mekanik tesisat şeması.....	88
Şekil 4.21. Jeneratör kaynağı.....	89
Şekil 4.22. Jeneratör ve evaporatör besleme hatları.....	90
Şekil 4.23. Soğutma yükü kaynağı.....	90

Şekil 4.24. Akümülayon tankları besleme eşanjörleri.....	91
Şekil 4.25. Üç yollu motorlu vana.....	91
Şekil 4.26. Soğutma kulesi.....	91
Şekil 4.27. Endüstriyel tip Pt100.....	94
Şekil 4.28. Basınç sensörü	96
Şekil 4.29. Türbin tibi debimetre.....	96
Şekil 4.30. Elektromanyetik debimetre.....	97
Şekil 4.31. Prototip otomasyon sistem panosu.....	99
Şekil 4.32. Prototip ve otomasyon sistemi.....	99
Şekil 4.33. Tam kapasitede prototip sıcaklık ve debi değerleri.....	102
Şekil 4.34. % 75 kapasitede prototip sıcaklık ve debi değerleri.....	102
Şekil 4.35. % 50 kapasitede prototip sıcaklık ve debi değerleri.....	103
Şekil 4.36. % 25 kapasitede prototip sıcaklık ve debi değerleri.....	103



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Absorbsiyonlu akışkan çiftlerinde aranan özellikler	27
Çizelge 3.2. Çevrim tipine göre LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu soğutucuların çalışma sıcaklıkları ve maksimum COP değerleri	29
Çizelge 3.3. Termodinamik durum noktaları.....	36
Çizelge 3.4. Küçük kapasiteli absorpsiyonlu soğutucu üreticileri (Labus 2011).....	54
Çizelge 3.5. Türkiye iklimlendirme pazarı cihaz satışları, 2010 yılı (TOBB İklimlendirme Meclisi Sektör Raporu 2011).....	55
Çizelge 3.6. Türkiye inşaat sektöründe alınan yapı kullanma izin belgeleri 2008-2012 (Anonim 2013).....	55
Çizelge 3.7. Kat sayılarına göre daire sayıları 2012 yılı, bin adet (Anonim 2013).....	56
Çizelge 4.1. Tek kademeli sıcak su beslemeli absorpsiyonlu soğutma sisteminin standart ölçüm koşulları, ANSI/ARI Standart 560.....	59
Çizelge 4.2. Absorpsiyonlu sistem tasarım değerleri.....	60
Çizelge 4.3. Tek kademeli absorpsiyonlu sisteme ait termodinamik değerler.....	61
Çizelge 4.4. Absorpsiyonlu sistem EES modeli sonuçları.....	62
Çizelge 4.5. Absorpsiyonlu sisteme ait eşanjörlerin logaritmik sıcaklık farkı ve UA değerleri.....	62
Çizelge 4.6. Absorpsiyonlu sistem eşanjörlerinin toplam ısı transfer katsayıları ve ısı transfer yüzey alanları.....	63
Çizelge 4.7. Jeneratör sıcaklığına bağlı olarak sistem elemanlarındaki ekserji kayıpları ($T[8]=44\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T[10]=5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\epsilon=0,6$).....	69
Çizelge 4.8. Değişik materyallerdeki korozyon oranları (solüsyon: % 54 LiBr, % 10 NH_3 , % 36 H_2O , sıcaklığı $200\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	73
Çizelge 4.9. Paslanmaz çelik alaşımlarında zamana bağlı korozyon oranları (solüsyon: 54% LiBr, 10% NH_3 , 36% H_2O , sıcaklığı $200\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	74
Çizelge 4.10. Prototip basit ürün ağacı.....	81
Çizelge 4.11. Eşanjör boru ölçüleri	83
Çizelge 4.12. Solüsyon özellikleri.....	84
Çizelge 4.13. Konsantrasyon – yoğunluk değişiminin iki farklı korelasyondaki değerleri (Ortam sıcaklığı $25\text{ }^{\circ}\text{C}$)	85
Çizelge 4.14. Test sisteminde kullanılan sensörlerin tip ve özellikleri.....	93
Çizelge 4.15. Pt100 tipleri.....	94
Çizelge 4.16. Prototipte otomasyon sisteminde kontrol edilen elemanlar	98
Çizelge 4.17. ANSI/ARI 560 standartına göre test koşulları.....	100
Çizelge 4.18. Prototipin farklı soğutma yüklerinde kapasite ve COP değerleri.....	104
Çizelge 4.19. Prototip absorpsiyonlu soğutucunun teknik özellikleri.....	105

1.GİRİŞ

Günümüzde iklimlendirme cihazları modern hayatın vazgeçilmez parçalarından biri konumuna gelmiştir. Artan Dünya nüfusu ve konfor ihtiyacı iklimlendirme cihazlarına olan talebi hızlı bir biçimde arttırmaktadır. Dünya’da 2008’de 791 milyar USD olan iklimlendirme cihazları ihracat rakamları 2014 yılında 1453 milyar USD seviyesine çıkmıştır (Bıyıkoglu 2015).

Küresel enerji talebi ve CO₂ emisyonunda 2030 yılında bu yüzyılın başına göre % 60 oranında artış olacağı tahmin edilmektedir. Avrupa Birliği enerji ithalatına olan bağımlılığının yüzyıl başındaki % 50 mertebesinde % 70 seviyesine çıkması öngörülmektedir (Ghafoor ve Munir 2015).

Dünya’da üretilen toplam elektriğin yaklaşık % 15’i iklimlendirme amacıyla kullanılmaktadır (Zhu 2013). Hükümetler çeşitli kanun ve düzenlemelerle enerji verimliliğini arttırmaya yönelik adımlar atmaktadırlar. Binalarda yalıtım yapılması endüstriyel tesislerde kojenerasyon, trijenerasyon ünitelerinin kullanılması gibi uygulamalar günümüzde yaygınlaşmaktadır.

Avrupa Birliği çerçeve programlarında enerji verimliliği hakkında bir çok proje yürütülmekte yansımaları ülkemizde de görülmektedir. Bu alanda yapılacak AR-GE çalışmalarına kredi ve hibe desteği verilmektedir. Artan enerji maliyetleri ve çevresel endişeler sonucunda son yıllarda absorpsiyonlu soğutma sistem uygulamalarının sayısını arttırmaktadır.

İklimlendirme uygulamalarında çeşitli teknolojiler bulunmakla birlikte (termoelektrik, stirling, ejektör, vb.) ticari manada buhar sıkıştırırmalı sistemler ve absorpsiyonlu sistemler kullanılmaktadır. İki sistem arasındaki temel fark kullanılan birincil enerji tipindedir. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri elektrik yerine güneş, jeotermal, atık ısı gibi kaynakları kullanarak soğutma ve ısıtma yapabilmektedir.

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin kökleri 17. yüzyıla kadar dayanmaktadır (Burget ve ark 1999). İlk absorpsiyonlu system Edmond Carré tarafından su ve sülfürik asit

kullanılarak geliştirilmiştir. Kardeşi Ferdinan Carré amonyak-su solüsyonlu bir absorpsiyonlu soğutucunun patentini 1873 yılında almıştır. İkinci dünya savaşından sonra ABD’de iklimlendirme piyasasındaki hızlı büyümeyle birlikte absorpsiyonlu soğutucu üretiminde büyük bir artış yaşanmıştır. LiBr-Su solüsyonlu soğutucular ticari olarak Carrier tarafından 1945 yılında satışa sunulmuştur bunu diğer üreticiler (Trane, York, Worthington) takip etmişlerdir. Absorpsiyonlu cihaz satışları 1969 yılında pik noktasına ulaşmıştır. Bu trend 1973 yılındaki petrol kriziyle birlikte yüksek verimli buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin geliştirilmesiyle hızlı bir şekilde azalmıştır. Kürenin diğer yanındaki Japonya savaş sonrasındaki toparlanma sürecinde doğalgazı kendisine ana enerji kaynağı olarak benimsemiştir. Japon üreticilerden Kawasaki çift etkili ilk absorpsiyonlu soğutucuyu 1964 yılında piyasaya sürdü. Yüksek kapasiteli soğutma sistemlerinde 1975 yılında absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin payı elektrikli soğutucuları geçerek on yıl içerisinde % 80 paya ulaşmıştır. Japonya’nın etkisiyle uzakdoğu ülkeleri Hindistan, Çin ve Kore absorpsiyonlu soğutucu piyasasında önemli birer üretici konumuna gelmişlerdir. Dünya’da 2005 yılında üretilen on iki bin civarındaki toplam absorpsiyonlu soğutucunun 6917 tanesi Çin’de üretilmiştir. Bununla birlikte absorpsiyonlu soğutucu pazarı yüksek ilk yatırım maliyeti ve düşük enerji verimliliği dolayısıyla elektrikli soğutuculara nazaran oldukça düşüktür (Labus ve ark 2013).

Son yıllarda özellikle küresel ısınma, yaz aylarındaki elektriksiz pik yük artışı, enerji verimliliği gibi açılardan absorpsiyonlu sistemlere olan ilgi tekrar artmıştır. Montreal protokolüyle (1987) başlayan Kyoto (1997) ile devam eden son olarak Paris antlaşmasıyla (2015) devam eden süreç sonunda küresel ısınmaya sebep olan gazların salınımının azaltılarak atmosferdeki ısınma artışını endüstri devrimi başındaki duruma göre 2 °C ile sınırlandırmak üzere dünya devletleri belli bir metinde buluşmuşlardır. Kompresörlü sistemlerde ozon tabakasına zarar veren CFC ve HCFC gazlarının kullanımıyla alakalı kısıtlamaların getirilmesi, güneş enerjisi ve atık ısı gibi enerji kaynaklarıyla çalışabilmesi absorpsiyonlu soğutucuları üzerinde çalışmayı cazip hale getirmiştir.

Absorbsiyonlu soğutma sistemleri geleneksel olarak büyük sistemler için (>100 RT) imal edilmektedirler. Konut sektörü ve küçük kapasiteli ticari işletmelerde artan iklimlendirme ihtiyacı ufak kapasiteli ürünlere olan talebi arttırmaktadır. Göreceli düşük soğutma performans katsayısı, büyük hacim, devreye alma süresinin uzunluğu gibi teknik güçlüklerin yanında ilk yatırım maliyetinin yüksekliği ve geri ödeme süresinin uzunluğu gibi mali açılardan kullanıcı açısından bazı sorun işaretleri barındırmaktadır. Çoğu zaman teknik ve ekonomik değerler arasında bir balans oluşturma ihtiyacı bulunmaktadır. Bu handikaplar giderildiği ölçüde absorbsiyonlu soğutucuların pazardaki payı artacaktır.

Bu çalışmanın amacı:

Absorbsiyonlu soğutma sistemleri konusunda Dünya'da ki son teknik gelişmeler ışığında, iklimlendirme piyasası için satış açısından başarılı olabilecek küçük kapasiteli absorbsiyonlu soğutucunun dizayn ve imal edilmesidir.

İlk bölümde absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin tanıtımı yapılmıştır. Buhar sıkıştırımlı sistemle arasındaki farklılıklar ortaya konulmuş. Kullanılan solüsyonların özellikleri üzerinde durulmuş çevrim tipleri açıklanmıştır. İkinci bölümde LiBr-Su solüsyonu kullanan absorbsiyonlu soğutucu sistemler detaylı bir biçimde açıklanmıştır. Sistemin dizaynında dikkat edilmesi gereken noktalar ortaya konulmuştur. Sistemin enerji, ekserji analizleri için termodinamik modeli oluşturulmuştur. Boyutlandırma için her eşanjördeki toplam ısı transfer katsayılarını veren ifadeler literatürden yararlanılarak verilmiştir. Prototip için uygun soğutma kapasitesinin seçilmesi amacıyla Türkiye'de ki bina tipleri istatistik veriler kullanılarak araştırılmıştır. Prototipin teknik özellikleri belirlenerek oluşturulan termodinamik modelde sayısal olarak çözümü yapılmıştır. Sistemin farklı çalışma sıcaklıklarındaki soğutma tesir katsayısı (COP) ve ekserji verimleri grafiksel olarak karşılaştırılarak bilgi sahibi olunmuştur. Prototip eşanjör yüzey alanları baz alınarak üç boyutlu tasarımı yapılmıştır. Malzeme listesi genel olarak çıkarılarak sahip olması gereken özellikler vurgulanmıştır. Prototipin imalatı tamamlanarak test işlemlerine geçilmiştir. Testler yaygın olarak kullanılan standarta göre tamamlanarak deneysel COP değeri ve soğutma kapasitesi bulunmuştur. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılarak yorumda bulunulmuştur.

Bu çalışmada araştırmaya konu olan sorular:

Bu çalışma kapsamında aşağıda belirtilen soruların cevaplanması hedeflenmiştir:

1. Türkiye konut pazarın için uygun iklimlendirme amaçlı soğutma sisteminin kapasite ve teknik özellikleri ne olmalıdır ?
2. Tek kademeli LiBr-Su solüsyonlu sistemin soğutma performans katsayısı ve ekserji verimi üzerinde çalışma sıcaklıklarının etkileri nelerdir ?
3. Absorbsiyonlu sisteminin tasarımında malzeme seçimi, eşanjör geometrisi, ekipman özelliklerinin sistem performansı için önemi nedir ?
4. Absorbsiyonlu soğutucu prototipi üretiminde karşılaşılabilecek güçlükler ve bunların çözüm yöntemleri nelerdir ?
5. Prototipin soğutma performans katsayısı ve soğutma kapasitesiyle teorik olarak bulunan değerler arasındaki farkların sebepleri nelerdir ?

Bu çalışmanın sınırları:

Bu çalışmada, prototipin performans testleri uluslararası bir standartta göre tamamlanmış olup, farklı şartlardaki performans testlerine girilmemiştir. Eşanjörlere ait yüzey alanlarının bulunması sırasında literatürden elde edilen korelasyonlar kullanılmış prototipin test sonuçlarıyla farklı korelasyonların oluşturulması test sisteminde köklü değişimler gerektirdiğinden ileri çalışmalara bırakılmıştır.

Yapılan bu çalışmayla absorbsiyonlu soğutucuların üretimiyle alakalı önemli bir bilgi ve tecrübe edinilmiş olup, ülkemizde absorbsiyonlu soğutucu sistem üretimi ile alakalı ticarileştirilme çalışmalarına önemli bir katkısı olacağı umulmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kim (1992) LiBr-Su çifti kullanan absorberde ısı ve kütle transfer katsayılarını araştırmıştır. Deneysel olarak küçük miktardaki 2-ethyl-1-hexanol'ün (2EH) ısı ve kütle transferini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur. Kullanılan katkıların yüzey gerilimlerindeki değişimlerini Marangoni etkisiyle açıklamıştır. Solüsyona eklenen 30 ppm oranındaki kimyasal katkının kütle transfer oranını solüsyon konsantrasyonuna bağlı olarak 2,6 ila 4,1 mertebelerinde arttırdığını ortaya koymuştur.

Deng ve Ma (1999) yaptıkları deneysel çalışmada 24 adet pürüzsüz yatay boru kullanan film tipi absorber için solüsyon sprey yoğunluğuna göre kütle ve ısı transfer katsayılarının değişimini araştırmışlardır. Optimum sprey yoğunluğunun 0,005-0,055 kg/ms aralığında gerçekleştiği, absorbere giren soğutma suyu sıcaklığının performansa etkisinin yüksek olduğu belirtilmiştir.

Miller tarafından (1999) altı adet bakır boru demeti kullanılan mini LiBr absorber test düzeneğinde düz ve farklı pürüzlü yüzeyler için kütle ve ısı transfer katsayıları araştırılmıştır. Kullanılan bakır boruların çapı 15,9 mm , boyu 0,32 m, LiBr konsantrasyon oranı % 60-62, test basıncı 6,5 Hg'dir. Testler kimyasal katkılı ve katkısız olarak tekrarlanmıştır. Borular arasındaki mesafenin artmasının absorbe edilen kütle miktarını arttırdığı bunun asıl nedeninin boru yüzey ıslaklığı olduğu belirtilmiştir. Pürüzlü yüzeylerde kütle transfer oranının düz yüzeye göre % 75 oranında fazla olduğu, film ısı transfer katsayısının pürüzlü yüzeylerde 500 ppm 2EH için iki katına çıktığı görülmüştür.

Kim ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada LiBr bazlı dört farklı solüsyon için değişik kimyasal katkıların (2-octanol , 3-octanol, 2EH) absorpsiyon mekanizmasına etkisini araştırmışlardır. Kimyasal katkıların oranı 100-500 ppm arasında değişmekle birlikte 200 ppm den sonra absorber kütle transfer oranında etkisinin sınırlı olduğu bildirilmiştir. Yüzey gerilim gradyanındaki değişimin Marangoni etkisi yaratarak ısı ve kütle transferini arttırdığı vurgulanmıştır.

Kulankara, ve Herold (2000) dikey tip absorber için kimyasal katkının etkisini araştırmışlardır. Katkı oranı olarak 100 mg/kg 2EH kullanılmıştır. Katkısız durumda akışın laminer olduğu, 10 mg/kg miktarında katkı solüsyona enjekte edildiğinde bir saniye içinde akışın değiştiği fark edilmiştir. Film tarafı için yapılan hesaplamalarda 100 mg/kg olan katkı değerinde ısı transfer katsayısında artış görölmüş, bunun üzerindeki değerlerde etkisinin sabit kaldığı vurgulanmıştır. Ayrıca ek kimyasalların yoğuşma üzerindeki etkisi aynı test düzeneği kullanılarak araştırılmıştır. Ek kimyasalların yoğuşma mekanizması üzerinde de etkili olduğu farklı ısı akışlarında sisteme eklenen 50 mg/kg 2EH için deneysel olarak gösterilmiştir.

Kim ve ark. (2001) iki farklı kimyasal katkının su buharının yoğuşmasına olan etkilerini araştırmışlardır. On iki borudan (4x3) oluşan yatay borulu deneysel test sisteminde 2EH ve alkyl primary amine için yapılan deneylerde etkinin 10 ppm de başladığı 100 ppm civarında maksimuma ulaştığı gösterilmiştir. Isı transfer katsayısında % 30 oranında artış elde edilmiştir. Performans anlamında 2EH'ün daha önde olduğu belirtilmiştir.

Glebov ve Setterwall (2002) LiBr-Su solüsyon kullanan absorpsiyonlu sistemde kimyasal katkıların soğutma performansına etkisini araştırmışlardır. İlk durumda 2-methyl-1 hexanol LiBr solüsyonuna enjekte edilmiş , soğutma etkisini % 20 oranında , ikinci durumda soğutucu suya eklenen kimyasalın etkisinin % 32 oranında olduğu hesaplanmıştır .

Cheng ve ark. (2004) dikey tip absorberde LiBr-Su solüsyonunda kimyasal katkıların etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Navier-Stokes denklemlerinin film tipi absorpsiyon mekanizmasına uygulanması sonucu yeni boyutsuz bir sayı yüzey yenileme sayısı , R_n , tanımlanmıştır. Marangoni sayısı, Ma ve R_n 'nin ısı transfer katsayısını arttırdığı gösterilmiştir. Performans arttırıcı kimyasalların Reynolds sayısı 40 için yüzey gerilimini 100 ppm miktara kadar hızlı bir biçimde düşürdüğu, Nusselt sayısını 0,4'ten 0,85'e çıkarttığı grafiksel olarak gösterilmiştir.

Lin ve Shigang 2011 yılında dikey tip LiBr-Su çiftli absorber üzerinde deneysel olarak kimyasal katkıların kütle transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Performans artırıcı kimyasal olarak 90 ppm 2EH kullanılmıştır. Solüsyon konsantrasyonunun ve düşük solüsyon sıcaklığının kütle transfer katsayısını arttırdığı belirtilmiştir. Katkisız durumda % 60 konsantrasyon oranı için $2000 \text{ g/m}^2\text{s}$ altında olan kütle transfer katsayısı kimyasal katkılı durumda $4000 \text{ g/m}^2\text{s}$ değerine ulaşmıştır. Benzer etki soğutma suyunun sıcaklığına bağlı olarak ta görülmüştür. Absorbsiyon mekanizmasında Marangoni etkisinin büyük olduğu belirtilmiştir.

Wang ve ark. (2011) LiBr-Su solüsyonlu hava soğutmalı ısı pompaları için kristalizasyon önleme yöntemlerini araştırmışlardır. En yaygın koruma yöntemi olarak kullanılan inhibitörde aranan özellikleri, etkinlik, yüksek sıcaklıklarda kararlılık, malzeme uyumu, ısı ve kütle transfer performansı, kişisel ve çevresel emniyet olarak sıralamışlardır. En başarılı inhibitör olarak ticari markası Carrol olan ethylene glycol kullanılmaktadır. Diğer bir yöntem olarak ısı ve kütle transferini artırıcı kimyasal katkıları (2EH ve chromate) yada nano partiküller (demir ve karbon nano tüpler) kullanılmaktadır. Farklı absorber tasarımlarıyla birlikte absorber basıncının da artırılması kristalizasyonu önlemek için kullanılan yöntemlerden olduğu vurgulanmıştır.

Hofmann ve ark. (1996) LiBr-Su solüsyonu kullanan yatay borulu, film tipli absorberde deneysel olarak ısı transfer katsayılarının değişimini araştırmışlardır. Deneysel sistemde düz ve tırtıklı yüzeye sahip iki farklı boru kullanılmıştır. Solüsyon akış oranı, soğutma suyu ve solüsyon sıcaklıkları ile konsantrasyon oranındaki değişiklikler için ısı transfer katsayısındaki değişimler incelenmiştir. Isı transfer katsayısının viskozite ve yüzey gerilimiyle azaldığı ortaya konmuştur. Ek kimyasal performans artırıcıların 1-octanol ve 2EH değişik konsantrasyonlarda uygulanmasıyla % 60-140 oranında ısı transfer katsayısında artış olduğu gösterilmiştir.

Jeong ve Garimella (2002) yatay borulu absorberde ısı ve kütle transfer katsayılarını araştırmışlardır. Yatay tipli absorberlerde yukardan aşağıya doğru ıslaklık oranının azaldığı kimi durumda yarıya kadar indiği belirtilmiştir. Isı transfer katsayısının absorbere giren konsantrasyon oranının artmasıyla yükseldiği gösterilmiştir. Solüsyon

akış oranının boru yüzey ıslaklığını etkilediği akış oranının 0,02 kg/m.s değerinin altında absorber performansının hızlı bir biçimde düştüğü görülmüştür. Yüksek akış oranında benzer negatif etki film kalınlığının artmasından dolayı oluşmaktadır. İdeal akış oranının 0,04 kg/m.s olduğu belirtilmiştir. Film tipindeki boru ıslaklık oranının damla tipinden daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Absorber tarafındaki ısı transfer katsayısının likit taraftakine oranla (% 1,7) çok düşük olduğu örnek hesaplamayla ortaya koyulmuştur .

Medrano ve ark. (2003) dikey borular içinde absorpsiyon mekanizmasının asal gazlardan etkilenme oranını araştırmışlardır. Reynolds sayısı 100, absorber basıncı 1,3 kPa, soğutma suyu sıcaklığı 35 °C, absorber giriş konsantrasyonu % 62 olmak üzere hesaplamalar yapılmıştır.

Takamatsu ve ark. (2003) LiBr-Su solüsyonlu absorberin dikey boru içindeki ısı ve kütle transfer katsayısını araştırmışlardır. Kullanılan pürüzsüz bakır borunun iç çapı 16,05 mm, uzunluğu 400 mm'dir. Nusselt ve Sherwood sayılarıyla alakalı ampirik ifadeler oluşturmuşlardır. Solüsyon film tarafı için Nu sayısının 0,5-0,2 arasında olduğu grafiksel olarak gösterilmiştir.

Farhanieh ve Babadi (2004) yatay borular üzerine solüsyonun püskürtülmesi durumunda ısı ve kütle transfer katsayılarını araştırmışlardır. Artan solüsyon akış oranıyla film kalınlığının artmasının ısı transfer ve kütle transfer katsayılarını önemli derecede düşürdüğü belirtilmiştir. Isı transfer katsayılarını akış oranına bağlı (0,02-0,1 kg/m.s) olarak 900-600 kW/m²K , değişik absorber basınçlarında (0,5-2 kPa) 400-1000 kW/m²K olarak vermişlerdir. Absorbe edilen kütle akış miktarı farklı solüsyon akış oranlarında (0,02-1,0 kg/m.s) 0,00016 - 0,0009 kg/ms şeklinde hesaplanmıştır.

Kaynaklı ve Horuz (2004) helisel tip LiBr-Su solüsyonlu absorber için geliştirilen bir matematiksel modelle ısı ve kütle transfer katsayılarını araştırmışlardır. Soğutma suyu debisi ile (0,1-0,5 kg/s) ısı yükü (2000-5000 W) ve absorbe edilen kütle miktarının arttığını (0,0005-0,0018 kg/s) belirtmişlerdir. Toplam ısı transfer katsayısının ayrıca soğutma suyu debisiyle arttığı , solüsyon konsantrasyonunun her bir halkada azaldığını

belirtmişlerdir. Isı ve kütle transfer katsayıları yönünden karşı akımlı tipin paralel akışlı tipten üstün olduğu vurgulanmıştır .

Seol ve Lee (2005) ince film tabakalı LiBr-Su solüsyonunun yatay tek bir boru üzerindeki ısı ve kütle transfer katsayılarını araştırmışlardır. Akış oranı, solüsyon sıcaklığı, absorber basıncı gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Absorbsiyon oranının absorber basıncına kuvvetli şekilde bağlı olduğu gösterilmiştir. Düşük solüsyon sıcaklığı ve yüksek absorber basıncında absorber performansının solüsyon film akışının dalgalı halde olmasından dolayı yüksek olduğu vurgulanmıştır.

Papaefthimiou ve ark. (2006) yatay borulu LiBr-Su çözelti absorberin performansını araştırmışlardır. Soğutma suyu giriş sıcaklığının etkisinin büyük olduğu 32 °C'den 25 °C'ye düşmesi durumunda absorbe edilen su buharı miktarının 0,0027 kg/m²'den 0,004 kg/m²'ye çıktığı, boru çapı etkisinin sınırlı olmakla birlikte 8 mm çapın optimum olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kyung ve ark. (2007) yatay boru demetli, LiBr-Su solüsyonlu absorberin performansını teorik ve deneysel olarak hesaplayıp karşılaştırmışlardır. İki farklı durum için yapılan testlerde 8 ve 4 adet dış çapı 19 mm olan borular kullanılmıştır. Solüsyon akış oranına bağlı olarak Reynolds sayısının yükselmesiyle birlikte akış rejiminin damlacıklı moddan jet moduna geçtiğini, absorber performansının kütle difüzyonuyla yakından alakalı olduğunu belirtmiştir. Absorber ısı yükü ve ısı transfer katsayısının solüsyon akış oranıyla beraber arttığı gösterilmiştir. Solüsyon akış oranının ısı transfer katsayısı üzerinde etkili olduğu 0,01 kg/ms'de 600 W/m²K, 0,05 kg/ms'de ise 1200 W/m²K civarında gerçekleştiği deneysel olarak bulunmuştur. Solüsyon konsantrasyonun artmasıyla kinematik viskozitedeki yükselmenin ısı transfer katsayısını düşürdüğü çeşitli çalışmalarla karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir .

Bredow ve ark. (2008) yılında yatay borulu, LiBr-Su solüsyonlu absorbsiyonlu sistemin ısı ve kütle transfer performanslarını araştırmışlardır. Isı transfer katsayısıyla alakalı literatürde bulunan çok sayıdaki değerle karşılaştırma yapılmış deneysel olarak bulunan 2000 W/m²K değerinin benzer çalışmalarda verilen 500-2500 W/m²K aralığında

kaldığı vurgulanmıştır. Absorberde kütle transfer katsayısının solüsyon konsantrasyonuyla arttığı, ısı transfer katsayısının solüsyon akış oranına sıkı şekilde bağlı olduğu kütle transferinin aynı yaklaşımı göstermediği belirtilmiştir. Kütle transfer katsayısının 50-300 g/m²s aralığında gerçekleştiği yapılan çalışmayla ortaya konulmuştur.

Kang ve ark. (2008) nano partiküller kullanılması durumunda LiBr-Su solüsyonlu film tipi absorberdeki ısı ve kütle transfer katsayılarındaki değişimleri incelemişlerdir. Nano partikül olarak çapları sırasıyla 100 nm, 25 nm olan demir ve karbon nano tüp (CNT) kullanılmıştır. Her iki nanopartikülünde absorpsiyon oranını önemli ölçüde arttırdığı , CNT'nin daha etkili olduğu belirtilmektedir. Kullanılacak konsantrasyonun oranı % 0,1 oranında optimum olduğu daha fazla kullanmanın lüzumsuz olduğu vurgulanmıştır. Nano partiküllerin ısı transfer oranlarını etkilemediği kütle transferini önemli ölçüde arttırdığı belirtilmiştir. Bu artışın CNT'de 2,48 kat, demirde 1,90 kat artış şeklinde gerçekleştiği grafiksel olarak gösterilmiştir.

Li ve ark. (2011) 1000 Pa vakum altında altı adet yatay boru üzerinde ısı transfer katsayılarının değişimini araştırmışlardır. Yüzey alanları artırılmış farklı geometrilerdeki beş adet boru için farklı Reynolds sayıları (21,6-108,1) için deneyler tekrar edilmiştir. İç ve dış yüzeyi oluklu borularda ısı akısı sadece dış yüzeyi oluklu olanlardan daha yüksek olduğu, düşük Reynolds sayılarında ısı transfer artış oranının düştüğü belirtilerek düz boruda bu oranı hesaplamak için bir korelasyon verilmiştir.

Hao ve ark. (2014) yüzeyi kaplanmış dik bir bronz borudaki ısı ve kütle transfer katsayılarını araştırmışlardır. Absorberdeki ısı transfer katsayısının artan spreysel akıyla yükseldiği, kütle transfer katsayısının başta yükseldiği daha sonra düştüğü belirtilmiştir. Solüsyon giriş sıcaklığının ısı ve kütle transfer katsayılarını arttırdığı belirtilen çalışmada toplam ısı transfer katsayısının kaplı boruda düz boruya göre yüksek, kütle transfer katsayısının düşük olduğu vurgulanmıştır.

Mortazavi ve ark. (2015) LiBr-Su solüsyonu için absorber performansını arttıracak ısı eşanjör yüzey alanı araştırmasında bulunmuşlardır. Klasik absorberlerde ıslaklık oranını

arttırmak için yüksek akış oranlarına çıkılması aynı zamanda film kalınlığında arttırdığından aşılması gereken bir güçtür. Düz bir levha üzerine kare şeklinde 6,35 mm x 6,35 mm yerleştirilen 0,15 mm kanlığında ve 11,6 mm yüksekliğinde bakır kanatlar, düz levhada 0,002 -0,004 kg/m²s arasında olan kütle transfer katsayısını 0,006 kg/m²s değerine kadar çıkarmışlardır.

Zhang ve ark. (2015) LiBr-Su solüsyonu için düz levhada farklı Reynolds sayılarında absorpsiyon mekanizmasını nümerik olarak incelemişlerdir. Simülasyon CFD-Fluent kullanılarak yapılmıştır. Reynolds sayısının 40-60 aralığında kütle transfer oranının maksimum olduğu , artan Reynolds sayısı ile ısı transfer katsayısının düştüğü fakat kütle transfer katsayısının arttığı hesaplanmıştır.

Varma ve ark. (1994) LiBr-Su çiftinin yatay paslanmaz borular çevresindeki havuz kaynama mekanizmasını araştırmışlardır. Deneysel sistemde 15-108 kW/m²K ısı akısı, 4-9,3 kPa jeneratör basıncı için lokal ve ortalama ısı transfer katsayısını araştırmışlardır. Ortalama ısı transfer katsayısının saf suya oranla daha düşük olduğu 1600-7500 W/m²K arasında değiştiğini bildirmiştir. Kaynama olayının boru çapından etkilenmediği, solüsyon konsantrasyonunun artması ile birlikte ortalama ısı transfer katsayısının düştüğü ortaya konulmuştur .

Myeong (1998) deneysel olarak dikey boru boyunun çekirdek tipi havuz kaynamada ısı transfer katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Atmosfer basıncında yapılan çalışmada değişik boru çaplarında, boylarında geçerli ampirik bir ısı transfer katsayısı ifadesi verilmiştir. Boru boyunun çapına oranının 50'den sonraki değerlerinde ısı transferinin azaldığı belirtilmiştir .

Wuu ve ark. (1998) havuz tipi jeneratörlerde % 50 konsantrasyona sahip LiBr-Su çözeltisinde n-octanol kullanmanın performansa olan etkilerini araştırmışlardır. Saf su ve solüsyon için farklı katkı oranlarında tekrarlanan değerlerde ısı transferinin saf suda daha yüksek olduğu ve kimyasal katkının havuz tipi kaynamaya etkisinin sınırlı olduğu belirtilmiştir.

Ribatski ve Jacobi (2005) yatay borular üzerinde film tipi buharlaşma mekanizmasıyla alakalı literatürde mevcut çalışmaları karşılaştırmışlardır. Çeşitli parametrelerin incelendiği çalışmada ısı akısının kaynama rejimine geçmesi, boru çapının azalması, likit besleme yüksekliğinin artması, boru yüzey pürüzlülüğünün artması gibi parametrelerin ısı transfer katsayısını arttırdığını ortaya koymuşlardır.

Gupta ve ark. (2010) suyun dikey tip paslanmaz boru demetinde havuz kaynama sırasında ısı transfer katsayısını araştırmışlardır. Vakum altında yapılan çalışmada çekirdek tip kaynama sırasındaki ısı transfer katsayısının kabarcıkların akış yönünde arttığı, boru demetinin üstündeki ve altındaki ısı transfer katsayılarının oranının düşük ısı akılarında yüksek olduğu sonucuna vararak lokal ısı transfer katsayısı için korelasyon vermişlerdir.

Shi ve ark. (2010) dikey borulu LiBr-Su solüsyonlu film tipi jeneratörün farklı ısı akıları ve solüsyon konsantrasyonlarında boru içindeki ısı transfer katsayısının değişimini incelemişlerdir. Film tipi jeneratördeki ısı transfer katsayısının daldırılmış tip jeneratördekine göre 4,37 kat daha yüksek olduğu hesaplanmış bunun daha kompakt jeneratörlerin yapılmasına olanak verdiği belirtilmiştir.

Menhart ve ark. (2015) jeneratör eşanjöründe havuz tipi kaynama mekanizmasını incelemişlerdir. Çekirdek kaynamanın olduğu durumlarda film tipine göre üstünlüğü olduğu belirtilen çalışmada bunun olması için gerekli akışkan sıcaklık farkının 15 °C'den fazla olması dolayısıyla absorpsiyonlu sistemlerde bunun yakalanmasının zor olduğu vurgulanmıştır. Bu etkiyi ısı transfer yüzey alanlarında değişiklik yaparak sağlamanın yöntemlerini araştıran yazarlar çalışma basıncının ve solüsyon konsantrasyonunun önemli olduğunu göstermişlerdir. Yüzeyi pürüzlü olan borulardaki ısı transfer katsayısının düz olana nazaran % 23 oranına kadar artış gösterdiği hesaplanmıştır.

Xu ve ark. (2013) 85-150 °C jeneratör sıcaklık aralığında çalışabilen yeni bir çevrim üzerinde, AGX, çalışmışlardır. Aynı jeneratör sıcaklıklarında yeni çevrimin klasik çevrime göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Gunhan ve ark. (2014) güneş enerjisi destekli yeni bir absorpsiyonlu sistemin ekserji analizini yapmışlardır. Solüsyon olarak LiCl-Su kullanılan deneysel çalışmada toplam ekserji kaybı 3,15 kW ila 22,08 kW arasında değişmiştir. Bütün sistemin ekserji verimi değişik referans ölü durum sıcaklıklarına göre % 13,1 (30 °C) ila % 43,2 (42 °C) arasında gerçekleştiği belirtilmiştir.

Rivera ve Xicale tarafından (2001) LiBr-Su çözeltisinin çekirdek tipi kaynama mekanizması için 25,4 mm çapındaki 1,08 m boyundaki dikey boru içindeki ısı transfer katsayısı araştırılmıştır. Lokal ısı transfer katsayısı 1,0-9,0 kW/m², ortalama ısı transfer katsayısı 1,0-4,0 kW/m² olarak bulunmuştur .

Sathyabhama ve Krishnan (2012) iki bar basıncında LiBr-Su solüsyonunun farklı konsantrasyonlarında (0-%30) havuz tipi kaynama durumunda ısı transfer katsayılarını etkileyen parametreleri incelemişlerdir. Isı akısının artışı ve konsantrasyon oranının azalmasıyla ısı transfer katsayısının arttığı gösterilmiştir.

Jung ve Oh (1999) hava soğutmalı çift kademeli absorpsiyonlu sistem için H₂O/LiBr + HO(CH₂)₃OH solüsyonunun performansı araştırılmıştır. Yapılan simülasyonlarda yeni solüsyonun LiBr-Su çiftinden kristalizasyon limitinin % 8 üstte olduğu ve COP değerinin % 3 civarında daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır .

Lee ve ark. (2000) yılında hava soğutmalı absorpsiyonlu sistemlerde kullanılmak üzere H₂O + LiBr + LiNO₃ + LiI + LiCl solüsyonunu seçilen mol oranlarında (5:1:1:2) çift etkili seri tip modelde simüle ederek performansını araştırmışlardır. Yeni solüsyonun LiBr-Su çiftiyle benzer COP değerine sahip olduğu, kristalizasyon açısından hava soğutmalı sistemlerde daha uygun olduğu görülmüştür .

Bourouis ve ark. (2005) yılında hava soğutmalı sistemlerde kullanılmak üzere LiBr-Su çözeltisine alternatif olarak su-(LiBr + LiI + LiNO₃ + LiCl) (mol oranları 5:1:1:2) yeni bir solüsyonun performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Yeni solüsyonun ağırlık konsantrasyon oranı % 62 için kristalizasyon sıcaklığının LiBr-Su çiftine göre 30 °C

daha düşük olduğu belirtilmiştir. Absorber basıncı 1,3 kPa, soğutma suyu 35 °C, Reynolds sayısı 75-175 (dalgalı laminer rejim) olmak üzere absorbe edilen kütle oranı 0,001-0,002 kg/m² s, ısı yükü 0,3-0,7 kW, ısı transfer katsayısı 0,2-0,5 kW/m²K , kütle transfer katsayısı 2,0-6,5x10⁻⁵ m/s değerlerini sırasıyla % 57,9 LiBr-Su ve % 61 farklı kütleli konsantrasyonlarında gerçekleştiği belirtilmiştir.

Yoon ve ark (2005) LiBr-Su çiftiyle LiBr + LiI + LiNO₃ + LiCl –Su solüsyonu helisel tip bir absorber/evaporatör deney test düzeneğinde incelemiştir. Isı ve kütle transfer katsayıları açısından yatay tip absorberle benzer değerleri gösteren bu çalışmada optimum solüsyon akış oranının 0,03 kg/ms olduğu belirtilmiştir. Çoklu solüsyonun yüksek konsantrasyon oranlarında kristalizasyon problemi yaşamadığı, ısı ve kütle transfer katsayılarının % 2 -5 LiBr-Su çiftinden yüksek olduğu gösterilmiştir.

She ve ark. (2015) LiCl-Su ve LiBr-Su solüsyonlarının yeni bir çift etkili çevrimde birlikte kullanılmasıyla elde edilen performansı araştırmışlardır. Üst çevrimde LiCl-Su, alt çevrimde LiBr-Su solüsyonu kullanılmasıyla daha düşük jeneratör sıcaklıklarında soğutma elde edilebilmiştir.

Sun ve ark. (2012) absorpsiyonlu sistemlerde kullanılmak üzere farklı solüsyonlar üzerinde araştırma yapmışlardır. Beş adet farklı grupta toplanan çalışmada kullanım yerlerine ve çalışma sıcaklıklarına göre solüsyonlar sınıflandırılmışlardır.

Xu ve ark. (2004) yatay borulu evaporatörlerde ısı transfer katsayısını etkileyen parametreleri incelemiştir. Likit yüküne bağlı Reynolds sayısının 200-2500 aralığında olması durumunda ısı transfer katsayısına olumlu etkisi olduğu ayrıca boru çapının düşük olmasının bu etkiyi güçlendirdiği belirtilmiştir. Boru çapının 40 mm olduğu çalışmada ortalama toplam ısı transfer katsayısını 4 kW/m²K olarak bildirmişlerdir.

Yang ve Shen (2008) tek bir yatay boru üzerinde film tipi buharlaşma mekanizmasını incelemiştir. Test basıncı 0,01 MPa , boru dış çapı 14 mm , uzunluğu 500 mm olan bronz alaşım boru kullanılmıştır. Isı transfer katsayısının spreysel akış debisiyle

yükseldiği, 0,013 kg/ms için 5 kW/m²K, 0,062 kg/ms için 30kW/m²K olduğu deneysel olarak bulunmuştur. Asal gazların ısı transfer katsayısındaki olumsuz etkisinin büyük olduğu, ısı akısının artışının olumlu etkide bulunduğu gösterilmiştir. Saf su ve deniz suyuyla yapılan deneylerde benzer sonuçlar alınmıştır.

Abed ve ark. (2015) gövde-boru tipi evaporatörlerde film tipi ısı ve kütle transfer katsayılarını etkileyen parametreleri incelemiştirlerdir. Nanopartiküller, yüzey geometrisi, kimyasal katkıları gibi parametreler incelenerek daha kompakt yapıda evaporatörlerin yapılması için yorumda bulunmuşlardır.

Abed ve ark. (2013) yatay borulu evaporatörlerde ısı ve kütle transfer mekanizmalarını etkileyen parametreleri gözden geçirmişlerdir. Yüzey alanı artırılmış boruların performansı arttırdığı maliyet ve basınç kayıplarının kullanımı sınırlandırdığı belirtilmiştir. Nano partiküllerin ısı ve kütle transferini absorpsiyonlu sistemlerde artırıcı etkisi olmasına rağmen mekanizmanın tam olarak anlaşılamadığı belirtilmiştir.

Gonda ve ark. (2014) dalgalı yüzeye sahip paslanmaz çelik levha üzerinde buharlaşma mekanizması sırasındaki ısı transfer katsayısını araştırmışlardır. Temel güçlük olarak tüm yüzey alanının ıslatılması gösterilen çalışmada 100 g/sm akış oranının altında kuru alan kaldığı vurgulanmış , Nu sayısının ise 0,2-0,4 arasında gerçekleştiği gösterilmiştir. Düz plakaya göre Nusselt sayısında % 50 artış elde edilen çalışmada 350'nin altındaki Reynolds sayısı için pürüzsüz yatay boru , 500 ün üstündeki Reynolds sayıları için ısı transfer performansı yönünden oluklu levha daha uygun çözüm olarak önerilmiştir.

Flamensbeck ve ark. (1998) yılında sistem maliyetini düşürmek için plaka tipi ısı eşanjörleri kullanılması durumundaki çift kademeli bir absorpsiyonlu ısı pompasının performansını araştırmışlardır. Absorber olarak LiBr yerine daha yüksek sıcaklıklara çıkabilen %50 NaOH ve %50 KOH kullanılmıştır. Jeneratörde direk beslemeli havuz tipi eşanjör olarak tasarlanmış diğer tüm eşanjörler plaka tipi kullanılmıştır. Absorber için ısı toplam ısı transfer katsayısını 2,0-2,7 kW/m²K arasında bulunduğu çalışmada sprey tipi absorberin kullanılması durumunda ısı transfer alan ihtiyacının yarı yarıya azaldığını vurgulamıştır.

Vega ve ark. (2006) plaka tipi ısı eşanjörleri LiBr-Su solüsyonlu sistemde kullanarak performas analizi yapmışlardır. Jeneratör, kondenser, solüsyon ısı değiştiricisinde plakalı tip absorber, evaporatörde ise gövde-boru tip eşanjör kullanılmıştır. COP değerinin 0,5-0,8 soğutma yükünün 2-12 kW arasında gerçekleştiği deneysel sistemde jeneratördeki toplam ısı transfer katsayısı $790 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak bulunmuştur. Maliyet ve kompaktlık açılarından plakalı eşanjörlerin kullanımının absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde avantajlı olduğu vurgulanmıştır.

Hernando ve ark (2011) $\text{NH}_3 - \text{Su}$ ve LiBr-Su solüsyonlarının plakalı tip ısı eşanjörlerindeki performanslarını araştırmışlardır. Kullanılan plakalı eşanjör Alfa-Laval AC30 model, 15 plakalıdır. Kapasite olarak 5 kW belirlenen plakalı jeneratörün boyutları (boy 325 mm x en 93 mm x derinlik 28,5 mm) havuz tipi jeneratörden daha ufaktır. Bununla birlikte basınç düşümünün LiBr-Su ifti için 20 kPa civarında gerçekleştiği belirtilmiştir.

Marcos ve ark. (2009) LiBr-su solüsyonlu çift kademeli absorbsiyonlu sistemlerde plakalı tip ısı eşanjörlerinin performanslarını araştırmışlardır. Akış sırasında biri sıvı biride sıvı-buhar fazı olmak üzere iki bölgeden bahsettikleri çalışmada birinci bölge toplam ısı transfer katsayısını $0,58-0,90 \text{ kW/m}^2\text{K}$, ikinci bölgede ise $1,42-1,80 \text{ kW/m}^2\text{K}$ aralıklarında olduğunu hesaplamışlardır. Ayrıca basınç kayıplarının birinci bölgede 20-30 kPa, ikinci bölgede 200-300 kPa aralıklarında gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Talbi ve Agnew (2000) geliştirdikleri matematiksel modelle LiBr-Su iftli absorbsiyonlu sistemin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Kondenser yükünün evaporatörden bir miktar fazla olduğu her ikisinin toplamının jeneratör ve absorber toplam yükünden % 27,8 daha az olduğunu göstermiştir. Bunun solüsyondaki karışım etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ekserji kayıpları büyüklük sırasıyla absorber, jeneratör, evaporatör, solüsyon ısı değiştiricisi, kondenserde gerçekleştiğini göstermişlerdir.

Chua ve ark. (2000) LiBr-Su çiftinin 0-190 °C sıcaklık ve 0 - % 75 konsantrasyon aralığında özgül entalpi , entropi, ısı kapasitesi değerlerini araştırmışlardır .

Misra ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada LiBr-Su çiftli absorpsiyonlu sisteme termoeconomik optimizasyon tekniğini uygulamışlardır. Optimizasyon sonucunda jeneratör sıcaklığı 83 °C , kondenser sıcaklığı 35 °C , evaporatör sıcaklığı 9 °C, absorber sıcaklığı 33 °C, solüsyon eşanjörü etkinlik katsayısı 0,65 olarak bulunmuştur. Temel modelle optimizasyon sonucundaki model arasında, ekserji veriminde % 10,423, COP'ta % 10,419 artış olduğu vurgulanmıştır .

Hu (2007) mikro absorpsiyonlu soğutucu ile alaklı teorik ve deneysel çalışmalarda bulunmuştur. Soğutma işlevselliği olan (40 W) mikro ünitenin COP değerinin makro boyutlardakiyle kıyaslanabilecek ölçüde olduğunu belirtmiştir .

Kılıç ve Kaynaklı (2007) tek kademeli LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. COP değerinin jeneratör ve evaporatör sıcaklıklarıyla yükseldiği kondenser ve absorber sıcaklıklarının artmasıyla azaldığı oluşturulan matematiksel model yardımıyla gösterilmiştir. En büyük ekserji kaybının jeneratörde gerçekleştiği vurgulanan çalışmada, birinci kanun verimi artarken ikinci kanun veriminin azalabileceği belirtilmiştir.

Kaynaklı (2007) LiBr-Su solüsyonu kullanan helisel bir absorberin ekserji analizini yapmıştır. Ekserji kaybının soğutma suyu debisi , solüsyon konsantrasyonu, absorber basıncı, halka sayısı, çevre sıcaklığı parametrelerine paralel olarak arttığı, buhar ve soğutma suyu sıcaklığıyla düştüğünü belirtmiştir. Solüsyon akış oranının optimum absorber performansını elde etmede önemli olduğunu vurgulamıştır. Giriş solüsyon konsantrasyonunun absorbe edilen kütle miktarını arttırdığı gibi ekserji kaybını da arttırdığına dikkat çekilmiştir.

Xie ve ark. (2008) LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu soğutucunun performansını incelemişlerdir. Solüsyon absorber giriş konsantrasyonu ile soğutma kapasitesinin

arttığı, COP'un 0,85 değerine solüsyon konsantrasyonu % 57 için ulaştığı , optimum solüsyon sprey debisinin 27,5 kg/m²s olduğu belirtilmiştir.

Gebreslassie ve ark. (2010) yarım etkili ,tek etkili, çift etkili ve üç etkili LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu sistemlerin enerji ve ekserji analizlerini hesaplamışlardır. COP, ekserji verimi, ekserji kayıpları sistemin jeneratör sıcaklıklarına göre incelenmiştir. Genel itibariyle en yüksek ekserji kayıplarının absorber ve jeneratörde gerçekleştiği vurgulanmıştır.

Karamangil ve ark. (2010) yılında tek kademeli absorpsiyonlu sistemlerde kullanılan konvansiyonel akışkanlarla alternatiflerinin performanslarını araştırmışlardır. Oluşturulan kullanıcı dostu program vasıtasıyla çalışma sıcaklıkları, solüsyon ,soğutucu ve solüsyon-soğutucu (SHE,RHE,SRHE) eşanjör etkinlik katsayılarının COP üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sistem performansının jeneratör ve evaporatör sıcaklıklarıyla arttığı kondenser ve absorber sıcaklığıyla azaldığı vurgulanmıştır. Sistem performansı üzerinde SHE etkisinin diğer iki eşanjörden yüksek olduğu, kullanılması durumunda % 66 oranında COP' ta artış sağladığı RHE ve SRHE için bu oranların sırasıyla % 14 ve % 6 değerlerinde gerçekleştiği gösterilmiştir.

Marcos ve ark. (2011) su ve hava soğutmalı tek ve çift kademeli absorpsiyonlu soğutucular için COP değerini maksimize edecek yeni bir metod üzerinde çalışmışlardır. Su soğutmalı tek etkili sistem için jeneratör sıcaklığı 57,8 -92,8 °C aralığında COP değeri 0,85-0,74 gerçekleşirken hava soğutmalı sistemde jeneratör sıcaklığı 98,5-110,1 °C için COP değerinin 0,72-0,65 aralığında olduğunu hesaplamışlardır. Çift etkili su soğutmalı sistemde jeneratör sıcaklığı 108,7-164,3 °C aralığında COP 1,48-1,2 , hava etkili sistemde ise jeneratör sıcaklığı 171,1-186,3 °C aralığında COP 1,15-1,07 değerini almıştır.

Myat ve ark. (2011) tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminde genetik algoritma yöntemiyle entropi üretimini minimize edecek çalışma yapmışlardır. Toplam entropi üretiminin % 41 jeneratörde, % 10 kondenserde, % 30 evaporatörde, % 19 absorberde

gerçekleştirdiği hesaplanmıştır. Minimum entropi üretiminin jeneratör sıcaklığı 90,8 °C için ton soğutma başına 33 W/K olduğu vurgulanmıştır .

Urueta ve ark. (2014) tek etkili LiBr-su çiftli absorpsiyonlu soğutucunun enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Jeneratör ve evaporatör sıcaklığının artışıyla COP'un arttığı buna karşın ekserji veriminin düştüğü, absorber ve kondenser sıcaklığını artmasıyla COP'un azaldığı buna karşın ekserji veriminin arttığı belirtilmiştir. En büyük ekserji kaybının jeneratör ve absorberde olduğu belirtilmiştir.

Mazzei ve ark. (2014) LiBr-Su çiftli tek kademeli absorpsiyonlu sistemini optimize etmişlerdir. Optimizasyonda iki farklı yöntem izlemişlerdir. Birinci yöntemde verilen bir ısı transfer alanı için COP'u maksimize eden, ikinci yöntemde belirlenen bir soğutma kapasitesi için ısı transfer yüzey alanını minimize eden çalışma yapılmıştır. Hesaplamalarda toplam ısı transfer katsayıları evaporatör için 1,5 kW/m²°C, absorber için 0,7 kW/m²°C, kondenser için 2,5 kW/m²°C, jeneratör için 1,5 kW/m²°C, solüsyon ısı eşanjörü için 1,0 kW/m²°C alınmıştır. Soğutma kapasitesi 50 kW için elde edilen optimum toplam ısı transfer yüzey alanı 23,86 m², COP değeri ise 0,755 olarak bulunmuştur.

Wonchala ve ark. (2014) LiBr-su solüsyonlu absorpsiyonlu sistemin performansını etkileyen parametreleri teorik olarak incelemişlerdir. Değişik jeneratör ,kondenser, absorber, evaporatör sıcaklıkları ve sirkülasyon oranı baz alınarak yapılan çalışmada jeneratör sıcaklığının 58,5 °C'den 110 °C'ye çıkmasıyla soğutma kapasitesinde % 1200 oranında artış olduğu, ikinci kanun veriminin başta artarak % 54 olduğu ardından % 32 değerine indiği belirtilmiştir. Kondenser ve absorber sıcaklıkları 17 - 48 °C arasında değiştirilerek yapılan hesaplamalarda birinci kanun veriminin % 75 oranında düştüğü, ekserji veriminin % 16 dan % 50 değerine ulaştığı hesaplanmıştır.

Marc ve ark. (2015) LiBr-su çiftli 30 kW soğutma kapasiteli absorpsiyonlu soğutma sisteminin dinamik modellemesini oluşturmuşlardır. Güneş enerji destekli sistemde herhangi bir sıcak, soğuk enerji deposu kullanılmamıştır. Her bir eleman sayısal olarak

modellenmiş ve sistemin COP değerini maksimize etmek için optimizasyon çalışması yapmışlardır.

Zhang ve ark. (2015) LiBr-su solüsyonu için düz levhada farklı Reynolds sayılarında absorpsiyon mekanizmasını nümerik olarak incelemişlerdir. Simülasyon CFD-Fluent kullanılarak yapılmıştır. Reynolds sayısının 40-60 aralığında kütle transfer oranının maksimum olduğu, artan Reynolds sayısı ile ısı transfer katsayısının düştüğü fakat kütle transfer katsayısının arttığı hesaplanmıştır.

Tozer ve ark. (2005) LiBr-Su solüsyonuna ait entropi değerlerini hesaplayarak çeşitli çevrimlerde kullanılabilir T-s diyagramlarını oluşturmuşlardır.

Figueredo ve ark. (2007) 200 kW soğutma kapasiteli çift etkili LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik analizini farklı enerji kaynakları ile çalıştığı durumda sistem performansını araştırılmıştır. Toplam ısı transfer katsayıları yüksek jeneratörde 0,78 kW/m²K, düşük jeneratörde 0,77 kW/m²K, absorber 0,50 kW/m²K, kondenser 3,86 kW/m²K, evaporatörde 1,47 kW/m²K verilmiştir. Isı transfer yüzey alanlarının optimize edilmesiyle jeneratör alanının 25 m² daha düşük, evaporatör alanının 16 m² daha yüksek olması durumunda COP değerinin 1,23'e ulaşacağı hesaplanmıştır.

Wu (1999) absorpsiyonlu sistemde ejektör kullanılması durumunda oluşan performans artışını incelemiştir. Konvansiyonel absorpsiyonlu sisteme oranla teorik COP değerinin yüksek olduğu (1,013) ve çift kademeli sistemlere alternatif olarak kullanılabilirliği vurgulanmıştır.

Mohanty ve Paloso (1995) yılında gaz türbini hava giriş sıcaklığının absorpsiyonlu sistemle düşürülmesiyle oluşan performans artışını incelemişlerdir. Bangkok şartlarında yapılan testlerde 15 °C'ye kadar soğutulan hava giriş sıcaklığının gaz türbini güç artışında % 8-13 arasında artış yaptığı ortaya koyulmuştur.

Bruno ve ark. (2005) yılında mikro gaz türbinleriyle absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin birlikte çalışması durumunda performansını araştırmışlardır. İki farklı

sistem üzerinde modelleme yaparak toplam sistem veriminin farklı mikrogaz kapasiteleri için değişimini vermişlerdir.

Sun ve ark. (2010) tek kademeli LiBr-Su çiftli absorbsiyonlu ısı pompasının farklı koşullar altındaki matematiksel ve deneysel analizini karşılaştırmışlardır. Soğutucu akışkan buhar akışının absorber basıncı, soğutma suyu debisi, solüsyon sprey debisiyle yükselmesi ve solüsyon giriş sıcaklığının düşmesiyle arttığını belirtmişlerdir.

Ezgi (2014) absorbsiyonlu ısı pompalarının gemilerde kullanılması durumunda sağlanan ekonomik ve çevresel faydaları araştırmıştır. Soğutma suyu olarak deniz suyunun kullanılmasıyla soğutma kulesi ihtiyacının ortadan kalktığı vurgulanan çalışmada düşük dizel motoru yüklerinde çalıştırılmak üzere hibrit bir sistem tasarımı yapılmıştır. Absorbsiyonlu ısı pompalarının gemilerde dizel motorlarıyla uyum içinde çalışabileceği vurgulanmıştır.

Dirksen ve ark. (2001) LiBr-Su solüsyonu için endüstride kullanılan çeşitli kristalizasyon sıcaklığını düşürücü kimyasal katkıların performanslarını deneysel olarak araştırmışlardır. Kullanılan altı farklı endüstriyel kimyasaldan 1500 ppm oranındaki HEDP ve DTPMP nin en iyi performansı göstererek 10 °C kristalizasyon sıcaklığını düşürdüğü görülmüştür.

Liao ve Radermacher (2007) yaptıkları çalışmada hava soğutmalı absorbsiyonu soğutucular için kristalizasyon problemini önleyici kontrol stratejileri geliştirmişlerdir. Hava soğutmalı sistemdeki absorberdeki yüksek sıcaklık konsantrasyon oranının yüksek olmasına, dolayısıyla kristalizasyon problemine yol açmaktadır. Hava soğutmalı sistemde kristalizasyona yol açan durumları : yüksek çevre sıcaklığı, düşük çevre sıcaklığı, tam yük , hava kaçakları veya asal gazların birikimi, jeneratöre aşırı ısı girişi, ani makine duruşları, soğutulmuş suyun çok düşük ayarlanması şeklinde sıralamışlardır.

Çift etkili ve üç etkili sistemlerde korozyon riskine karşılık kullanılan koruyucu kimyasalların performansları DOE tarafından yapılan bir çalışmayla araştırılmıştır. Üretimde kullanılacak malzeme olarak paslanmaz çelik 409 ve 430'un korozyona karşı

mükemmel performans gösterdiği ortaya çıkmış, 410'un bunlardan sonra tercih edilebileceği belirtilmiştir. Koruyucu kimyasallarla alakalı beş farklı kimyasalın deneysel olarak performansı incelenmiş, Li_2CrO_4 çevreye olan zararından dolayı yakın gelecekte yasaklanma ihtimali bulunduğu diğer adayların Li_3PO_4 , CoBr_2 , NiBr_2 , LiVO_3 , Li_3VO_4 uygun olduğu gösterilmiştir (Anonim 1999).

Hu ve ark. (2006) LiBr'lü sistemler için mevcut korozyon önleyici kimyasallara alternatif olarak phosphomolybdic asit (PMA) ve SbBr_3 karışımının kütle kaybı yöntemiyle performansını incelemiştir. Özellikle yüksek sıcaklıklar için PMA/ SbBr_3 inhibitörün mükemmel performans gösterdiği bildirilmiştir.

Anderko ve Young (2000) yılında absorpsiyonlu sistemde kullanılan çelik malzemenin LiBr karşısındaki korozyon derecelerini oluşturdukları modellerle incelemiştir. Modelde farklı sıcaklık, konsantrasyon, basınç, solüsyon akış hızlarındaki korozyon dereceleri araştırılmıştır.

Florides ve ark. (2003) yılında 1 kW soğutma kapasiteli LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu soğutucuyu prototip olarak imal etmişlerdir. Evaporatör ve absorberde tek geçişli dikey borular kullanmışlardır. Teorik ve deneysel toplam ısı transfer katsayıları (U) her eşanjör için bulunarak farklılıkları karşılaştırılmıştır. Deneysel değerler belirlenen çalışma şartları için jeneratörde $2300 \text{ W/m}^2\text{K}$, kondenserde $3265 \text{ W/m}^2\text{K}$, evaporatörde $195 \text{ W/m}^2\text{K}$, absorberde $400 \text{ W/m}^2\text{K}$, solüsyon ısı değiştiricisinde $130 \text{ W/m}^2\text{K}$, olarak hesaplanmıştır. Ayrıca maliyet hesabı yaparak soğutma kapasitesine göre 1 kW için 1550 Euro, 10 kW için 4300 Euro yaklaşık ürün maliyeti bulmuşlardır.

Şencan (2004) tek kademeli 1 kW soğutma gücünde LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu sistemin enerji, ekserji, ısı transfer yüzey alanları ile alakalı hesaplamalar yapmıştır. Sistemin optimum çalışma şartları, Genetik Algoritma (GA) metodu yardımıyla bulunmuştur. Elde edilen veriler ışığında prototipi yapılan sistemle alakalı performans testlerinde bulunulmuştur. Teorik hesaplamalarla gerçek şartlardaki ısı transfer

katsayıları ve yüzey alanları karşılaştırılmıştır. En büyük ekserji kaybının absorberde olduğu bunu jeneratör, yoğurturucu, buharlaştırıcının takip ettiğini belirtmiştir.

Bakhtiari ve ark. (2011) 14 kW soğutma kapasiteli, tek kademeli, LiBr-Su çiftli absorpsiyonlu soğutucu prototipi imal etmişlerdir. Dizayn değerleri ile deneysel olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sonuçların yakın olduğunu belirtilmişlerdir. Soğutma kapasitesinin jeneratör ve soğutma suyu sıcaklıklarına yakından bağlı olduğu vurgulanmıştır.

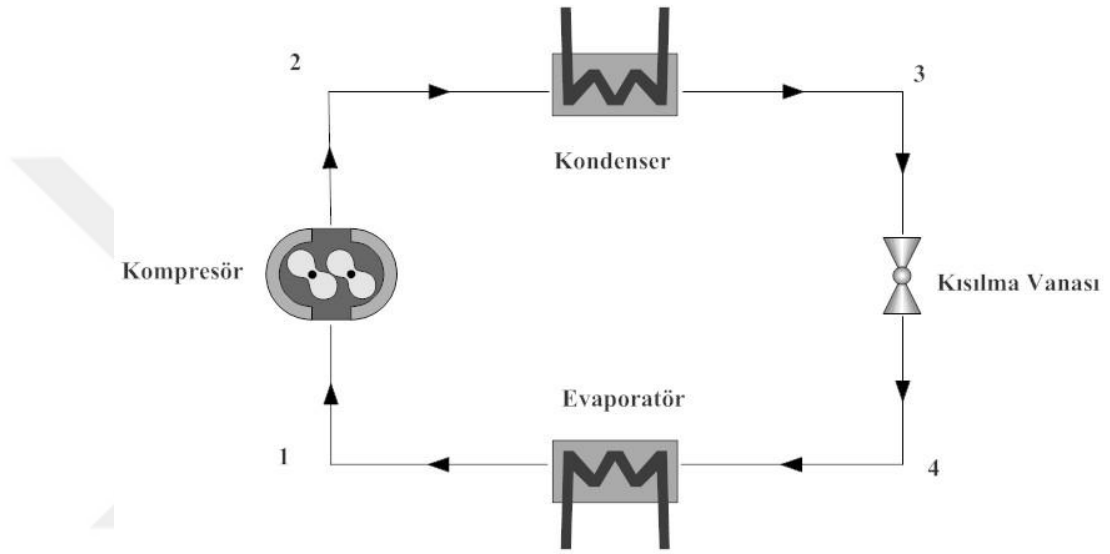
Alili ve ark. (2012) yılında güneş enerji destekli absorpsiyonlu soğutma sisteminin teknik ve ekonomik incelemesini yapmışlardır. Farklı elektrik fiyatları için yapılan hesaplamalarında 7 ile 11 yıl arasında geri ödeme süresi bulmuşlardır. Sürenin uzun olmasının ana sebebi olarak güneş kolektörlerinin maliyetleri gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasının farkı, teorik analizlerin yanında absorpsiyonlu soğutma sisteminin üretimiyle alakalı boyutlandırma, tasarım, malzeme, ekipman, imalat yöntemi gibi çeşitli hususları bir bütün olarak sunmasıdır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

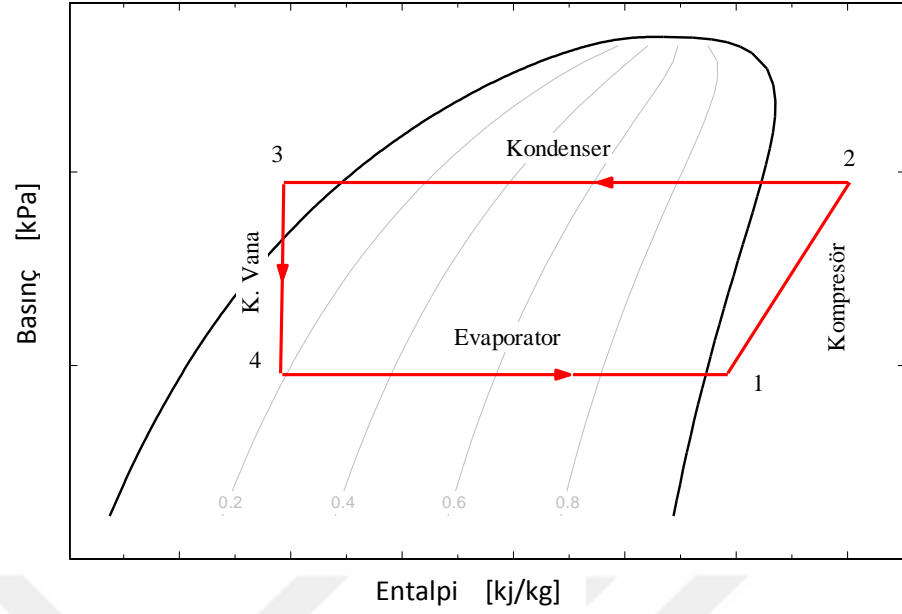
3.1. Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Tanıtımı

Soğutma sistemlerinde yaygın olarak buhar sıkıştırımlı çevrim kullanılmaktadır. Basit çevrim için Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bu sistemde dört adet temel eleman (kompresör, kondenser, kısılma vanası, evaporatör) bulunmaktadır.



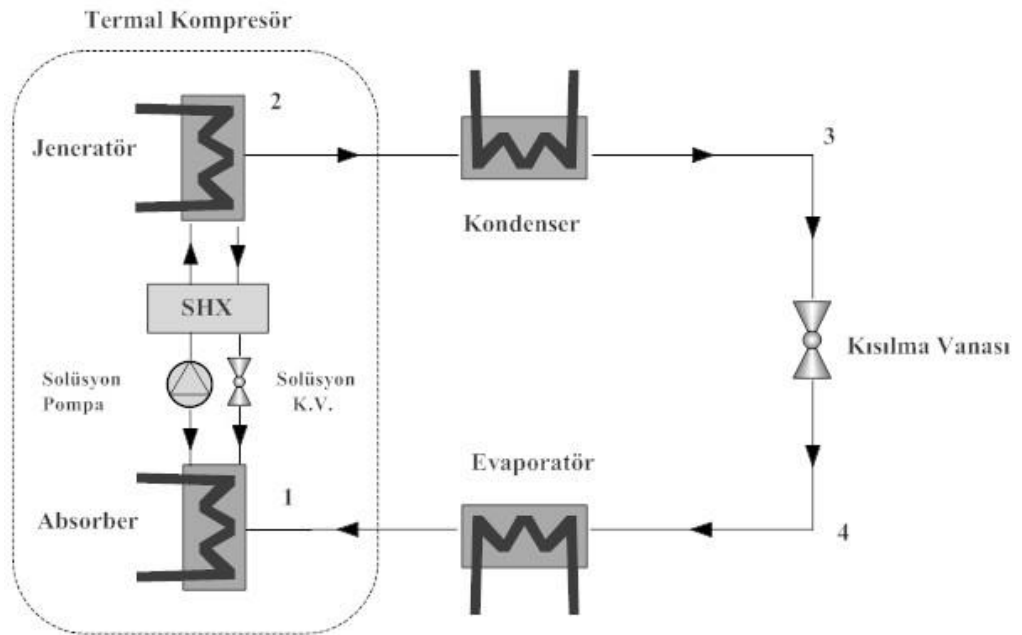
Şekil 3.1. Buhar sıkıştırımlı basit soğutma çevrimi

Şekil 3.2'de buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimine ait p-h diyagramı görülmektedir. Bir noktasında soğutucu akışkan (düşük basınçta) buhar fazında bulunmaktadır. Kompresör tarafından iki noktasına (üst basınca) sıkıştırılır. Kondensere yüksek basınç buhar fazında giren soğutucu akışkan burada çevreye ısı vererek sıvı faza dönüşür. Üç noktasında sıvı fazdaki soğutucu akışkan basıncı, kısılma vanası kullanılarak alt basınca düşürülür. Bu işlem sırasında bir miktar soğutucu akışkan buharlaşır. Kısılma vanası soğutma yüküne uygun bir şekilde bu işlemi yerine getirir. Dört noktasında evaporatöre giren sıvı-buhar fazlı soğutucu akışkan soğutma yükünü alarak buhar fazına geçerek çevrimi tamamlar.



Şekil 3.2. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin P-h diyagramı

Absorbsiyonlu soğutma çevrimiyle buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi arasındaki en önemli fark kompresör yerine, termal kompresör adı verilen absorber, jeneratör, solüsyon ısı değiştiricisi ve pompasının yer almasıdır (Şekil 3.3) .



Şekil 3.3. Absorbsiyonlu soğutma çevrimi

Sistemde tek bir soğutucu akışkan yerine biri soğutucu biri de absorbent olmak üzere bir akışkan çifti bulunmaktadır. Absorbsiyonlu soğutma sisteminde düşük basınçtaki soğutucu akışkan buharı absorber denilen kısımda bir solüsyon içine emilerek üst basınca pompa yardımıyla gönderilir. Jeneratör denilen kısımda ısıtılarak göreceli yüksek basınçlı buhar fazına geçilmesi sağlanır. Çevrimin diğer elemanları temel buhar sıkıştırma çevrimle aynıdır.

3.1.1. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin sınıflandırması

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerini farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Bunlar:

- a. Solüsyon tipi
- b. Konfügurasyon şekli
- c. Jeneratör besleme yöntemi
- d. Yoğuşma şekli
- e. Soğutma kapasitesi

Jeneratör besleme yöntemi temel olarak dolaylı ve doğrudan ateşlemeli şeklinde, üreticiler tarafından kullanılacak prosese uygun olarak imal edilmektedir. Isı kazanı, gaz türbini, güneş enerjisi, jeotermal enerji veya prosese bağlı çeşitli ısı kaynakları bunlara örnek olarak gösterilebilir. Yoğuşma şekli absorber ve kondenserden çevreye atılacak ısının su (soğutma kulesi) veya hava soğutmalı olduğunu belirtir. Soğutma kapasitesi genellikle 35 kW (10 RT) altı küçük, 35-350 kW (10-100 RT) arası orta ve 350 kW (100 RT) üstünde büyük kapasiteli olarak değerlendirilir. Solüsyon tipi ve etki sayısı sınıflandırmada daha belirgin özellikler olduklarından detaylı açıklamaya ihtiyaç bulunmaktadır.

3.1.2. Absorbsiyonlu soğutma çevrimleri için çalışma çiftleri

Tersinir çevrimlerde performans ve verimlilik akışkan çiftlerinden bağımsız olmasına rağmen gerçek makinelerde yakından ilgilidir. Absorbsiyonlu sistem performansı ve işletme gideri akışkan çiftine kuvvetli şekilde bağlıdır. Geleneksel olarak kullanılan $\text{NH}_3 - \text{Su}$ ve LiBr-Su çiftlerinin dışında çok sayıda akışkan çifti mevcuttur. Macriss ve

ark. (1988) 38 adet soğutucu akışkanla, 187 adet soğurucu (absorbent) akışkan listesi vermişlerdir (Ek 1). Her geçen yıl bu sayı artmaktadır.

Bazı akışkan çiftleri yüksek ve düşük ısı gibi özel uygulamalar için geliştirilmiştir. Geleneksel akışkanların marketteki yaygınlığı bazı eksikliklerinin yanında akışkan çiftinden beklenen bir çok özelliği bünyelerinde barındırmalarıdır. Çizelge 3.1’de bu özellikler belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Absorbsiyonlu akışkan çiftlerinde aranan özellikler

	Aranan Özellikler	Amonyak-Su	Su-Lityum Bromür
Soğutucu	Yüksek gizli ısı	İyi	Mükemmel
	Ortalama buhar basıncı	Çok yüksek	Çok düşük
	Düşük donma sıcaklığı	Mükemmel	Sınırlı uygulama
	Düşük viskozite	İyi	İyi
Absorber	Düşük buhar basıncı	Zayıf	Mükemmel
	Düşük viskozite	İyi	İyi
Karışım	Katı faz olmaması	Mükemmel	Sınırlı uygulama
	Zehirleyici olmaması	Zayıf	İyi
	Soğutucu ve absorber arasında yüksek çekim	İyi	İyi

Her iki geleneksel akışkan çifti de yüksek gizli ısıya sahip olması, soğutucu akışkan oranının düşük olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte ideal akışkan çiftinden bazı yönlerden uzaktırlar. Temel fark amonyak-su çiftinde soğutucu akışkan amonyak iken LiBr-Su çiftinde sudur. Amonyak-Su çifti kullanan cihazlar yüksek basınçta çalışırken LiBr-Su çifti kullanan cihazlar vakum altında çalışmaktadırlar. LiBr uçucu olmadığından çevrimde bir doğrultmaç (rectifier) kullanılmasına gerek yoktur. Suyun soğutucu olarak kullanılması düşülebilecek en düşük sıcaklığı 0 °C (pratikte 5 °C) sınırlamaktadır. Amonyaklı sistemde soğutma sıcaklığı 5 °C ile -60 °C arasındadır (Labus ve ark 2015). Son yıllarda bu iki ticari solüsyona ek olarak Amonyum-Lityum

Nitrat ($\text{NH}_3 - \text{LiNO}_3$) ve Su-Lityum Klorid ($\text{H}_2\text{O} - \text{LiCl}$) umut verici sonuçlar vermektedir.

$\text{NH}_3 - \text{LiNO}_3$ düşük besleme sıcaklıklarında çalışabilmesinin yanı sıra, vakum altında çalışmaması, kristalizasyon riskinin olmaması, soğutma kulesine ihtiyaç duymaması gibi avantajları bulunmaktadır. Yüksek viskoziteden dolayı özellikle absorberde ısı ve kütle transfer proseslerindeki kötü performansı başlıca dezavantajdır. $\text{H}_2\text{O} - \text{LiCl}$ çiftide LiBr-Su çifti gibi vakum altında çalışır. Düşük besleme sıcaklıklarında çalışabilen bu solüsyonun dezavantajı yüksek fiyatıdır (Labus ve ark 2015).

3.1.3. Absorbsiyonlu soğutma sistem konfigürasyonları

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin termodinamik çevrimleriyle alakalı bir kaç konfigürasyonu bulunmaktadır. En basiti ve yaygını tek etkili (kademeli) çevrimdir. Etki sayısı giren ısının absorpsiyonlu soğutma sisteminde kaç kere kullanıldığını belirten bir terimdir. Kademe yerine etki teriminin kullanılması sistem tanımlaması açısından daha uygundur. Absorbsiyonlu sistemlerin performans katsayısı konvansiyonel sistemlere nazaran oldukça düşüktür. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için jeneratör sıcaklıklarına göre farklı tasarımlara gidilmiştir. Tek etkili sistemlerde giren ısı bir kere, çift etkili sistemlerde iki, üç etkili sistemlerde üç kez kullanılmaktadır. Etki sayısının artışıyla birlikte COP'ta belirgin şekilde artış elde edilir. COP genel olarak:

$$COP = \frac{\text{İstenen}}{\text{Verilen}} = \frac{\text{Soğutma yükü}}{\text{Gerekli enerji girişi}} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir.

Performans katsayısını etkileyen bir çok parametre bulunmaktadır. Kondenser ve evaporatör sıcaklıkları, solüsyon ısı eşanjörü etkinlik katsayısı gibi parametrelerin yanında jeneratör besleme sıcaklığı en önemli etkidir. Literatürde COP'u inceleyen çok sayıda çalışma bulunmakta olup benzer sonuçlar verilmiştir. Çevrim tipine bağlı olarak LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin maksimum performans katsayıları çizelge 3.2'de görülmektedir. (Gebreslassie ve ark. 2010) . Farklı termodinamik çevrimlere ait açıklamalar EK 2'de verilmiştir.

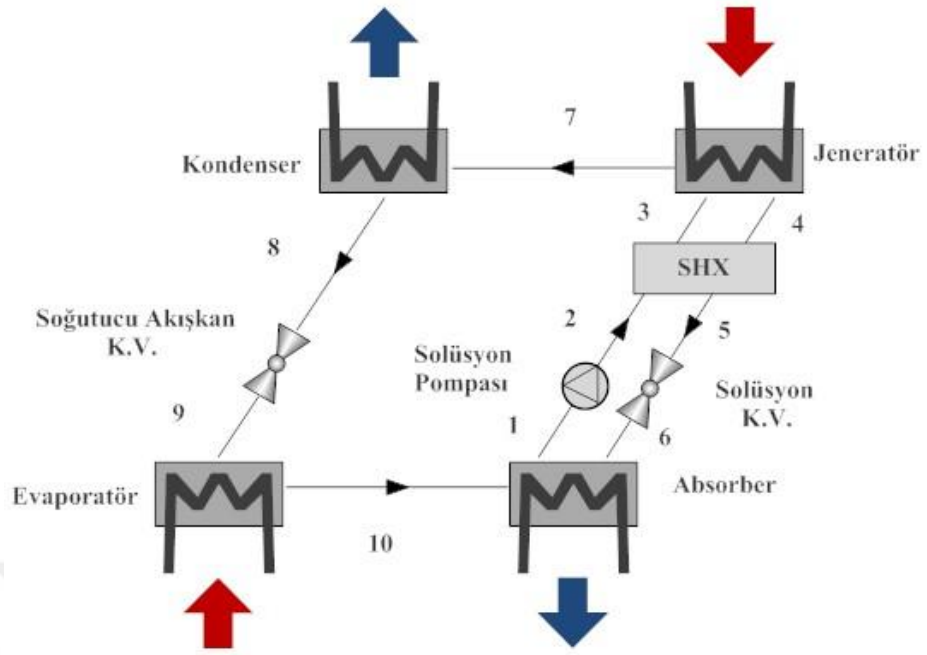
Çizelge 3.2. Çevrim tipine göre LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu soğutucuların çalışma sıcaklıkları ve maksimum COP değerleri (Gebreslassie ve ark. 2010)

Çevrim	Isı kaynağı sıcaklığı [°C]	COP
Yarım etkili	45-75	0,458
Tek etkili	60-95	0,880
Çift etkili seri	95-145	1,655
Çift etkili paralel	100-165	1,656
Çift etkili, ters	100-140	1,654
Üç etkili, seri	135-220	2,312
Üç etkili, paralel	140-210	2,321

3.2. LiBr-Su Solüsyonlu Absorpsiyonlu Çevrim

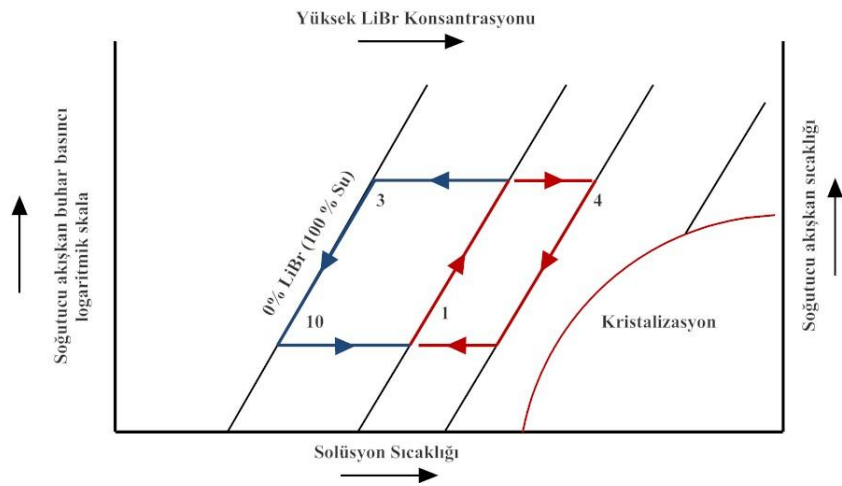
Ticari anlamda Dünya’da satılan tüm absorpsiyonlu ünitelerin yarısından fazlası da tek kademeli, sıcak su beslemeli ve su soğutmalı sistemlerdir (Herold ve ark 1995). LiBr-Su solüsyonu kullanan tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi şekil 3.4’de verilmiştir.

Tek kademeli makinelerin jeneratör besleme sıcaklığı diğer çalışma şartlarına (kondenser ve evaporatör basınçları) bağlı olmakla birlikte genellikle 75 °C’nin üzerindedir. Soğutma kapasitesi ise 18 kW’tan 10230 kW’a kadar geniş bir aralıkta çeşitli üreticiler tarafından imal edilmektedir (Anonim 2009) .



Şekil 3.4. Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi

Absorpsiyonlu soğutma makineleri soğutucu-absorber çifti kullandığından basınç-entalpi (p-h) diyagramı üzerinde çevrimi grafik olarak göstermek tam olarak mümkün değildir. Bunun yerine solüsyon konsantrasyonunun dahil edildiği basınç-sıcaklık-konsantrasyon (P-T-X) Dühring grafiği geliştirilmiştir. Komponentlerin yerleri Dühring diyagramında (Şekil 3.5) sıcaklık, basınç ve konsantrasyon miktarlarına uygun olarak çizilmişlerdir.



Şekil 3.5. Basitleştirilmiş Dühring diyagramı

Makine genel olarak çevreyle ısı enerjisi değişimi yapan dört ünite, bir adet sistem verimi arttırmak için kullanılan iç ısı değiştirici, iki adet akış kısıcıcı, bir adet pompa ve bağlantıları sağlayan borulardan oluşmaktadır.

Basit yaklaşımda tüm makine iki adet basınç aralığında çalışmaktadır. Kamponentler arasındaki akıştan ve yükseklik farkından dolayı oluşan basınç kayıpları göz önünde bulundurulmadığında en önemli basınç değişimi kısılma vanaları ve solüsyon pompasında gerçekteşmektedir Absorbsiyonlu sistemde solüsyon ve soğutucu akışkan olmak üzere iki adet çevrim bulunmaktadır. Solüsyon jeneratör ve absorber arasında dolaşmaktadır. Likit haldeki solüsyon düşük basınçtaki absorberden pompa yardımıyla üst basınçtaki jeneratöre gönderilir. Jeneratöre pompalanan solüsyon burada çeşitli kaynaklardan (egzoz gazı, jeotermal su, güneş enerjisi, endüstriyel atık ısı, vb.) elde edilen enerji kaynağıyla ısıtılır. Isıtılan solüsyon içindeki soğutucu akışkan (su) buharlaşır. Bir tuz türevi olan katı lityum bromürün erime sıcaklığı 1282 °C olduğundan dolayı buhar saf su olarak kabul edilebilir (Herold 1996). Su buharı kondensere geçer, göreceli olarak lityum bromür tarafından daha yüksek konsantrasyona sahip olan solüsyon (zengin eriyik) jeneratörden absorbere geri döndürülür. Verimi yükseltmek için kullanılan solüsyon ısı değiştiricisinin ana işlevi jeneratör için gerekli ısı girişini azaltmaktır. Solüsyon uygun yöntemle kısılarak (orifis , ventura tüpü, vana) basıncı düşürülür. Bu sırada bir miktar su buharlaşır. İki fazlı akış absorbere girer. Evaporatörden gelen su buharı zengin eriyik tarafından emilir. Absorbsiyon işlemi egzotermik bir reaksiyon olduğundan dolayı absorberin uygun şekilde (soğutma kulesi) soğutulması gerekir. Absorbe edilen su buharıyla eriyik jeneratör girişindeki konsantrasyonuna (fakir eriyik) iner. Su buharının emilmesiyle absorberden ayrılan fakir eriyiğin debisi jeneratörden ayrılan zengin eriyiğin debisinden daha yüksek olur.

Diğer taraftan jeneratörden çıkan soğutucu akışkan buharı kondensere girerek sıvı faza geçer. İlkesel olarak kondenser ve absorber aynı kaynağa ısı enjekte ederler. Kondenserden ayrılan aşırı soğutulmuş su kısılma işlemine tabi tutularak alt basınca genişletilir. Az miktarda su buharlaşarak evaporatöre girer. Buharlaşan su miktarı suyun gizli ısıısının yüksekliğinden dolayı mekanik sıkıştırmalı sistemlerde kullanılan

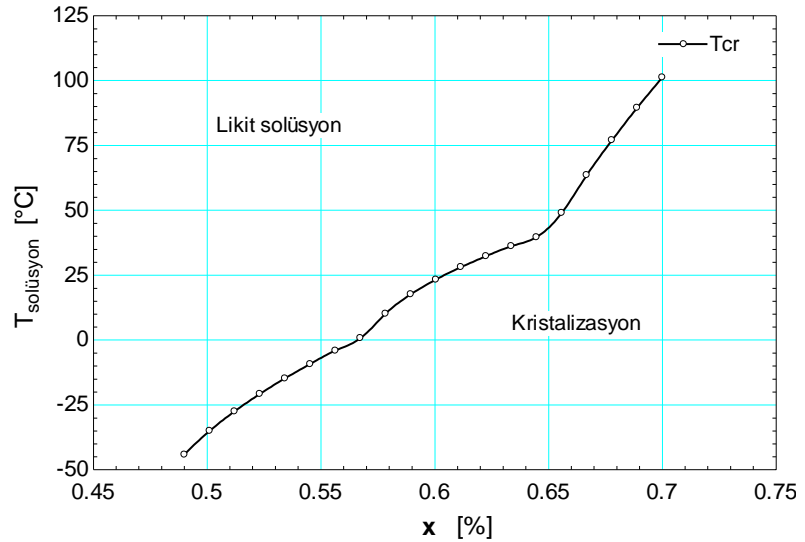
geleneksel soğutuculara nazaran göreceli olarak daha azdır. Evaporatörde absorber tarafından oluşturulan düşük basınç yardımıyla soğutucu akışkan buharlaşarak soğutma yükü karşılanır. Likit haldeki soğutucu su buharlaşarak absorbere girer ve jeneratörden gelen zengin eriyik tarafından absorbe edilir.

3.3. LiBr-Su Solüsyonu Kullanan Soğutucu Sistemlerinin Handikapları

LiBr-Su solüsyonlu cihazların tasarımında dikkat edilmesi gereken bazı noktalar bulunmaktadır. Bu noktalar gerektiği şekilde anlaşılmadığı takdirde cihaz performansında ciddi sıkıntılar oluşturabilirler. Tasarımda bu noktalara dikkat göstermek gereklidir.

3.3.1. Kristalizasyon

Tuzların doğal özelliğinden dolayı suyun içinde çözülebileceği belli bir kütle oran bulunmaktadır. Bu oran güçlü bir şekilde sıcaklığa, düşük şekilde de basınca bağlıdır. Örnek olarak 100 °C’de ki % 70 oranında LiBr bulunan likit solüsyon oda sıcaklığına yavaşça soğuduğunda katı faza geçmeye başlar. Şekil 3.6’da kütle oran ve sıcaklığa göre kristalizasyon eğrisi bulunmaktadır (Boryta 1970).



Şekil 3.6. LiBr-Su solüsyonu kristalizasyon eğrisi

Kristalizasyon olasılığı çeşitli önlemlerle ortadan kaldırılabılır. Üreticiler tasarım yaparken kristalizasyon sıcaklığından belli miktarda uzak durmayı yeğlemektedir.

Diğer önleyici yöntemler: jeneratöre giren sıcaklığı azaltmak, evaporatördeki soğutma suyuyla absorberdeki konsantrasyonu azaltmak, jeneratörden yüksek sıcaklıktaki solüsyonu direk absorbere yollamak gibi konstrüksiyon çözümleri kullanılmaktadır.

Kristalizasyon sıcaklığını düşürmek için inhibitör kullanımıyla alakalı çeşitli uygulamalar da mevcuttur. Endüstride kullanılan ticari kimyasal katkıları olan HEDP ve MDPA 500 ppm miktarı için kristalizasyon sıcaklığını konsantrasyona bağlı olarak 6 °C ila 10 °C arasında aşağı çekmektedir (Dirksen 2001).

3.3.2. Korozyon ve malzeme uygunluğu

LiBr-Su solüsyonu bir çok metale karşı oldukça agresif bir kimyasaldır. Absorbisyonlu sistemler hermetik olduklarından içlerindeki oksijen miktarı azdır. Bu sebeple korozyon oranları, imalatta tercih edilen metaller olan bakır ve karbon çeliği için oldukça düşüktür. Cihazın ömrünü uzatmak için temel iki önlem, pH kontrolü ve korozyon inhibitörleri kullanımıdır.

Korozyon metal iyonlarının katı yüzeyden ayrılarak oksijenle birleşmesiyle oluşan kimyasal bir reaksiyondur. Oksidasyon solüsyonun pH oranıyla kuvvetli şekilde bağlantılıdır. Zamanla sistem içinde hidrojen gazı birikir, küçük miktarda HBr (hidrobromik asit) hidrojen gazını nötralize etmekte yardımcı olur.

Lityum kromat , lityum molibden ve lityum nitrat gibi inhibitörler solüsyona % 1 den daha az miktarda katıldığında metal yüzeyde oksitlenmeye karşı düzenli bir kaplama oluştururlar. Farklı üreticiler değişik oranlarda inhibitör kullanmaktadırlar. Broad tarafından (Anonim 2009) lityum molibden için bu 170 ppm , lityum kromat için % 0,15 - 0,25 oranları verilmiştir.

Cihaz ömrünü arttırmak için uygun malzeme seçimi çok önemlidir. Bakır-nikel alaşımları yüksek sıcaklıklarda bakırdan daha dayanıklıdır. Gövdede normal çelik yerine paslanmaz çelik kullanmak maliyeti oldukça arttırdığından genellikle üreticiler tarafından tercih edilmemektedir.

3.3.3 Vakum ihtiyacı

Tek kademeli LiBr-Su solüsyonlu absorpsiyonlu soğutucular atmosfer basıncının altında çalışırlar. Çalışma basınçlarını suyun doyma sıcaklıkları belirler. Evaporatördeki 5 °C sıcaklık 0,872 kPa buhar basıncına karşılık gelmektedir. Son derece düşük olan bu basıncı sağlamak çeşitli zorlukları içermektedir. Bunlar:

- a. Buharın özgül hacminden dolayı büyük boyutlar
- b. Hermetik olarak sızdırmaz gövde zorunluluğu
- c. Sistemde üretilen gaza karşı olan hassasiyet
- d. Evaporatör dizaynında hidrostatik parametre etkisi

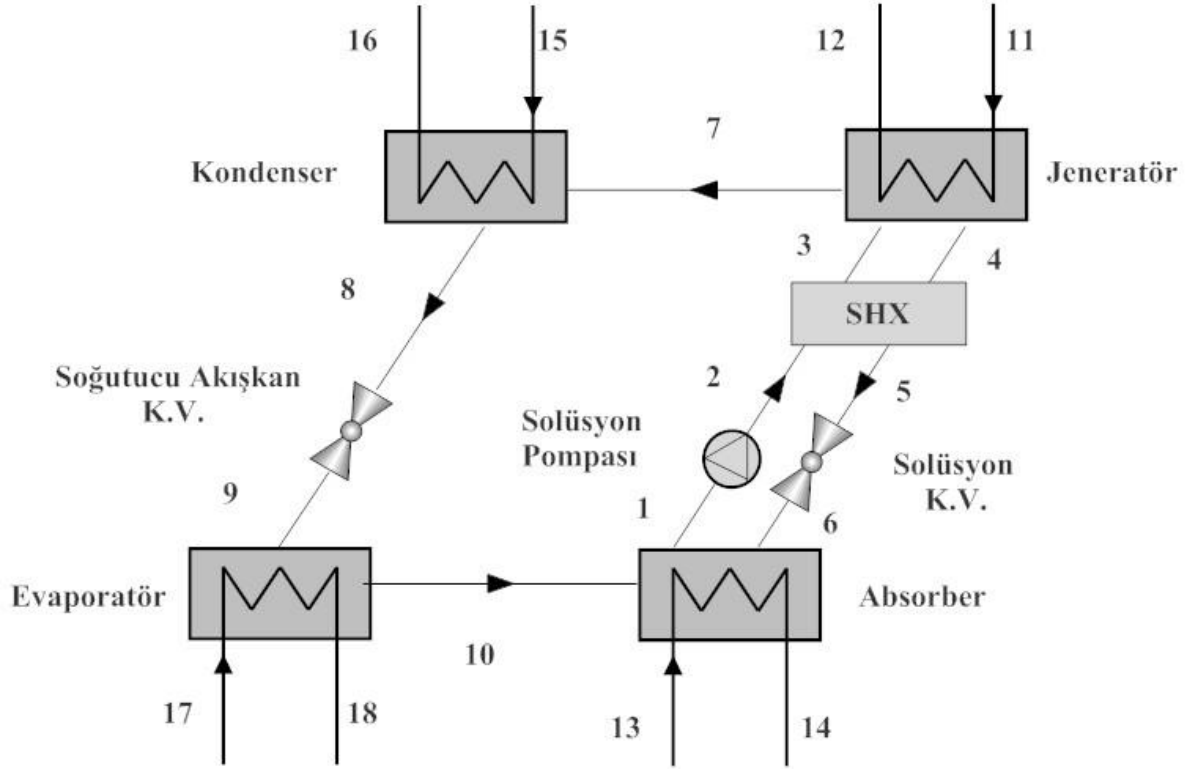
Absorpsiyonlu makinedeki en düşük basınç evaporatör ve absorberde bulunur. Tipik çalışma basıncında doymuş su buharının özgül hacmi oldukça yüksektir (1 kPa'da 129,2 m³/kg). Kamponentler arasında yüksek hıza ulaşan su buharı basınç kayıplarını artırır. Evaporatör ve absorber arasındaki basınç kaybı sistem veriminde ciddi oranda kayıba yol açar. Bu basınç kayıplarını azaltmak için absorber ve evaporatör eşanjörlerini aynı gövde içinde tasarlanırlar.

Sisteme hava sızması korozyon problemi yaratması dışında verimi düşüren en önemli faktördür. Korozyon sonucunda sistemde hidrojen üretimi oluşur. Sistemde biriken hidrojen sistem basıncını arttırarak kondenser ve absorberin performansını azaltır. Üretimden kaynaklanan hatalardan dolayı asal gazların sisteme sızması bu olumsuzluğu arttırabilir.

Evaporatörde sıvı yüksekliğin her 1 cm artışı için basınçta 0,09807 kPa artışa karşılık gelmektedir. Basınçtaki artış evaporatörde ulaşılabilecek en düşük sıcaklığı etkilemektedir. Örnek olarak 10 cm sıvı içinde bulunan evaporatörün kaynama yüzeyindeki sıcaklığı 16,3 °C olmaktadır. Bu durum havuz tipi evaporatörün pratik olmadığını göstermektedir. Üreticiler bunun yerine yatay borular üzerine soğutucu akışkanın püskürtüldüğü sprey şeklindeki evaporatörleri tercih etmektedirler.

3.4. LiBr-Su Çiftli Absorbisyonlu Soğutucu Sistemin Modellenmesi

Tek kademeli LiBr-Su çiftli sistem absorbisyonlu sistemlerin en basiti kabul edilebilir. Bu çevrimin şematik gösterimi dış akımlarla birlikte Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7. Tek kademeli LiBr-Su solüsyonlu soğutucunun şematik gösterimi

Çevrimdeki her noktanın termodinamik açıdan hangi durumda olduğunun anlaşılması modelleme açısından önemlidir. Akış üzerindeki noktalar Çizelge 3.3’de açıklanmıştır. Çizelge 3.3’de görüldüğü üzere üç nokta (1,4,8) doymuş sıvı, bir adet doymuş buhar (10) , üç adet aşırı soğutulmuş sıvı (2,3,5), bir adet kızgın buhar (7) ve iki adet çift fazlı nokta (6, 9) bulunmaktadır. Dış akımlar (11-18) doymuş sıvı kabul edilir.

Her iki kısılma işleminin sonucunda bir miktar buharlaşma oluşur. Bunun sonucunda bir miktar ısı düşüşü olur. Soğutucu akışkan kısılma işleminde bu düşüş daha fazladır. Solüsyon kısılma işleminde buharlaşma miktarını solüsyon ısı değiştiricisinin etkinliği belirler. Jeneratörden çıkan solüsyonun ısısı, solüsyon ısı eşanjöründe (SHX) ciddi oranda düştüğünden buharlaşmada az olur.

Çizelge 3.3. Termodinamik durum noktaları

Nokta	Durum	Açıklama
1	Doymuş sıvı solüsyon	Buhar kalitesi $x=0$ kabulü
2	Aşırı soğutulmuş likit solüsyon	Durum pompa modelinden hesaplanır
3	Aşırı soğutulmuş likit solüsyon	Durum shx modelinden hesaplanır
4	Doymuş likit solüsyon	Buhar kalitesi $x=0$ kabulü
5	Aşırı soğutulmuş likit solüsyon	Durum shx modelinden hesaplanır
6	Buhar-sıvı fazı solüsyon	Kısılma vanasında genişleme
7	Kızgın su buharı	Sıfır tuz miktarı kabulü
8	Doymuş sıvı su	Buhar kalitesi $x=0$ kabulü
9	Buhar-sıvı fazı su	Kısılma vanasında genişleme
10	Doymuş su buharı	Buhar kalitesi $x=1$ kabulü

Absorbsiyonlu sistemin termodinamik analizi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

1. Sistemin termodinamik analizi sürekli rejim şartları için yapılmıştır.
2. Jeneratörden ayrılan soğutucu akışkan basıncı jeneratör basıncında, sıcaklığı ise zengin ve fakir eriyik konsantrasyon ortalamasının doyma sıcaklığıdır.
3. Yoğuşturucudan ayrılan soğutucu akışkan, doymuş sıvı şartlarında saf sudur ve yoğuşturucu sıcaklığında yoğuşturucudan çıkar.
4. Buharlaştırıcıdan ayrılan soğutkan buharı, kuru doymuş buhar şartlarında ve buharlaştırıcı sıcaklığındadır.
5. Absorberden ayrılan eriyik, absorber basınç ve sıcaklığında denge halindedir.
6. Jeneratörden ayrılan eriyik, jeneratör sıcaklığı ve basıncında denge halindedir.
7. Sistemdeki basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
8. Absorber, jeneratör, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı gibi elemanların çevreye ısı kaybı yoktur.
9. Sisteme iş girişi ihmal edilmiştir , pompa işi çok küçüktür.

3.4.1. Sistemin termodinamik birinci kanun analizi

Absorbsiyonlu sistemin enerji analizi kütle, cins ve enerji korunumu kanunlarının uygulanmasıyla yapılır. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin her bir elemanı giriş ve çıkış akışlarıyla bir kontrol hacmidir. Kütle korunumu denklemleri her iki akışkan için (soğutucu ve absorbent) yazılır. Genel eşitlikler aşağıda verilmiştir:

Kütle korunumu :

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\phi \quad (3.2)$$

Tür korunumu :

$$\sum \dot{m}_g x_g = \sum \dot{m}_\phi x_\phi \quad (3.3)$$

Enerji korunumu :

$$\sum \dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi h_\phi - \sum \dot{m}_g h_g \quad (3.4)$$

\dot{Q} kontrol hacmiyle çevre arasındaki ısı transfer oranı, \dot{W} yapılan iş oranı olmak üzere absorpsiyonlu sisteme ait kamponentlerin kütle ve enerji denklemleri aşağıda elde edilmiştir (Şencan 2004).

Absorber:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_6 + \dot{m}_{10} \quad (3.5)$$

$$\dot{m}_1 x_1 = \dot{m}_6 x_6 + \dot{m}_{10} x_{10} \quad (3.6)$$

$$\dot{Q}_{ABS} = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_1 h_1 \quad (3.7)$$

$$\dot{Q}_{ABS} = \dot{m}_{13} (h_{14} - h_{13}) \quad (3.8)$$

Jeneratör:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \quad (3.9)$$

$$\dot{m}_3 x_3 = \dot{m}_4 x_4 + \dot{m}_7 x_7 \quad (3.10)$$

$$\dot{Q}_{JEN} = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_3 h_3 \quad (3.11)$$

$$\dot{Q}_{JEN} = \dot{m}_{11}(h_{11} - h_{12}) \quad (3.12)$$

Kondenser:

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (3.13)$$

$$\dot{Q}_{KON} = \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_8 h_8 \quad (3.14)$$

$$\dot{Q}_{KON} = \dot{m}_{16}(h_{16} - h_{15}) \quad (3.15)$$

Evaporatör:

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad (3.16)$$

$$\dot{Q}_{EVAP} = \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_9 h_9 \quad (3.17)$$

$$\dot{Q}_{EVAP} = \dot{m}_{17}(h_{17} - h_{18}) \quad (3.18)$$

Soğutucu akışkan kısılma vanası:

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_9 \quad (3.19)$$

$$h_8 = h_9 \quad (3.20)$$

Solüsyon kısılma vanası:

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (3.21)$$

$$h_5 = h_6 \quad (3.22)$$

Solüsyon pompası :

$$\dot{W}_p = \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_1 h_1 \quad (3.23)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (3.24)$$

$$x_1 = x_2 \quad (3.25)$$

Enerji eşitliği :

$$\dot{Q}_{ABS} + \dot{Q}_{KON} = \dot{Q}_{JEN} + \dot{Q}_{EVAP} + \dot{W}_p \quad (3.26)$$

Sistem analizinde kullanılan önemli bir parametre olan akış oranı :

$$F_r = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_7} = \frac{x_4}{x_4 - x_1} \quad (3.27)$$

Absorbsiyonlu soğutma sistemi için soğutma performans katsayısı, buharlaştırıcı ısı yükünün jeneratör ısı yüküne oranı olarak tanımlanmış olup aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$COP_{soğ} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_j + \dot{W}_p} = \frac{\dot{m}_{10}h_{10} - \dot{m}_9h_9}{\dot{m}_4h_4 + \dot{m}_7h_7 - \dot{m}_3h_3 + \dot{m}_2h_2 - \dot{m}_1h_1} \quad (3.28)$$

Absorbsiyonlu soğutma sistemi için COP farklı bir biçimde dış akımların oranı şeklinde de ifade edilebilir:

$$COP_{soğ} = \frac{\dot{m}_{17} \cdot (h_{17} - h_{18})}{\dot{m}_{11} \cdot (h_{11} - h_{12})} \quad (3.29)$$

Sistemin teorik olarak ulaşabileceği en yüksek verim olan Carnot performans katsayısı (soğutma için) buharlaştırıcı sıcaklığı T_{EVAP} , absorber sıcaklığı T_{ABS} , yoğuşturucu sıcaklığı T_{KON} ve jeneratör sıcaklığı T_{JEN} olmak üzere dört temel sıcaklığa bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir (Şencan, 2004):

$$COP_{C,soğ} = \left(\frac{T_{JEN} - T_{ABS}}{T_{JEN}} \right) \cdot \left(\frac{T_{EVAP}}{T_{KON} - T_{EVAP}} \right) \quad (3.30)$$

Isıtma tesir katsayısı :

$$COP_{isit} = \frac{Q_{KON} + Q_{ABS}}{Q_{JEN}} = COP_{soğ} + 1 \quad (3.31)$$

Soğutma tesir katsayısının Carnot soğutma tesir katsayısına oranı sistem verimi hakkında önemli bir parametredir. Boyutsuz tesir katsayısı olarak aşağıdaki şekilde yazılır:

$$\tau = \frac{COP_{soğ}}{COP_{C,soğ}} \quad (3.32)$$

3.4.2. Sistemin termodinamik ikinci kanun analizi

Termodinamiğin birinci kanun analizi enerjinin niceliğini ölçen geleneksel bir yöntemdir, yararlılığı ve kalitesi hakkında bilgi vermez. İkinci kanun analizi ise sistemdeki enerjinin niteliğinin de değerlendirilmeye yarar. Ekserji herhangi bir sistem için

akışkanın çevre şartlarına göre elde edilebilecek maksimum iş kapasitesi olarak tanımlanabilir. Sistemdeki her elemanın ekserji analizi yapılarak kaybın en çok olduğu bölgeler ve nedenleri tespit edilebilir. Böylelikle sistem üzerinde teknolojik iyileştirmeler yapma imkanına sahip olunur. Saf maddenin ekserjisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Çengel ve Boles 1996):

$$\varphi = (h - h_0) - T_0 \cdot (s - s_0) + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \quad (3.33)$$

kinetik ve potansiyel enerjinin toplamda etkisi sınırlıdır. Bu terimler ihmal edildiğinde;

$$\varphi = (h - h_0) - T_0 \cdot (s - s_0) \quad (3.34)$$

eşitliği elde edilir. h_0 ve s_0 değerleri, çevre sıcaklığındaki (ölü hal) entalpi ve entropiyi ifade etmektedir (Sözen 2001).

Absorbsiyonlu sistemlerde çalışma akışkanı olarak iki farklı madde kullanılarak bir karışım meydana getirildiğinden ekserji hesaplamalarında, karışımın konsantrasyonu da göz önünde bulundurulmalıdır. Oluşan eriyiğin ekserjisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Talbi ve Agnew 2000):

$$\varphi = [h(T, x) - h_0] - T_0[s(T, x) - s_0] \quad (3.35)$$

Absorbsiyonlu sistemi oluşturan her bir eleman, kontrol hacmi olarak düşünülürse, tersinmezlik veya ekserji kaybı aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Lee ve Sherif 2001):

$$\Delta\varphi = \sum \dot{m}_g \cdot \varphi_g - \sum \dot{m}_\zeta \cdot \varphi_\zeta - \left[\sum Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)_g - \sum Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)_\zeta \right] + \sum W \quad (3.36)$$

İlk iki terim, kontrol hacmine giren ve çıkan akışların ekserjisini ifade etmektedir. Üçüncü ve dördüncü terim, sabit bir T sıcaklığında transfer edilen ısının ekserjisini tanımlamaktadır. Son terim ise, kontrol hacmine verilen veya alınan mekanik işin ekserjisidir. Absorbsiyonlu sistemlerde genellikle bu terim ihmal edilmektedir (Şencan 2004).

Sistemdeki her bir kamponente ait ekserji kayıpları, giren ve çıkan akışların ekserji farkı alınarak hesaplanır:

Eriyik pompası:

$$\varphi_1 = (h_1 - h_0) - T_0 \cdot (s_1 - s_0) \quad (3.37)$$

$$\varphi_2 = (h_2 - h_0) - T_0 \cdot (s_2 - s_0) \quad (3.38)$$

$$\Delta\varphi_1 = (\dot{m}_1 \cdot \varphi_1) - (\dot{m}_2 \cdot \varphi_2) \quad (3.39)$$

Solüsyon kısılma vanası:

$$\varphi_5 = (h_5 - h_0) - T_0 \cdot (s_5 - s_0) \quad (3.40)$$

$$\varphi_6 = (h_6 - h_0) - T_0 \cdot (s_6 - s_0) \quad (3.41)$$

$$\Delta\varphi_2 = (\dot{m}_5 \cdot \varphi_5) - (\dot{m}_6 \cdot \varphi_6) \quad (3.42)$$

Solüsyon ısı değiştiricisi :

$$\varphi_2 = (h_2 - h_0) - T_0 \cdot (s_2 - s_0) \quad (3.43)$$

$$\varphi_4 = (h_4 - h_0) - T_0 \cdot (s_4 - s_0) \quad (3.44)$$

$$\varphi_3 = (h_3 - h_0) - T_0 \cdot (s_3 - s_0) \quad (3.45)$$

$$\varphi_5 = (h_5 - h_0) - T_0 \cdot (s_5 - s_0) \quad (3.46)$$

$$\Delta\varphi_3 = (\dot{m}_2 \cdot \varphi_2 + \dot{m}_4 \cdot \varphi_4) - (\dot{m}_3 \cdot \varphi_3 + \dot{m}_5 \cdot \varphi_5) \quad (3.47)$$

Jeneratör :

$$\varphi_3 = (h_3 - h_0) - T_0 \cdot (s_3 - s_0) \quad (3.48)$$

$$\varphi_{11} = (h_{11} - h_0) - T_0 \cdot (s_{11} - s_0) \quad (3.49)$$

$$\varphi_4 = (h_4 - h_0) - T_0 \cdot (s_4 - s_0) \quad (3.50)$$

$$\varphi_7 = (h_7 - h_0) - T_0 \cdot (s_7 - s_0) \quad (3.51)$$

$$\varphi_{12} = (h_{12} - h_0) - T_0 \cdot (s_{12} - s_0) \quad (3.52)$$

$$\Delta\varphi_4 = (\dot{m}_3 \cdot \varphi_3 + \dot{m}_{11} \cdot \varphi_{11}) - (\dot{m}_4 \cdot \varphi_4 + \dot{m}_7 \cdot \varphi_7 + \dot{m}_{12} \cdot \varphi_{12}) \quad (3.53)$$

Kondenser :

$$\varphi_7 = (h_7 - h_0) - T_0 \cdot (s_7 - s_0) \quad (3.54)$$

$$\varphi_{15} = (h_{15} - h_0) - T_0 \cdot (s_{15} - s_0) \quad (3.55)$$

$$\varphi_8 = (h_8 - h_0) - T_0 \cdot (s_8 - s_0) \quad (3.56)$$

$$\varphi_{16} = (h_{16} - h_0) - T_0 \cdot (s_{16} - s_0) \quad (3.57)$$

$$\Delta\varphi_5 = (\dot{m}_7 \cdot \varphi_7 + \dot{m}_{15} \cdot \varphi_{15}) - (\dot{m}_8 \cdot \varphi_8 + \dot{m}_{16} \cdot \varphi_{16}) \quad (3.58)$$

Soğutucu akışkan kısılma vanası:

$$\varphi_8 = (h_8 - h_0) - T_0 \cdot (s_8 - s_0) \quad (3.59)$$

$$\varphi_9 = (h_9 - h_0) - T_0 \cdot (s_9 - s_0) \quad (3.60)$$

$$\Delta\varphi_5 = (\dot{m}_8 \cdot \varphi_8) - (\dot{m}_9 \cdot \varphi_9) \quad (3.61)$$

Evaporatör :

$$\varphi_9 = (h_9 - h_0) - T_0 \cdot (s_9 - s_0) \quad (3.62)$$

$$\varphi_{17} = (h_{17} - h_0) - T_0 \cdot (s_{17} - s_0) \quad (3.63)$$

$$\varphi_{10} = (h_{10} - h_0) - T_0 \cdot (s_{10} - s_0) \quad (3.64)$$

$$\varphi_{18} = (h_{18} - h_0) - T_0 \cdot (s_{18} - s_0) \quad (3.65)$$

$$\Delta\varphi_7 = (\dot{m}_9 \cdot \varphi_9 + \dot{m}_{17} \cdot \varphi_{17}) - (\dot{m}_{10} \cdot \varphi_{10} + \dot{m}_{18} \cdot \varphi_{18}) \quad (3.66)$$

Absorber :

$$\varphi_6 = (h_6 - h_0) - T_0 \cdot (s_6 - s_0) \quad (3.67)$$

$$\varphi_{10} = (h_{10} - h_0) - T_0 \cdot (s_{10} - s_0) \quad (3.68)$$

$$\varphi_{13} = (h_{13} - h_0) - T_0 \cdot (s_{13} - s_0) \quad (3.69)$$

$$\varphi_1 = (h_1 - h_0) - T_0 \cdot (s_1 - s_0) \quad (3.70)$$

$$\varphi_{14} = (h_{14} - h_0) - T_0 \cdot (s_{14} - s_0) \quad (3.71)$$

$$\Delta\varphi_4 = (\dot{m}_6 \cdot \varphi_6 + \dot{m}_{10} \cdot \varphi_{10} + \dot{m}_{13} \cdot \varphi_{13}) - (\dot{m}_1 \cdot \varphi_1 + \dot{m}_{14} \cdot \varphi_{14}) \quad (3.72)$$

Absorbsiyonlu sistemin toplam ekserji kaybı, bütün sistem elemanlarının ekserji kayıplarının toplamına eşit olup aşağıdaki gibi ifade edilir (Talbi ve Agnew 2000):

$$\Delta_T = \sum_{i=1}^8 \Delta\varphi_i \quad (3.73)$$

Ekserji verimi, sistemden elde edilen ekserjinin sisteme verilen ekserjiye oranı şeklinde ifade edilebilir . Soğutma uygulamaları için ekserji verimi, buharlaştırıcıdaki soğutulmuş suyun ekserjisinin jeneratördeki ısı kaynağının ekserjisine oranı olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki gibi yazılabilir: (Lee ve Sherif 2001).

$$\Psi_{soğ} = \frac{\dot{m}_{17} \cdot (\varphi_{18} - \varphi_{17})}{\dot{m}_{11} \cdot (\varphi_{11} - \varphi_{12})} \quad (3.74)$$

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin soğutma ile birlikte ısıtma uygulamalarında kullanılması mümkündür. Ortam soğutmasıyla eş zamanda, absorber ve kondenserden atılan orta dereceli sıcak suyun isteğe bağlı kullanılması (havuz , banyo kullanım suyu ısıtması, vb.) durumunda sistemin ısıtma ekserji verimi absorber ve kondenser ekserji toplamının jeneratördeki ısı kaynağının ekserjisine oranı olarak ifade etmek mümkündür (Lee ve Sherif, 2001):

$$\Psi_{ısıt} = \frac{\dot{m}_{15} \cdot (\varphi_{16} - \varphi_{15}) + \dot{m}_{13} \cdot (\varphi_{14} - \varphi_{13})}{\dot{m}_{11} \cdot (\varphi_{11} - \varphi_{12})} \quad (3.75)$$

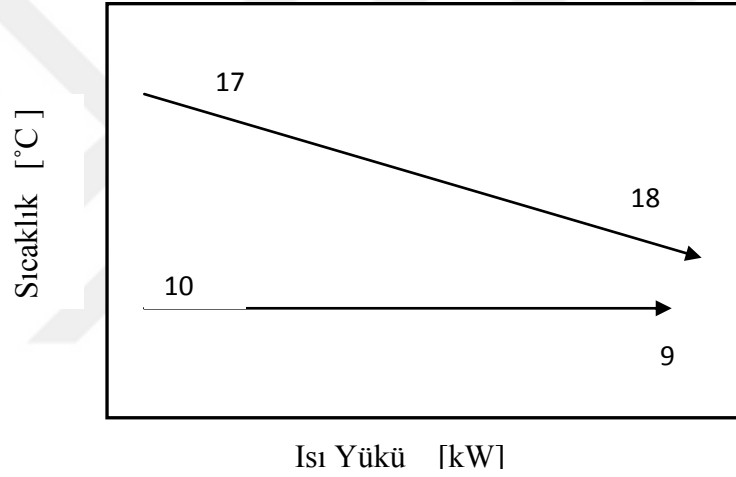
3.4.3. Isı değiştiricilerinin tasarımı

Absorbsiyonlu sistemlerin eşanjör alanlarını bulmak için çeşitli modeller literatürde bulunmaktadır. Bunlar sabit sıcaklık farkı, UA modeli ve eşanjör verimliliği şeklinde sıralanabilir. Eşanjör modellemesi sırasındaki en basit yaklaşımlar sabit sıcaklık farkı yöntemi olduğundan başlangıç hesaplamalarında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. UA modeli , U toplam ısı transfer katsayısı , A eşanjör ısı transfer yüzey alanı olmak üzere eşanjör modellemesinde tek terim olarak kolaylık sağlar.

$$\dot{Q}_i = UA \Delta T_{lm} \quad (3.76)$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,1}-T_{c,1})-(T_{h,2}-T_{c,2})}{\ln\left(\frac{T_{h,1}-T_{c,1}}{T_{h,2}-T_{c,2}}\right)} \quad (3.77)$$

Burada \dot{Q} ısı yükü, ΔT_{lm} logaritmik sıcaklık farkıdır. Bu yaklaşımın zayıf tarafı iteratif çözümlenmede logaritmik sıcaklık ifadesinden dolayı uygun çözümün bazı durumlarda bulunamamasıdır. Diğer zorluk ise, toplam ısı transfer katsayısının bir çok değişkene bağlı olarak (debi ,sıcaklık, basınç) değişmesidir. Modellemeyi kompleks hale getirmemek açısından hesaplamalarda UA değeri sabit olarak alınır. Evaporatördeki akışkan sıcaklıklarının değişimi Şekil 3.8’de görülmektedir. Faz değişiminden dolayı dokuz ila on noktaları arasında sıcaklık sabit kabul edilir.

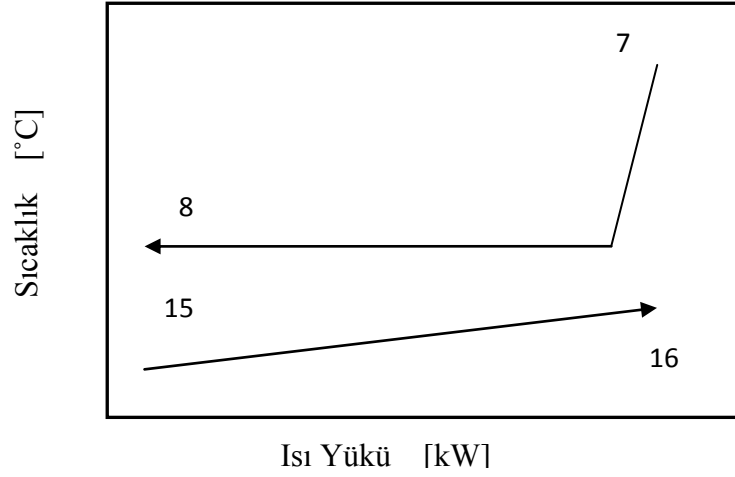


Şekil 3.8. Evaporatördeki sıcaklık değişim diyagramı

Evaporatördeki logaritmik sıcaklık farkını veren denklem ,

$$\Delta T_{lm_{evap}} = \frac{(T_{17}-T_{10})-(T_{18}-T_{10})}{\ln\left(\frac{T_{17}-T_{10}}{T_{18}-T_{10}}\right)} \quad (3.78)$$

şeklindedir. Kondenserde jeneratörden çıkan kızgın su buharı yedi noktasından önce doymuş su buharı haline gelir. Daha sonra soğutma kulesinden gelen suyun etkisiyle faz değişimi gerçekleştirilerek doymuş sıvı haline geçer (Şekil 3.9). Hesaplamalarda yedi ile sekiz noktaları arasındaki kızgın buhar etkileri ihmal edilir.

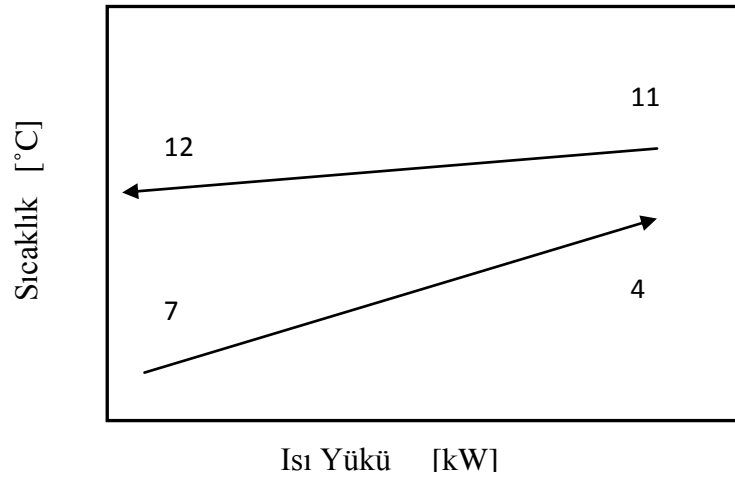


Şekil 3.9. Kondenserdeki sıcaklık değişim diyagramı

Kondenserdeki logaritmik sıcaklık farkını veren denklem ,

$$\Delta T_{lm_{kon}} = \frac{(T_8 - T_{15}) - (T_8 - T_{16})}{\ln\left(\frac{T_8 - T_{15}}{T_8 - T_{16}}\right)} \quad (3.79)$$

şeklindedir. Jeneratördeki sıcaklık değişimleri Şekil 3.10'da görülmektedir. Fakir solüsyonun jeneratöre girişindeki (üç noktası) aşırı soğutulmuş bölgenin etkisi göz ardı edilmiştir.

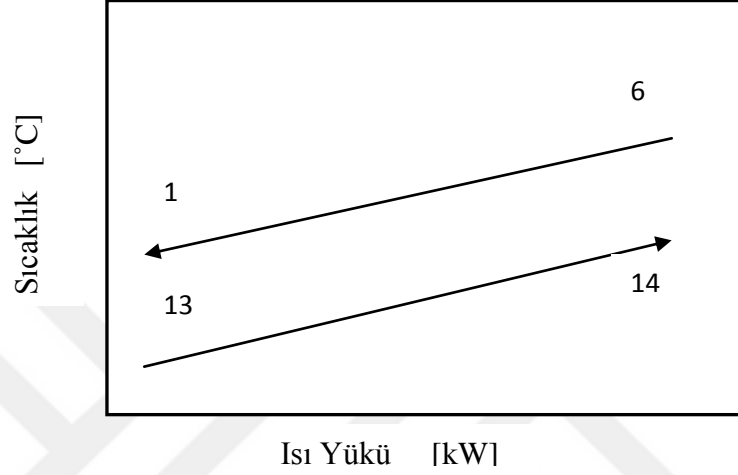


Şekil 3.10. Jeneratördeki sıcaklık değişim diyagramı

Jeneratördeki logaritmik sıcaklık farkını veren denklem ,

$$\Delta T_{ln_{jen}} = \frac{(T_{11}-T_4)-(T_{12}-T_7)}{\ln\left(\frac{T_{11}-T_4}{T_{12}-T_7}\right)} \quad (3.80)$$

şeklindedir. Absorberdeki sıcaklık değişimleri Şekil 3.11’de görülmektedir.

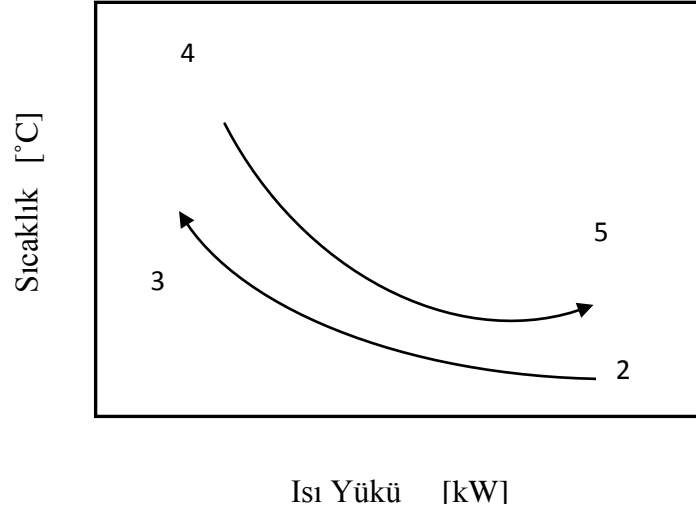


Şekil 3.11 Absorberdeki sıcaklık değişim diyagramı

Absorberdeki logaritmik sıcaklık farkını veren denklem ,

$$\Delta T_{ln_{abs}} = \frac{(T_6-T_{14})-(T_1-T_{13})}{\ln\left(\frac{T_6-T_{14}}{T_1-T_{13}}\right)} \quad (3.81)$$

şeklindedir. Solüsyon ısı değiştiricisine dört noktasından giren zengin eriyik iki noktasından giren fakir eriyiğin sıcaklığını arttırarak beş noktasından çıkar. Bu işlem sırasında herhangi bir faz değişimi yaşanmaz (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. SHX sıcaklık değişim diyagramı

Solüsyon ısı değiştiricisinde (SHX) logaritmik sıcaklık farkını veren denklem ,

$$\Delta T_{lmshx} = \frac{(T_4 - T_3) - (T_5 - T_2)}{\ln\left(\frac{T_4 - T_3}{T_5 - T_2}\right)} \quad (3.82)$$

şeklindedir.

3.5. Toplam Isı Transfer Katsayılarının Hesaplanması

Isı transfer katsayılarını etkileyen bir çok parametre vardır. Çoğunlukla hesaplanan değerlerle gerçek çalışma şartlarında elde edilen değerler arasında farklılıklar bulunur. Bununla birlikte eşanjör tasarımlarında uygun korelasyonlar kullanılarak tasarım için yaklaşımda bulunulması faydalıdır. Toplam ısı transfer katsayısı boru dış yüzeyine göre (Özışık 1985) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{D_d}{D_i}\right) \cdot \frac{1}{h_i} + \left(\frac{D_d}{D_i}\right) \cdot F_i + \left[\frac{1}{2.k}\right] \cdot D_d \ln\left(\frac{D_d}{D_i}\right) + F_d + \frac{1}{h_d}} \quad (3.83)$$

Çoğu zaman boru cidar kalınlığının ($D_d - D_i$) düşük olması, iç ve dış kirlilik (F_i, F_d) faktörlerinin ihmal edildiği durumda ifade aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir:

$$U_{BST} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_d}\right)} \quad (3.84)$$

Burada h_i ve h_d boru içi ve dışındaki ısı transfer katsayılarıdır. Boru içindeki akışın ısı transfer katsayısı açısından türbülanslı olması tercih edilir. Cihaz tasarımında debi, geçiş sayısı, boru çapı ve adedi gibi parametrelerle oynanarak bu kolaylıkla sağlanabilir. Literatürde boru içinden akışla alakalı çok sayıda korelasyon mevcuttur. Bu korelasyonlardan geniş bir Re sayısı aralığı için geçerli olan Gniolinski eşitliği kullanılmıştır (Kılıç ve Yiğit 2014).

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re_d - 1000)Pr}{1 + 12,7\left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}}(Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad (3.85a)$$

$$0,5 \leq Pr \leq 2000, \quad 5 \cdot 10^6 \geq Re_d \geq 2300$$

Pürüzsüz borular için sürtünme faktörü,

$$f = (0,79 \ln Re - 1,64)^{-2} \quad (3.85b)$$

eşitliğinden bulunur. Dış ısı transfer katsayısı her eşanjör için kendi karakteristik şartlarına göre bulunmalıdır.

3.5.1. Evaporatör

Film tipi ısı transferinde, ısı transfer katsayısının yüksek olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte düşük basınçlardaki davranışları farklılık göstermektedir. Li ve arkadaşları (2011) vakum altında yaptıkları çalışmada farklı Re sayılarında ($21,6 < Re < 108,1$) dış ısı transfer katsayısını düz boru için $2-4 \text{ kW/m}^2\text{K}$, farklı tipte kanatlı borular için $5-12 \text{ kW/m}^2\text{K}$ aralığında değiştiğini bulmuşlardır. Maksimum ısı transfer katsayısının $Re=64,9$ için gerçekleştiğini, borular arasındaki performans farkının artan Reynolds sayısı ile azalma eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir. Çekirdek kaynamanın yüksek vakum altında (1000 Pa) ihmal edilebilecek seviyede olduğu bu şartlarda sadece konvektif buharlaşma olduğu vurgulanmıştır. Reynolds sayısı, boru başına akış oranı Γ (kg/ms) ve dinamik viskozite μ (kg/ms) olmak üzere, $Re = 4\Gamma/\mu$, şeklinde tanımlanır. Düz borular için ısı transfer katsayısı, boruların tam ıslak olduğu ($Re > 54$):

$$Nu_{wet} = 182,1 Re^{-1,56} \quad (3.86)$$

Kısmi ıslaklık durumu ($54,1 < Re$) :

$$Nu_{dry} = Nu_{wet} \left(\frac{Re}{Re_{tran}} \right)^{2,67} \quad (3.87)$$

Re_{tran} ısı transfer katsayısının maksimum olduğu değerdir . Deneysel olarak 54,1 verilmiştir. Kanatlı tip borular için ısı transfer katsayısının artış oranını veren ifade :

$$\frac{h_{d,f}}{h_d} = 5,635 * Bo^{-0,164} Re^{-0,426} \left(\frac{L_h}{L} \right)^{0,732} \quad (3.88)$$

L boru boyu, L_h ıslak boru boyu olmak üzere, $L_h = L + \frac{2k_h L}{k_s}$

şeklinde hesaplanır. Bond sayısı (Bo) yerçekiminin yüzey gerilimine oranı (σ), k_h kanat yüksekliği, k_s kanat adım uzunluğu temsil etmek üzere :

$$Bo = \frac{\rho g k_h k_s}{\sigma} \quad (3.89)$$

şeklinde ifade edilir.

Ribatski ve ark. 2005 yılındaki çalışmalarında Parken'den aktardığı (1990) üzere konveksiyonun etkili olduğu ısı transferinde tek bir düz borudaki Nusselt sayısı,

$$Nu = 0,042 Re^{0,15} Pr \quad (3.90)$$

Çekirdek kaynamanın etkili olduğu durumda , q'' özgül ısı akısı olmak üzere:

$$Nu = 0,00082 Re^{0,10} Pr q''^{0,4} \quad (3.91)$$

korelasyonları dış ısı transfer katsayılarının hesaplanmasında kullanılabilir. Diğer bir çalışmada dış ısı transfer katsayısının 4-10 kW/m²K aralığında ve ısı akısıyla arttığı belirtilmiştir (Yang ve Shen 2008).

Xu ve arkadaşlarının 2004 yılındaki çalışmalarında laminer akış şartlarında ($Re < 108,1$) farklı boru tipleri için dış ısı transfer katsayısının değişimi deneysel olarak ortaya konulmuştur. En yüksek ısı transfer katsayıları $40 < Re < 80$ arasında elde edilmiştir. Boruların, Re 64,8 değeri için uygun film kalınlığıyla kaplı olduğu belirtilmiştir. Pürüzsüz borular ile kanatçıklı borular arasında dış ısı transfer katsayıları arasında üç

kata kadar (4-12 kW/m²K) fark olduğu belirtilmiş, kanatçık sayılarının 26-40 fpi arasında olması ısı transferi açısından daha uygun olduğu gösterilmiştir.

3.5.2. Kondenser

Radyal sistemlerde film tipi yoğuşma için dış transfer katsayısı (Incropera ve ark. 2007):

$$\bar{h}_D = C \cdot \left[\frac{g \cdot (\rho_l - \rho_v) \cdot h_{fg}' \cdot k_l^3}{\mu_l (T_{sat} - T_s) \cdot D} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3.92)$$

buradaki C katsayısı kürede 0,826 , borularda 0,729 şeklindedir. Bu eşitlikteki likit özellikler film sıcaklığında, $T_f = (T_{sat} + T_s)/2$, ρ_v ve h_{fg} ise doyma sıcaklığında (T_{sat}) alınır. Modifiye faz değişim entalpisi, $h_{fg}' = h_{fg} + C_p(T_{sat} - T_s)$ şeklindedir. Dikey olarak N adet sıralanması durumunda ortalama ısı taşınım katsayısı:

$$\bar{h}_{D,N} = 0,729 \cdot \left[\frac{g \cdot (\rho_l - \rho_v) \cdot h_{fg}' \cdot k_l^3}{N \cdot \mu_l (T_{sat} - T_s) \cdot D} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3.93)$$

şeklindedir.

3.5.3. Absorber

LiBr-Su solüsyonlu absorberler üzerinde literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Boruların ıslaklık oranını etkileyen solüsyon akış oranının ısı transfer katsayısı üzerinde ciddi etkisi olduğu çeşitli çalışmalarda vurgulanmıştır. Fujita (1993) yatay borulu absorberlerde ısı transfer katsayısını düşük akış oranında (0,01 kg/ms) 0,5 kW/m²K , göreceli yüksek akış oranında (0,024 kg/ms) 1,2 kW/m²K şeklinde vermiştir (Killion ve Garimella 2003). Diğer bir çalışmada absorber performansının 0,02 kg/ms değerinden daha düşük akış oranlarında hızlı şekilde düştüğü bununla birlikte 0,04 kg/ms değerinin üzerinde film kalınlığını arttırdığından yüksek akış oranlarında ters etki yaptığı vurgulanmıştır (Jeong ve Garimella 2002). Hoffmann ve ark. (1996) akış oranına ek olarak absorpsiyon performansını etkileyen diğer parametreleri solüsyon konsantrasyonu ,solüsyon ve soğutma kulesi suyu sıcaklığı şeklinde belirtmişlerdir. Aynı çalışmada toplam ısı transfer katsayısını farklı çalışma

koşullarında 200 - 1900 W/m²K arasında olduğu deneysel çalışmada ortaya konulmuştur.

Dış ısı transfer katsayısı için değişik korelasyonlar mevcuttur. Birbirinden oldukça farklı neticeler veren bağıntılardan ,Cosenza and Vliet 1990:

$$Nu = \frac{(h.d_f)}{k_f} = a . Re_f^b \quad (3.94)$$

k_f : ortalama absorber sıcaklığı ve konsantrasyonunda ısı iletim katsayısı

d_f : boru çevresindeki ortalama film kalınlığı

$$d_f = \left(\frac{3\mu_f \tau_f}{\rho_f^2 g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.95)$$

μ_f : solüsyon viskozitesi

τ_f : boru birim boyundaki film akış debisi

Amerikalı absorpsiyonlu sistem üreticileri tarafından soğutma suyu absorber giriş sıcaklığı 29,4 °C için Nusselt sayısı aşağıdaki şekilde verilmiştir (Goodheart 2000) :

$$Nu = 0,0048 . Re_f^{1,6258} \quad (3.96)$$

Bredow yatay borulu LiBr-Su solüsyonlu absorber için 2008 yılında ortalama dış ısı transfer katsayısını 1500 - 2000 W/m²K aralığında vermiştir. Bu değer diğer çalışmalarda bulunan değerlere 1500 W/m²K (Deng ve Ma 1999), 500-1500 W/m²K (Soto ve Pinazo 2003) benzediğini belirtmişlerdir.

3.5.4. Jeneratör

Jeneratör solüsyonun doyma sıcaklığına kadar olan duyulur ısı ve buharlaşması için gerekli olan gizli ısı ihtiyacını karşılar. Duyulur ısı pratikte toplam ısı ihtiyacının % 13'ü civarındadır (Herold ve ark 1996). Buharlaşma ısı ise suyun buharlaşması ve solüsyonun gizli ısısından oluşmaktadır.

LiBr-Su solüsyonlu film tipi jeneratörlerle alakalı literatürde az sayıda çalışma mevcuttur. Havuz tipi jeneratörler için ortalama ısı transfer katsayısı 1600-7500

W/m^2K (Varma ve ark 1994) şeklinde verilmiştir. Isı transfer katsayısı solüsyon konsantrasyonu ve ısı akısıyla yakından bağlantılıdır. Düşük konsantrasyon ve yüksek ısı akısında ısı transfer katsayısı artış eğilimi gösterir (Florides ve ark 2003).

Dikey tip borular kullanılan havuz tipi kaynama için Gupta ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada ısı transfer katsayısını ısı akısı (q''), boru çapı (D) ve yüksekliğine (B_h) bağlı olarak veren bağıntı geliştirmişlerdir:

$$h_b = 0,0865(q'')^{0,66} \left(\frac{B_h}{D}\right)^{0,53} \quad (3.97)$$

Aynı boru çapı ve uzunluğunda düşük ısı akısında ($q''=2,6 \text{ kW/m}^2$) ısı transfer katsayısı $0,23 \text{ kW/m}^2K$ gerçekleşirken yüksek ısı akısında ($q''=31,8 \text{ kW/m}^2$) ısı transfer katsayısı $2,7 \text{ kW/m}^2K$ değerine yükseldiği belirtilmiştir.

Dikey boru içinden akış halinde ısı transfer katsayısını araştıran çalışmada (Shi ve ark 2010) ısı transfer katsayısını $1100 - 1700 \text{ W/m}^2K$ aralığında bulmuşlardır. Solüsyon giriş konsantrasyonu (x_i), ısı akısı (q'') ve Reynolds sayısına (Re) bağlı olarak ısı transfer katsayısını aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir:

$$h = 129,771x_i^{-0,8058} q''^{0,2422} Re^{-0,0856} \quad (3.98)$$

Yatay borulu film tipi jeneratörler için üreticiler tarafından verilen basitleştirilmiş korelasyonlar film Reynolds sayısı, $Re_f = 4\Gamma/\mu_f$, olmak üzere düz borular için:

$$h = 824Re_f^{0,24} \quad (3.99)$$

kanatlı borular için ,

$$h = 1130Re_f^{0,27} \quad (3.100)$$

şeklinde verilmektedir (Goodheart 2000). Denklemdaki katsayılar metrik birime göre düzenlenmiştir. Akış oranı, N kolondaki boru sayısı, L boru uzunluğu olmak üzere,

$$\Gamma = \frac{\dot{m}_7}{2LN} \quad (3.111)$$

şeklindedir.

3.6. Küçük Kapasiteli Absorbsiyonlu Soğutma Pazarı

Temel olarak endüstriyel, konutsal ve ticari olarak üç türlü kullanım alanı bulunmaktadır. Endüstriyel bir çok uygulamada oluşan atık ısının absorbsiyonlu sistemler kullanılarak gerek proseste, gerekse iklimlendirmede kullanılması mümkündür. Konut ve ticari binalarda güneş eneji ve kojenerasyon sistemlerinin absorbsiyonlu sistemlerle birlikte kullanılması verimli sonuçlar vermektedir.

Absorbsiyonlu sistemler geleneksel olarak büyük kapasitelerde (100 RT üstünde) imal edilirler. Bununla birlikte son yıllarda ufak kapasiteli sistemlerin araştırma ve imalatında artış gözlenmektedir. Konvansiyonel sistemlerin pazar paylarının yanında son derece düşük bir pazar payına sahip olan absorbsiyonlu sistemler çevre dostu olmaları nedeniyle son dönemde çeşitli projelerle desteklenmektedir. Avrupa Birliği tarafından Solheatcool, Asodeco, Sace, Rococo, Sahc, Camelia, Solarcombi isimli projeler güneş enerjisiyle Polysmart (Şekil 3.13) ise atık ısı ile absorbsiyonlu sistemler kullanılarak iklimlendirme yapılmasının uygunluğunu araştıran projelere örnek olarak verilebilir (Labus 2011).



Şekil 3.13. Polysmart (2006-2010, 32 firma)

Bütün bu çalışmalara paralel olarak küçük kapasiteli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin üretiminde artış görülmüştür. Çizelge 3.4’de pazarda bu gruptaki ürünlerle alakalı genel bilgiler görülmektedir.

Çizelge 3.4. Küçük kapasiteli absorpsiyonlu soğutucu üreticileri (Labus 2011)

Üretici	Ülke	Etki Sayısı	Solüsyon	Soğutma Kapasitesi [kW]	COP
AGO	Almanya	Tek	NH ₃ – H ₂ O	50	0,61
Broad	Çin	Çift	H ₂ O – LiBr	16/23	1,2
Cooltec5	USA	GAX	NH ₃ – H ₂ O	17,6/35	0,68
Climatewell	İsveç	Tek	H ₂ O – LiCl	10	0,68
EAW Wergcall	Almanya	Tek	H ₂ O – LiBr	15/30	0,75
Pink	Avusturya	Tek	NH ₃ – H ₂ O	10/12	0,63
Rinnai Osaka gas	Japonya	Tek	H ₂ O – LiBr	6,7	1,2
Robur	İtalya	Tek	NH ₃ – H ₂ O	17,7	0,7
Rotartica	İspanya	Tek	H ₂ O – LiBr	4,5	0,67
Solarice	Almanya	Tek	NH ₃ – H ₂ O	25/40	0,6
Sonnenklima	Almanya	Tek	H ₂ O – LiBr	10	0,78
Termax	Hindistan	Tek	H ₂ O – LiBr	17,5/35	0,7
Yazaki	Japonya	Tek	H ₂ O – LiBr	17,6/35	0,7
Yazaki	Japonya	Çift	H ₂ O – LiBr / LiCl/LiI	28	0,85

Enerji verimliliğine yönelik Dünya’da ki çalışmalara paralel olarak Türkiye’de son dönemde yayınlanan yönetmeliklerle merkezi ısıtma ve soğutma sistemlerine yönelik düzenlemeler yapılmıştır. Enerjinin değerinin daha da artacağı önümüzdeki yıllarda absorpsiyonlu sistemler karakteristikleri itibariyle iklimlendirme uygulamalarında enerji verimliliği açısından en uygun sistemlerdir. Bununla birlikte konut alanında geniş uygulama alanları bulabilmesi için yeni tasarımlara ihtiyaç bulunmaktadır. İklimlendirme sektör büyüklüğü her yıl artan nüfus ve konfor arayışıyla artmaktadır. Klima sektörü büyüklüğü 2011 yılında Dünya’da 70 milyar USD, Türkiye’de 1,2 milyar USD olarak gerçekleşmiştir (Bıykoğlu 2011). İklimlendirme uygulamalarında çeşitli

sistemler kullanılmakta olup split klimaların kullanımı yoğundur (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Türkiye iklimlendirme pazarı cihaz satışları, 2010 yılı (Bıyıkoglu 2011)

Cihaz Tipi	İmalat / İthalat		Adet	İç Satış Miktarı
Split klima	1 382 000	434 000	1 816 000	1 142 000
VRF klima	0	129 000	129 000	117 000
Kanallı Split klima	307	5 800	6 160	5 021
Pencere tipi klima	0	4 211	4 211	-
Çatı/Paket tipi klima	439	1 169	1608	-
Fan coil üniteleri	54 641	72 138	126 777	99 115

Split klimalar mevcut binalara uygulaması kolay, fiyatı ekonomiktir. Bununla birlikte görüntü kirliliği ve elektrik sistemine getirdiği yükler olumsuz yönleridir. Türkiye’de gerek mevcut inşaat sektörünün büyüklüğü gerekse düşünülen kentsel dönüşüm projeleri bu alanda fırsatlar sunmaktadır. Çizelge 3.6’da konut sektöründeki trend görülmektedir.

Çizelge 3.6. Türkiye İnşaat sektöründe alınan yapı kullanma izin belgeleri 2008-2012 (Anonim 2013)

Yıl	Yapı Sayısı	Daire Sayısı	Toplam Alan [m²]
2012	94 636	546 086	103 833 172
2011	98 434	557 073	106 119 997
2010	82 131	429 755	85 281 468
2009	94 772	469 981	94 567 769
2008	76 069	357 286	70 957 036

Bina kat sayılarına göre bakıldığında son dönemdeki beş katlı binaların oranı yüksektir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Kat sayılarına göre daire sayıları 2012 yılı, bin adet (Anonim 2013)

Kat Sayısı	4	5	6	7	10+
Daire Sayısı	85	144	130	69	169

Konut harici yapılan bina tiplerine baktığımızda ise Türkiye’de Absorbsiyonlu soğutma sistemlerin kullanılabilmesi çeşitli ticaret ve kamu binalarının yıllık toplam kullanım alanının 2012 yılında 20 milyon m²’den büyük olduğu görülmektedir (Anonim 2013).

Enerji verimliliği politikasına paralel gerek özel sektörde gerekse kamu binalarında trijenerasyon uygulamalarında artış görülmektedir. Bazı örnek uygulamaların sonuçlarına göre sayılarının önümüzdeki yıllarda artacağı öngörülebilir. Buna örnek olarak 2012 yılında hizmete giren 300 yatak kapasiteli Manisa Turgutlu hastanesi gösterilebilir. TOKİ tarafından yapılan bu hastanede doğalgaz kullanılarak elektrik elde edilmesinin yanında hastanenin ısıtma ve soğutma ihtiyacının belli bölümünde karşılanmaktadır. Turgutlu Hastanesi bu yönüyle kamu hastaneleri arasında bir ilk ve kendinden sonraki kamu yatırımları için örnek olma özelliği taşıyor (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Manisa Turgutlu hastanesi (Anonim 2012a)

Konutların kullanım alanları kat sayılarına göre ufak farklılıklar göstermektedir.

Beş katlı binalar için 107 m^2 , altı katlı binalar için 113 m^2 , 10 kat üstü dairelerde 133 m^2 civarındadır (Anonim 2013). Binalar genel olarak her katta çift daireli olarak yapılmaktadır. En çok yapı stoğunun altı katlı binalarda olduğu göz önüne alındığında yaklaşık 1200 m^2 kullanım alanına göre absorpsiyonlu sistem kapasitesinin seçilmesi pazar açısından uygun görülebilir. Soğutma yükü coğrafi bölgelere ve bina yapısına göre değişmekle birlikte kaba bir değerle 100 m^2 kullanım alanı için 10 kW, 1200 m^2 için ise 120 kW alınabilir. Eşdeğer kullanım faktörünü hesaba kattığımızda bu değerler düşecektir. Bununla birlikte referans değer olarak alınabilir. İklimlendirme sistemlerinde yedekli çalıştırma belli büyüklüğün üstündeki sistemler rutin bir uygulamadır. Genellikle 1+1 veya 2+1 şeklinde ünitelerle sistemin arıza ve bakım durumlarında % 50 - % 66 kapasitelerde kesintisiz çalışması sağlanabilir. Bu şekilde bir yaklaşım yapıldığında konut sektörü için uygun absorpsiyonlu soğutucu ünite kapasitesinin 40-60 kW civarında olması varsayılabilir.

Soğutucu piyasasında yaygın olarak kullanılan birim soğutma ton (RT) olarak verilir. Genel olarak soğutma sistemleri bu birime uygun şekilde imal edilirler. Prototip kapasitesi karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla 10 RT (35 kW) soğutma kapasitesinde seçilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Bilgisayar Destekli Analiz

Termodinamik hesaplamaları yapmak için kullanışlı bir program olan Engineering Equation Solver (EES) profesyonel versiyonu kullanılmıştır. İlgili termodinamik kütüphaneler program içinde bulunmaktadır. Bunun yanında literatürde su/buhar için ASHRAE Fundamentals Handbook 1985, LiBr/Su çözeltisi için özgül ağırlık ve entropi dışında Talbi ve Agnew (2000) , entropi ve özgül ağırlık için Chua (2000) tarafından verilen korelasyon ve tablolar karşılaştırma için kullanılmıştır.

Birinci kanun analizi ile sistemin her noktasındaki sıcaklık (T), basınç (P), entalpi (h) , kütleli debi (\dot{m}) , solüsyon konsantrasyonu (x), soğutucu akışkan kalitesi (q) bulunacaktır. Sisteme ait kamponentlerin ısı güçleri hesaplanarak soğutma performans katsayısı (COP), boyutsuz tesir katsayısı (τ) araştırılacaktır. İkinci kanun analizi ile ekserji (ϕ_i), ekserji kayıpları ($\Delta\phi_i$), ekserji verimi (Ψ) bulunacaktır.

Sistemin boyutlandırılması bir sonraki adımdır. Çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak logaritmik sıcaklık değerleri elde edilir. Ardından herbir eşanjör için iç ve dış ısı transfer katsayıları literatürdeki bağıntılar yardımıyla bulunur. Toplam ısı transfer katsayılarının (U) iki değere bağlı olarak basitleştirilerek bulunmasının ardından her eşanjörün ısı transfer yüzey alanları hesaplanır. Sistemin boyutlandırılması kullanılacak eşanjör borularının sayısına göre yapılacaktır.

4.1.1. Absorbsiyonlu sistem çalışma şartları

Absorbsiyonlu sistemlerinin performans ölçümlerinde genel olarak kullanılan Amerikan ANSI/ARI 560 standartıdır. Bu standart LiBr-Su çifti kullanan, tek ve çift etkili absorpsiyonlu soğutucuların soğutma performans katsayısının performanslarının ölçümünde kullanılmaktadır. İlgili standarta göre ölçüm koşulları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Absorber/kondenser ve evaporatör için koşullar belirlenmiş, jeneratör sıcak su değerleri değişken olduğundan sabit değerler verilmemiştir.

Çizelge 4.1. Tek kademeli sıcak su beslemeli absorpsiyonlu soğutma sisteminin standart ölçüm koşulları, ANSI/ARI Standart 560

Standart Ölçüm Koşulları	
	Tek Kademeli Sistem
Absorber / Kondenser Suyu	
Su Giriş Sıcaklığı	85.0 F (29.4 °C)
Su Debisi	3.6 gpm/ton (0.065 L/s kW)
Su Tarafı Kirlilik Faktörü	0.000044 m ² °C/W
Evaporatör Suyu	
Su Çıkış Sıcaklığı	44 F (6.7 °C)
Su Debisi	2.4 gpm/ton (0.043 L/s kW)
Su Tarafı Kirlilik Faktörü	0.000018 m ² °C/W
Jeneratör	
Sıcak Su Giriş Sıcaklığı	A
Sıcak Su Çıkış Sıcaklığı	A
Sıcak Su Debisi	A
Boru tarafı Kirlilik Faktörü (Sıcak Su)	0.000018 m ² °C/W
<i>A Üretici tarafından belirlenen şartlar</i>	

4.1.2. Termodinamik analiz

Eşanjör tiplerine göre minimum ΔT değerleri seçilmelidir. Kondenser ve evaporatörde 2-3 K yeterli olurken, jeneratörde minimum 5 K olmalıdır. Pratikte bu değerler iki katı civarındadır. Hesaplamalar için kabul edilen başlangıç değerleri Çizelge 4.2’de görülmektedir. Debiler ilgili standarta göre soğutma kapasitesi dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Absorbsiyonlu sistem tasarım değerleri

Açıklama	Simge	Değer
Soğutma kapasitesi	\dot{Q}_e	35 [kW]
Solüsyon jeneratör çıkış sıcaklığı	T_4	90 [°C]
Soğutma suyu giriş sıcaklığı	T_{13}, T_{15}	29,4 [°C]
Evaporatör soğutulmuş su çıkış sıcaklığı	T_{18}	6,7 [°C]
Solüsyon eşanjör verimlilik katsayısı	ϵ_{shx}	0,6
Soğutma suyu debisi	\dot{m}_{15}	2,275 [kg/s]
Evaporatör soğutulmuş su debisi	\dot{m}_{17}	1,505 [kg/s]

Kondenser ve absorber aynı soğutma kulesinden paralel şekilde beslendiği kabul edilmiştir ($T_8 = T_1$).

Hesaplamalar EES’de oluşturulan termodinamik model vasıtasıyla yapılmıştır (EK 3). Model üzerinde belirtilen tüm noktalara ait termodinamik değerler Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Ekserji hesabında ölü hal sıcaklığı 25 °C, basıncı 100 kPa olarak alınmıştır.

Çizelge 4.3. Tek kademeli absorbsiyonlu sisteme ait termodinamik değerler

Nokta	T [°C]	P [kPa]	\dot{m} [kg/s]	x	Q	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	ϕ [kJ/kg]
1	37,4	0,854	0,1384	0,5668		95,76	0,2195	34,87
2	37,4	6,418	0,1384	0,5668		95,77	0,2195	34,87
3	63,12	6,418	0,1384	0,5668		147,2	0,3788	38,78
4	90	6,418	0,1236	0,6351		232	0,4829	92,55
5	58,44	6,418	0,1236	0,6351		174,4	0,3168	84,5
6	51,79	0,854	0,1236	0,6351	0,0047	174,4	0,329	80,87
7	81,41	6,418	0,01488		1	2652	8,556	105,8
8	37,4	6,418	0,01488		0	156,6	0,5374	0,9558
9	4,7	0,854	0,01488		0,055	156,6	0,5643	-7,066
10	4,7	0,854	0,01488		1	2509	9,031	-178,9
11	100		2,266			419,1	1,307	34,07
12	95		2,266			398,1	1,25	25,95
13	29,4		2,275			123,3	0,4282	0,2348
14	34,19		2,275			143,4	0,4939	0,6813
15	29,4		2,275			123,3	0,4282	0,2348
16	33,3		2,275			139,7	0,4818	0,5749
17	12,25		1,505			51,61	0,1841	1,274
18	6,7		1,505			28,35	0,1018	2,552

Uygulama şartlarında absorpsiyonlu soğutma sistemleri için kullanılan ANSI/ARI 560-2000 Amerikan test standartına göre: soğutulmuş su çıkış sıcaklığı: 4,4-8,9 °C ve debisi 0,03-0,05 lt/s.kW , absorber / kondenser su girişi, 26,7-32,2 °C ve debisi 0,05-0,11 lt/s.kW değerleri arasında olması beklenmektedir. Sonuçlar bu değerlere uygundur. Sisteme ait eşanjör yükleri , birinci ve ikinci kanun verimleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Absorpsiyonlu sistem EES modeli sonuçları

Açıklama	Sembol	Değer	Birim
Soğutma kapasitesi	\dot{Q}_{EVAP}	35	kW
Jeneratöre verilen ısı güç	\dot{Q}_{JEN}	47,75	
Absorberden çevreye atılan ısı güç	\dot{Q}_{ABS}	45,62	
Kondenserden çevreye atılan ısı güç	\dot{Q}_{KON}	37,13	
Solüsyon eşanjör ısı gücü	\dot{Q}_{SHX}	7,114	
Solüsyon pompası gücü	\dot{W}_p	0,0048	
Soğutma performans katsayısı	COP	0,733	
Carnot soğutma performans katsayısı	COP_c	1,055	
Boyutsuz tesir katsayısı	τ	0,695	
Ekserji verimi	Ψ	0,2059	

4.1.3. Eşanjör alanları

Sisteme ait eşanjör alanlarını bulmak için öncelikle her eşanjöre ait UA değerleri ortalama logaritmik sıcaklık farkına bağlı olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Absorbsiyonlu sisteme ait eşanjörlerin logaritmik sıcaklık farkı ve UA değerleri

Ortalama logaritmik sıcaklık farkı [K]		Toplam ısı transfer katsayısı ve eşanjör alanı [kW/K]	
$\Delta T_{ln_{evap}}$	4,179	UA_{evap}	8,376
$\Delta T_{ln_{kon}}$	5,833	UA_{kon}	6,365
$\Delta T_{ln_{jen}}$	11,7	UA_{jen}	4,08
$\Delta T_{ln_{abs}}$	12,17	UA_{abs}	3,748
$\Delta T_{ln_{shx}}$	23,84	UA_{shx}	0,2984

Toplam ısı transfer katsayılarının her kamponent için hesaplanması gerekmektedir. Sistem geometrisi, akışkan özelliklerine göre değişen toplam ısı transfer katsayıları daha

önce verilmiş denklemlerle bulunmuştur. Hesaplamalar alakalı kod EK 3’de verilmiştir. Çizelge 4.6’de toplam ısı transfer katsayıları ve buna bağlı olarak eşanjör alanları verilmiştir.

Çizelge 4.6. Absorbsiyonlu sistem eşanjörleri toplam ısı transfer katsayıları ve ısı transfer yüzey alanları

Toplam ısı transfer katsayısı [kW/m ² K]		Isı transfer yüzey alanları [m ²]	
U_{evap}	1,5	A_{evap}	5,584
U_{kon}	1,3	A_{kon}	4,896
U_{jen}	1,0	A_{jen}	4,08
U_{abs}	0,68	A_{abs}	6,246
U_{shx}	2,00	A_{shx}	0,1492

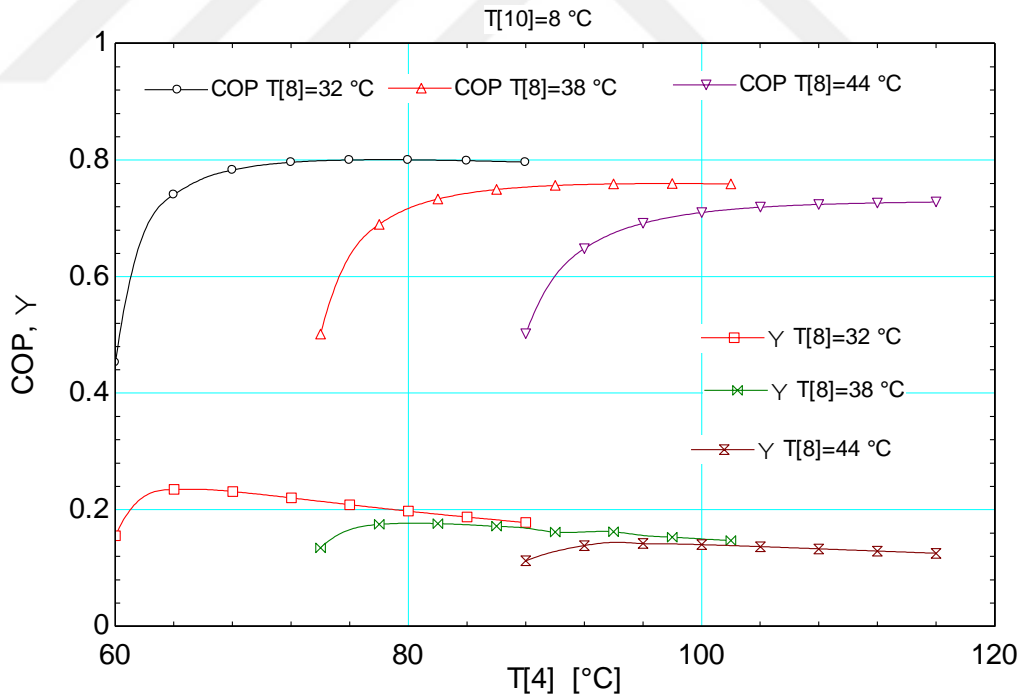
Boru içindeki akış için ısı taşınım katsayısı her eşanjördeki debiye bağlı olarak değişmekle birlikte hesaplamalarda sadeleştirme olması bakımından ortalama boru sayısına göre sabit alınmıştır. Dış ısı transfer katsayıları farklı çalışmalarda absorber için 0,5-2,5 kW/m²K (Bredow ve ark 2008), 0,5-1,5 kW/m²K (Soto ve Pinazo 2003) , evaporatör için 4-10 kW/m²K (Yang ve Shen 2007), 2-6 kW/m²K, yoğuşma için 4-15 kW/m²K (Uche ve ark 2002), jeneratör için 0,8-1,7 kW/m²K (Shi ve ark. 2010) .

Görüldüğü gibi ısı transfer alanları ısı transfer katsayıları ile direk bağlantılıdır. Eşanjör boru adetleri ($N_{eş}$), alan (A), boru boyu (L) ve boru çapı cinsinden (D) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$N_{eş} = \frac{A}{\pi \cdot D \cdot L} \quad (3.112)$$

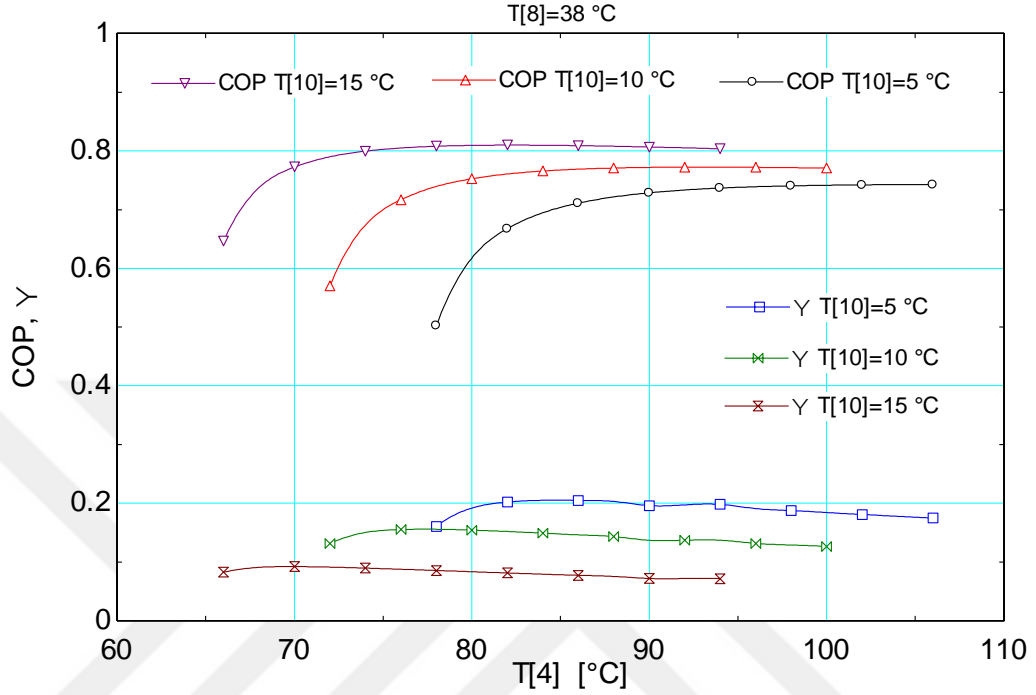
4.2. Sistem Performansını Etkileyen Unsurlar

Çoğu zaman absorpsiyonlu sistem standart koşullardan farklı değerler altında çalışmaktadırlar. Sistem performansını etkileyen çok sayıda parametre bulunmaktadır. Sistem performansını etkileyen unsurların gereği şekilde bilinmesi absorpsiyonlu sistemin tasarımı için oldukça önemlidir. Tek kademeli absorpsiyonlu sistemin çalışabilmesi için minimum jeneratör sıcaklığına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu sıcaklık kondenser basıncına direk olarak bağlantılıdır. Kondenser basıncını soğutma kulesinden gelen suyun sıcaklığı belirler. Soğutma kulesindeki su sıcaklığı pratikte o bölgedeki yağ termometre sıcaklığının birkaç derece üstüdür. Şekil 4.1’de solüsyon jeneratör çıkış sıcaklığına bağlı olarak soğutma performans katsayısı COP ve ekserji veriminin, Ψ , değişimi görülmektedir. Soğutma kulesi giriş sıcaklığının artmasıyla her iki verimde düşüş görülmektedir. COP değeri belli bir sıcaklığa kadar hızlı bir biçimde artarken daha sonra düz bir hat izlemektedir. Jeneratör sıcaklığının daha fazla artmasının COP üzerinde etkisi olmazken ekserji verimi üzerinde bir miktar düşüşe sebep olmaktadır. Bunun nedeni artan jeneratör sıcaklığının kondenser ve absorber sıcaklıklarını yükselterek tersinmezliklerini arttırmasıdır.



Şekil 4.1. Değişik kondenser sıcaklıklarında jeneratör sıcaklığına bağlı COP ve Ψ değişimi

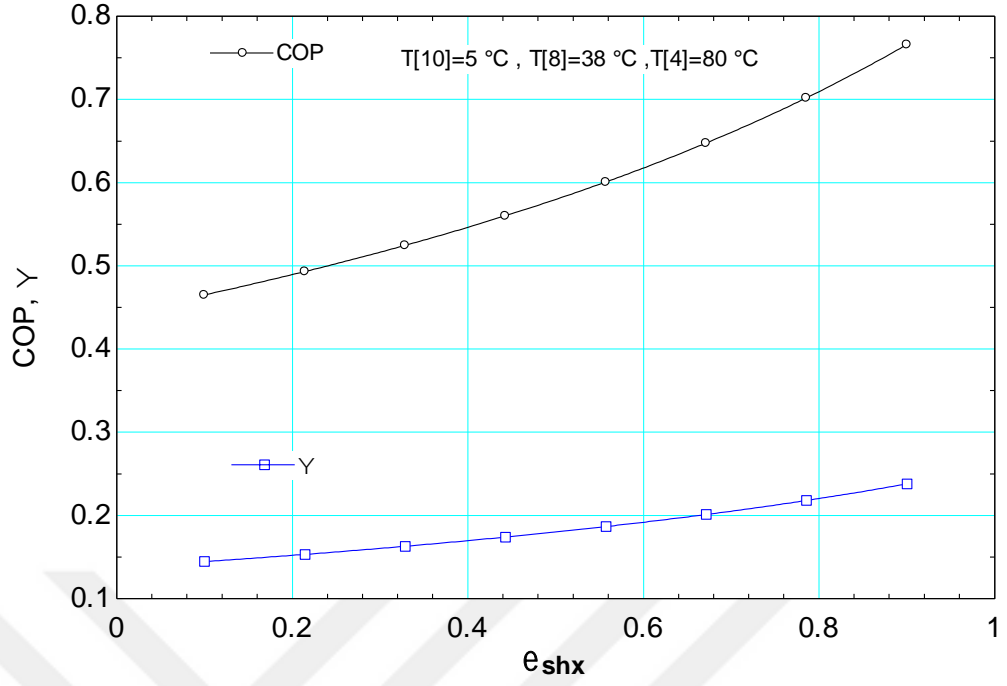
Soğutulmuş suyun evaporatörden çıkış sıcaklığının sistem performansına etkisi Şekil 4.2 'de görülmektedir. Düşük evaporatör sıcaklığında COP düşürken ekserji verimi tersine artış göstermektedir.



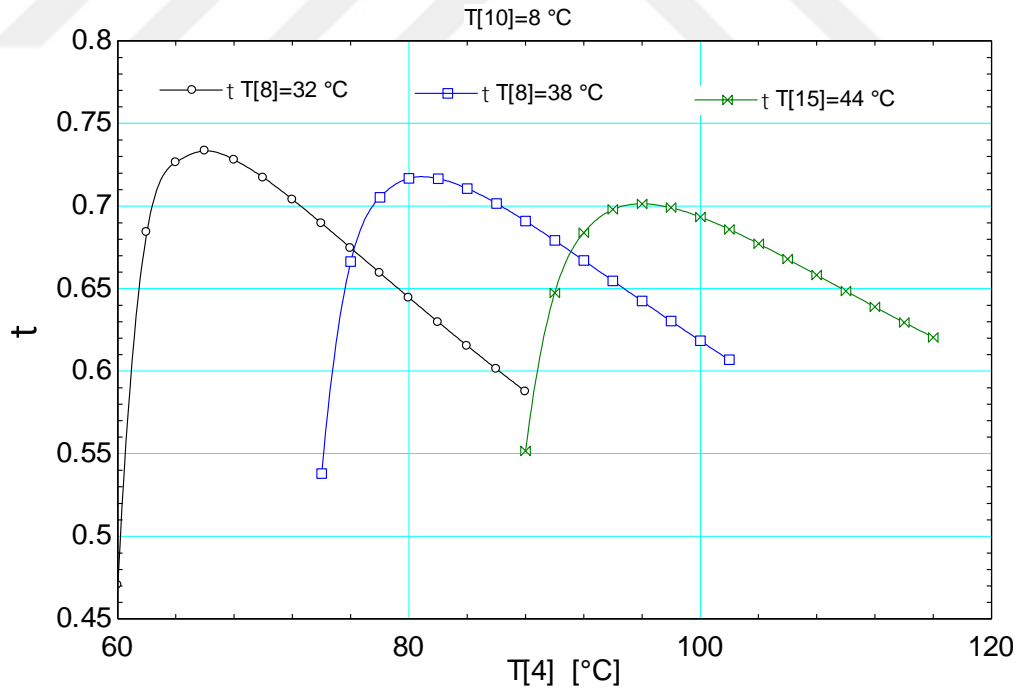
Şekil 4.2. Değişik evaporatör sıcaklıklarında jeneratör sıcaklığına bağlı COP ve Ψ değişimi

Solüsyon eşanjörünün sistem performansı üzerindeki etkisi büyüktür. Aynı çalışma şartlarında etkinlik katsayısının (ϵ_{shx}) 0,1 değeri için COP yalnızca 0,49 olurken 0,9 değeri için 0,81'e (% 61 artış), ekserji verimi ise 0,14'ten 0,24'e (% 71 artış) ulaşmaktadır (Şekil 4.3).

Soğutma performansının ulaşılabilecek en yüksek verim olan Carnot verimine oranı olan boyutsuz tesir katsayısının değişimi Şekil 4.4'de görülmektedir. Düşük soğutma kulesi suyu sıcaklığında boyutsuz tesir katsayısı daha yüksektir. Jeneratör sıcaklığının COP üzerinde kondenser sıcaklığına bağlı olarak belli bir noktadan sonra artış sağlamaması boyutsuz tesir katsayısında azalmaya neden olmaktadır (Şekil 4.5).

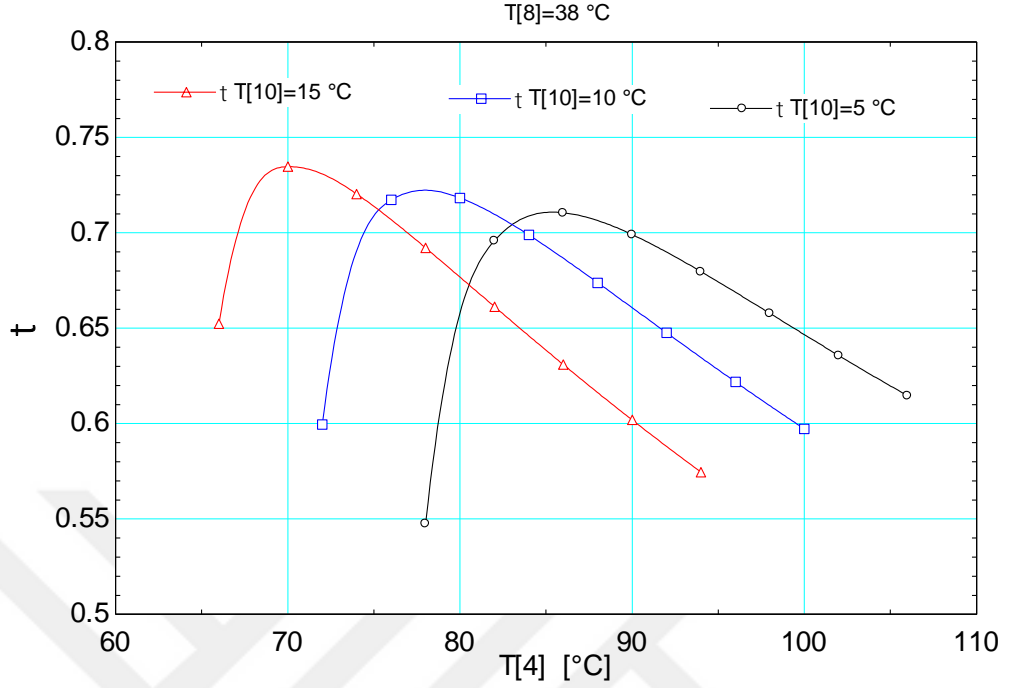


Şekil 4.3. Solüsyon eşanjörü etkinlik katsayısına göre COP ve Ψ değişimi



Şekil 4.4. Boyutsuz tesir katsayısının farklı kondenser sıcaklıklarında bağlı olarak değişimi

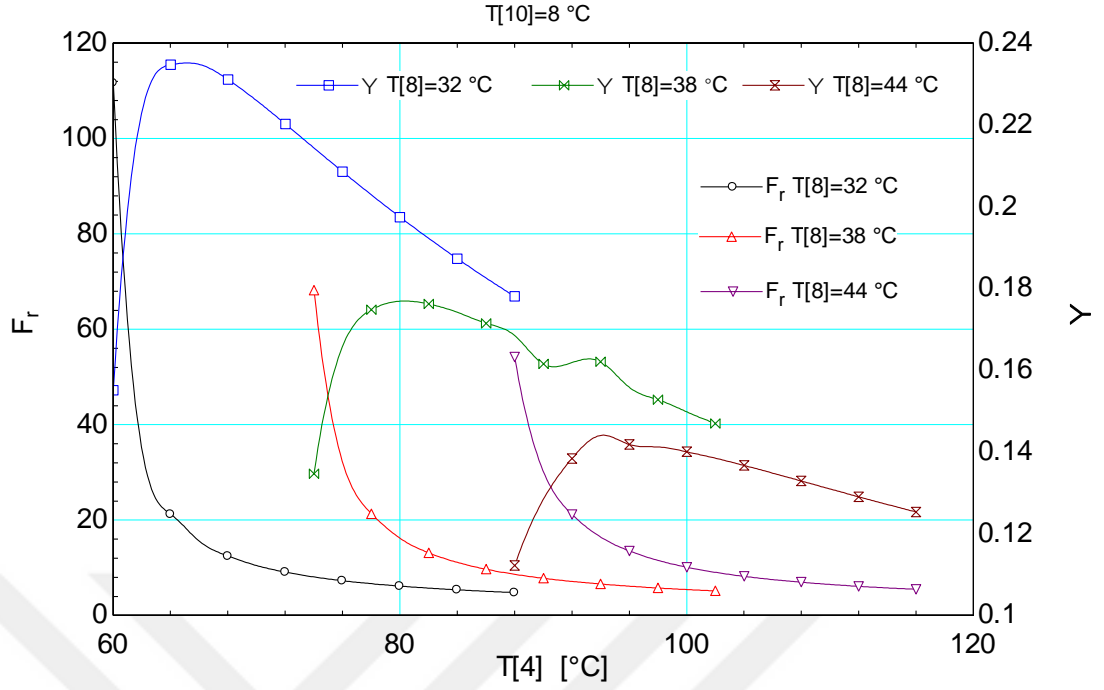
Evaporatör sıcaklığının düşmesi boyutsuz tesir katsayısını azaltmaktadır (Şekil 4.5).



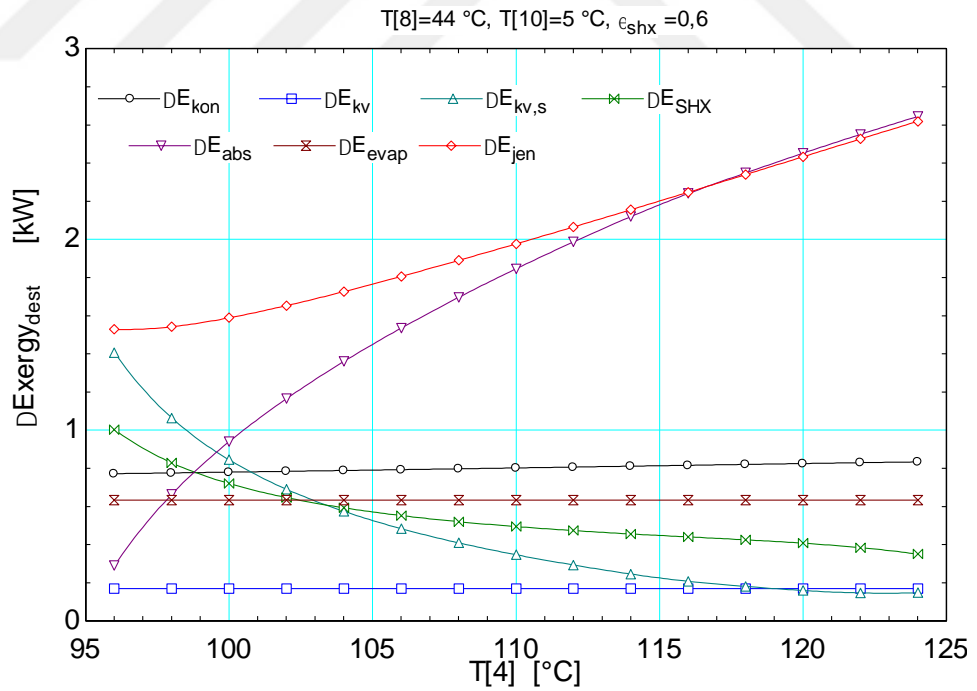
Şekil 4.5. Boyutsuz tesir katsayısının farklı evaporatör sıcaklıklarında bağlı olarak değişimi

Düşük jeneratör sıcaklıklarında çalışma durumunda sistemin COP değerinin düşük olmasının yanı sıra akış oranının yüksek olmasında neden olur. Bu solüsyon pompasına düşen iş miktarını artırır. Ekserji verimiyle akış oranı arasındaki yakın ilişki bulunmaktadır. Kondenser sıcaklığı 32 °C'de ekserji verimini maksimum (0,235) yapan akış oranı 15,56 olurken kondenser sıcaklığı 44 °C için ekserji değerini maksimum (0,144) yapan değer 16,41 olarak gerçekleşmektedir (Şekil 4.6).

Sistemdeki ekserji kayıplarının büyük kısmı jeneratör ve absorberde oluşmaktadır. Jeneratör sıcaklığına paralel olarak jeneratörde ve absorberde ekserji kaybı yükselirken solüsyon eşanjörü ve solüsyon kısılma vanasındaki ekserji kaybı azalmaktadır. Kondenserde jeneratörden gelen su buharının sıcaklığının etkisiyle göreceli olarak önemsiz bir artış oluşmaktadır. Ekserji kaybında büyüklük sıralaması jeneratör, absorber, kondenser, evaporatör, solüsyon eşanjörü, solüsyon kısılma vanası ve soğutucu akışkan vanasıdır (Şekil 4.7).



Şekil 4.6. Ekserji verimi ve akış oranının jeneratör sıcaklığına bağlı değişimi



Şekil 4.7. Sistem elemanlarının ekserji kayıplarının jeneratör sıcaklığına bağlı değişimi

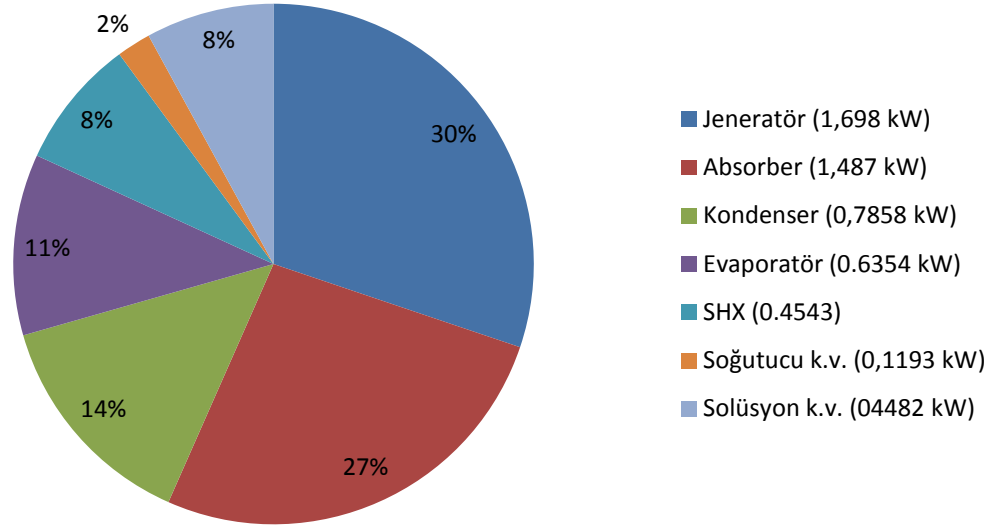
Toplam ekserji kaybı her bir sistem elemanındaki ekserji kayıplarının bileşkesidir. Jeneratör sıcaklığının 100 °C’de toplam ekserji kaybı minimum olarak gerçekleşirken artan sıcaklığa paralel olarak yükselmektedir. Çizelge 4.7 incelendiğinde kondenserdeki kısıtlı değişime oranla absorberde ekserji kaybının hızlı şekilde arttığı, solüsyon eşanjöründe ve solüsyon kısılma vanasında azaldığı fark edilmektedir. Jeneratör ve absorberdeki artış oranının daha fazla olmasından dolayı toplam ekserji kaybı artmaktadır.

Çizelge 4.7. Jeneratör sıcaklığına bağlı olarak sistem elemanlarındaki ekserji kayıpları (T[8]=44 °C , T[10]=5 °C, ε=0,6)

T[4] [°C]	ΔE_{kon} [kW]	ΔE_{kv} [kW]	ΔE_{kvs} [kW]	ΔE_{shx} [kW]	ΔE_{abs} [kW]	ΔE_{evap} [kW]	ΔE_{jen} [kW]	ΔE_{top} [kW]
96	0.771	0.169	1.406	1.002	0.2903	0.632	1.528	5.798
98	0.775	0.169	1.063	0.8277	0.6627	0.632	1.541	5.671
100	0.7792	0.169	0.8439	0.7194	0.9388	0.632	1.588	5.671
102	0.7834	0.169	0.6895	0.6457	1.164	0.632	1.652	5.736
104	0.7878	0.169	0.5736	0.5921	1.359	0.632	1.726	5.84
106	0.7922	0.169	0.4826	0.5514	1.535	0.632	1.805	5.967
108	0.7966	0.169	0.4085	0.5194	1.695	0.632	1.889	6.11
110	0.8012	0.169	0.3462	0.4937	1.845	0.632	1.976	6.263
112	0.8058	0.169	0.2923	0.4727	1.986	0.632	2.064	6.422
114	0.8104	0.169	0.2449	0.4551	2.119	0.632	2.155	6.585
116	0.815	0.169	0.207	0.4396	2.24	0.632	2.246	6.749
118	0.8196	0.169	0.1803	0.4243	2.348	0.632	2.339	6.912
120	0.8242	0.169	0.1586	0.4066	2.451	0.632	2.432	7.074
122	0.8286	0.169	0.1459	0.3831	2.55	0.632	2.526	7.234
124	0.8329	0.169	0.1473	0.3495	2.644	0.632	2.618	7.393

Standart çalışma koşullarında ekserji kayıplarının toplam ekserji kaybı (5,626 kW) içindeki oranları jeneratör % 30, absorber % 27, kondenser % 14, evaporatör % 11,

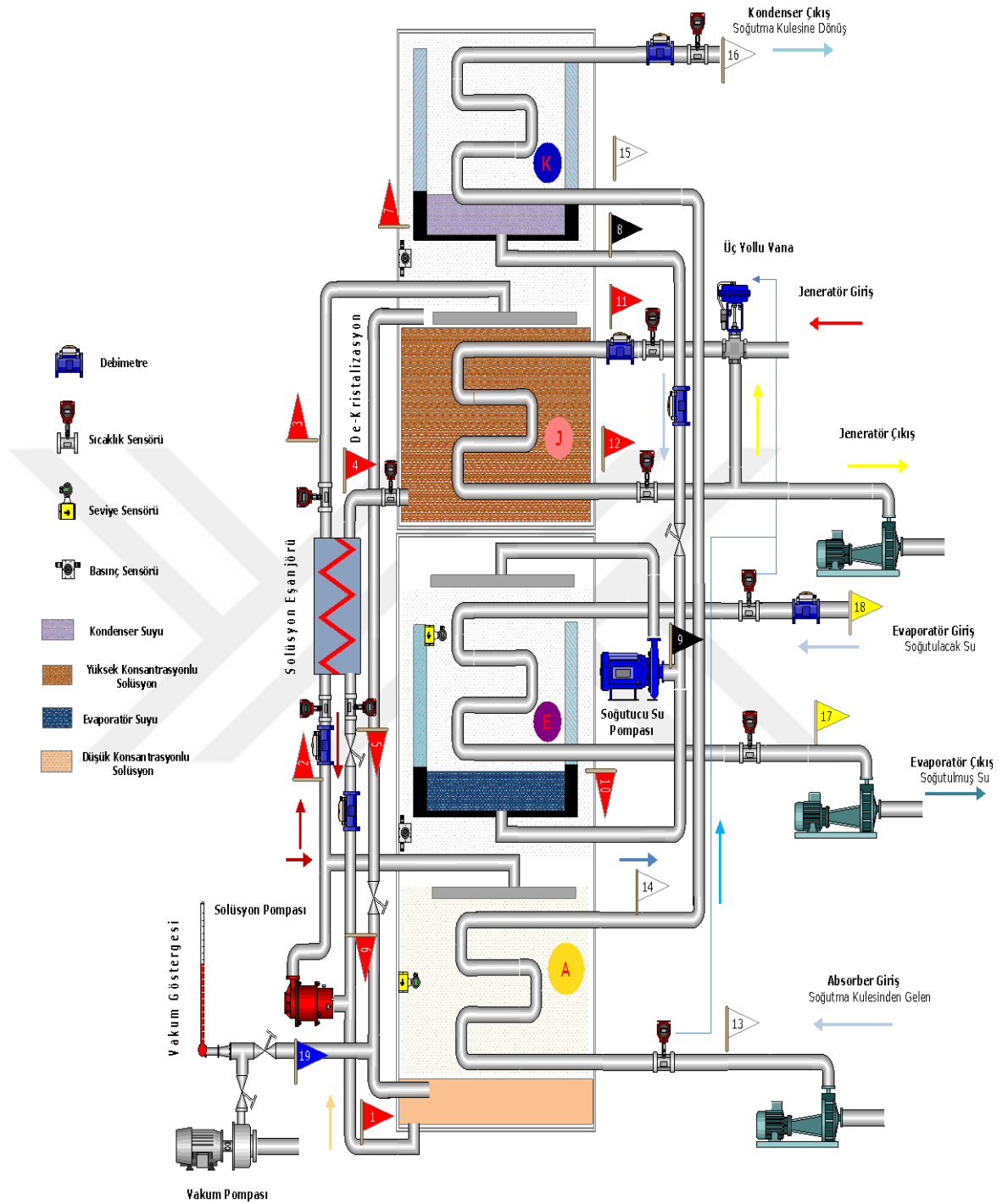
solüsyon eşanjörü % 8, solüsyon kısılma vanası % 8, soğutucu kısılma vanası % 2 dir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Absorbsiyonlu sistem elemanlarının standart şartlar altındaki ekserji kayıplarının oransal dağılımı

4.3. Prototip Tasarımı

Absorbsiyonlu soğutma sisteminin fiziksel tasarımı üreticilere göre çeşitlilik göstermektedir. Tek kademeli sistem için temel olarak iki konfigürasyon bulunmaktadır. İlk konfigürasyonda bütün proses tek bir hacim içinde gerçekleşmektedir. İkinci konfigürasyonda kondenser-jeneratör ve evaporatör-absorber eşanjörleri ayrı gövdeler içinde bulunmaktadır. Hangi konfigürasyonun seçileceği cihaz büyüklüğüne ve üretim yöntemlerine bağlı bir tercihtir. Şekil 4.9’da imalatı tasarlanan prototipin şeması görülmektedir. Cihaz iki gövde şeklinde tasarlanmıştır. Üst kısımda kondenser-absorber alt kısımdaki gövdede evaporatör-jeneratör kısımları bulunmaktadır. Cihazın üstünde görülen numaralar termodinamik modelde kullanılan notasyonla aynıdır. Belirtilen noktalarla alakalı çeşitli termodinamik büyüklükler oluşturulan test sisteminde ölçülmüştür.



Şekil 4.9. Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma prototip şeması

Eşanjör tasarımında dik, yatay ve helisel olmak üzere çeşitli seçenekler mevcuttur. Helisel tipler ufak kapasiteli sistemlerde kullanılmakta olup büyük soğutma yüklerinde imalat kolaylığı açısından tercih edilmemektedir. Dikey borulu sistemler akışkanın

borular üzerine üniform olarak dağıtılmasında sıkıntılar barındırmaktadır. Yatay borulu sistemlerde bu handikaplar bulunmadığından üreticiler tarafından tercih edilmektedir. Bu çalışmada da solüsyon eşanjörü dışındaki bütün eşanjörler yatay borulu film tipi olarak tasarlanmıştır. Solüsyon eşanjöründe her iki akışkanın sıvı fazda olması ve kompaktlığından dolayı lehimli plakalı tip kullanılmıştır

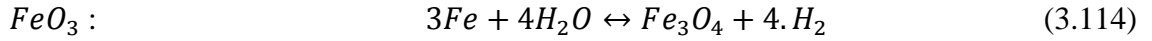
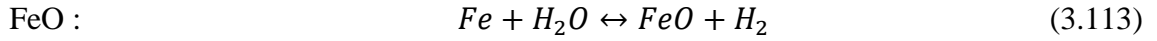
Yatay borulu film tipi eşanjörler yüksek ısı transfer katsayısı, düşük akış oranı ve sıcaklık farkı gibi açılardan avantajı bulunduğu endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Genel olarak film tipi eşanjörler doğal akışlı ve zorlamalı şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Doğal akışta boru demeti üzerine yerçekimi etkisiyle damlama şeklinde akışkan dağıtılırken zorlamalı tipte nozullar vasıtasıyla püskürtülür. Doğal akışta pompa işi düşük olmasına karşın boru demetinin tamamına homojen olarak dağılamaz (Yang ve Wang 2011). Zorlamalı durumda boru demeti ıslaklık oranı daha yüksek olmasının yanı sıra yüksek akış oranlarına çıkmak tasarım açısından daha mümkündür. Yüksek akış oranının Reynolds sayısını arttırarak dalgalı ve türbülanslı rejime geçilerek boru dış ısı transfer katsayısını yükseltme imkanı verir. Bu çalışmada akışkanın eşanjör borularına dağıtılması için damlama yöntemi seçilmiştir. Bunun nedeni pompa gücünü azaltarak toplam sistem kurulu elektrik gücünü düşürmektir.

4.4. Prototip Tasarımında Önemli Hususlar

4.4.1. Korozyon ve malzeme uygunluğu

LiBr solüsyonu bir çok metale karşı oldukça agresiftir. Hermetik ortamdaki absorpsiyonlu sistem içinde oksijen miktarı az olduğundan korozyon hızı yavaştır. Çalışma sıcaklıkları açısından tek kademeli sistemlerde karbon çeliği ve bakır tercih edilen konstrüksiyon malzemeleridir. İşletme sıcaklığı artan çift ve üç kademeli sistemlerde korozyon etkisi daha belirgindir. Yapılacak prototipte kullanılacak materyallerin seçimi sistemin performans ve ömrünü yakından ilgilendirmektedir.

Korozyon demirin su tarafından anayrobik oksitlenmesi mekanizmasına dayanmaktadır. En basit kimyasal reaksiyonlar (Anonim 1999),



Görüldüğü ürün olarak H_2 gazı çıkmaktadır. Hidrojen gazı zaman içinde absorberde birikerek soğutma kapasitesini ve absorber ısı transfer katsayısını düşürerek sistem performansını olumsuz olarak etkiler. Asidik ortamda bu tepkime daha hızlıdır. Bu etkiyi azaltmak için solüsyona çeşitli inhibitörler eklenir.

Çizelge 4.8'de farklı malzemelerin korozyon solüsyona (% 54 LiBr, NH_3 % 10, % 36 H_2O) tepkileri görülmektedir. Mikrometre cinsinden malzemedeki dikine kaybı veren tabloda farklı test koşullarında en uygun malzeme 70-30 bakır nikel alaşımı ve 304 paslanmaz çeliktir (Anonim 1999).

Çizelge 4.8. Değişik materyallerdeki korozyon oranları (solüsyon içeriği: % 54 LiBr, % 10 NH_3 , % 36 H_2O , uygulama sıcaklığı 200 °C)

Materyal	Korozyon Derecesi [$\mu\text{m}/\text{y}$]			
	Test 1 a	Test 2 b	Test 3	Test 4 c
Nikel	100	350	150	280
Monel 400	-	280	390	-
70-30 bakır nikel	32	140	46	8,2
90-10 bakır nikel	30	120	64	68
304 Paslanmaz çelik	50	41	430	3,9
Karbon çeliği	320	-	-	-

a: Hava girişine müdahale edilmeyen test şartı **b:** Birkaç saat boyunca sıcaklık 265 °C den yüksek **c:** Solüsyona test başlangıcında 500 ppm CrO_4 katılır

Ticari modellerin hemen hemen tamamında sistem gövdesinde genellikle karbon çeliği kullanılmaktadır. Üreticiler solüsyonun temas ettiği noktaları paslanmaz kap içine alarak tüm sistemdeki maliyeti azaltma yoluna gitmektedirler. Bununla birlikte belli bir süre sonunda solüsyonun bütün sistemi dolaştığı bilinen bir olgudur. Cihaz ömrünü etkileyen en önemli parametre korozyondur. Yıllar boyunca elde edilen tecrübeler eşliğinde absorpsiyonlu cihaz ömrü pazarda ortalama yirmi yıl civarında kabul edilmektedir. Bunu arttırmak için sistemin tüm elemanlarının korozyona uygun

malzemeden imal edilmesi gerekmektedir. Çizelge 4.9’da gövdede kullanılabilen paslanmaz çelik türlerinin korozyona karşı dayanımları görülmektedir (Anonim 1999).

Çizelge 4.9. Paslanmaz çelik alaşımlarında zamana bağlı korozyon oranları (solüsyon % 54 LiBr, % 10 NH₃, % 36H₂O ,sıcaklığı 200 °C)

Paslanmaz çelik tipi	Kümülatif ağırlık kaybı [mg/cm ²]		
	7 gün	14 gün	30 gün
304	0,93	0,94	0,91
304L	0,45	0,55	0,49
304LW	0,71	0,65	0,75
316L	1,71	1,70	1,67
316LW	1,43	1,42	1,43

Yapılan çalışmada paslanmaz çelik türleri içinde en uygunu 304L ardından 304LW olduğu belirtilmiştir. Korozyon miktarını azaltmak için uygun malzemenin seçimi yanında solüsyona çeşitli inhibitörler eklenir ve pH oranı takip edilir. Kullanılan suyun özelliğine göre absorpsiyonlu makinelerin asidik düzeyinin kontrol altında tutulması gerekir. Yaygın olarak kullanılan iki adet pH düzenleyicisi bulunmaktadır. Bunlar lityum hidroksit (LiOH) ve hidrobromik asittir (HBr) (Radermacher 1996). Korozyon inhibitörleri malzemedeki korozyon miktarını önemli ölçüde düşürmeye yardımcı olmaktadır. Uzun zamandır kullanılan lityum molibden, lityum nitrat ve lityum kromat gibi tuzların yanında bir çok farklı kimyasal üreticiler tarafından denenmektedir (Dorgan ve ark 1995).

Lityum kromat (Li₂CrO₄) toksit özelliği bulursa da kapalı sistemlerde ticari olarak en yaygın kullanılan inhibitör tür. Lityum molibden diğer inhibitörlere nazaran daha az etkili olsada bir çok uygulamada tercih edilmektedir. Bunun dışında Li₃PO₄, COBr₂, NiBr₂, Li₃VO₄ çeşitli inhibitörler bulunmaktadır. Özelliklerine göre 500-5000 ppm arasında solüsyona katılmaktadırlar. Hu ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada PMA/SbBr₃ katkılı LiBr solüsyonunun yüksek sıcaklıklarda (140-240 °C) karbon çeliği üzerindeki korozif etkisini araştırmışlardır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda bu

inhibitörün iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Korozyonla en iyi mücadele uygun malzemeyi seçmekten geçmektedir.

4.4.2. Kütle ve ısı transfer arttırıcıları

Absorbsiyonlu soğutma sisteminin kalbi absorberdir. Absorber sistemdeki en büyük hacim yüzdesine ve eşanjör alanına sahiptir. Bunun temel olarak iki nedeni bulunmaktadır. İlk olarak absorber basıncında su buharının özgül hacminin düşük olmasından dolayı evaporatörden absorbere akan su buharının minimum basınç kaybına uğraması için geniş akış alanına olan ihtiyaçtır. İkinci olarak absorberdeki ısı ve kütle transfer miktarlarının diğer eşanjörlere nazaran düşük olmasıdır. Likit kısımdaki verimsiz kütle transfer prosesinden kaynaklanan bu dezavantajı ortadan kaldırmak için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bir çok LiBr absorbsiyonlu makinede standart olarak , 2ethyl 1 hexanol (C_8H_{18}) veya 1-oktanol ($CH_3(CH_2)7OH$) solüsyona ısı ve kütle akışını arttırmak için eklenir. Boru ve solüsyon arasındaki yüzey gerilimini azaltarak ısı transfer katsayısının artmasına neden olan Marangoni etkisi diye bilinen mekanizmaya sebep verir. Düşük miktarlardaki katkıların ısı transfer katsayısında ve cihaz soğutma kapasitesinde ciddi oranda artış yaptığı çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. Cheng ve ark. 2004 yılında yaptıkları çalışmada dik borulu bir absorberde 100 ppm e kadar LiBr solüsyonuna katılan 2EH ve 1-oktanolün dış ısı transfer katsayısındaki artış oranını farklı Reynolds sayılarında (40-120) araştırmışlardır. Nusselt sayısının katkısız durumda 0,4 olduğu , 40 ppm katkı oranında 0,9 çıktığı hesaplanan çalışmada Reynolds sayısının kırktan sonraki değerlerinde Nusselt sayısını azalma eğilimi gösterdiği belirtilmiştir.

2EH kullanımı aynı zamanda kondenserde de performans artışına sebep olmaktadır. Yatay boru demetli bir kondenserde Kim ve ark. tarafından 2001 yılında yapılan çalışmada % 1 oranındaki 2EH kullanımının kondenserdeki ısı transfer miktarını %30 oranında arttırdığı vurgulanmıştır.

4.4.3. Kristalizasyon önleme yöntemleri

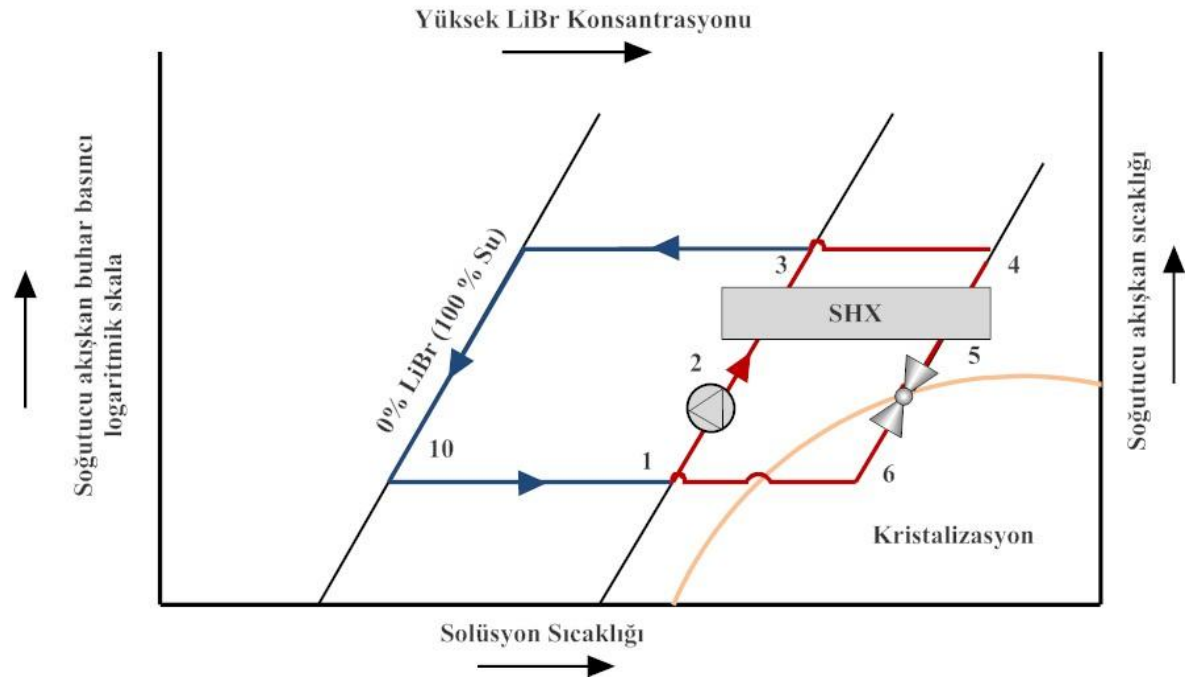
Absorbsiyonlu makineler kristalizasyon problemi dışında genel olarak kararlı çalışan sistemlerdir. LiBr solüsyonu belli bir sıcaklık ve konsantrasyon oranında sıvı halde bulunur. Yüksek konsantrasyonlu solüsyonun sıcaklığı düşürüldüğü zaman katı faza

geçer. Donan solüsyon boruları tıkararak jeneratörden absorbere giden akışı engeller ve makinenin soğutma etkisi sona erer. Çevrim sırasında kristalizasyonun en riskli olduğu bölge Şekil 4.10'da görüldüğü üzere zengin eriyiğin absorbere dönüş hattında solüsyon eşanjörü çıkışıdır.

Kristalizasyon probleminin kaynakları olarak:

- Yüksek jeneratör sıcaklığı
- Çok düşük soğutma kulesinin su sıcaklığı
- Düşük evaporatör sıcaklığı
- Sistemde asal gaz birikimi
- Ani sistem kapanışları (elektrik kesintileri)

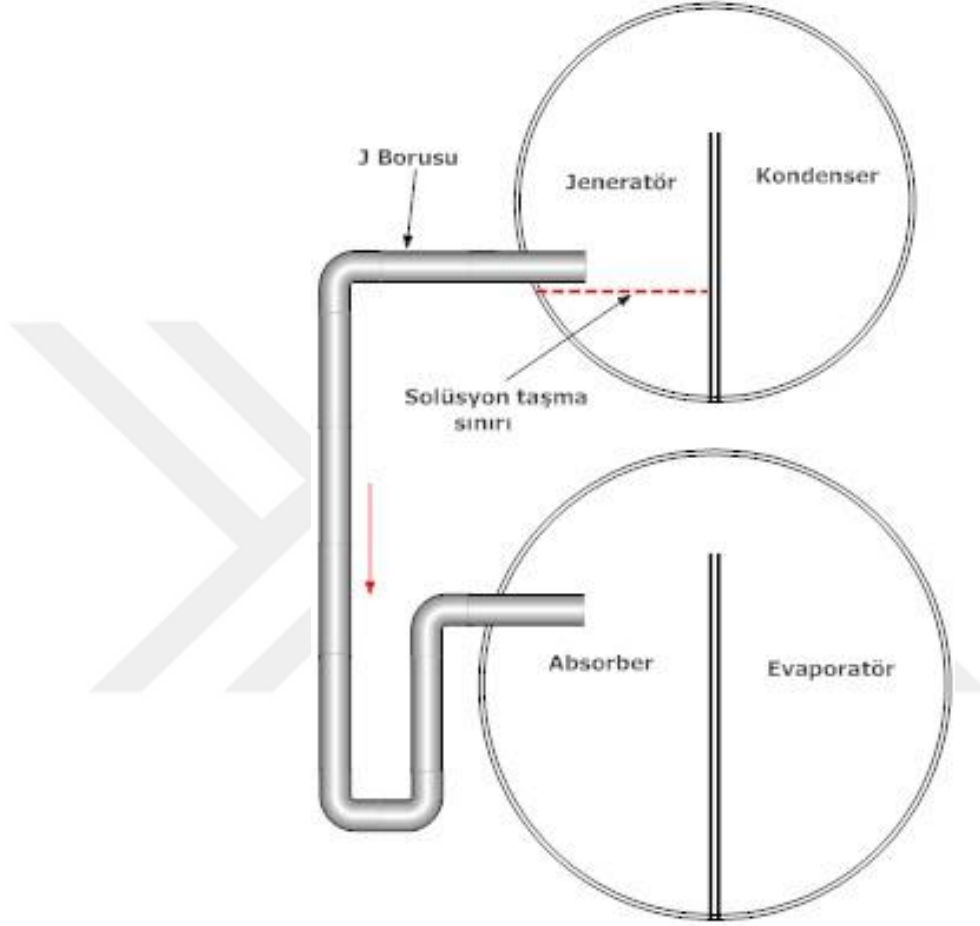
sayılabilir (Wang ve ark 2011).



Şekil 4.10. Absorbsiyonlu sistem kristalizasyon tehlike bölgesi

Modern makineler bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için otomatik kontrol sistemleriyle cihazı gözlemleyerek uygun tepkiyi verirler. Ani elektrik kesintileri ve cihaz arızaları gibi durumlar için konstrüksiyonda yedek borulama hatları oluşturulması sıkça uygulanan yöntemlerdendir. Bunlardan en yaygını J borusu diye adlandırılan jeneratörden absorbere bağlanan bir hattır (Şekil 4.11). Kristalizasyon durumunda

absorberden jeneratöre pompalanan solüsyon seviyesi yükselecektir. Belli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra bu hat yoluyla jeneratördeki yüksek sıcaklıktaki solüsyon absorbere akarak buradaki sıcaklığı arttırır. Sıcaklığı artan solüsyon katı fazdan likit faza geçerek sistem normal çalışmaya geçer.

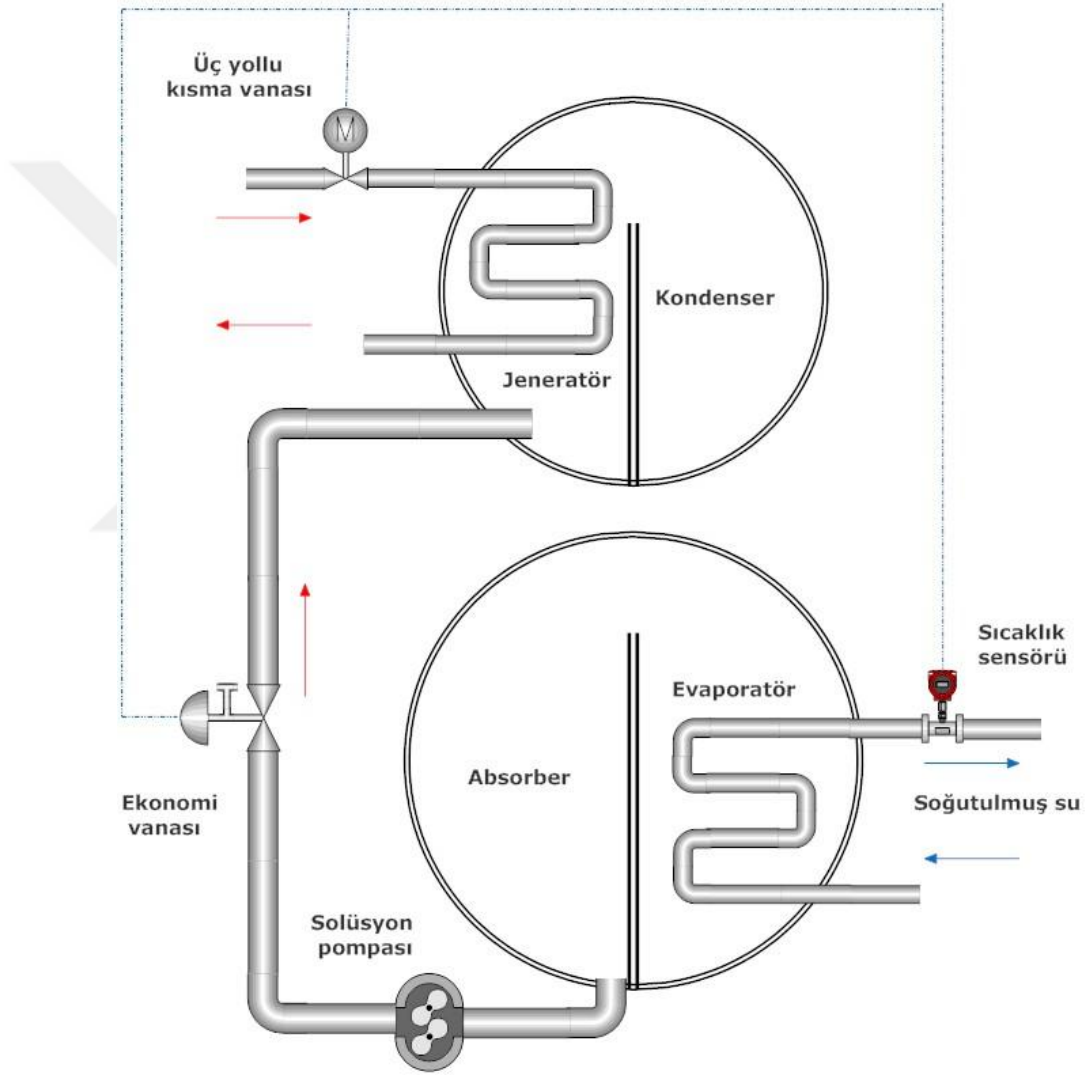


Şekil 4.11. Tipik J boru uygulaması

LiBr'ün kristalizasyon sıcaklığının inhibitör kullanılarak aşağı çekilmesi mümkündür. En başarılı inhibitör ethylene glycol olarak belirtilmektedir (Wang ve ark 2011). Bunun dışında hava soğutmalı sistemlerdeki yüksek absorber ve kondenser sıcaklığından dolayı farklı ticari solüsyonlarda kullanılmaktadır. En yaygın olanı ticari ismi Carol olan (LiBr + ethylene glycol + phenylmethylcarbinol + water) kimyasal karışımdır.

4.4.4. Kapasite kontrol

Soğutma yükündeki değişimlere uygun olarak sistemin kontrol edilmesi gerekmektedir. Şekil 4.12’ de bu kontrolün absorpsiyonlu sistemde ekonomik olarak nasıl sağlandığı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.12. Absorpsiyonlu soğutma sistemi kapasite kontrol düzeneği

Azalan soğutma yüküyle evaporatörden çıkan soğutulmuş suyun sıcaklığı düşer. Jeneratöre girişindeki motorlu vana yardımıyla enerji girişi azaltılır. Böylelikle jeneratör içinde buharlaşan su miktarı azalır. Daha az miktardaki soğutma yüküne karşı daha az

soğutucu akışkan üretilerek sabit bir çıkış sıcaklığı elde edilmiş olur. Değişken yüklerde absorber-jeneratör hattına konulan ekonomi vanası ile absorberden jeneratöre giden fakir solüsyonunun miktarı azaltılır. Bu vana olmadan jeneratör bütün solüsyonu ısıtmak zorunda kalacağından gereksiz yere enerji harcamış olacaktır.

4.4.5. Tasarım

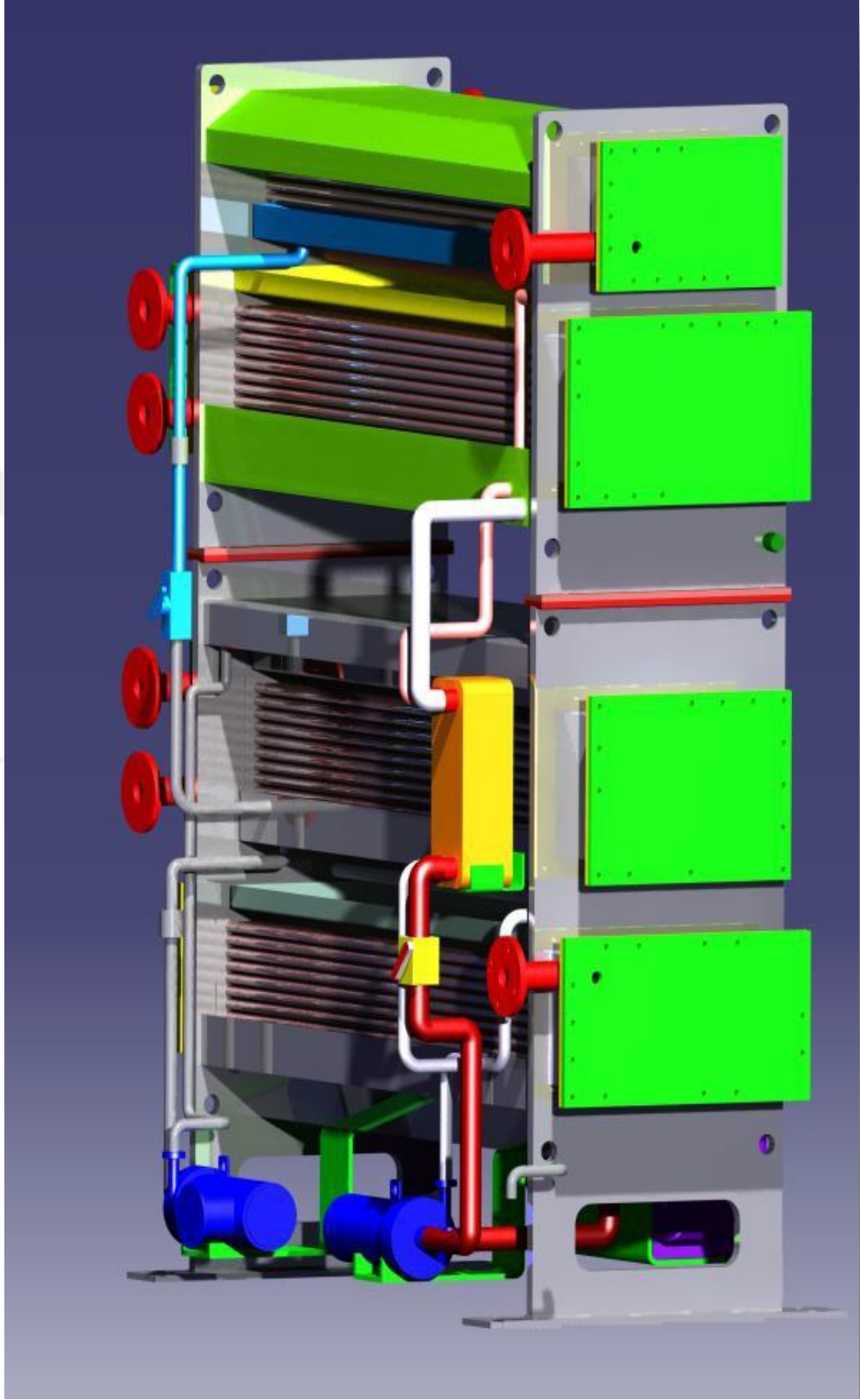
İlgili standart çalışma koşullarına göre eşanjör alanları bulunan prototipin tasarımı yapılırken bir çok husus göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar:

- a. İmalat imkanları
- b. Kullanım esnekliği
- c. Parça tedarik imkanları
- d. Veri toplama ve analiz

şeklinde sıralanabilir.

Prototip iki farklı gövde şeklinde tasarlanmıştır. Üst gövde de kondenser – jeneratör, alt gövde de evaporatör-absorber eşanjörleri bulunmaktadır. Dört eşanjörde yatay, film tipi şeklinde tasarlanmıştır. Eşanjörler birbirinin üzerinde dikey şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.13).

Solüsyon ısı değiştiricisi lehimli plakalı tiptir. Jeneratör , evaporatör ve absorberde püskürtme sistemi yerine pompa gücünü azaltmak için damlama sistemi kullanılmıştır. Boru demeti üzerinde tava şeklinde gözenekli yapı oluşturularak akışkanların dağıtımını doğal şekilde yapılmıştır. Sistemde bir solüsyon hattında biri de evaporatör hattında olmak üzere iki adet sirkülasyon pompası bir adet vakum pompası bulunmaktadır.



Şekil 4.13. Absorbsiyonlu soğutucu prototipinin üç boyutlu tasarımı

Prototipin imal edilmesi için gerekli malzeme ve teçhizat tesbit edilmiştir. Çizelge 4.10’da görüldüğü üzere sistemi oluşturan elemanları kabaca altı başlık altında toplamak mümkündür.

Çizelge 4.10. Prototip basit ürün ağacı

Malzeme Adı		Açıklama	Birim	Miktar
Hammadde	Eşanjör Borusu	Bakır Boru (CuNi10)	Adet	652
	Cihaz Gövde	304L Paslanmaz çelik	Adet	3
	Solüsyon eşanjörü	Plakalı, paslanmaz	Adet	1
Pompalar	Evaporatör pompası	Hermetik, değişken hızlı	Adet	1
	Solüsyon pompası	Hermetik,değişken hızlı	Adet	1
	Vakum pompası	Minimum 4x10 ⁻⁶ kPa	Adet	1
Kimyasallar	Solüsyon	LiBr-Su , %52	Litre	140
	Katalizör	Oktanöl, C ₈ H ₁₈ O	Litre	2
	İnhibitör	Korozyon koruyucu	Litre	1
Sensörler	Sıcaklık sensörü	PT100	Adet	7
	Basınç sensörü	Modelde (8,9)	Adet	2
	Akış sensörü	Modelde (9,1,6)	Adet	3
	Seviye sensörü	Evaporatör, Jeneratör	Adet	2
Kontrol	Elektrik Sistemi	Kablolama	-	1
	Otomasyon	Program , donanım	-	1
Standart Elemanlar	Mekanik Tesisat El.	Filtre , Üç yollu Vana ,vs	Adet	*
	Bağlantı Elemanları	Civata, Somun ,vs	Adet	**

İmalatta kullanılan malzemenin korozyona uygun olması için uygun alaşımlar seçilmiştir. Gövde ve plakalarda et kalınlıkları 5-10 mm arasında değişen 314 L paslanmaz çelik kullanılmıştır.

Eşanjörlerin dizaynında önemli olan unsurlar:

- a. Boru çapı
- b. Borular arasındaki mesafe
- c. Her kolondaki boru sayısı
- d. Boru dış yüzeyi

Boru çapının ısı transfer katsayısı üzerinde etkili olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konulmuştur. Düşük ısı akısında buharlaşmanın etkili olduğu mekanizmalarda ısı transfer katsayısının boru çapının azalmasıyla arttığı, kaynama koşullarında ise tersine azaldığı Ribatski ve Jacobi (2005) tarafından değişik çalışmalar gözden geçirilerek belirtilmiştir.

Çoğu absorpsiyonlu soğutucuda kullanılan boruların çapı imalat kolaylığı açısından 15 ila 20 mm arasında değişir. Cosenza ve Vliet (1990) yatay borulu absorberde boru çaplarının ısı transfer katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Nusselt film sayısı (Nu_f) referans boru çapı D_r olmak üzere aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$Nu_f = 0,30Re_f^{0,46} \left(\frac{D}{D_r}\right)^{-0,2} \quad (3.115)$$

$$D_r=19,5 \text{ mm}$$

Boru çapının artmasının dış ısı transfer katsayısını azaltıldığı belirtilen çalışmada duyarlılığın düşük olduğu vurgulanmıştır. Eşanjör boruları nikel alaşımlı (CuNi10), dış yüzeyi yivli borulardan kullanılmıştır. Yivli boruların düz borulara göre iki üstünlüğü bulunmaktadır. Birim boyda ısı transfer yüzey alanlarının daha fazla olmasının yanı sıra boru dış ısı transfer katsayılarının daha yüksek olmasıdır. Ribatski ve Jacobi (2005) yatay borulu evaporatörlerde dört farklı boru tipi (Turbo –CII, Turbo –B, GEWA-SC, yivli 1575 kanat/m) üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada dış ısı transfer katsayısının düz boruya nazaran 3,5 kata kadar artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Prototipte düz boru yerine ezdirme yöntemiyle kanatlı tip haline getirilmiş boru kullanılmıştır (Şekil 4.14).

Düz boruya göre birim alanda iki kat fazla yüzey alanına sahip olması hacimde ufalmayı sağlamıştır. İstenilen alışımda malzeme temin edilememiştir.



Şekil 4.14. Eşanjör boru detayları

Eşanjör borularına ait teknik değerler çizelge 4.11’de verilmiştir. Kanat sayısı 1000 adet/ m şeklinde olan borunun tasarımdan dolayı bir metrelik kısmı ısı transferinde etkin olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 4.11. Eşanjör boru ölçüleri

Boru Özelliği	Ölçüsü [mm]
Boru dış çapı	15,9
Boru iç çapı	14,8
Boru boyu	1203
Kanat kalınlığı	0,4
Kanat hatvesi	1,4
Kanat yüksekliği	1,1

Prototipte kullanılacak solüsyonun kimyasal özellikleri, konsantrasyon ve miktarı uygun şekilde çalışması için önemlidir. Yetersiz miktardaki solüsyon cihazın hidrolik akışında problem yaratacağı gibi fazla konulacak miktarda cihaz hacmini ve solüsyon maliyetini arttıracaktır. Solüsyonun başlangıç şartlarındaki konsantrasyonu ile çalışma şartlarında denge haline ulaştığındaki konsantrasyon değerleriyle mantıklı bir fark bulunmalıdır. Üreticilerin çoğunluğu solüsyon başlangıç konsantrasyon oranını %50-54 arasında tutmaktadırlar (Anonim 2009). Korozyon koruması olarak hazırlanan solüsyona belirli oranda Li_2CrO_4 katılır. Prototipte kullanılan solüsyon özellikleri çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Solüsyon özellikleri

Kimyasal Adı	Miktar [%]
LiBr	52
Li ₂ CrO ₄	0,15-0,25
Cl ⁻	<0,05
NH ₄ ⁺	<0,0001
SO ₄ ²⁻	<0,02
Ca ²⁺	<0,001
Mg ²⁺	<0,001
Ba ²⁺	<0,001
Fe ³⁺	<0,0001
Cu ²⁺	<0,0001
(K+Na)	<0,06
pH	9,0-10,5
Şeffaflık	Şeffaf

Kullanılacak miktar prototipin kapasitesi ve konstrüksiyonuna göre belirlenir. Jeneratör ve absorber film tipi ısı transfer mekanizmasına sahip olduğundan solüsyon miktarı minimize edilmiştir. Toplam miktar olarak % 52 konsantrasyonda 130 kg solüsyon hazırlanmıştır. Solüsyonun hazırlanmasında % 99 oranında toz halindeki LiBr ve saf su kullanılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Saf LiBr

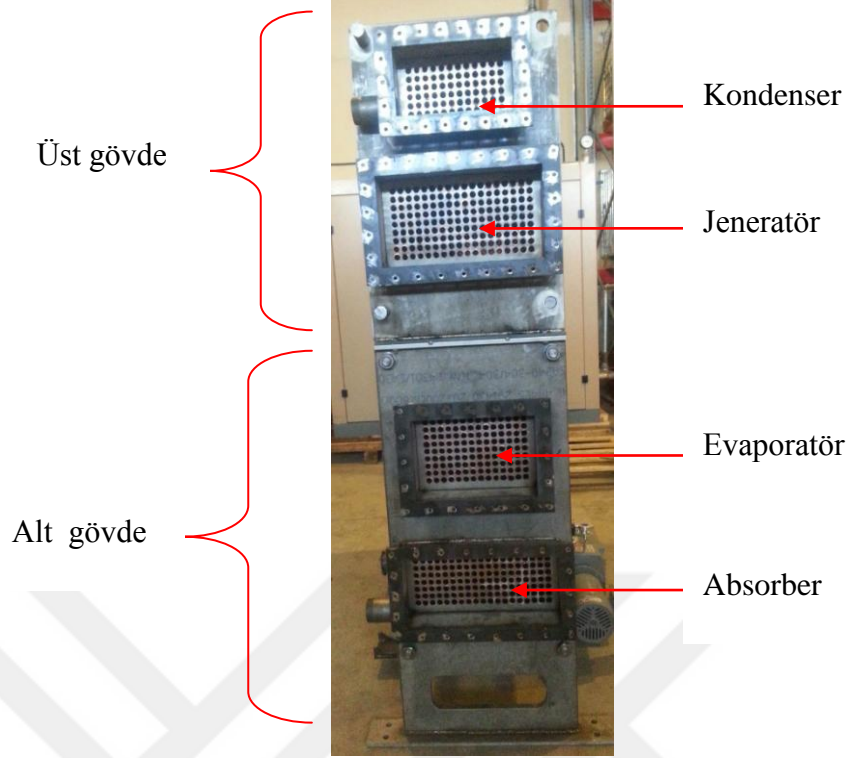
Lityum bromürün suyla kimyasal reaksiyonu egzotermik olduğundan solüsyon hazırlanırken uygun ekipman kullanılması gerekmektedir. Deriyle temas ettiğinde nemin etkisiyle tahriş etkisi oluşmaktadır. Konsantrasyonun ayarlanmasında solüsyonun literatürdeki yoğunluk değerlerinden yararlanılmıştır. Ortam sıcaklığındaki konsantrasyon – yoğunluk tablosu aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Konsantrasyon – yoğunluk değişiminin iki farklı korelasyondaki değerleri (Ortam sıcaklığı 25 °C) (Herold ve ark 1996)

X [%]	ρ_{libr1} [kg/m ³]	ρ_{libr2} [kg/m ³]
45	1455	1455
46	1470	1470
47	1485	1485
48	1501	1500
49	1517	1516
50	1533	1532
51	1550	1548
52	1567	1565
53	1584	1582
54	1602	1599

4.5. Prototip İmalatı

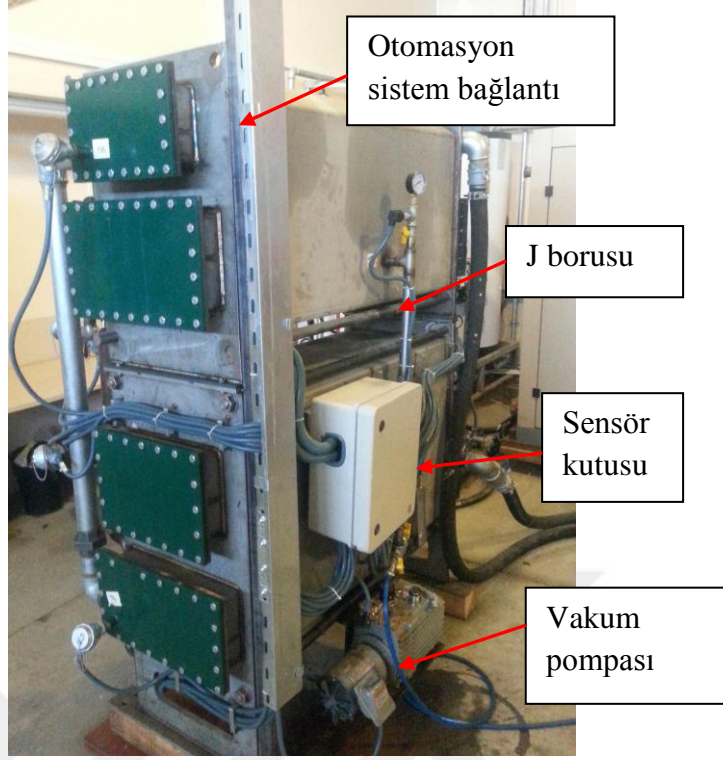
Absorbsiyonlu sistemin imalatı bir çok disiplini bir arada bulunduran bir çalışmadır. Prototip imalatına başlamadan önce çeşitli teknik geziler vasıtasıyla bu konuda pazarda söz sahibi bazı üreticiler yurt dışında ziyaret edilmiştir. Ön prototipin imalatı BOSB bulunan BF Teknik şirketi bünyesinde tamamlanmıştır. Sac parçaların kesimi , eşanjör plakalarının hazırlanması ve kaynak işlemleri, elektrik ve otomasyon sistemi ile alakalı çeşitli kurumlardan faydalanılmıştır. Prototip üzerinde eşanjörlerin yerleşimi Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de görülmektedir. Boru demetleri (dikey x yatay) kondenserde 6x12, jeneratörde 9x18, evaporatörde 9x14, absorberde 10x19 şeklindedir. Prototip üzerindeki temel elemanlar Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 da işaretlenmiştir.



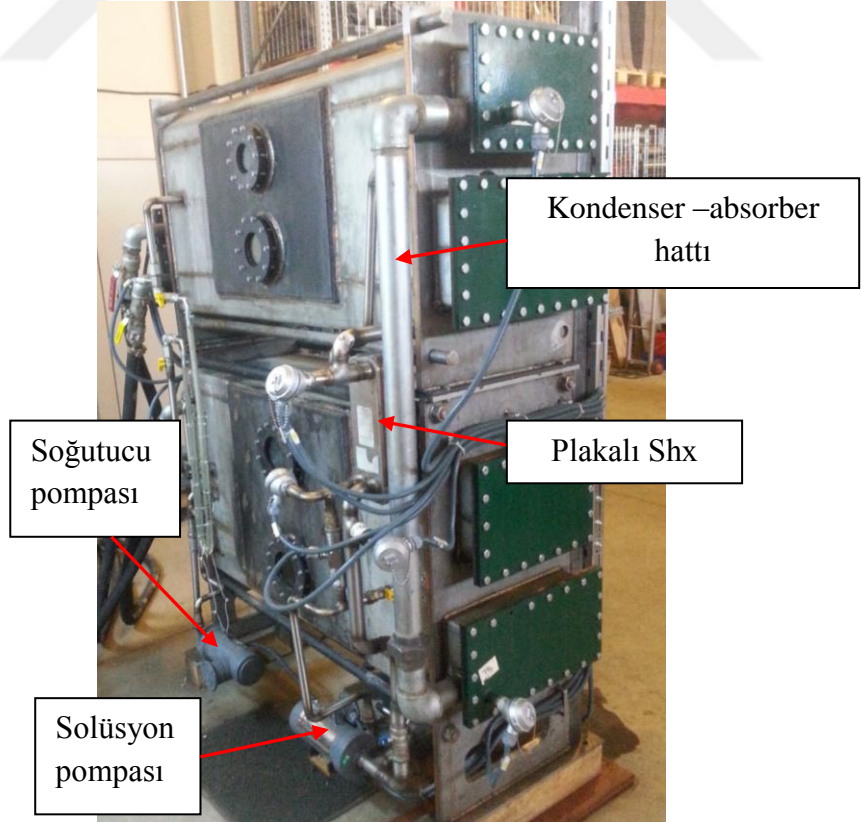
Şekil 4.16. Eşanjörlerin yerleşim planı



Şekil 4.17. Prototip yarı mamül kesiti



Şekil 4.18. Prototip genel görünüşü ,sağ



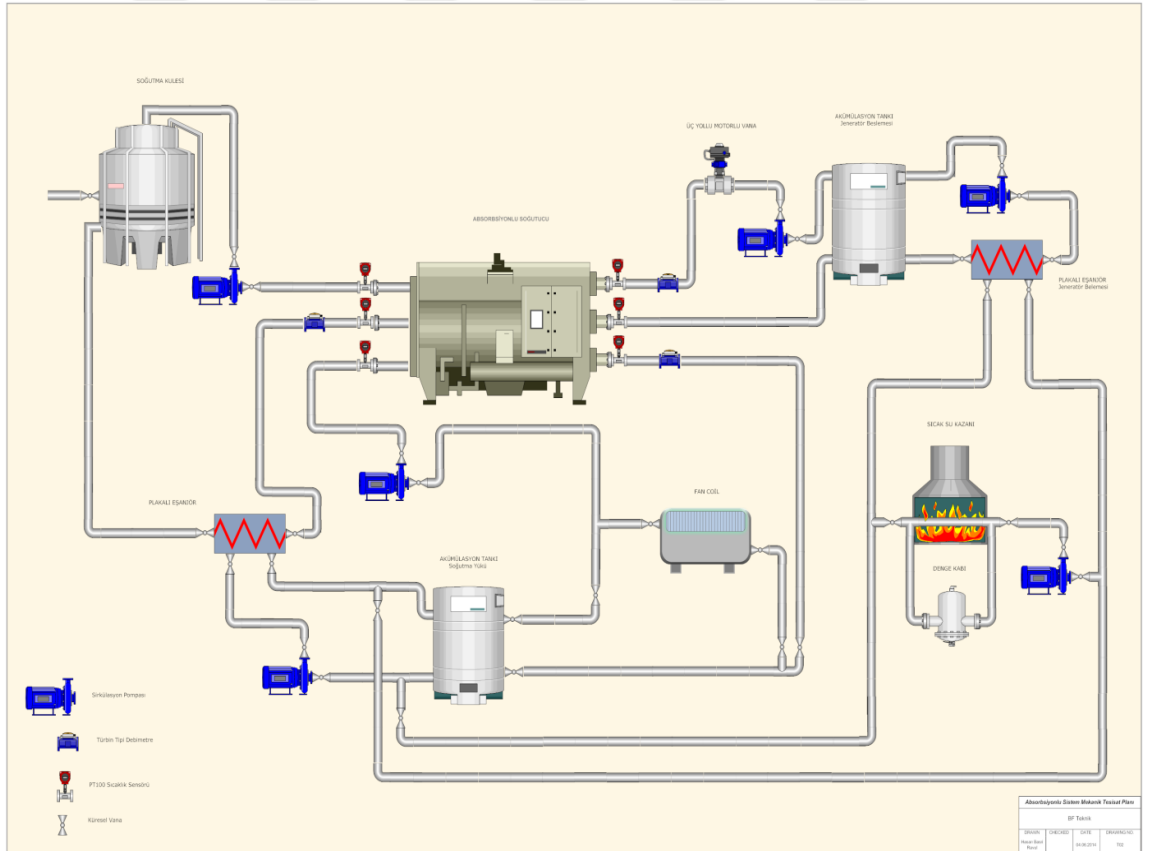
Şekil 4.19. Prototip genel görünüşü,

4.6. Test Sistemi

Prototipin performans testleri için değişken koşullarda çalışabilecek bir test sistemine ihtiyaç bulunmaktadır. Test sisteminde aranan hususlar :

- Değişken evaporatör yükü
- Değişken soğutma kulesi sıcaklıkları
- Değişken jeneratör sıcaklıkları
- İlgili standarta göre sistem parametrelerinin (debi ve sıcaklıklar) sabitlenebilmesi
- Tüm yıl çalıştırabilme imkanı
- Veri toplama ve analiz yeteneği

Sistemin performans testlerinin yapılması için çeşitli elemanlardan oluşan mekanik tesisat kurulumu yapılmıştır (şekil 4.20).



şekil 4.20. Absorbsiyonlu soğutma test sistemi mekanik tesisatı

Prototipte jeneratör kısmında kullanılacak sıcak su 75 kW kapasiteli doğalgazlı kombi tarafından sağlanmaktadır. Testler sırasında gerekli olan yüksek sıcaklıklara ulaşabilmek için kombideki sensörler üzerinde ayarlama yapılarak 90 °C üzerindeki sıcaklıklarda çalışabilmesi sağlanmıştır. Sıcak su kazanı jeneratör için gerekli olan sıcaklıkta suyu sağlamaktadır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Jeneratör kaynağı

Kombiden gelen sıcak su plakalı eşanjörden geçirilerek akümülyasyon tankında depolanır. Sistemde biri jeneratör hattında diğeri evaporatör hattında olmak üzere iki adet akümülyasyon tankı bulunmaktadır. Jeneratörde enerji kaynağı olarak kullanılan akümülyasyon tankı evaporatör tarafında soğutma yükü oluşturmak için kullanılmaktadır. Akümülyasyon tanklarının diğeri bir faydası sistemde testler sırasında ani sıcaklık değişimlerini engellemeye faydası bulunmasıdır. Bu faydayı sağlamak için yeterli hacimde olmalıdır. Sistemde kullanılan akümülyasyon tankları 500 lt kapasitelidir (Şekil 4.22).



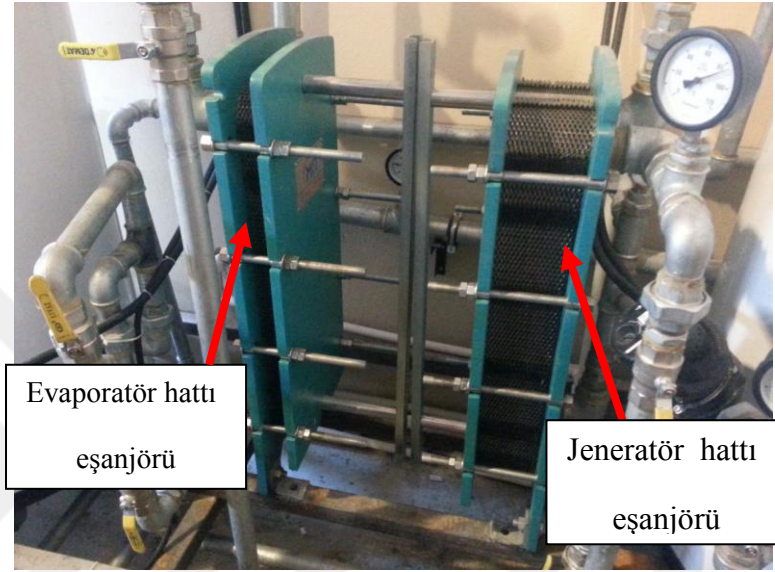
Şekil 4.22. Jeneratör ve evaporatör besleme hatları

Akümülyasyon tanklarını besleyen hatlar üzerinde plakalı tip eşanjörler bulunmaktadır. Eşanjörlerin kullanım amacı hatları kendi içinde kapalı hale getirmek, evaporatörde istenilen soğutma yükünün istenilen şekilde ayarlanabilmesidir. Soğutma yükü yazın ortam soğutmasında kullanılan fan-coiller tarafından sağlanmaktadır (Şekil 4.23). Kullanılan fan coiller toplam kapasitesi 24 kW'dır.



Şekil 4.23. Soğutma yükü kaynağı

Ortam sıcaklığı düşük olduğunda sıcak su kazanından ikinci akümülyasyon tankına yapılan besleme ile yapılır. Soğutma kulesinin yükünü düşürmek ve yakıt verimliliği sağlamak amacıyla absorberden çıkan sıcak su (30-40 °C) plakalı eşanjörden geçirilerek ikinci (evaporatör) akümülyasyon tankındaki suyu ısıtır (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Akümülyasyon besleme eşanjörleri

Jeneratörle akümülyasyon tankı arasındaki üç yollu motorlu pompa jeneratöre giren suyun sıcaklığını dönüş suyuyla karıştırarak istenilen sıcaklıkta jeneratöre girmesini sağlamaktadır (Şekil 4.25). Bu şekilde belli oranda jeneratör giriş sıcaklığı sabitlenmiş olmaktadır.



Şekil 4.25. Üç yollu motorlu vana

Sistemdeki debiler vanalar vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Test koşullarındaki sıcaklıkların yakalanması için kazan suyu sıcaklığı ve plakalı eşanjörlerin verimi önemlidir. Jeneratör giriş sıcaklığının 95 °C olması için sıcak su kazanının 110 °C civarında çalışması gerekmektedir. Sıcak su kazanında buhar oluşmasını önlemek için sistem basıncı 2,5 barın üstünde tutulmaktadır. Soğutma kulesi absorpsiyonlu sistemlerde konvansiyonel sistemlere nazaran daha büyük kapasitelidir. Yapılan termodinamik hesaplamalar doğrultusunda çıkan soğutma kulesi yükü 83,27 kW'dır. Bu yükü karşılayacak şekilde 90 kW kapasiteli su kulesi kullanılmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Soğutma kulesi

Mekanik tesisat oluşturulurken basınç kayıplarına uygun pompanın seçilmesine dikkat edilmelidir. Pompalar prensip olarak dönüş hattına yerleştirilmelidir. Boru bağlantılarında mümkün olan yerlerde esnek bağlantıların yapılması kayıp ve gerilmeleri azaltacaktır.

4.7. Sensör ve Donanım Seçimi

Prototipin testi sırasında çeşitli noktalardan veri toplanmıştır. Genel olarak sistem performansını ölçmek için gerekli olan parametreler jeneratör ve evaporatöre ait giriş-çıkış sıcaklıkları ve debilerdir. Bunun yanı sıra sistemi daha iyi analiz etmek amacıyla prototip ve tesisat üzerinde çeşitli noktalarda ölçümlerde bulunulmuştur. Ölçüm noktalarına göre kullanılan sensörler çizelgede görülmektedir. Toplam 10 adet basınç, 21 adet sıcaklık, 7 adet debi, 2 adet seviye cihazı vardır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Test sisteminde kullanılan sensörlerin tip ve özellikleri

Ölçüm Noktası	Ölçüm Cinsi ve Aralığı			
	Sıcaklık [°C]	Debi [m ³ /h]	Basınç [kPa]	Seviye [cm]
1	0-60	0-5	0-0,5	-
2	0-60	-	0-50	-
3	0-150	-	-	-
4	0-150	-	-	-
5	0-150	-	0-50	-
6	0-80	0-0,5	0-5	-
7	0-150	-	-	0-30
8	0-150	-	0-50	-
9	0-40	0-0,05	0-5	0-30
10	0-40	-	-	-
11	0-150	0-5	0-500	-
12	0-150	-	-	-
13	0-150	0-5	0-500	-
14	0-150	-	-	-
15	0-150	0-5	0-500	-
16	0-150	-	-	-
17	0-50	0-3	0-500	-
18	0-50	-	-	-
19	0-150	-	-	-
21	0-150	-	-	-
23	0-150	-	-	-

Sıcaklık ölçümlerinde temokupl yerine daha hassas sonuçlar veren rezistans termometrede denilen Pt100 tipi sensörler kullanılmıştır. Rezistans termometreler

-200 °C'den + 850 °C'ye kadar çeşitli proseslerde (özellikle endüstride ve laboratuvar uygulamalarında) yaygın olarak kullanılır (Şekil 4.27). Düşük sıcaklıklarda termokupllara göre daha doğru değer verirler. Rezistans termometreler iletken bir telin sıcaklığa bağlı olarak direnç değerinin değişmesi ile elde edilen bir sıcaklık sensörüdür. Sarımlı direnç prosese daldırılarak sabit bir akım uygulanır. Sıcaklık değişimine bağlı olarak sarımlı direncin değeri değişir ve üzerinde geçen sabit akımla değişen bir gerilim elde edilir.



Şekil 4.27. Endüstriyel tip Pt100

Bağlantı şekillerine göre iki, üç ve dört uçlu Pt100'ler bulunmaktadır. Bağlantı şekli kablolarda oluşan direnç etkisinin ölçüme olan etkisini azaltması açısından önemlidir. İki uçlu bağlantıda hassasiyet azaldığından üç uçlu bağlantılı Pt100 ler yaygınlaşmaktadır. Dört uçlu bağlantı şekli çok hassa ölçümlerde tercih edilmektedir. Direnç malzemesi olarak Pt100'lerde çeşitli elementler kullanılmaktadır (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Pt100 tipleri

Direnç Eleman Malzemesi	Kullanım Sıcaklık Aralığı
Platin	-260 ile +650 C
Nikel	-100 C ile +300 C
Bakır	-75 C ile +150 C
Nikel/Bakır	0 C ile +200 C

Ölçümdeki hata oranları sıcaklığa göre değişen Pt100'lerle alakalı çeşitli standartlar bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın platin malzemeli RTD için IEC 751 (1995) standarttır. DIN 43760, BS-1904, BS EN60751 (1996), JIS C1604 standartları benzer sonuçlar vermektedir. IEC 751 iki türlü performans gurubu tanımlar (Anonim 2011).

$$\text{Sınıf A : } \Delta T = \pm(0.15 + 0.002 \cdot |T|)$$

$$\text{Sınıf B: } \Delta T = \pm(0.30 + 0.005 \cdot |tT|)$$

Sınıf A -200 °C ile 650 °C sıcaklıkları arasındaki üç ve dört kablolu konfügurasyonlarda kullanılırken sınıf B ise -200 °C ile 850 °C arasındaki ölçümler için genel bir kabüldür. Ölçümlerde en yüksek sıcaklık jeneratör tarafındaki giriş sıcaklığı olup 100 °C yi geçmemektedir. Sınıf B ye göre yapılan hesaplamada hata oranının $\Delta T = \pm 0,8$ şeklinde kabul edilir. Evaporatör kısmında hata oranı $\Delta T = \pm 0,4$ şeklinde olacaktır.

Mekanik tesisatta bir çok noktada akışın basıncı yaylı basınç ölçerlerle okunmuştur. Prototip içindeki evaporatör ve kondenser basınçları okumak için mutlak basınç ölçerlere ihtiyaç bulunmaktadır. Hassasiyet isteyen bu noktalardaki ölçümlerde piezoelektrik basınç ölçerler kullanılmıştır. 1880 yılında Curie, bazı kristallere basınç uygulandığında elektrik şarjı meydana geldiğini bulmuştur. Kuvarz (silisyum dioksit) turmalin, baryum titan ve roşe tuzu gibi kristaller bu özelliğe sahiptirler. Pratik açıdan özellikle kuvars nemi absorbe etmemesi, basınca karşı dayanıklı olması ve piezoelektrik özelliklerinin $20 - 400$ °C arasında sıcaklığa fazla bağlı olmaması nedeniyle çok kullanılır (Genceli 2015). Basınçla gerilim arasındaki bağıntı $E=g.t.P$ şeklinde verilmektedir. Burada, E Kristalde oluşan gerilim (V), g kristalin voltaj hassasiyeti ($V/m.Pa = Vm/N$), t kristalin kalınlığı (m), P kristale uygulanan basınç (Pa) şeklindedir.

Sistemde $0-100$ kPa aralığında iki adet mutlak basınç ölçer kullanılmıştır. Ölçüm hassasiyeti üretici tarafından % 0,5 olarak verilmiştir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Basınç sensörü

Akışa ait debilerin ölçülmesinde iki türlü debimetre kullanılmıştır (Şekil 4.29). Soğutma kulesi hattında kullanılan debimetre türbin tipidir. Türbin debimetre akışkanın mekanik enerjisini kullanarak rotor denilen türbini döndürürler. Türbinin üzerindeki bıçaklar enerjiyi akış yönünden rotasyonel enerjiye dönüştürmek için açılmıştır. Rotor mili yataklar üzerinde dönerler. Akışkanın hızı bu dönüşün hızı ile orantılıdır. Milin dönüşü mekanik olarak veya bir bıçakların hareketi ile algılanabilir. Bıçak hareketi genelde her bıçağın üzerine yerleştirilmiş pulse üreten mıknatısları bir yaklaşım sensörünün okuması ile algılanır. Bu tiplerde hassasiyet genel olarak % 1 civarındadır. Bu tipler yatay ve düşey borulara monte edilebilir. Türbinin saniyedeki dönme sayısı n (1/s), cihazdan geçen akışkanın hacimsel debisi Q_v (m^3/s), cihazın serbest geçiş kesiti A (m^2) ve türbin kanatçığının hatvesi l (m) ise ,

$$Q_v = KnAl$$

yazılabilir. Burada K her debi ölçer için karakteristik bir katsayıdır (Genceli 2015).



Şekil 4.29. Türbin tipi debimetre

Jeneratör ve evaporatör hattında kullanılan debimetreler performans ölçümünde kullanılacağından elektromanyetik tip seçilmiştir (Şekil 4.30). Bu tipte hassasiyet % 0,2 mertebesinde. Elektromanyetik debimetreler, iletkenliği olan sıvıların akışlarının ölçülmesinde kullanılırlar. Elektromanyetik debimetreler, Faraday'ın İndüksiyon kanunu'na göre çalışır.

$$Q=v*(k*D*B)$$

Manyetik alan, iç çap ve gövde katsayısı sabit değerlerdir. Bu nedenle de eşitlik;

$$Q= v*(k*D*B)=v*K$$

olarak ifade edilebilir ve akış hızı ile oluşan voltaj arasında lineer bir ilişki olduğu görülür. Elektrotlar ile algılanan voltaj sinyalleri bir sinyal dönüştürücü ile anlaşılır hale getirilir.



Şekil 4.30. Elektromanyetik debimetre

Debimetreler yatay pozisyonda akış yönüne uygun şekilde türbülansın oluşmadığı noktalara konmalıdır. Sıcaklık ölçümleri absorpsiyonlu sisteme giriş noktalarına en yakın pozisyonda olması açısından boru hattı yerine eşanjör plakaları üzerinde montaj yapılmıştır.

4.8. Otomasyon Sistemi

Her modern makinanın olduğu gibi absorpsiyonlu soğutma sisteminin de bir otomasyon ünitesine ihtiyacı bulunmaktadır. Öncelikle cihazın uygun şekilde çalışması için gerekli algoritma çıkarılmıştır. Algoritma hazırlanırken bir çok üreticinin kataloglarından yararlanılmıştır. Elde edilen algoritmaya uygun şekilde yazılım yaparak PLC kontrol sağlanmıştır. Temel olarak sistemdeki kumanda edilen unsurlar Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Prototipe otomasyon sisteminde kontrol edilen elemanlar

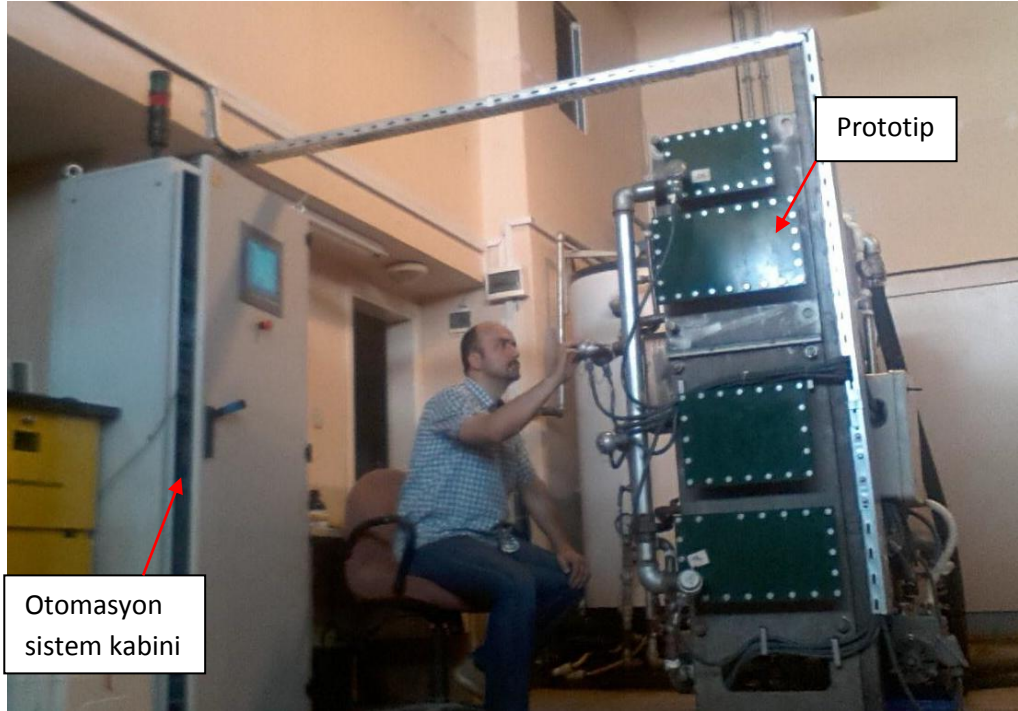
Parça adı	Açıklama
Solüsyon pompası	Değişken frekans kontrollü , 0,4 kW
Evaporatör pompası (iç hat)	Değişken frekans kontrollü , 0,4 kW
Evaporatör pompası (dış hat)	Santrufüj , üç fazlı , 3 kW
Vakum pompası	Çift kademeli , yağlı tip , Minimum 0.6 kPa
Vakum selonoid valfi	24 V
Üç yollu vana	240 Volt , 120 W
Jeneratör pompası	Santrufüj , üç fazlı , 6 kW
Soğutma kulesi pompası	Santrufüj , üç fazlı , 7.2 kW
Soğutma kule fanı	240 Volt , 1,2 kW

Prototipin iç hattındaki solüsyon pompası ve evaporatör pompasının frekans kontrollü olması farklı soğutma yüklerinde değişken güçle çalışmasını sağlamaktadır. Vakum pompası sistem içinde gereken vakumu kısa sürede (15 dk içinde) sağlayacak özelliktedir. Dış hatlarda yer alan sirkülasyon pompaları mekanik tesisattaki basınç kayıplarını yenecek şekilde seçilmiştir. Elektronik ekipmanlar bir kontrol panosunda toplanmıştır. Şekil 4.31'de bu panoya ait elemanlar görülmektedir.



Şekil 4.31. Prototip otomasyon sistem panosu

Prototipin çalışma anındaki sıcaklık, basınç, debi , akışkan seviyeleri gibi değerleri dokunmatik ekran üzerinden takip edilebilmektedir. Bütün değişkenler veri tabanında saklanarak analize hazır halde tutulmaktadır. Şekil 4.32'de prototip ve otomasyon sistemi bir arada görülmektedir.



Şekil 4.32. Prototip ve otomasyon sistemi

4.9. Deneysel Çalışma Sonuçları

İmalatı tamamlanan prototipin soğutma gücü ve COP değeriyle alakalı testler yapılmıştır.. Absorbsiyonlu sistemlerinin performans ölçümleriyle alakalı Dünya’da çeşitli standartlar mevcuttur. Bunları EN12309-2, DIN 33830-4, JIS B 8622, ANSI/AHRI 560, ANSI/ASHRAE 182, VDI 4650-2, EN 15316-4-2, RAL-UZ, GB 29540 şeklinde sıralamak mümkündür (Anonim 2012b). Markette en yaygın olarak kullanılan Amerikan ANSI/ARI 560 standartıdır. Bu standart LiBr-Su çifti kullanan, tek ve çift etkili absorbsiyonlu soğutucuların soğutma performans katsayısının (COP) performanslarının ölçümünde kullanılmaktadır. Çizelge 4.17’de ölçüm şartları görülmüştür.

Çizelge 4.17. ANSI/ARI 560 standartına göre test koşulları

Açıklama	Uygulama Şartları
Soğutulmuş su çıkışı	4,4- 8,9 °C (1 °C veya daha az artırımlı)
Absorber / kondenser giriş sıcaklığı	26,7 -32,2 °C (3 °C veya daha az artırımlı)
Absorber / kondenser su debisi	0,05- 0,11 L/s (kW başına)
Evaporatör su debisi	0,03- 0,05 L/s (kW başına)
Buhar basıncı	0-103 kPa , 14 kPa artırımlı
Sıcak su jeneratör giriş sıcaklığı	82-204 °C

Soğutma sistemleri görevleri gereği değişik soğutma yüklerinde çalışabilecek şekilde imal edilirler. Mevsimsel değişimlere ve kullanım yerine göre tam kapasiteden farklı olarak kısmi yük durumlarındaki verimlerinde cihazın değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. İlgili standarta göre kısmi yük performans ölçümleri üç şekilde yapılır:

1. IPVL (Integrated Part-Load Value)
2. NPVL (Non Standart Part –Load Value)
3. SPLDP (Seperate Part-Load Data Points)

Su soğutma grupları için IPVL aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$IPVL(COP) = 0,01A + 0,42B + 0,45C + 0,12D \quad (4.1)$$

Denklemdaki A, B, C, D notasyonları sırasıyla cihazın % 100, % 75, % 50, % 25 soğutma kapasitelerindeki soğutma performans katsayılarıdır. Soğutma performans katsayısı bilindiği üzere:

$$COP = \frac{Net\ Alınan}{C_D \cdot Net\ Giriş} = \frac{Q_{evap}}{C_D \cdot Q_{jen}} \quad (4.2)$$

Sistem üretici tarafından oluşturulan algoritma doğrultusunda % 25 kapasitede çalışmıyorsa çalışabildiği en düşük kapasitede çalıştırılarak düzeltme faktörü hesaba katılarak yapılır.

$$C_D: Düzeltme\ faktörü = (-0,13 \cdot LF) + 1,13 \quad (4.3)$$

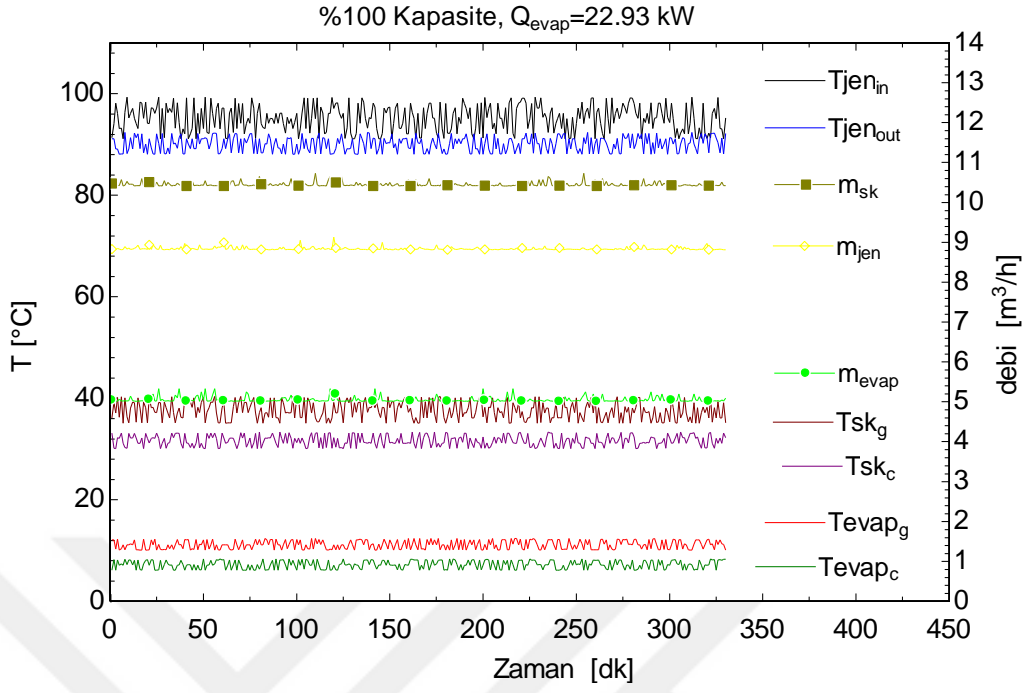
$$LF = \% \frac{Yük}{100} \cdot \frac{Tam\ Yük\ Cihaz\ Kapasitesi}{Minumum\ Cihaz\ Kapasitesi}$$

% Yük: Standart ölçüm kapasitesi

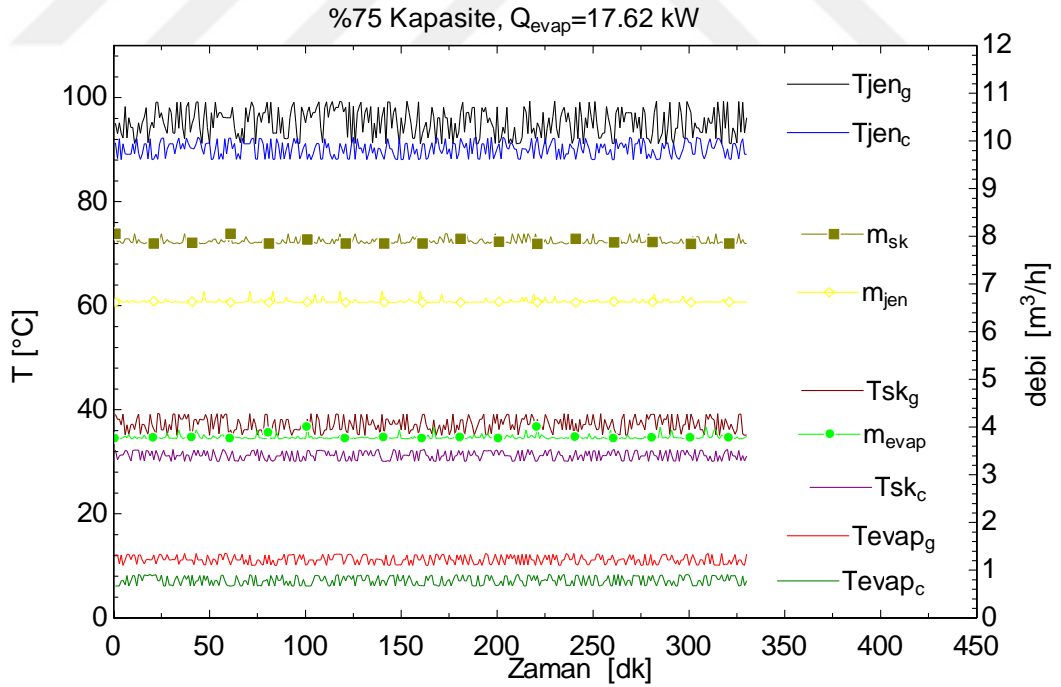
Evaporatör , absorber/kondenserde su basıncı düşümü % 115'i geçmemelidir.

Testlere başlamadan önce her seferinde sistemdeki asal gazların minimize edilmesi için on beş dakika vakum pompası çalıştırılmıştır. Öncelikle jeneratöre akümülayon tankından gerekli sıcaklıktaki su verilmiş ,solüsyon pompası çalıştırılmıştır. Solüsyonun ısınmasını müteakip on dakika sonra soğutma kulesi hattı çalıştırılmıştır. Dış akımlardan soğutma yükünü oluşturan hat devreye sokulmasının ardından soğutucu akışkan pompası çalıştırılarak sistem devreye sokulmuştur. Soğutma etkisi jeneratöre sıcak su girişinden itibaren yaklaşık yirmi dakika sonra başlamaktadır. Sistemin dengeye ulaşması için bir saat kadar beklendikten sonraki değerler performans ölçümlerinde kullanılmıştır. Jeneratör, evaporatör, soğutma kulesine ait suyun debi ve sıcaklıkları çalışma sırasında SQL veri tabanına kaydedilmiştir (EK 5).

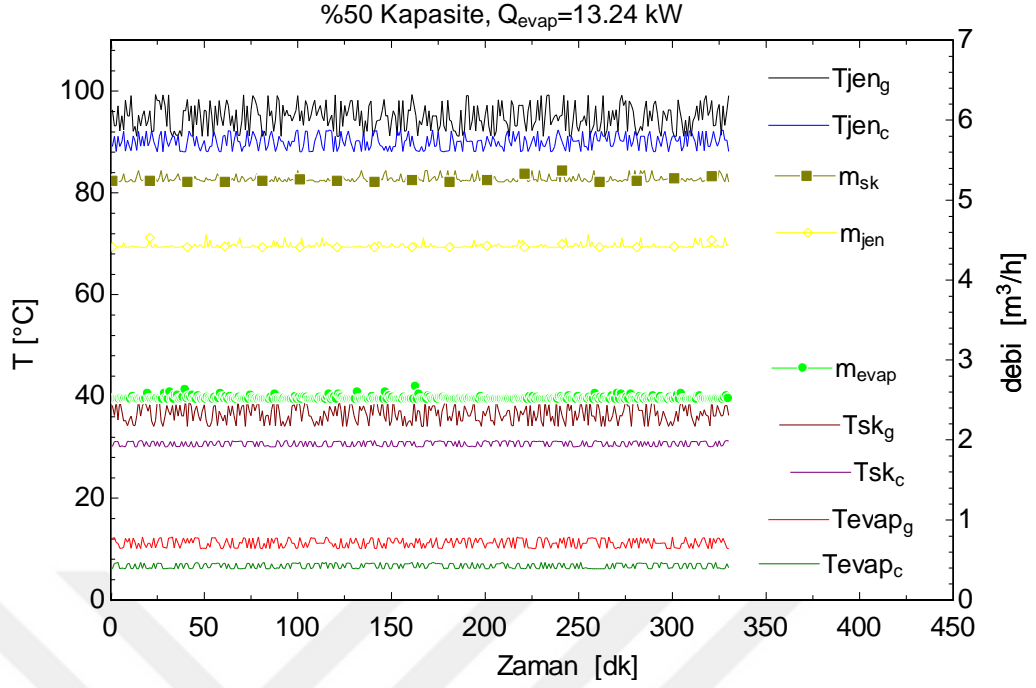
Test süreleri her bir ölçüm için 330 dakika olarak alınmış bu süredeki ortalama değerler hesaplamalarda kullanılmıştır. Oluşturulan test sisteminde standart koşullara bağlı kalınarak yapılan ölçümlerde ulaşılabilen en büyük soğutma kapasitesi 22,93 kW olmuştur. Kısmi yükler bu değere göre belirlenerek testler tamamlanmıştır. Şekil 4.33'den - Şekil 4.36'a kadar testler sırasında ölçülen değerler görülmektedir.



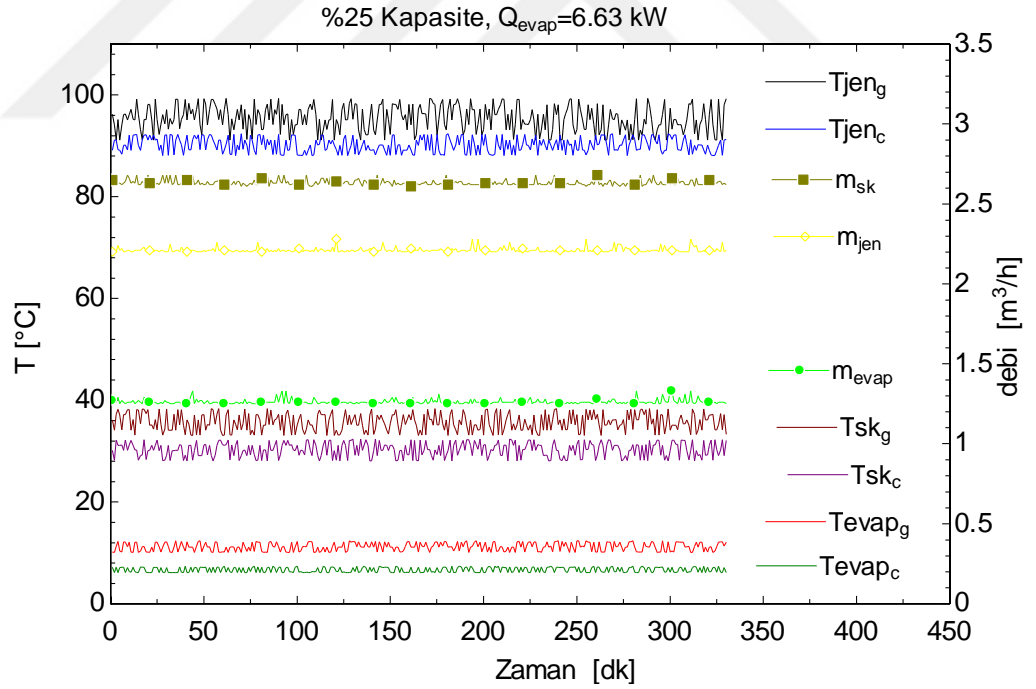
Şekil 4.33. Tam kapasitede prototip sıcaklık ve debi değerleri



Şekil 4.34. % 75 kapasitede prototip sıcaklık ve debi değerleri



Şekil 4.35. % 50 kapasitede prototip sıcaklık ve debi değerleri



Şekil 4.36. % 25 kapasitede prototip sıcaklık ve debi değerleri

Çizelge 4.18’de absorpsiyonlu sisteme ait kapasite ve soğutma performans değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.18. Prototipin farklı soğutma yüklerinde kapasite ve COP değerleri

<i>Nokta</i>	<i>Yük %</i>	<i>Kapasite (kW)</i>	<i>COP</i>
A	100	23,07	0,415
B	75	17,54	0,438
C	50	13,27	0,499
D	25	6,63	0,517

Yukarıdaki değerleri kullanarak IPVL aşağıdaki şekilde hesaplanır. A, B, C ve D değerleri hesaplanarak ana formülde yerine konularak sonuç bulunur.

$$IPVL(COP) = (0,01 \times 0,415) + (0,42 \times 0,438) + (0,45 \times 0,499) + (0,12 \times 0,517)$$

$$IPVL(COP) = 0,474$$

şeklinde bulunur. Prototipin genel özellikleri Çizelge 4.18’de görülmektedir. Sistemde kullanılan ölçüm elemanlarının hassasiyetine bağlı olarak COP değerinde oluşan belirsizlik $\pm 0,0784$ olarak hesaplanmıştır (EK 4). Buna göre soğutma performans katsayısı,

$$0,553 > COP > 0,396$$

aralığındadır.

Tam soğutma kapasitesindeki belirsizlik $\pm 3,198$ kW,

$$19,072 > \dot{Q}_{EVAP} > 25,468$$

aralığında gerçekleşmiştir.

Üretilen prototipe ait temel teknik değerler Çizelge 4.19 ‘da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Prototip absorpsiyonlu soğutucunun teknik özellikleri

Soğutma kapasitesi		23 kW
Sıcak Su	Akış debisi	8,84 m^3/h
	Giriş / Çıkış sıcaklığı	95,33 / 90,14 °C
Soğutulmuş su	Akış debisi	5,04 m^3/h
	Giriş / Çıkış sıcaklığı	11,12 / 7,17 °C
Soğutma suyu	Akış debisi	10,45 m^3/h
	Giriş / Çıkış sıcaklığı	31,67 / 37,56 °C
Elektrik gücü		0,9 kW
Ölçüler	Uzunluk	1410 mm
	Genişlik	520 mm
	Yükseklik	1780 mm
Ağırlığı		1100kg

5. SONUÇ

Bu çalışmada iklimlendirme uygulamalarında kullanılmak üzere küçük kapasiteli bir absorpsiyonlu soğutma prototipinin tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Öncelikle absorpsiyonlu sistemin çevrim tipi, solüsyon tipi, soğutma şekli, soğutma kapasitesi gibi teknik özellikleri belirlenmiştir. Soğutma kapasitesi Türkiye genelinde son yıllardaki bina stoğunun sayı ve kullanım alanları araştırılarak belirlenmiştir. Sistemin termodinamik açıdan birinci ve ikinci kanun verimleri oluşturulan modelle hesaplanmıştır. Modellemede termodinamik çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen EES'nin profesyonel versiyonu kullanılmıştır.

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Jeneratör ve evaporatör sıcaklığının artmasıyla COP değerinin arttığı, kondenser sıcaklığının artmasıyla azaldığı görülmüştür. Evaporatör sıcaklığının artmasının COP'un tersine ekserji verimini azalttığı belirlenmiştir. Ekserji kayıplarının jeneratör ve absorberde yoğunlaştığı bu bölgelerde iyileştirmenin sistemin genel ekserji verimi üzerinde direk etki edeceği belirlenmiştir. Farklı çalışma sıcaklıkları için sistemin COP ve ekserji verimleri grafiksel olarak verilmiştir.

Literatürdeki çeşitli çalışmalarda verilen bağıntılar kullanılarak sistemdeki her eşanjöre ait toplam ısı transfer katsayıları (U) bulunmuştur. Isıl yüklerle bağılı olarak her eşanjör için gerekli olan ısı transfer yüzey alanı hesaplanmıştır.

Teorik hesaplamaları ardından sistemin bilgisayar destekli tasarımına başlanılmıştır. Hedeflenen prototipin özelliklerinin ,

- a. Tek kademeli
- b. Sıcak su beslemeli
- c. Su soğutmalı
- d. Solüsyon tipi ,LiBr-Su
- e. Soğutma kapasitesi, 35 kW
- f. Soğutma performans katsayısı, 0,7'e yakın

olması planlanmıştır. Tasarımı tamamlanan cihazın malzeme listesine göre lojistik işlemleri yurt içi ve dışından sağlanmıştır. İmalat işlemleri ve deneysel çalışmalar Bf Teknik şirketi bünyesinde tamamlanmıştır. Test sistemi tüm yıl boyunca testlerin yapılabilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemin çalışma algoritması belirlenerek test işlemlerine geçilmiştir. Testler bu alanda en yaygın olarak kullanılan ANSI/ARI Standart 560-2000 Amerikan standartına göre yapılmıştır.

Testler sonucunda tam kapasite şartları altında soğutma kapasitesi 23 kW, soğutma performans katsayısı 0,475 olarak ölçülmüştür. Ölçüm aletlerindeki hassasiyetten kaynaklanan belirsizlik oranı soğutma kapasitesi için %13,9, COP için % 16,5 değerinde gerçekleşmiştir. Jeneratör kapasitesinin artırılması soğutma kapasitesinde bu değerden sonra bir artışa sebep olmamıştır. Bunun temel nedeninin eşanjör yüzey alanlarının yetersizliğinden ziyade, solüsyon ve soğutucu suyun boru demetine homojen bir biçimde dağıtılmadığından kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Dağıtma sisteminde damlama sisteminin yerine püskürtme sisteminin kullanılması eşanjör boru demetindeki ıslaklık oranını arttıracakları öngörülmektedir. Diğer husus soğutma kulesi performansının test koşullarını sağlamadaki güçlüğü gösterilebilir. Soğutma kapasitesinin artmasıyla soğutma kulesine düşen yükte artmaktadır. Kule suyunun standart çalışma koşullarında tutulmasında günlük çekilmesi çıkabilecek maksimum soğutma kapasitesini sınırlamıştır.

Prototipin gerek imalatı gerekse testleri sırasında çeşitli zorluklarla karşılaşmıştır. Bunların başında sistemdeki vakumun uzun süreli sağlanması gelmektedir. Cihaz genel olarak kaynaklı birleştirmelerden oluşmaktadır. Bununla birlikte boru bağlantıları ve testler için belli noktalara konulan sensör bağlantılarından sisteme hava geçişi olmaktadır. Sistem içinde biriken asal gazlar birkaç gün sonunda testler için olumsuzluk oluşturacak miktara ulaşmaktadır. Bu durumun giderilmesi için bütün bağlantıların uygun kaynak yöntemleri kullanılarak yapılması gerekmektedir. Gerek jeneratör-absorber arasındaki solüsyon hattı gerekse evaporatör-kondenser soğutucu hattının gerekli debi geçişini sağlayabilecek şekilde dizaynıda ayrıca önem taşımaktadır.

Prototipin geliştirilmeye açık bir çok yönü bulunmaktadır. Bunlar:

a. Soğutucu ve solüsyon sirkülasyon hatlarının dizaynında değişiklik

Tava sistemi elden geçirilebilir. Bunun yerine nozul kullanılarak püskürtme sistemine geçilebilir. Borulardaki ıslaklık oranını arttıracak şekilde çalışma yapılmalıdır. Kondenser hariç diğer eşanjörlerde buna ihtiyaç bulunmaktadır.

b. Isı transfer alanlarının deneysel tesbiti

Borularda tam bir ıslaklık yakalanamadığından ısı transfer katsayılarını deneysel olarak sağlıklı hesaplamak mümkün olmamıştır. Püskürtme sisteminin düzenlenmesinden sonra farklı solüsyon akış oranları, basınç değerleri için dış ısı transfer katsayıları araştırılmalıdır. Ayrıca her eşanjör yüzey alanının sistemdeki toplam ısı transfer yüzey alanını ne şekilde etkilediği değişken boru sayılarıyla tespit edilebilir.

c. Kimyasal katkıların performansa etkisinin araştırılması

Testler inhibitör katkısı olmadan yapılmıştır. Özellikle 20 ppm – 500 ppm miktarlarındaki 2EH'ün absorber ve jeneratördeki etkisi incelenmelidir.

d. Sistem tasarımında temel değişiklikler

Isı transfer yüzey alanlarının uygun şekilde ıslatılamaması durumunda iki farklı deneme yapılabilir. İlk olarak jeneratörde havuz tipi kaynama tasarımı kullanılabilir. Literatürde havuz tipi kaynama için ısı transfer katsayıları düşük olmasına rağmen yüzey alanının tamamının kullanılabilmesinden dolayı UA değeri daha büyük değerlerde gerçekleşebilir. İkinci olarak kondenser hariç evaporator, absorber, jeneratörde dikey tip borulu tasarıma performansı ayrıca araştırılabilir. Literatürde kondenserde yatay borulu tasarım dikeye göre ısı transfer katsayısı yönünden daha üstün verilmektedir.

Bu çalışma sonunda belirlenen özelliklere uygun absorpsiyonlu soğutma prototipi Tübitak Teydeb 1507 programı kapsamındaki (*proje no:7130158*) AR-GE desteğinden yararlanılarak başarılı bir şekilde dizayn ve imal edilmiştir. Yapılan çalışmanın bu alandaki ileri çalışmalara bir temel teşkil edeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abed, A.M., Alghoul, M.A., Yazdi, M.H., Al-Shamani, A.N. 2015.** The role of enhancement techniques on heat and mass transfer characteristics of shell and tube spray evaporator: a detailed review. *Applied Thermal Engineering*, 75:923-940.
- Alili, A.A., Islam, M.D., Kubo, I., Hwang, Y., Radermacher, R. 2012.** Modeling of solar powered absorption cycle for Abu Dhabi. *Applied Energy*, 93:160-167.
- Anderko, A., Young, R. D. 2000.** Model for corrosion of carbon steel in Lithium Bromide absorption refrigeration systems. *Corrosion*, 56(5): 543-555.
- Anonim 1999.** Absorption Chiller Corrosion Protection SBIR Phase I Final Report DOE Grant DE-FG03-98ER82658. Rocky Research, Boulder.
- Anonim, 2009.** Broad, Non -Electric Chiller User's Manual, Çin
- Anonim 2011.** Criteria for Temperature Sensor Selection of T/C and RTD Sensor Types. Acromag ,USA.
- Anonim,2012a.** Manisa Turgutlu Hastanesi.
<http://www.dunya.com/sectorler/enerji/mtu-039trijenerasyon039da-ilke-imza-atti-haberi-187687>.(Erişim tarihi:15.10.2012)
- Anonim 2012b.** Review on Testing Procedures and Quality Standarts for Thermally Driven Chillers. Task Report 5.3.3, QAIST, Vienna, Austria.
- Anonim,2013.** Türkiye yapı istatistikleri.
http://tuikapp.tuik.gov.tr/Yapi_Izin_App/giris.zul.(Erişim tarihi:28.9.2014).
- Bakhtiari, B., Fradette, L., Legros, R., Paris, J. 2011.** A model for analysis and design of absorption heat pumps. *Energy Conversion and Management*, 52: 1439-1448.
- Bıyıkoğlu, A. 2015.** Türkiye İklimlendirme Sanayi Sektör Raporu. TOBB Türkiye İklimlendirme Meclisi, Ankara.
- Boryta, D.A., 1970.** Solubility of Lithium Bromide in Water between -50 and +100 C (40 to 70% LiBr). *J. Chem. Eng. Data*, 15:142-144.
- Bourouis, M., Valles, M., Medrano, M., Coronas, A. 2005.** Absorption of water vapour in the falling film of water-(LiBr + LiI + + LiCl) in a vertical tube at air-cooling thermal conditions. *Int. Journal of Thermal Sciences*, 44(5): 491-498.
- Bredow, D., Jain, P., Wohlfeil, A., Ziegler, F. 2008.** Heat and mass transfer characteristics of a horizontal tube absorber in a semi-commercial absorption chiller. *Int. Journal of Refrigeration*, 31: 1273-1281.
- Bruno, J. C., Valero, A. Coronas, A. 2005.** Performance analysis of combined microgas turbines and gas fired water/LiBr absorption chillers with post-combustion. *Applied Thermal Engineering*, 25: 87-99.
- Burgett, L.W., Byars, M. D., Shultz, K.,** Absorption Systems: The Future, More Than A Niche?. *Proceedings*, International Sorption Heat Pump Conference, Munich, Germany, 1999, Vol. 1, pp. 13-25.
- Cheng, W.L., Houda, K., Chen, Z.S., Akisawa, A., Hu, P., Kashiwagi, T. 2004.** Heat transfer enhancement by additive in vertical falling film absorption of H₂O – LiBr. *Applied Thermal Engineering*, 24(2): 281-298.
- Chua, H.T., Toh, H.K., Malek, A., Ng, K.C., Srinivasan, K. 2000,** Improved thermodynamic property fields of solution. *Int. Journal of Refrigeration*, 23: 412-429.
- Cosenza, F., and G.C. Vliet. 1990.** Absorption in Falling Water/LiBr Films on Horizontal Tubes. *ASHRAE Transactions* 96(1).
- Deng, S. M., Ma, W. B. 1999.** Experimental studies on the characteristics of an absorber using as a working fluid. *Int. Journal of Refrigeration*, 22: 293-301.

Dirksen, J. A., Ring, T. A., Duvall, K. N., Jongen, N. 2001. Testing of crystallization inhibitors in industrial LiBr solutions. *Int. Journal of Refrigeration*, 24(8): 856-859.

Dorgan C.B., Leight S.P., Dorgan C.E. 1995. Application Guide for Absorption Cooling /Refrigeration Using Recovered Heat. ASHRAE,USA.

Ezgi, C. 2014. Design and thermodynamic analysis of an AHP system for naval surface ship application. *Int. Journal of Refrigeration*, 48:153-165.

Farhanieh, B., Babadi, F. 2004. Vapor absorption into liquid films flowing over a column of cooled horizontal tubes. *Scientia Iranica*, 11(4): 332-338.

Figueredo, G., Bourouis, M., Coronas, A. 2007. Thermodynamic modelling of a two stage absorption chiller driven at two-temperature levels. *Applied Thermal Engineering*, 28:211-217.

Flamensbeck, M., Summerer, F., Riesch, P., Ziegler, F., Alefeld, G. 1997. A cost effective absorption chiller with plate heat exchangers using water and hydroxides. *Applied Thermal Engineering*, 18(6): 413-425.

Florides,G.A., Kalagirou, S.A., Tassou , S.A., Wrobel, L.C. 2003. Design and construction of a LiBr-water absorption machine. *Energy Conversion and Management*. 44(15): 2438-2508.

Gebreslassie, B., Medrano, M., Boer, D. 2010. Exergy analysis of multi-effect water-LiBr absorption systems: From half to triple effect. *Renewable Energy*, 35: 1773-1782.

Gebreslassie B. H., Medrano M., Boer D., 2010. Exergy analysis of multi-effect water–LiBr absorption systems:From half to triple effect. *Renewable Energy* ,35:1773-1782.

Genceli O.F. 2015. Ölçme Tekniği. Birsen Yayınevi , İstanbul, 387 s.

Ghafoor, A., Munir, A., 2015. Worldwide overview of solar thermal cooling Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 43 , 763-774.

Glebov, D., Setterwall, F., 2001. Experimental study of heat transfer additive influence on the absorbtion chiller performance. *Int. Journal of Refrigeration*, 25: 538-545.

Goodheart K.A.,2000. Low Firing Temperature Absorption Chiller System. *Master Thesis*, University of Wisconsin ,USA.

Gonda, A., Lancereau, P., Bandelier, P., Luo, L., Fan, Y. 2014. Water falling film evaporation on a corrugated plate. *Int. Journal of Thermal Sciences*, 81:29-37.

Gunhan, T., Ekren, O., Demir, V., Hepbasli, A., Ereğ, A., Sahin, A.S. 2014. Experimental exergetic performance evaluation of a novel solar assisted absorption cooling system. *Energy and Buildings*, 68:138-146.

Gupta A., Kumar R., Kumar V., 2010. Nucleate pool boiling heat transfer over a bundle of vertical tubes. *Int. Communications in Heat and Mass Transfer*, 37: 178-181.

Hao, Z., Lan, Z., Wang, Q., Zhao, Y., Ma, X. 2014. Heat and mass transfer enhancement for falling film absorption with coated distribution tubes at high temperature. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 53:147-153.

Hernando, N.G., Ibanez, J.A.A., Ruiz, G., Vega, M. 2011. On the pressure drop in plate heat exchangers used as desorbers in absorption chillers. *Energy Conversion and Management*, 52: 1520-1525.

Herold K.E., Radermacher R., Klein S.A. 1996. Absorption Chillers and Heat Pumps, CRC Press, USA, 329 pp.

Hofmann, L., Greiter, I., Wagner, A., Weiss, V., Alefeld,G. 1996. Experimental investigation of heat transfer in horizontal tube falling film absorber with aqueous solutions of LiBr with and without surfactans. *Int. J. Refrig.* ,19(5): 331-341.

- Hu X. G., Liang C.H., Huang N.B., 2006.** Anticorrosion Performance of Carbon Steel in 55% LiBr Solution Containing PMA/SbBr₃ Inhibitor. *Int. Journal of Iron and Steel Research*, 13(4):56-60.
- Hu, J. 2007.** Heat transfer and fluid flow characteristics in various micro devices for the development of micro absorption heat pump systems. *Ph.D. Thesis*, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong.
- Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S. 2007.** Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Wiley, USA, 997.
- Jeong, S., Garimella, S. 2002.** Falling –film and droplet mode heat and mass transfer in an horizontal tube LiBr/water absorber. *Heat and Mass Transfer*, 45(7): 1445-1458.
- Jeong S., Garimella S., 2002.** Falling-film and droplet mode heat and mass transfer in a horizontal tube LiBr/water absorber. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 45:1445-1458.
- Jung, I. Y., Oh, K. K. 1999.** Cycle analysis of air-cooled absorption chiller using a new working solution. *Energy*, 24: 795-809.
- Kang, Y.T., Kim, H.,J., Lee, K. 2008.** Heat and mass transfer enhancement of binary nanofluids for falling film absorption process. *Int. Journal of Refrigeration*, 31:850-856.
- Karamangil, M.I., Coskun, S., Kaynakli, O., Yamankaradeniz, N. 2010.** A simulation study of performance evaluation of single-stage absorption refrigeration system using conventional working fluids and alternatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:1969-1978
- Kaynakli, O. 2007.** Exergy analysis of absorber using water/lithium bromide solution. *Heat Mass Transfer*, 44: 1089-1097.
- Kaynakli, O., Horuz, I. 2004.** Evaluation of coil absorber performance. *Heat and Mass Transfer*, 40(12): 929-936.
- Kılıç, M., Yiğit, A. 2014.** Isı transferi. Aktüel Yayınları, Bursa, 504 s.
- Killion, J.D., Garimella S., 2003.** A Review of Experimental Investigations of Absorption of Water Vapor in Liquid Films Falling Over Horizontal Tubes. *HVAC&R Research*, 9:2, 111-136.
- Kilic, M., Kaynakli, O. 2007.** Second law-based thermodynamic analysis of water-lithium bromide absorption refrigeration system. *Energy*, 32: 1505-1512.
- Kim, K. J. 1992.** Heat and mass transfer enhancement in absorption cooling. *Ph.D Thesis*, Arizona State University, USA.
- Kim, J. S., Lee, H., Yu, S. 1999.** Absorption of water vapour into lithium bromide-based solutions with additives using a simple stagnant pool absorber. *Int. Journal of Refrigeration*, 22: 188-193.
- Kim, K.J., Lefsafer, A.M., Razani, A., Stone, A. 2001.** The effective use of heat transfer additives for steam condensation. *Applied Thermal Engineering*, 21(8): 1863-1874.
- Kim, K.J., Lefsafer A.M., Razani A., Stone A., 2001.** The effective use of heat transfer additives for steam condensation. *Applied Thermal Engineering*, 21:1863-1874.
- Kulankara, S., Herold, K.E. 2000,** Theory of heat/mass transfer additives in absorption chillers. *HVAC&R Research*, 6(4): 369-380.
- Kyung, I., Herold, K. E., Kang, Y.T. 2007.** Experimental verification of absorber bundle performance with smooth horizontal tubes. *Int. Journal of Refrigeration*, 30: 582-590.

- Labus, J.M., Bruno, J.C, Coronas, A. 2013.** Review on Absorption Technology With Emphasis on Small Capacity Absorption Machines. *Thermal Science*.Vol. 17, (3) 739-762.
- Labus J., 2011.** Modelling of Small Capacity Absorption Chillers Driven by Solar Thermal Energy or Waste Heat. *PHD Thesis*, Universitat Rovira, Tarragona, İspanya.
- Lee, H. R., Koo, K.K., Jeong, S., Kim, J.S, Lee, H., Oh, Y. S., Park, D.R., Baek, Y.S 2000.** Thermodynamic design data and performance evaluation of the water + lithium bromide + lithium iodide + lithium nitrate + lithium chloride system for absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*, 20(8): 707-720.
- Lee, S.F., Sherif, S.A., 2001.** Thermodynamic analysis of a lithium bromide/water absorption system for cooling and heating applications. *International Journal of Energy Research*, 25, 1019-1031.
- Li, W., Wu,X.Y., Luo, Z., Yao, S., Xu, J.L. 2011.** Heat transfer characteristics of falling film evaporation on horizontal tube arrays. *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*, 54:1986-1993.
- Lin, S.J.F., Shigang, Z. 2011.** Experimental study on vertical vapor absorption into LiBr solution with and without additive. *Applied Thermal Engineering*, 31: 2850-2854.
- Liao, X., Radermacher, R. 2007.** Absorption chiller crystallization control strategies for integrated cooling heating and power systems. *Int. Journal of Refrigeration*,30: 904-911.
- Marc, O., Sinama, F., Praene, J.P., Lucas, F. 2015.** Dynamic modeling and experimental validation elements of a 30 kW single effect absorption chiller for solar application. *Applied Thermal Engineering*, 90:980-993.
- Marcos, J.D, Izquierdo, M., Palacios, E. 2011.** New method for COP optimization in water-and air cooled single and double effect LiBr-water absorption machines. *Int. Journal of Refrigeration*, 34: 1348-1359.
- Marciss R.A., Gutraj J.M., Zawacki T.S.,** Absorption fluid data survey: final report on worldwide data. ORLN/sub/8447989/3, Inst. Gas Tech., 1988.
- Marcos, J.D., Izquierdo, M., Lizarte, R., Palacios, E., Ferreira, C.A.I. 2009.** Experimental boiling heat transfer coefficients in the high temperature generator of a double effect absorption machine fort he lithium bromide/water mixture. *Int. Journal of Refrigeration*, 32:627-637.
- Mazzei, M.S., Mussati, M. C., Mussati, S.F. 2014.** NLP model-based optimal design of absorption refrigeration systems. *Int. Journal of Refrigeration*, 38:58-70.
- Medrano, M., Bourouis, M., Blanco, H. P., Coronas, A. 2003.** A simple model for falling film absorption on vertical tubes in the presence of non –absorbables. *Int. Journal of Refrigeration*, 26: 108-115.
- Menhart, F., Riepl, M., Natzer, S. 2015.** Effect of the surface texture on the heat transfer coefficient in nucleate boiling of aqueous lithium bromide solution at low heat fluxes. *Science and Technology for the Built Environment*, 21:258-266.
- Miller, W.A. 1999.** The synergism between heat and mass transfer additive and advanced surfaces in aqueous LiBr horizontal tube absorbers. Int. Sorption Heat Pump Conference Proceedings. 4-26 March ,1999, Munich , Germany.
- Misra, R.D., Sahoo, P.K., Sahoo, S., Gupta, A. 2003.** Termoeconomic optimization of a single effect water/LiBr vapour absorption refrigeration system. *Int. Journal of Refrigeration*, 26: 158-169.
- Mohanty, B., Paloso, G. 1995.** Enhancing gas turbine performance by intake air cooling using an absorption chiller. *Heat Recovery Systems and CHP*, 15(1) :41-50.

- Mortazavi, M., Isfahani, R.N., Bigham, S., Moghaddam, S. 2015.** Absorption characteristics of falling film LiBr (lithium bromide) solution over a finned structure. *Energy*, 87:270-278
- Myat, A., Thu, K., Kim, Y.D., Chakraborty, A., Chun, W.G., Ng, K.C. 2011.** A second law analysis and entropy generation minimization of an absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*, 31:2405-2413.
- Myeong, G. K. 1998.** Experimental investigation of tube length effect on nucleate pool boiling heat transfer. *Ann. Nucl. Energy*, 25(4-5): 295-304.
- Papefthimiou, V.D., Karampinos, D.C., Rogdakis, E.D. 2006.** A detailed analysis of water-vapour absorption in solution on a cooled horizontal tube. *Applied Thermal Energy*, 26: 2095-2102.
- Ribatski, G., Jacobi, A. M. 2005.** Falling-film evaporation on horizontal tubes – a critical review. *Int. Journal of Refrigeration*, 28: 635-653.
- Rivera, W., Xicale, A. 2001.** Heat transfer coefficients in two phase flow for the water/lithium bromide mixture used in solar absorption refrigeration systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 70(3): 309-320.
- Sathyabhama, A., Krishnan, V.** Pool boiling heat transfer to water/lithium bromide mixture. ICCOMIM, 11-13 July 2012, Karnataka, India .
- Seol, S.S., Lee, S.Y. 2005.** Experimental study of film flow and heat/mass transfer in solution flowing over a cooled horizontal tube. *Heat and Mass Transfer* 32: 445-453.
- She, X., Yin, Y., Xu, M., Zhang, X. 2015.** A novel low-grade heat-driven absorption refrigeration system with and working pairs. *Int. Journal of Refrigeration*, 58:219-234.
- Shi C., Chen Q., Jen T.C., Yang W., 2010.** Heat transfer performance of lithium bromide solution in falling film generator. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 53: 3372-3376.
- Soto F.V.M., Pinazo O., J.M., 2003.** Validation of a model for the absorption process of H_2O by a LiBr(aq) in a horizontal tube bundle, using a multi-factorial analysis. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46: 3299-3312.
- Sun, J., Fu, L., Zhang, S., Hou, W. 2010.** A mathematical model with experiments of single effect absorption heat pump using. *Applied Thermal Engineering*, 30: 2753-2762.
- Sun, J., Fu, L., Zhang, S. 2012.** A review of working fluids of absorption cycles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:1899-1906.
- Şencan, A. 2004.** Atık ısı ile çalışan absorpsiyonlu sistemlerin modellenmesi , ekserji analizi ve optimizasyonu. *Ph.D. Thesis*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Talbi, M. M., Agnew, B. 2000.** Exergy analysis: an absorption refrigerator using lithium bromide and water as the working fluids. *Applied Thermal Engineering*, 20: 619-630.
- Takamatsu, H., Yamashiro, H., Takata, N., Honda, H. 2003.** Vapor absorption by LiBr aqueous solution in vertical smooth tubes. *Int. Journal Refrigeration*, 26: 659-666.
- Taylor B.N. and Kuyatt, C.E.,** Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. National Institute of Standards and Technology Technical Note 1297, 1994
- Tozer, R., Syed, A., Maidment, G. 2004.** Extended temperature-entropy (T-s) diagrams for aqueous lithium bromide absorption refrigeration cycles. *Int. Journal of Refrigeration*, 28: 689-697.

- Urueta, G.G., Huicochea, A., Aumente, P.R., Rivera, W. 2014.** Energy and exergy analysis of water-LiBr absorption systems with adiabatic absorbers for heating and cooling. *Energy Procedia*, 57:2676-2685.
- Varma, H. K., Mehrotta, R. K., Agrawal, K. N. 1994,** Heat transfer during pool boiling of LiBr-Water solutions at subatmospheric pressures. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 21(4): 539-548.
- Vega, M., Almendros-Ibanez, J.A., Ruiz, G. 2006.** Performance of a LiBr-water absorption chiller operating with plate heat exchangers. *Energy Conversion and Management*, 47: 3393-3407.
- Wu , S. 1999.** Investigation of ejector re-compression absorption refrigeration cycle. *Ph.D. Thesis*, University of Nottingham , England.
- Wuu, T. W., Yu, M. Y., Jer, R. M. 1998,** Effect of surfactant additive on pool boiling of concentrated lithium bromide solution. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 25(8): 1127-1134.
- Wang K.,Abdelaziz O.,Kisari P., Vineyard E.A., 2011.** State-of-the art review on crystallization control Technologies for water/LiBr absorption heat pumps. *Int. Journal of Refrigeration*, 34:1325-1337.
- Wonchala, J., Hazledine, M., Boulama, K.G. 2014.** Solution procedure and performance evaluation for a water-LiBr absorption refrigeration machine. *Energy*, 65:272-284.
- Xu, L., Ge, M., Wang, S., Wang, Y. 2004.** Heat-transfer film coefficients of falling film horizontal tube evaporators. *Desalination*, 166: 223-230.
- Xie, G., Guogang, S., Bansal, P. K., Li, G. 2008.** Absorber performance of a water/lithium-bromide absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*, 28:1557-1562.
- Xu, Z.Y., Wang, R.Z., Xia, Z.Z. 2013.** A novel variable effect LiBr-water absorption refrigeration cycle. *Energy*, 60: 457-463.
- Yoon, J.I., Kwon, O.K., Moon, C.G., Lee,P.B. 2005.** Heat and mass transfer characteristics of a helical absorber using LiBr and LiBr + LiI + +LiCl solutions. *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*, 48: 2012-2109.
- Yoon, J.I., Kwon, O.K, Bansal, P.K., Moon, C.G., Lee,H.S. 2006.** Heat and mass transfer characteristics of a small helical absorber. *Applied Thermal Engineering*, 26: 186-192.
- Yang, L., Shen, S. 2008.** Experimental study of falling film evaporation heat transfer outside horizontal tubes. *Desalination*, 220:654-660.
- Yang L., Wang W., 2011.** The heat transfer performance of horizontal tube bundles in large falling film evaporator. *Int.J. of Refrigeration*, 34:303-316.
- Zhu, L., 2013.** Simulation and Development of Advanced Absorption Refrigeration Cycles. *PHD Thesis*, Department of Mechanical and Aerospace Engineering Carleton University ,Ottawa, Ontario, Canada.
- Zhang, L., Wang, Y., Fu, Y., Xing, L., Jin, L. 2015.** Numerical simulation of Falling Film Absorption Process. *Energy Procedia*, 75:3119-3126.

EKLER

EK 1. İleri LiBr-Su Termodinamik Çevrimleri

EK 2. Absorbsiyonlu Soğutma Solüsyonları

EK 3. Tek Kademeli Absorbsiyonlu Sistemin EES Modeli

Ek 4. Belirsizlik Analizi

EK 5. Prototip Test Verileri



EK 1. Absorbsiyonlu Sistem Solüsyonları

Absorbsiyonlu sistemlerde kullanılan çok sayıda akışkan bulunmaktadır. Sistemde kullanılan solüsyon soğutucu ve soğurucu (absorbent) rolü üstlenen farklı kimyasallardan oluşmaktadır. Macris ve ark. tarafından (1988) geniş bir literatür çalışmasıyla bunları guruplandırmışlardır . Sistem performansını direk olarak etki etmesinden dolayı solüsyonlar üzerindeki çalışmalar günümüzde de aralıksız devam etmektedir. Çizelge Ek 1.1' de soğutucu olarak kullanılan akışkanlar görülmektedir.

Çizelge Ek 1.1. Soğutucular (Macriss ve ark 1988)

Numara	Kimyasal formül	Mol ağırlığı	Kaynama sıcaklığı
İnorganikler			
1	NH_3	17,0	-33,3
2	H_2O	18,0	100
3	SO_2	64,1	-10
Aminler			
4	CH_3NH_2	31,1	-6,1
5	$C_2H_5NH_2$	45,1	16,6
6	$(CH_3)_2NH$	45,1	7,4
7	$(CH_3)_3N$	59,1	3,5
8	CH_3OH	32,0	65,0
9	C_2H_5OH	46,1	78,3
10	C_3H_7OH	60,1	97,2
11	CF_3CH_2OH	100,0	73,6
12	$(CF_3)_2CHOH$	168,0	59,0
Halojenli organikler			
13	CCL_3F	137,4	23,9
14	CCL_2F_2	120,9	-29,4
15	CF_3Cl	104,5	-113,8
16	$CHFCl_2$	102,9	8,9
17	CHF_2Cl	86,5	-40,6
18	CH_2Cl_2	84,9	40
19	CH_2ClF	68,5	-8,9
20	CF_3CHCl_2	152,9	27,8
21	$CHClFCClF_2$	152,9	29,4
22	$CHClFCF_3$	136,5	-12,1
23	CHF_2CClF_2	136,5	-9,4
24	CHF_2CHClF	151,4	85,0
25	CHF_2CHClF	118,5	5,6
26	CHF_2CHF_2	102,0	94
27	CCL_2HCClH_2	133,4	112,8

Çizelge Ek 1.1. devam

28	CH_3CF_3	84,0	-47,0
29	CH_2FCH_2F	66,0	30,0
30	$CHClCHCl$	96,9	58,9
31	$CClFCClF$	132,4	18,9
32	CCl_2CClH	131,4	82,2
33	C_2F_3H	82,0	Belirlenmemiş
34	C_2F_3Cl	116,5	-27,9
35	C_3F_6	150,0	-29,4
36	CH_3CF_2Cl	100,6	Belirlenmemiş
37	C_3HF_5O	164,0	97,0
Hidrokarbonlar			
38	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	86,0	68,0

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan absorbentler Çizelge Ek.1.2’de görülmektedir.

Çizelge Ek 1.2. Absorbentler (Macriss ve ark 1988)

Numara	Kimyasal formül	Mol sayısı
İnorganikler		
1	NH_4Br	98,0
2	NH_4I	144,9
3	$CaBr_2$	199,9
4	$CaCl_2$	111,0
5	$CsC_2H_3O_2$	192,0
6	$CsBr$	212,8
7	$CsCl$	168,4
8	CsF	151,9
9	$CsOH$	149,9
10	$Co(SCN)_2$	175,1
11	$Cu(SCN)_2$	179,7
12	$CuSCN$	121,6
13	$LiC_2H_3O_2$	66,0
14	$LiBr$	86,8
15	$LiClO_3$	90,4
16	$LiCl$	42,4
17	LiH_2PO_3	96,1
18	LiI	133,8
19	$LiNO_3$	68,9
20	$LiNO_2$	52,9
21	Li_2SO_4	109,9

Çizelge Ek 1.2. Absorbentler (Macriss ve ark 1988) (devam)

22	$LiBF_4$	93,7
23	$LiSCN$	65,0
24	$LiCCl_3CO_2$	169,3
25	$LiCF_3CO_2$	112,0
26	$Ni(SCN)_x$	Belirlenmemiş
27	KBr	119,0
28	KCl	74,6
29	KF	58,1
30	KOH	56,1
31	KNO_3	101,1
32	$RbBr$	165,4
33	$RbCl$	120,9
34	RbF	104,5
35	RbI	212,4
36	$NaBr$	102,9
37	$NaCl$	58,4
38	$NaOH$	40,0
39	NaI	149,9
40	$NaNO_3$	85,0
41	Na_2SO_4	142,0
42	$NaSCN$	81,1
43	H_2SO_4	98,0
44	H_2O	18,0
45	$ZnBr_2$	225,2
46	$ZnCl_2$	136,3
47	$Zn(NO_3)_2$	127,4
48	$Zn(SCN)_2$	181,5
Organikler		
49	HOC_4H_8OH	90,1
50	$CH_3CHOHCHOHCH_3$	90,1
51	HOC_2H_4OH	62,1
52	$(HOCH_2CH_2)_2O$	
53	$H(OC_2H_4)_4OH$	194,2
54	$n - C_7H_{15}OH$	116,2
55	$C_6H_5CH_2OH$	108,2
56	$CH_2OHCHOHCH_2OH$	92,1
57	$HOCH_2(CH_2)_3CH_2OH$	104,2
58	$HOCH_2(CH_2)_4CH_2OH$	118,2
59	$CH_3(OC_2H_4)_2OCH_3$	134,2
60	$CH_3(OC_2H_4)_3OCH_3$	178,2
61	$CH_3(OC_2H_4)_4OCH_3$	222,3
62	$(C_4H_7O)CH_2OC_2H_5$	130,2
63	$C_4H_9(OC_2H_4)_2OC_4H_9$	218,3
64	$HO(CH_2)_2O(CH_2)_2OC_4H_9$	162,2

Çizelge Ek 1.2. Absorbentler (Macriss ve ark 1988) (devam)

65	$H(OC_2H_4)_2OC_2H_5$	134,2
66	$C_2H_5(OC_3H_6)_3OH$	220,3
67	$CHON(CH_3)_2$	73,1
68	$CH_3CON(CH_3)_2$	87,1
69	$C_5H_{11}CON(CH_3)_2$	143,2
70	$C_{11}H_{23}CON(CH_3)_2$	217,3
71	$CHON(C_2H_5)_2$	101,2
72	$[(CH_3)_2NCOCH_2CONCOH_3]_2$	158,2
73	$[(CH_3)_2NCOCH_2]_2$	172,2
74	$C_6H_5N(CH_3)_2$	121,2
75	$[(CH_3)_2N]_3PO$	179,2
76	C_9H_7N	129,2
77	$C_6H_5CLNH_2$	127,6
78	$C_6H_5NH_2$	93,1
79	$C_8H_{17}NH_2$	129,3
80	$H_2NCH_2CH_2OH$	61,1
81	$CH_3CO_2CH_2CH(CH_3)_2$	116,1
82	$C_6H_4(CO_2CH_3)_2$	194,2
83	$C_6H_4(CO_2C_2H_5)_2$	222,2
84	$C_6H_4(CO_2C_4H_9)_2$	278,3
85	$C_6H_4(CO_2C_8H_{17})_2$	390,4
86	$C_6H_4(CO_2C_{10}H_{21})_2$	446,3
87	$C_6H_4(CO_2C_6H_{13})_2$	334,3
88	$[(CH_2)_4CO_2C_4H_9]_2$	314,4
89	$C_8H_{17}O_2C(CH_2)_8CO_2C_8H_{17}$	426,7
90	$C_8H_{17}O_2C(CH_2)_8CO_2C_8H_{17}$	218,2
91	$CH_3(CH_2)_{10}CO_2C_2H_5$	222,4
92	$C_2H_5O_2CCO_2C_2H_5$	146,1
93	$C_2H_5O_2C(C_2H_4)_4CO_2C_2H_5$	202,2
94	$CH_2(CO_2C_2H_5)_2$	160,2
95	$C_6H_5CO_2CH_3$	136,1
96	$C_6H_5CO_2C_2H_5$	150,2
97	$C_6H_5CO_2C_3H_7$	164,2
98	$C_6H_5CO_2C_4H_9$	178,2
99	$(C_4H_9O)_3PO$	266,3
100	$C_6H_4(OH)CO_2CH_3$	152,2
101	$C_6H_5(CH_2CO_2CH_3)$	150,2
102	$(CH_2)_3CO_2$	86,1
103	C_5H_9NO	99,1
104	$C_8H_{16}O$	128,2
105	$CH_3COCH_2COCH_3$	100,1
106	$C_6H_5COCH_3$	120,2
107	CH_3CH_2COOH	74,1
108	$C_{18}H_{32}O_2$	280,5

Çizelge Ek 1.2. Absorbentler (Macriss ve ark 1988) (devam)

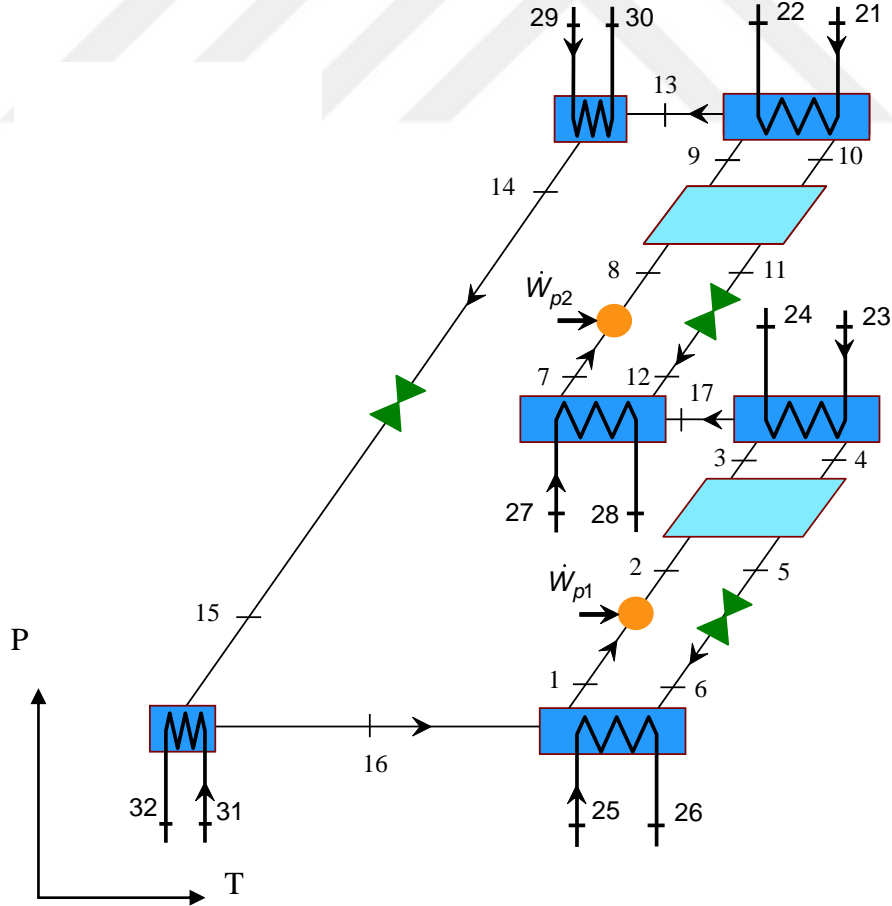
109	$C_{18}H_{34}O_2$	282,5
110	$C_5H_{10}O_2$	102,1
111	C_7H_6O	106,1
112	$CH_3(CH_2)_{12}CH_3$	198,4
113	$(C_6H_5)_2O$	170,2
114	C_7H_5NS	135,2
115	$CH_3PO(OCH_3)_2$	124,1
116	$(CH_3)_2SO$	78,1
117	$C_6H_5NO_2$	123,1
118	PSD*	Belirlenmemiş
119	$C_9H_{17}N$	139,2
120	$C_5H_{11}NO$	101,2
121	$C_6H_5SO_3Li$	164,1
122	$C_6H_{12}N_4$	140,0
123	$C_5H_{10}N_2O$	114,2
124	$C_6H_{12}N_2O$	128,2
125	$C_7H_{13}NO$	101,1
126	$C_5H_9NO_2$	115,1
127	$C_3H_4O_3$	88,1
128	$C_4H_7O_3$	102,1
129	$C_4H_8SO_2$	120,2
130	$C_9H_8O_2$	148,2
131	$C_{19}H_{26}O_2$	202,3

EK 2. İleri LiBr-Su Termodinamik Çevrimleri

Jeneratör besleme sıcaklıklarına göre sistemin COP değerini yükseltmek amacıyla LiBr-Su solüsyonu için geliştirilmiş çeşitli konfigürasyonlar literatürde mevcuttur. Aşağıda bu çevrimlerin çizimi Dühring diyagramına uygun olarak verilmiştir .

1. Yarım Etkili Çevrim

Yarım etkili sistem tek etkili sistem için gerekli jeneratör sıcaklığının bulunmaması durumunda kullanılabilir. Minimum jeneratör sıcaklığı evaporatör ve kondenser sıcaklığına bağlı olmakla birlikte pratik olarak düşük sıcaklık kaynakları ile çalışmak yarım etkili sistemlerle mümkündür. Tek etkiliden farklı olarak üç adet basınç kademesi mevcuttur. Alt jeneratördeki su buharı yüksek absorbere orta kademedeye girer. Yüksek solüsyon çevrimi su buharını jeneratörde tekrar kaynatır (Şekil Ek 2.1). Yarım etkili sistemlerin düşük sıcaklık etkisiyle STK değerleri 0,35 civarındadır.



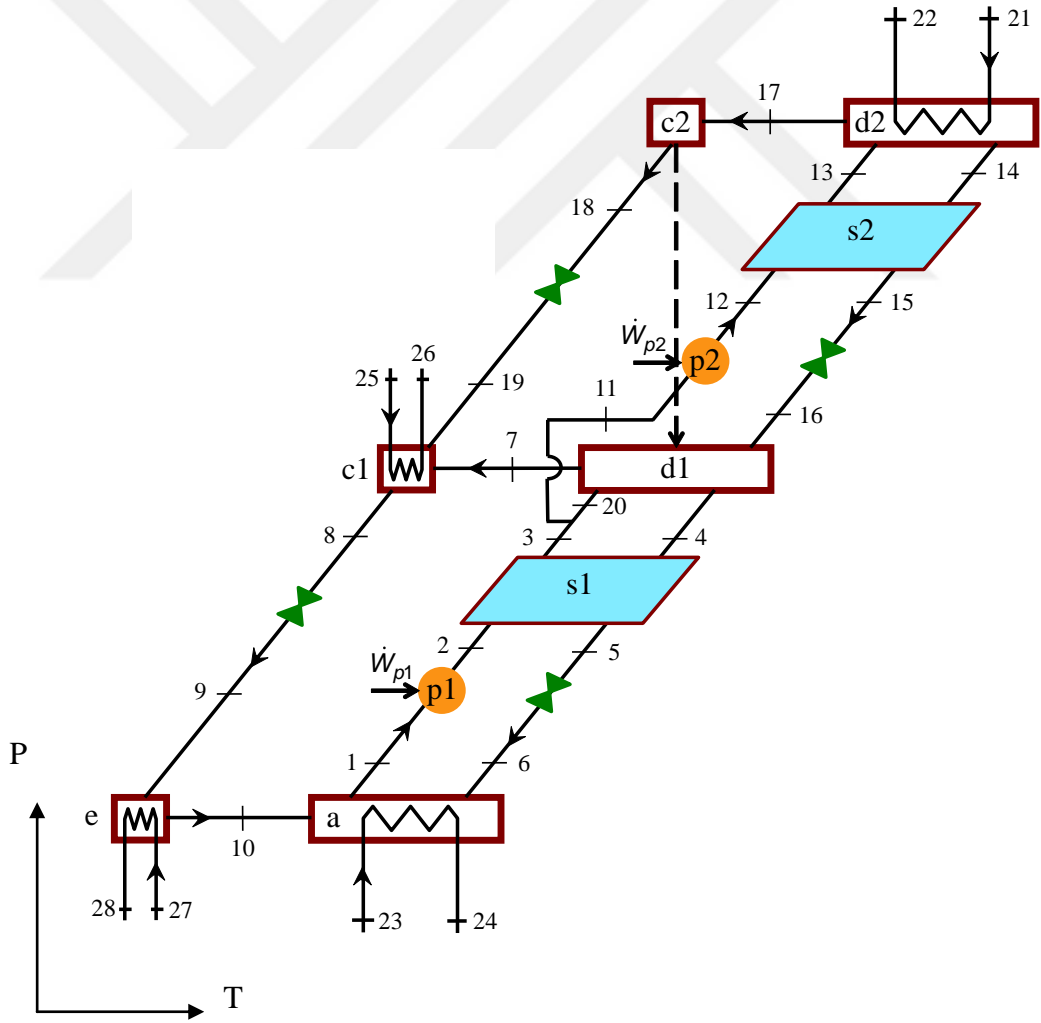
Şekil Ek 2.1. Yarım etkili çevrim (Herold ve ark. 1996)

2. Çift Etkili Çevrimler

Jeneratör giriş sıcaklığının tek kademelilerden yüksek olduğu durumlarda daha yüksek COP için kullanılırlar. Çift etkili sistemler jeneratörden çıkan doymuş su buharının üst kondenserde yoğuşurken çıkan ısının alt jeneratörde kullanılmasına dayanmaktadır. Gerçekte üst kondenslerle alt jeneratör tek bir üniteden oluşmaktadır. Şekil üzerindeki kesikli çizgiler bu yapıyı göstermektedir. Üç temel çift etkili sistem konfigürasyonu mevcuttur.

a. Paralel

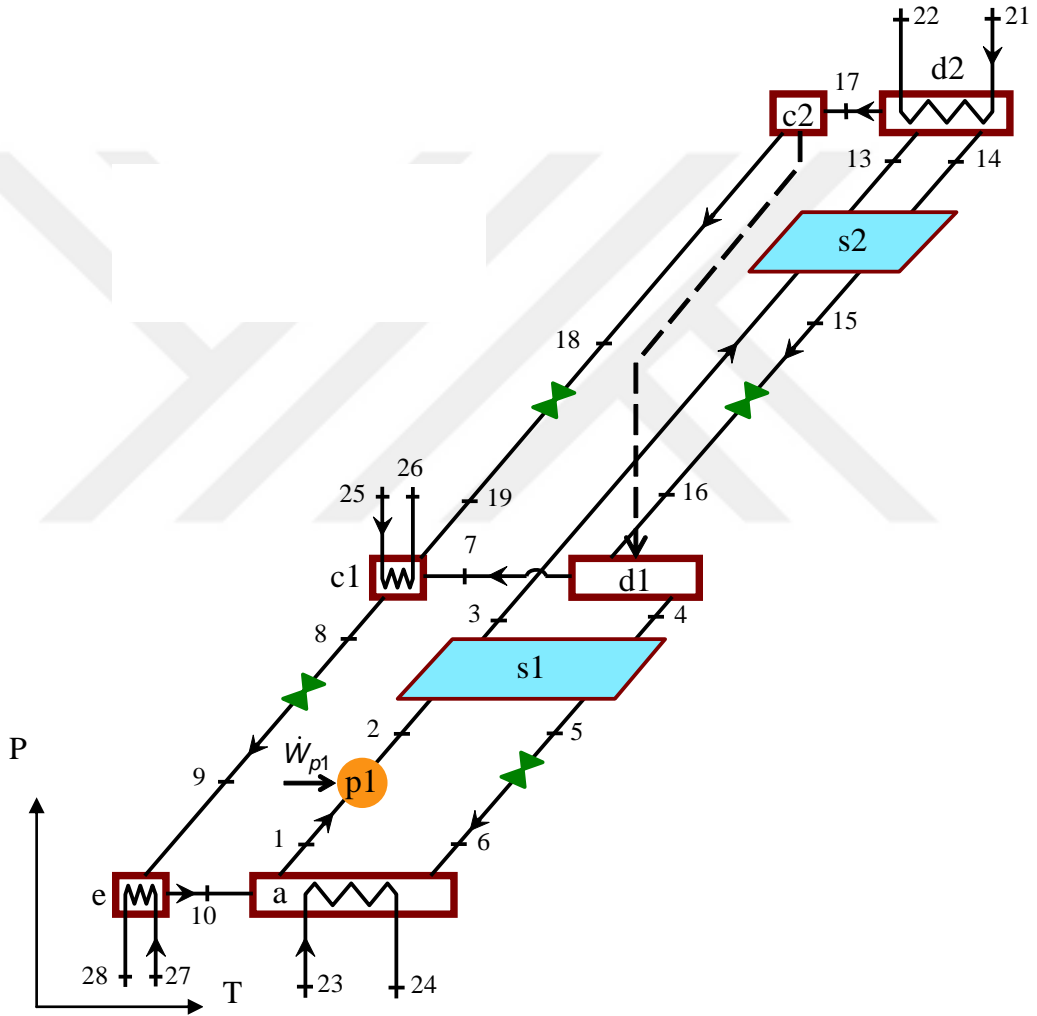
Absorberden pompalanan solüsyon her iki jeneratöre paralel şekilde dağılmaktadır. Sistemde iki adet solüsyon pompası bulunmaktadır (Şekil Ek 2.2).



Şekil Ek 2.2. Çift etkili paralel çevrim (Herold ve ark. 1996)

b. Seri 1

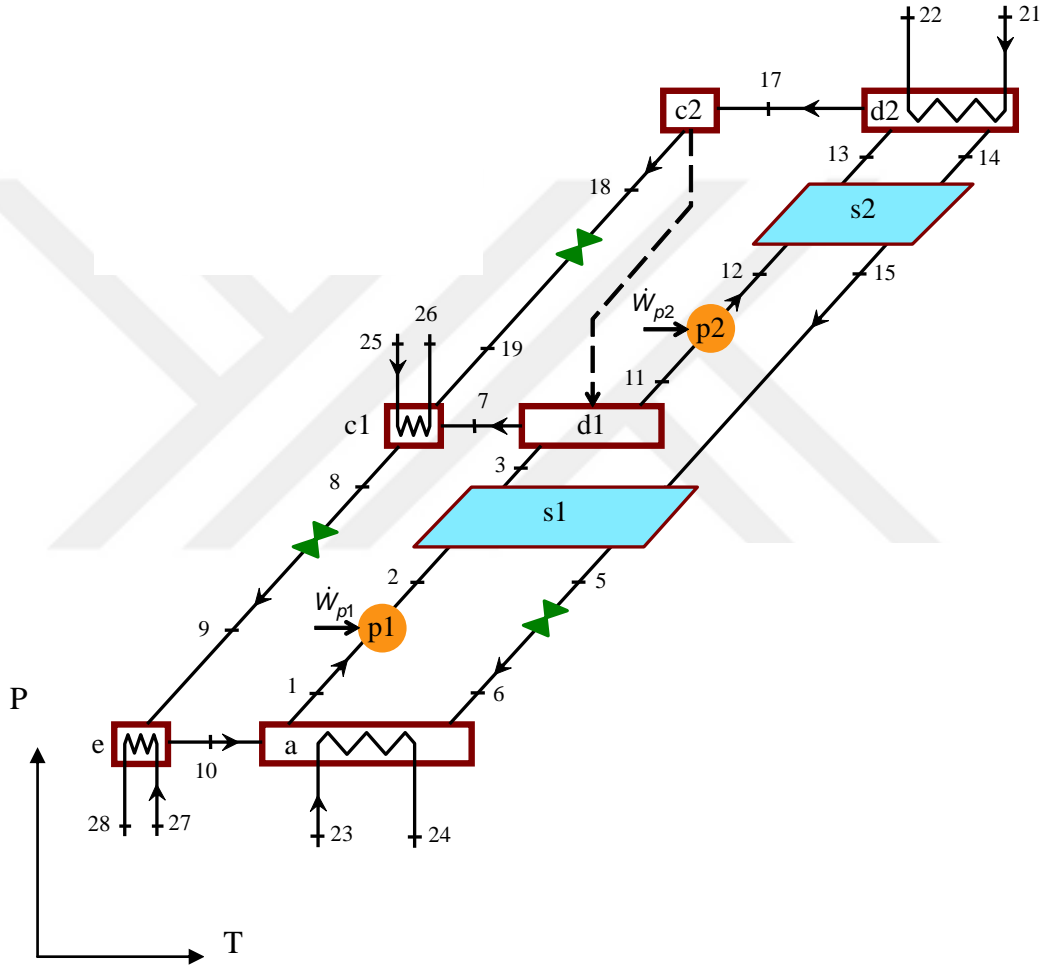
Absorberden çıkan solüsyon üst jeneratöre direkt olarak pompalanır. Üst jeneratörden çıkan zengin eriyik alt alt jeneratöre girer , kaynama işleminin sonunda solüsyon absorbere döner. Tek solüsyon pompası bulunması çevrimin avantajıdır (Şekil Ek 2.3).



Şekil Ek 2.3. Çift etkili seri 1 çevrim (Herold ve ark. 1996)

c. Seri 2 (Ters)

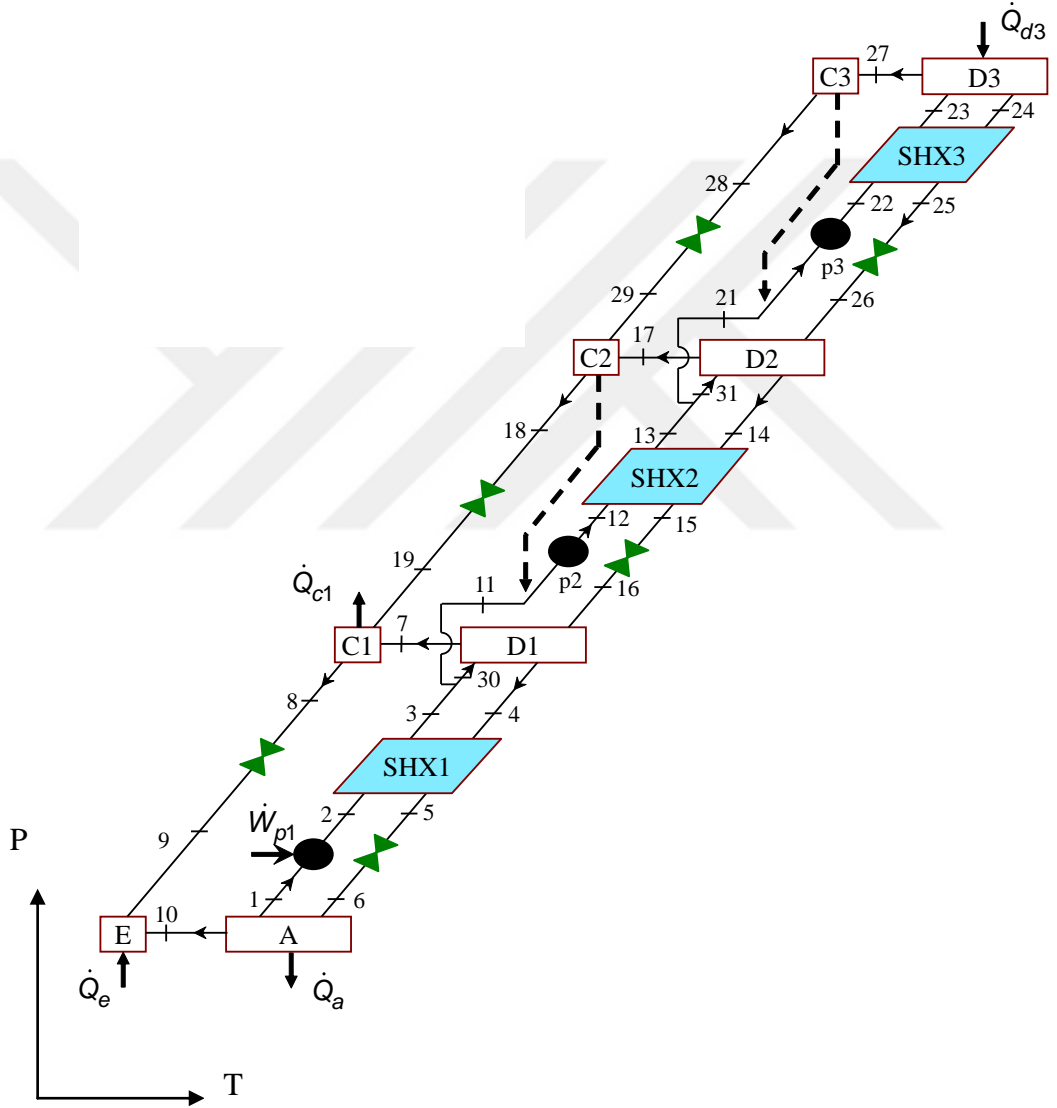
Absorberden çıkan solüsyon önce alt jeneratöre girer. Burada buharlaşan suyun etkisiyle konsantrasyonu artan solüsyon üst jeneratöre pompalanır. Üst jeneratörde konsantrasyonu daha da artan solüsyon absorbere döner.



Şekil Ek 2.4. Çift etkili paralel çevrim (Herold ve ark. 1996)

3. Üç Etkili Sistem

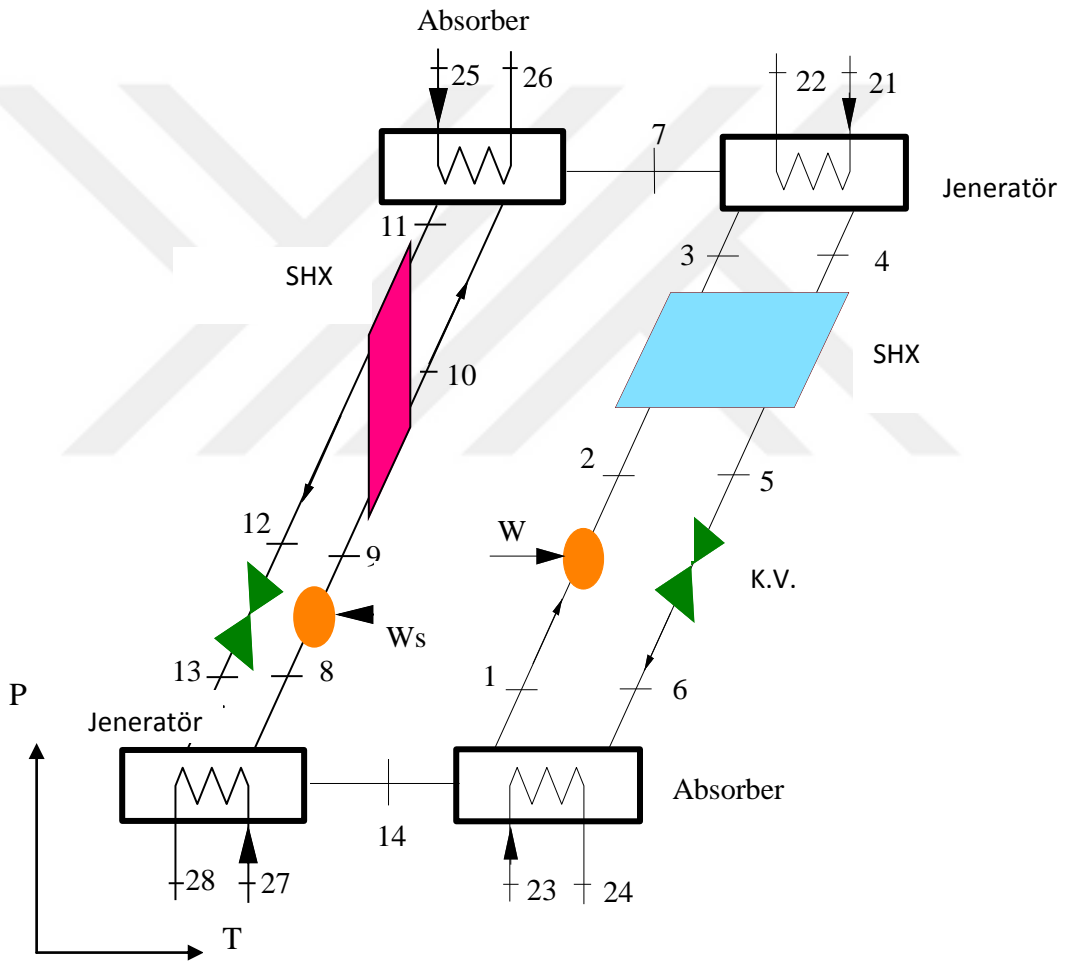
Bu çevrim çift kademelinin genişletilmiş versiyonudur. Kondenslerle jeneratör arasında İki adet iç ısı değiştirici bulunmaktadır (Şekil Ek 2.5). Üç adet jeneratörde soğutucu su buharı oluşturulduğundan üç etkili adlandırılmıştır. Teorik olarak çok sayıda konfigürasyon mevcuttur.



Şekil Ek 2.5. Üç etkili çevrim (Herold ve ark. 1996)

4. Resorbsiyon Sistem

Bu çevrimde tek solüsyon çevrimi yerine iki adet mevcuttur. Tek etkili sistemdeki kondenser, kısılma vanası, evaporatör yerini ikinci bir absorber, solüsyon eşanjörü, jeneratör ve pompaya bırakmıştır. Burada absorber kondenserin jeneratörde evaporatörün yerini almıştır. Dört farklı solüsyon konsantrasyonu mevcuttur.



Şekil Ek 2.6. Resorbsiyon çevrimi (Herold ve ark. 1996)

EK 3. Tek Kademeli Absorbsiyonlu Soğutma Sistemin EES Modeli

Sistemin modellenmesi EES Professional 9.9.4.8 versiyonu kullanılarak yapılmıştır. Sistemin enerji, ekserji, ısı transfer katsayıları ve eşanjör ısı transfer yüzey alanları aşağıda verilen kod yardımıyla hesaplanmaktadır. Anlaşılır olması bakımından kodun 'Equations Windows' çıktı hali verilmiştir. Gerekli görülen noktalarda kodun yanında bir defaya mahsus açıklama yapılmıştır.

\$Unit System SI C kPa kJ mass

\$ TabStops 0.2 4 in

Function LMTD (T1, T2, T3, T4) /Logaritmik sıcaklık farkı kontrolü/

dTa=T1-T2

dTb=T3-T4

if (dTa=dTb) then

LMTD=dTa

else

if (dTa<0) or (dTb<0) then

LMTD=0

else

$$LMTD = \frac{dT_a - dT_b}{\ln\left(\frac{dT_a}{dT_b}\right)}$$

endif

endif

end

function exergy(h, h_o, s, s_o, T_{ok}, Vel, z)/Ekserji fonksiyonu/

$$g=9.81 [m/s^2]$$

$$exergy=h - h_o - T_{ok}(s - s_o) + \frac{Vel^2}{2} + g \cdot z$$

end

$$Q_e = 35 [kW]/Soğutma kapasitesi/$$

$$T_{13} = T_{15}$$

$$m_{13} = 2.275 [kg/s]/Soğutma kulesi suyu debisi, ilgili standarta göre/$$

$$m_{13} = m_{15}$$

$$m_{17} = 1.505 [kg/s]/Evaporatör debisi , ilgili standarta göre/$$

$$T_{10} = T_{18} - 2 [C] /Evaporatör sıcaklığı/$$

$$T_{15} = 29,6 [C] /Kondenser sıcaklığı/$$

$$T_4 = 90 [C] /Jeneratör sıcaklığı/$$

$$T_{18} = 6,7 [C] /Evaporatör çıkış sıcaklığı/$$

$$\varepsilon=0,6 /Solüsyon elanjör verimliliği/$$

$$P_{high} = P_{sat}(Steam, T = T_8) /Kondenser basıncı/$$

$$P_{low} = P_{sat}(Steam, T = T_{10}) /Evaporatör basıncı/$$

$$P_7 = P_{high}$$

$$q_7 = 1/Doymuş buhar/$$

$$h_7 = h(Steam, T = T_7, P = P_7)$$

$$s_7 = s(Steam, T = T_7, P = P_7)$$

$$T_7 = TSat_{LiBrSSC}(P_{high}, x_{ort})$$

$$x_{ort} = \frac{x_3 + x_4}{2} \quad /Zengin ve fakir eriyik karışımı/$$

$$P_8 = P_7$$

$$q_8 = 0 /Doymuş sıvı/$$

$$h_8 = h(Steam, x = 0, P = P_8)$$

$$s_8 = s(Steam, x = 0, P = P_8)$$

$$h_9 = h_8$$

$$P_9 = P_{low}$$

$$T_9 = T_{10}$$

$$s_9 = s(Steam, T = T_9, h = h_9)$$

$$q_9 = x(Steam, T = T_9, h = h_9)$$

$$P_{10} = P_{low}$$

$$q_{10} = 1 /Doymuş buhar/$$

$$h_{10} = h(Steam, x = 1, P = P_{10})$$

$$s_{10} = s(Steam, x = 1, P = P_{10})$$

$$P_1 = P_{low}$$

$$T_1 = T_8 /Kond. ve abs. çıkışı aynı sıcaklık/$$

$$x_1 = x_{LiBrH_2O}(T_1, P_1)$$

$$h_1 = h_{LiBrH_2O}(T_1, x_1)$$

$$s_1 = s_{LiBrH_2O}(T_1, x_1)$$

$$P_2 = P_{high}$$

$$T_2 = T_1$$

$$x_2 = x_1$$

$$h_2 = h_1 + W_{solp}$$

$$W_{solp} = v_{solp} \cdot \frac{P_2 - P_1}{\eta_{solp}} / \text{Solüsyon pompası/}$$

$$\eta_{solp} = 0,7 / \text{Pompa verimi/}$$

$$v_{solp} = \frac{1}{\rho_{LiBrH_2O}(T_2, x_2)} / \text{Fakir solüsyon özgül hacmi/}$$

$$s_2 = s_{LiBrH_2O}(T_2, x_2)$$

$$P_3 = P_{high}$$

$$x_3 = x_2$$

$$h_3 = h_{LiBrH_2O}(T_3, x_3)$$

$$s_3 = s_{LiBrH_2O}(T_3, x_3)$$

$$P_4 = P_{high}$$

$$x_4 = x_{LiBrH_2O}(T_4, P_4)$$

$$h_4 = h_{LiBrH_2O}(T_4, x_4)$$

$$s_4 = s_{LiBrH_2O}(T_4, x_4)$$

$$P_5 = P_{high}$$

$$x_5 = x_4$$

$$h_5 = h_{LiBrH_2O}(T_5, x_5)$$

$$s_5 = s_{LiBrH_2O}(T_5, x_5)$$

$$P_6 = P_{low}$$

$$x_6 = x_5$$

$$h_5 = h_6$$

$$s_6 = s_{LiBrSSC}(T_6, x_6) + s(\text{Water}, T = T_6, P = P_6). Q_6/SKV \text{ etkisi/}$$

$$\text{call Flash}_{LiBrSSC}(h_6, P_{low}, x_6: Q_6, T_6)$$

$$f = \frac{x_3}{x_4 - x_3}$$

$$(f + 1). (h_3 - h_2) = (h_4 - h_5). f$$

$$\varepsilon = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_2} / SHX \text{ etkinlik katsayısı/}$$

$$q_{jen} = h_7 + h_4. f - (f + 1). h_3$$

$$q_{abs} = h_1. (f + 1) - h_6. f - h_{10}$$

$$q_{evap} = h_{10} - h_9$$

$$q_{kon} = h_8 - h_7$$

$$q_{SHX} = (f + 1). (h_3 - h_2)$$

$$Q_{hot} = q_{jen} + q_{evap} / \text{Enerji dengesi/}$$

$$Q_{cold} = q_{kon} + q_{abs}$$

$$m_7 = \frac{Q_e}{q_{evap}} / \text{Soğutucu akışkan kütlesi/}$$

$$m_8 = m_7$$

$$m_9 = m_8$$

$$m_{10} = m_9$$

$$f = \frac{m_4}{m_7}$$

$$f + 1 = \frac{m_3}{m_7}$$

$$F_r = \frac{m_3}{m_7} / \text{Dolaşım oranı/}$$

$$F_{r1} = \frac{x_4}{x_4 - x_3}$$

$$COP = \frac{q_{evap}}{q_{jen}} / \text{Soğutma tesir katsayısı} /$$

$$\Delta T \ln_{abs} = \frac{T_6 - T_{14} - T_1 + T_{13}}{\ln\left(\frac{T_6 - T_{14}}{T_1 - T_{13}}\right)} / \text{Absorber logaritmik sıcaklık farkı} /$$

$$T_{13} = T_8 - 8$$

$$\Delta T \ln_{jen} = \frac{T_{11} - T_4 - T_{12} + T_7}{\ln\left(\frac{T_{11} - T_4}{T_{12} - T_7}\right)} / \text{Jeneratör logaritmik sıcaklık farkı} /$$

$$T_{11} = T_{12} + 5$$

$$T_{12} = T_4 + 5$$

$$\Delta T \ln_{kon} = \frac{T_8 - T_{15} - T_8 + T_{16}}{\ln\left(\frac{T_8 - T_{15}}{T_8 - T_{16}}\right)} / \text{Kondenser logaritmik sıcaklık farkı} /$$

$$\Delta T \ln_{evap} = \frac{T_{17} - T_{10} - T_{18} + T_{10}}{\ln\left(\frac{T_{17} - T_{10}}{T_{18} - T_{10}}\right)} / \text{Evaporatör logaritmik sıcaklık farkı} /$$

$$\Delta T \ln_{shx} = \frac{T_4 - T_3 - T_5 + T_2}{\ln\left(\frac{T_4 - T_3}{T_5 - T_2}\right)} / \text{SHX logaritmik sıcaklık farkı} /$$

$$U_{jen} = 1,2 \left[\frac{kW}{m^2 C} \right] / \text{Jeneratör toplam ısı transfer katsayısı} /$$

$$U_{kon} = 1,3 \left[\frac{kW}{m^2 C} \right] / \text{Kondenser toplam ısı transfer katsayısı} /$$

$$U_{evap} = 1,5 \left[\frac{kW}{m^2 C} \right] / \text{Evaporatör toplam ısı transfer katsayısı} /$$

$$U_{abs} = 0,6 \left[\frac{kW}{m^2 C} \right] / \text{Absorber toplam ısı transfer katsayısı} /$$

$$U_{shx} = 2,0 \left[\frac{kW}{m^2 C} \right] / \text{SHX toplam ısı transfer katsayısı} /$$

$$\dot{Q}_{jen} = q_{jen} \cdot m_7 / \text{Jeneratör ısı gücü} /$$

$$\dot{Q}_{abs} = q_{abs} \cdot m_7 / \text{Absorber ısı gücü} /$$

$$\dot{Q}_{kon} = q_{kon} \cdot m_7 / \text{Kondenser ısıl gücü/}$$

$$\dot{Q}_{evap} = q_{jen} \cdot m_7 / \text{Evaporatör ısıl gücü/}$$

$$\dot{Q}_{SHX} = q_{SHX} \cdot m_7 / \text{Shx ısıl gücü/}$$

$$\dot{Q}_{jen} = U_{jen} \cdot A_{jen} \cdot \Delta T \ln_{jen} / \text{Jeneratör ısı transfer yüzey alanı/}$$

$$Abs(\dot{Q}_{abs}) = U_{abs} \cdot A_{abs} \cdot \Delta T \ln_{abs} / \text{Absorber ısı transfer yüzey alanı/}$$

$$Abs(\dot{Q}_{kon}) = U_{kon} \cdot A_{kon} \cdot \Delta T \ln_{kon} / \text{Kondenser ısı transfer yüzey alanı/}$$

$$\dot{Q}_{evap} = U_{evap} \cdot A_{evap} \cdot \Delta T \ln_{evap} / \text{Evaporatör ısı transfer yüzey alanı/}$$

$$\dot{Q}_{SHX} = U_{SHX} \cdot A_{SHX} \cdot \Delta T \ln_{shx} / \text{Shx ısı transfer yüzey alanı/}$$

$$\Delta A = A_{jen} + A_{abs} + A_{kon} + A_{evap} + A_{SHX} \quad / \text{Toplam ısı transfer yüzey alanı/}$$

$$D_{boru} = 0,016 [m] / \text{Boru dış çapı/}$$

$$l_{boru} = 1 [m] / \text{Boru boyu/}$$

$$A_{boru} = \pi \cdot D_{boru} \cdot l_{boru} / \text{Tek boru ısı transfer yüzey alanı/}$$

$$N_{boru} = \text{Round} \left(\frac{\Delta A}{A_{boru}} \right) / \text{Boru adedi/}$$

$$T_o = 25 [C] / \text{Ölü hal şartları/}$$

$$P_o = 100 [kPa]$$

$$Vel = 0 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$z = 0 [m]$$

$$h_o = h(\text{Water}, T = T_o, P = P_o)$$

$$s_o = s(\text{Water}, T = T_o, P = P_o)$$

$$P_w = 200 [kPa] / \text{Dış akışlarda su basıncı kabulü/}$$

$$\text{duplicate } j=11,18 / \text{Dış akışların entalpi ve entropisi/}$$

$$h_j = h(\text{Water}, T = T_j, P = P_w)$$

$$s_j = s(\text{Water}, T = T_j, P = P_w)$$

end

$$T_{ok} = 298,15 [C]$$

duplicate i=7,18/Suya ait ekserjiler/

$$e_i = \text{exergy}(h_i, h_o, s_i, s_o, T_{ok}, Vel, z)$$

end

$$h_{o,solf} = h_{LiBrH2O}(T_o, x_1)$$

$$s_{o,solf} = s_{LiBrH2O}(T_o, x_1)$$

$$h_{o,solz} = h_{LiBrH2O}(T_o, x_4)$$

$$s_{o,solz} = s_{LiBrH2O}(T_o, x_4)$$

duplicate i=1,6/Solüsyona ait ekserjiler/

$$e_i = \text{exergy}(h_i, h_o, s_i, s_o, T_{ok}, Vel, z)$$

end

$$\dot{Q}_{jen} = (h_{11} - h_{12}) \cdot m_{11} / \text{Dış akış debileri/}$$

$$\text{abs}(\dot{Q}_{abs}) = (h_{14} - h_{13}) \cdot m_{13}$$

$$\text{abs}(\dot{Q}_{kon}) = (h_{16} - h_{15}) \cdot m_{15}$$

$$\dot{Q}_{evap} = (h_{17} - h_{18}) \cdot m_{17}$$

$$m_{11} = m_{12}$$

$$m_{13} = m_{14}$$

$$m_{15} = m_{16}$$

$$m_{17} = m_{18}$$

$$m_1 = m_2$$

$$m_2 = m_3$$

$$m_4 = m_5$$

$$m_5 = m_6$$

$$\Delta E_{jen} = (m_3 \cdot e_3 + m_{11} \cdot e_{11}) - (m_{12} \cdot e_{12} + m_7 \cdot e_7 + m_4 \cdot e_4) / \text{Ekserji kayıpları}$$

$$\Delta E_{abs} = (m_{10} \cdot e_{10} + m_6 \cdot e_6 + m_{13} \cdot e_{13}) - (m_{14} \cdot e_{14} + m_1 \cdot e_1)$$

$$\Delta E_{kon} = (m_7 \cdot e_7 + m_{15} \cdot e_{15}) - (m_8 \cdot e_8 + m_{16} \cdot e_{16})$$

$$\Delta E_{evap} = (m_9 \cdot e_9 + m_{17} \cdot e_{17}) - (m_{10} \cdot e_{10} + m_{18} \cdot e_{18})$$

$$\Delta E_{SHX} = m_2 \cdot e_2 + m_4 \cdot e_4 - (m_3 \cdot e_3 + m_5 \cdot e_5)$$

$$\Delta E_{kv} = m_8 \cdot (e_8 - e_9)$$

$$\Delta E_{kv,s} = m_5 \cdot (e_5 - e_6)$$

$$\Delta E_{Toplam} = \Delta E_{kv} + \Delta E_{kv,s} + \Delta E_{jen} + \Delta E_{abs} + \Delta E_{kon} + \Delta E_{evap} + \Delta E_{SHX}$$

$$\Psi = \frac{m_{17} \cdot (e_{18} - e_{17})}{m_{11} \cdot (e_{11} - e_{12}) + W_{solp}} / \text{Ekserji verimi}$$

$$COP_c = \frac{T_{jen} - T_{abs}}{T_{jen}} \cdot \frac{T_{evap}}{T_{kon} - T_{evap}} / \text{Carnot soğutma etki katsayısı}$$

$$T_{jen} = \text{ConvertTemp}(C, K, T_7)$$

$$T_{abs} = \text{ConvertTemp}(C, K, T_1)$$

$$T_{kon} = \text{ConvertTemp}(C, K, T_8)$$

$$T_{evap} = \text{ConvertTemp}(C, K, T_{10})$$

$$\tau = \frac{COP}{COP_c} / \text{Boyutsuz tesir katsayısı}$$

Toplam Isı Transfer Katsayıları Hesabı EES Modeli

Kondenser

/Dış ısı transfer katsayısı/

$P_{high} = 6,418$ [kPa] , ana kod hesabından/

$$T_f = \frac{T_8 + T_{16}}{2} \quad \text{/Film sıcaklığı/}$$

$$T_{doy} = T_{sat}(Water, P = P_{high}) \text{/Buhar doyma sıcaklığı/}$$

$$cp_s = cp(Water, T = T_f, P = P_{high}) \text{/Özgül ısı/}$$

$$k_s = k(Water, T = T_f, P = P_{high}) \text{/Isı iletim katsayısı/}$$

$$\rho_s = \rho(Water, T = T_f, P = P_{high}) \text{/Suyun yoğunluğu/}$$

$$Pr = Pr(Water, T = T_f, P = P_{high}) \text{/Prandtl sayısı/}$$

$$\rho_b = \rho(Steam, x = 1, P = P_{high}) \text{/Su buharı yoğunluğu/}$$

$$\mu_s = \mu(Water, T = T_f, P = P_{high}) \text{/Dinamik viskozite/}$$

$$h_{sb} = (Steam, T = T_f) \text{/Buharlaştırma özgül entalpisi/}$$

$$T_o = 34 \text{ [C] /Boru yüzey sıcaklığı/}$$

$$d=0,016 \text{ [m]}$$

$$L=1 \text{ [m]}$$

$$g=9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$Ja = cp_s \cdot \frac{T_{doy} - T_o}{h_{sb}} \text{/Jacop sayısı/}$$

$$h_{sbd} = h_{sb} \cdot (1 + 0,68 \cdot Ja) \text{/Düzeltilmiş buh. özgül entalpisi/}$$

$$Nu_d = 0,729 \left((h_{sbd} \cdot \rho_s \cdot (\rho_s - \rho_b) \cdot g \cdot d^3) / (\mu_s \cdot k_s \cdot (T_{doy} - T_o)) \right)^{0,25}$$

$$Nu_d = h_d \cdot d / k_s \quad \text{/Nusselt ve dış ısı transfer katsayısı/}$$

$$A_{boru} = \pi \cdot d \cdot L$$

$$q = h_d \cdot A_{boru} \cdot (T_{doy} - T_o)$$

$$\dot{m} = \frac{q}{h_{sbd} \cdot 1000} \text{/Yoğuşan su debisi kontrolü/}$$

$$\Gamma = \dot{m} / L$$

$$Re = 4 \cdot \frac{\Gamma}{\mu_s}$$

$$N_{boru} = \frac{0,01488}{\dot{m}} \text{/Gerekli boru sayısı debiye göre/}$$

$$\text{/İç ısı transfer katsayısı/}$$

$$Gs = 3 \quad \text{/Eşanjör geçiş sayısı/}$$

$$Bs = 85 \quad \text{/Boru sayısı/}$$

$$\dot{m}_{boru} = \left(\frac{\dot{m}_{13}}{Bs} \right) \cdot Gs \text{/Boru başına soğutma kulesi debisi/}$$

$$T_m = \frac{T_{15} + T_{16}}{2} \quad \text{/Ortalama su sıcaklığı/}$$

$$d_i = 0,9 \cdot d$$

$$\mu_{s,in} = \mu(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$Re_{in} = 4 \cdot \frac{\dot{m}}{\pi \cdot d_i \cdot \mu_{s,in}} \text{/Reynolds sayısı/}$$

$$Pr_{in} = Pr(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$Nu_{in} = 0,023 \cdot Re_{in}^{0,8} \cdot Pr_{in}^{0,4} \text{/Boru içi türbülanslı akış/}$$

$$k_{in} = k(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$h_{in} = Nu_{in} \cdot \frac{k_{in}}{d_i}$$

$$U_{kond} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{in}}\right) + \left(\frac{1}{h_d}\right)} \text{ /Toplam ısı transfer katsayısı/}$$

Evaporatör

/Dış ısı transfer katsayısı/

$$P = P_{sat}(\text{Water}, T = Tf)$$

$$Tf = \frac{T_o + T_s}{2} \text{ /Film sıcaklığı/}$$

$$T_o = 7 \text{ [C]}$$

$$T_s = 5 \text{ [C]}$$

$$\rho = \rho(\text{Water}, x = 0, P = P)$$

$$k = k(\text{Water}, x = 0, P = P)$$

$$\mu = \mu(\text{Water}, x = 0, P = P)$$

$$Pr = Pr(\text{Water}, x = 0, P = P)$$

$$Re = 4 \cdot \frac{\zeta}{\mu} \text{ /Film Reynolds sayısı/}$$

$$\zeta = \frac{\dot{m}_g \cdot RO}{2 \cdot L_{boru} \cdot N_{kolon}} \text{ /Film akış oranı/}$$

$$N_{kolon} = 10 \text{ /Boru demeti kolon sayısı/}$$

$$L_{boru} = 1 \text{ [m]}$$

$$\dot{m}_g = 0,01488 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$RO = 4$$

/Resirkülasyon oranı/

$$Nu = 0,042 \cdot Re^{0,15} Pr$$

$$d_{fa} = \left(3 \cdot \mu \cdot \frac{\zeta}{\rho^2 \cdot g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_d = h_d \cdot \frac{d_{fa}}{k}$$

/İç ısı transfer katsayısı/

$$Gs = 3$$

$$Bs = 85$$

$$\dot{m}_{boru} = \left(\frac{2,275}{B_s} \right) \cdot Gs$$

$$T_m = \frac{34,19 + 29,4}{2}$$

$$d_i = 0,9 \cdot d$$

$$\mu_{s,in} = \mu(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$Re_{in} = 4 \cdot \frac{\dot{m}}{\pi \cdot d_i \cdot \mu_{s,in}}$$

$$Pr_{in} = Pr(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$Nu_{in} = 0,023 \cdot Re_{in}^{0,8} \cdot Pr_{in}^{0,4}$$

$$k_{in} = k(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$h_{in} = Nu_{in} \cdot \frac{k_{in}}{d_i}$$

$$U_{evap} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_d} \right) + \left(\frac{1}{h_i} \right)}$$

Absorber

/Dış ısı transfer katsayısı/

$$Nu_d = 0,0048 \cdot Re^{1,6258}$$

$$T_{sol} = 52$$

$$x_{sol} = 0,63$$

$$Re = 4 \cdot \frac{\zeta}{\mu}$$

$$k = Cond_{LiBrH_2O}(T_{sol}, x_{sol})$$

$$\mu = ViSC_{LiBrH_2O}(T_{sol}, x_{sol})$$

$$P = P_{sat}(Water, T = 34)$$

$$\zeta = \frac{\dot{m}_6 \cdot RO}{2 \cdot L_{boru} \cdot N_{kolon}}$$

$$N_{kolon} = 10$$

$$L_{boru} = 1 [m]$$

$$\dot{m}_6 = 0,1236$$

$$RO = 4$$

$$d_{fa} = \left(3 \cdot \mu \cdot \frac{\zeta}{\rho^2 \cdot g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\rho = \rho_{LiBrH_2O}(T[6], x[6])$$

$$g = 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$h_d \cdot \frac{d_{fa}}{k} = Nu_d$$

/İç ısı transfer katsayısı/

$$Gs = 3$$

$$Bs = 85$$

$$\dot{m}_{boru} = \left(\frac{\dot{m}_{13}}{B_s} \right) \cdot Gs$$

$$T_m = \frac{T_{13} + T_{14}}{2}$$

$$d_i = 0,9 \cdot d$$

$$\mu_{s,in} = \mu(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$Re_{in} = 4 \cdot \frac{\dot{m}}{\pi \cdot d_i \cdot \mu_{s,in}}$$

$$Pr_{in} = Pr(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$Nu_{in} = 0,023 \cdot Re_{in}^{0,8} \cdot Pr_{in}^{0,4}$$

$$k_{in} = k(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$h_{in} = Nu_{in} \cdot \frac{k_{in}}{d_i}$$

Jeneratör

/Dış ısı transfer katsayısı/

$$h_d = 824 \cdot Re^{0,24}$$

$$T_{sol} = \frac{T_3 + T_4}{2}$$

$$x_{sol} = x_3$$

$$Re = 4 \cdot \frac{\zeta}{\mu}$$

$$k = Cond_{LiBrH_2O}(T_{sol}, x_{sol})$$

$$\mu = ViSC_{LiBrH_2O}(T_{sol}, x_{sol})$$

$$\zeta = \frac{\dot{m}_3 \cdot RO}{2 \cdot L_{boru} \cdot N_{kolon}}$$

$$N_{kolon} = 10$$

$$L_{boru} = 1$$

$$RO = 4$$

/İç ısı transfer katsayısı/

$$Gs = 3$$

$$Bs = 85$$

$$\dot{m}_{boru} = \left(\frac{2,275}{B_s} \right) \cdot Gs$$

$$T_m = \frac{34,19 + 29,4}{2}$$

$$d_i = 0,9 \cdot d$$

$$\mu_{s,in} = \mu(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$Re_{in} = 4 \cdot \frac{\dot{m}}{\pi \cdot d_i \cdot \mu_{s,in}}$$

$$Pr_{in} = Pr(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$Nu_{in} = 0,023 \cdot Re_{in}^{0,8} \cdot Pr_{in}^{0,4}$$

$$k_{in} = k(\text{Water}, T = T_m, P = 200)$$

$$h_{in} = Nu_{in} \cdot \frac{k_{in}}{d_i}$$

$$U_{jen} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} \right) + \left(\frac{1}{h_d} \right)}$$

EK 4. Belirsizlik Analizi

Deneysel sistemlerde her parametrenin bir ölçüm hatası mevcuttur. Hesaplamalarda bu belli oranda bir belirsizliğe yol açmaktadır. Belirsizlik miktarının belirlenmesi hesaplamaların makul sınırlar içinde olup olmadığını göstermesi açısından önemlidir. Bu yöntemde , Y ölçülmesi gereken büyüklük , x ise bu büyüklüğe etki eden değişken ise belirsizlik (Un) :

$$Un_Y = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i}\right)^2 Unx_i^2}$$

şeklinde hesaplanır (Taylor ve Kuyatt 1994).

Prototipin deneysel verilerinin ilgili standarta göre hesaplanması sonucu ortaya çıkan COP değerindeki belirsizlik miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$IPVL(COP) = (0,01xCOP_{\%100}) + (0,42xCOP_{\%75}) + (0,45xCOP_{\%50}) \\ + (0,12xCOP_{\%25})$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_j} = \frac{\dot{m}_{17}Cp_e(T[17] - T[18])}{\dot{m}_{11}Cp_j(T[11] - T[12])}$$

Görüldüğü gibi COP değeri debi ve sıcaklık ölçümündeki hata oranlarına direk olarak bağlıdır. Özgül ısı sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olup hesaplamalarda ortalama sıcaklık değerine göre sabit kabul edilmiştir. Debimetrelerdeki hata oransal olarak %0,2, sıcaklıklarda değere bağlı olarak jeneratörde $\pm 0,8$ °C , evaporatör hattında $\pm 0,4$ °C şeklindedir. Çizelge Ek 4.1'de belirsizlik hesaplamalarında kullanılan değişkenlere aldığı değerler görülmektedir.

Çizelge Ek 4.1. Belirsizlik tablosu

Soğutma kapasitesi [%]	Değişken	Ortalama ölçüm ve belirsizlik değeri	Kısmi türev	Toplamdaki belirsizlik oranı [%]
%100	$m_{A,11}$	$8,843 \pm 0,01769 [m^3/h]$	-0,00047	0,00
	$m_{A,17}$	$5,042 \pm 0,01008 [m^3/h]$	0,0008243	0,00
	$T_{A,11}$	$95,33 \pm 0,8 [^{\circ}C]$	-0,0008083	0,01
	$T_{A,12}$	$90,14 \pm 0,8 [^{\circ}C]$	0,0008041	0,01
	$T_{A,17}$	$11,12 \pm 0,4 [^{\circ}C]$	0,001054	0,00
	$T_{A,18}$	$7,176 \pm 0,4 [^{\circ}C]$	-0,001055	0,00
%75	$m_{B,11}$	$6,635 \pm 0,01327 [m^3/h]$	-0,02772	0,00
	$m_{B,17}$	$3,783 \pm 0,00756 [m^3/h]$	0,04862	0,00
	$T_{B,11}$	$95,16 \pm 0,8 [^{\circ}C]$	-0,0372	14,41
	$T_{B,12}$	$90,18 \pm 0,8 [^{\circ}C]$	0,03701	14,27
	$T_{B,17}$	$11,14 \pm 0,4 [^{\circ}C]$	0,04602	5,51
	$T_{B,18}$	$7,149 \pm 0,4 [^{\circ}C]$	-0,04608	5,53
%50	$m_{C,11}$	$4,423 \pm 0,00884 [m^3/h]$	-0,05073	0,00
	$m_{C,17}$	$2,522 \pm 0,00504 [m^3/h]$	0,08898	0,00
	$T_{C,11}$	$95,05 \pm 0,8 [^{\circ}C]$	-0,04553	21,59
	$T_{C,12}$	$90,08 \pm 0,8 [^{\circ}C]$	0,0453	21,37
	$T_{C,17}$	$11,16 \pm 0,4 [^{\circ}C]$	0,04948	6,37
	$T_{C,18}$	$6,631 \pm 0,4 [^{\circ}C]$	-0,04955	6,39
%25	$m_{D,11}$	$2,213 \pm 0,00442 [m^3/h]$	-0,02804	0,00
	$m_{D,17}$	$1,261 \pm 0,00252 [m^3/h]$	0,04921	0,00
	$T_{D,11}$	$94,95 \pm 0,8 [^{\circ}C]$	-0,01308	1,78
	$T_{D,12}$	$90,16 \pm 0,8 [^{\circ}C]$	0,01302	1,76
	$T_{D,17}$	$11,15 \pm 0,4 [^{\circ}C]$	0,01369	0,49
	$T_{D,18}$	$6,622 \pm 0,4 [^{\circ}C]$	-0,01371	0,49

Belirsizlik miktarını oransal olarak en çok % 50 kapasitedeki ölçümler etkilemektedir. Bunu % 75 kapasite ve % 25 kapasitedeki ölçümler izlemektedir. Debi ölçümlerinin belirsizlikte oynadığı rol ölçüm hassasiyetinden dolayı yüzde dilimine giremeyecek kadar ufaktır. Sıcaklık ölçümlerinde özellikle jeneratör tarafındaki değerlerin etkisi evaporatöre nazaran daha yüksektir. Bunun nedeni direnç değerlerindeki hatanın sıcaklıkla artmasıdır.

$$IPVL(COP) = (0,01 \times 0,4156) + (0,42 \times 0,4379) + (0,45 \times 0,4987) + (0,12 \times 0,5171)$$

$$IPVL(COP) = 0,4745 \pm 0,0784$$

Buna göre prototipin soğutma performans katsayısı,

$$0,553 > COP > 0,396$$

aralığında bulunmaktadır.

Ek 5. Prototip Test Verileri

Deney sırasında ölçüm sıklığı on saniye olarak belirlenmiştir. Her dakika ortalama değer alınarak SQL veri tabanına kayıt edilmiştir. Deney verileri sistem denge haline ulaştıktan sonrasında kapsamaktadır. Çalışma değerleri ilgili standarttaki değerler içinde olacak şekilde deneysel şartlar sağlanmıştır. Toplam deney süresi, denge halinden sonra 330 dk olarak belirlenmiştir. Standartta belirtilen dört farklı çalışma kapasitesine göre deneyler tekrar edilmiştir (Çizelge 5.1-5.4).

Çizelge Ek 5.1. Deneysel veriler, % 100 kapasite

Jeneratör				Soğutma Kulesi				Evaporatör			
Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	Δt_{jen} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]	Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	ΔT_{Sk} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]	Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	ΔT_{evap} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]
92.33	88.33	4.00	8.89	32.08	38.25	6.17	10.65	10.25	8.33	1.92	5.03
95.25	88.10	7.15	8.83	31.09	38.33	7.24	10.43	10.33	6.25	4.08	5.03
99.20	89.09	10.11	8.89	33.11	35.25	2.14	10.44	10.09	6.11	3.98	5.02
97.25	91.33	5.92	8.84	33.09	35.09	2.00	10.42	10.09	8.33	1.76	5.02
91.10	88.17	2.93	8.82	32.13	38.10	5.98	10.48	12.14	8.33	3.81	5.02
93.14	89.09	4.05	8.81	33.14	36.09	2.95	10.43	12.13	7.11	5.01	5.25
99.08	92.13	6.96	8.82	31.08	35.25	4.17	10.44	10.11	8.10	2.01	5.05
94.13	88.17	5.96	8.83	32.11	39.09	6.98	10.54	10.10	7.14	2.96	5.06
96.25	88.13	8.13	8.87	33.20	38.33	5.13	10.51	11.11	7.17	3.94	5.04
95.20	89.33	5.87	8.82	33.20	38.09	4.89	10.45	10.17	8.13	2.04	5.02
94.17	89.08	5.08	8.82	30.11	36.11	6.00	10.48	10.25	7.13	3.13	5.03
92.20	90.13	2.08	8.82	32.33	36.08	3.75	10.41	11.09	7.13	3.97	5.01
95.13	90.20	4.93	8.81	31.33	40.17	8.83	10.60	11.17	6.11	5.06	5.02
99.10	92.17	6.93	8.81	30.33	37.33	7.00	10.73	12.17	7.11	5.06	5.02
91.11	88.17	2.94	8.82	31.08	39.33	8.25	10.60	12.14	8.14	4.00	5.02
95.08	89.33	5.75	8.82	30.08	36.14	6.06	10.42	11.08	8.13	2.96	5.02
96.33	92.10	4.23	8.97	32.20	40.11	7.91	10.46	12.17	7.25	4.92	5.10
99.11	88.14	10.97	8.83	31.20	36.08	4.88	10.42	11.11	8.14	2.97	5.03
93.25	92.09	1.16	8.83	33.11	36.20	3.09	10.48	12.33	8.10	4.23	5.02
98.10	89.10	9.00	8.81	31.09	40.13	9.03	10.44	11.08	8.25	2.83	5.04
98.08	91.25	6.83	8.90	31.20	36.10	4.90	10.42	12.08	8.10	3.98	5.06
99.08	92.08	7.00	8.81	32.33	40.09	7.76	10.43	11.11	6.10	5.01	5.02
91.13	91.17	-0.04	8.82	30.11	35.13	5.01	10.42	10.13	6.08	4.04	5.02
96.11	92.17	3.94	8.81	30.13	38.20	8.08	10.42	10.25	8.17	2.08	5.01
97.14	90.33	6.81	8.82	33.20	37.08	3.88	10.43	11.08	8.14	2.94	5.01
91.33	88.20	3.13	8.84	32.33	38.20	5.87	10.47	11.20	7.08	4.12	5.03

Çizelge Ek 5.1. Deneysel veriler, % 100 kapasite (devam)

99.25	91.25	8.00	8.83	33.17	37.33	4.17	10.41	12.08	7.20	4.88	5.02
93.33	91.08	2.25	8.82	32.13	36.13	4.00	10.43	11.13	6.33	4.79	5.03
94.08	90.08	4.00	8.81	31.20	36.08	4.88	10.46	11.10	7.10	4.00	5.05
98.14	92.17	5.98	8.83	31.33	35.14	3.81	10.42	11.09	6.14	4.95	5.08
97.25	90.17	7.08	8.82	33.13	36.14	3.02	10.51	11.20	7.11	4.09	5.02
95.25	90.10	5.15	8.81	31.25	35.08	3.83	10.51	12.08	8.14	3.94	5.09
96.17	92.14	4.02	8.82	32.10	36.17	4.07	10.45	12.08	8.33	3.75	5.02
98.11	88.17	9.94	8.82	30.09	35.11	5.02	10.48	12.33	7.08	5.25	5.06
98.10	92.25	5.85	8.83	33.17	40.10	6.93	10.42	11.14	8.20	2.94	5.02
97.13	89.17	7.96	8.82	32.08	37.09	5.01	10.42	10.09	6.20	3.89	5.02
92.10	89.08	3.02	8.90	30.20	35.10	4.90	10.41	11.08	8.11	2.97	5.02
92.11	89.14	2.97	8.84	30.20	36.25	6.05	10.41	11.10	7.13	3.98	5.02
98.11	92.17	5.94	8.83	30.11	35.10	4.99	10.43	12.33	6.20	6.13	5.03
99.09	92.14	6.95	8.86	32.10	40.20	8.10	10.42	11.10	6.14	4.96	5.33
99.25	91.08	8.17	8.87	33.08	39.20	6.12	10.42	11.25	7.33	3.92	5.03
93.14	89.09	4.05	8.81	32.14	40.13	7.98	10.42	12.11	7.14	4.97	5.03
96.11	88.08	8.03	8.84	33.13	35.20	2.08	10.42	12.17	7.17	5.00	5.02
91.11	90.13	0.99	8.81	30.09	36.10	6.01	10.43	12.33	8.17	4.17	5.05
91.20	88.10	3.10	8.82	30.09	35.13	5.03	10.44	12.20	7.14	5.06	5.02
92.11	90.25	1.86	8.82	30.17	35.17	5.00	10.41	12.25	8.14	4.11	5.03
98.20	88.08	10.12	8.91	31.14	35.14	4.00	10.42	12.20	6.08	6.12	5.20
93.17	92.09	1.08	8.81	31.17	35.10	3.93	10.73	12.13	7.33	4.79	5.02
95.10	91.25	3.85	8.82	33.17	38.33	5.17	10.41	12.20	6.20	6.00	5.02
93.09	89.25	3.84	8.83	32.20	35.20	3.00	10.41	11.14	7.09	4.05	5.02
93.08	92.13	0.96	8.88	33.09	40.13	7.03	10.41	12.33	8.33	4.00	5.03
95.33	91.11	4.22	8.82	30.09	38.13	8.03	10.46	10.33	8.08	2.25	5.05
92.17	91.10	1.07	8.83	33.09	38.17	5.08	10.43	10.10	6.10	4.00	5.04
99.10	91.08	8.02	8.81	30.10	35.17	5.07	10.43	12.10	7.11	4.99	5.01
99.08	89.20	9.88	8.84	33.09	35.10	2.01	10.42	12.33	7.33	5.00	5.04
94.20	88.33	5.87	8.97	31.14	40.11	8.97	10.43	10.14	6.33	3.81	5.03
93.09	88.08	5.01	8.84	30.20	38.33	8.13	10.47	11.10	6.25	4.85	5.02
99.10	91.20	7.90	8.81	33.14	37.10	3.96	10.42	10.20	7.14	3.06	5.02
97.09	90.25	6.84	8.91	30.11	39.25	9.14	10.41	10.17	8.09	2.08	5.02
92.08	91.14	0.94	8.82	32.25	40.13	7.88	10.46	10.17	6.09	4.08	5.02
91.14	88.13	3.02	8.81	33.17	35.11	1.94	10.42	11.17	6.11	5.06	5.03
93.14	88.08	5.06	8.82	32.33	39.20	6.87	10.42	11.10	8.13	2.98	5.02
93.33	88.10	5.23	8.83	31.20	40.20	9.00	10.42	11.10	8.11	2.99	5.08
99.11	90.10	9.01	8.97	33.10	36.20	3.10	10.41	10.08	6.08	4.00	5.02
97.14	88.17	8.98	8.84	32.20	38.10	5.90	10.50	12.33	7.09	5.24	5.02
97.10	91.25	5.85	8.83	32.33	37.17	4.83	10.43	12.13	7.25	4.88	5.02
96.09	92.10	3.99	8.82	31.13	39.13	8.00	10.45	11.33	8.10	3.23	5.06

Çizelge Ek 5.1. Deneysel veriler, % 100 kapasite (devam)

95.13	92.17	2.96	8.87	31.33	38.20	6.87	10.42	10.11	8.13	1.99	5.04
97.25	90.20	7.05	8.93	33.17	37.13	3.96	10.42	12.13	8.11	4.01	5.01
96.14	89.14	7.00	8.81	30.14	39.17	9.02	10.47	10.13	8.33	1.79	5.07
92.17	92.11	0.06	8.82	32.25	38.20	5.95	10.47	12.08	6.09	5.99	5.03
91.17	91.11	0.06	8.82	30.14	40.33	10.19	10.42	11.25	7.13	4.13	5.02
98.09	92.13	5.97	8.83	30.17	37.08	6.92	10.42	11.17	8.10	3.07	5.06
93.20	91.17	2.03	8.82	31.17	39.10	7.93	10.42	11.13	6.20	4.93	5.06
94.08	88.14	5.94	8.82	33.09	38.14	5.05	10.44	12.33	7.13	5.21	5.08
91.11	90.33	0.78	8.84	32.13	39.33	7.21	10.41	12.11	7.11	5.00	5.04
93.20	92.09	1.11	8.83	32.20	35.10	2.90	10.45	11.17	6.08	5.08	5.33
98.08	88.10	9.98	8.82	33.14	40.14	7.00	10.41	11.17	6.09	5.08	5.02
97.20	89.20	8.00	8.82	33.14	39.09	5.95	10.42	11.14	6.17	4.98	5.11
98.11	90.25	7.86	8.81	33.14	37.11	3.97	10.42	12.20	8.33	3.87	5.02
91.17	88.17	3.00	8.81	32.14	39.17	7.02	10.43	11.08	8.11	2.97	5.02
92.08	89.11	2.97	8.82	31.11	39.08	7.97	10.45	11.11	6.11	5.00	5.04
96.08	89.09	6.99	8.82	33.20	36.10	2.90	10.41	11.25	8.08	3.17	5.02
96.33	91.33	5.00	8.81	30.33	35.20	4.87	10.44	12.09	7.08	5.01	5.01
97.11	92.11	5.00	8.82	31.09	40.14	9.05	10.42	10.20	7.13	3.08	5.02
94.11	92.14	1.97	8.87	31.17	38.17	7.00	10.41	11.11	8.13	2.99	5.03
97.17	91.25	5.92	8.82	30.13	37.17	7.04	10.50	10.14	8.14	2.00	5.03
95.20	90.33	4.87	8.82	30.20	36.10	5.90	10.42	11.10	7.08	4.02	5.05
91.14	89.33	1.81	8.82	32.25	38.10	5.85	10.43	10.10	7.09	3.01	5.02
94.13	91.20	2.93	8.94	30.08	40.14	10.06	10.41	12.10	6.14	5.96	5.01
92.10	91.11	0.99	8.86	30.09	39.14	9.05	10.43	11.14	6.10	5.04	5.05
93.17	90.13	3.04	8.84	31.10	40.09	8.99	10.41	11.08	7.10	3.98	5.02
93.11	89.17	3.94	8.82	33.25	37.09	3.84	10.51	12.13	6.09	6.03	5.02
91.14	89.14	2.00	8.83	31.17	39.13	7.96	10.42	11.33	7.11	4.22	5.07
96.17	91.11	5.06	8.81	32.25	35.14	2.89	10.42	10.20	7.20	3.00	5.05
95.33	88.25	7.08	8.83	30.17	36.17	6.00	10.42	11.14	7.08	4.06	5.03
92.13	90.20	1.93	8.82	33.10	40.33	7.23	10.41	12.17	7.09	5.08	5.02
99.33	90.17	9.17	8.82	32.11	40.14	8.03	10.41	11.11	8.13	2.99	5.02
97.09	89.33	7.76	9.13	32.13	38.13	6.00	10.43	11.11	7.14	3.97	5.03
91.25	90.17	1.08	8.82	33.10	40.20	7.10	10.41	11.09	6.14	4.95	5.03
91.13	90.17	0.96	8.87	33.17	37.20	4.03	10.42	10.09	6.17	3.92	5.13
95.08	88.10	6.98	8.82	33.17	37.08	3.92	10.47	10.33	6.14	4.19	5.02
95.10	90.20	4.90	8.82	30.09	37.08	6.99	10.43	10.08	8.10	1.98	5.05
96.08	92.11	3.97	8.87	33.13	38.10	4.98	10.49	10.20	8.08	2.12	5.04
93.14	89.09	4.05	8.81	32.11	39.10	6.99	10.41	11.20	7.17	4.03	5.02
99.33	88.10	11.23	8.84	32.17	37.13	4.96	10.42	10.11	8.14	1.97	5.03
94.08	91.14	2.94	8.86	30.17	38.33	8.17	10.47	11.17	8.17	3.00	5.02
96.17	88.14	8.02	8.82	32.10	38.25	6.15	10.41	10.10	8.14	1.96	5.01

Çizelge Ek 5.1. Deneysel veriler, % 100 kapasite (devam)

98.11	92.10	6.01	8.85	33.14	40.20	7.06	10.44	12.25	8.08	4.17	5.02
99.13	88.11	11.01	8.94	32.10	38.14	6.04	10.43	10.09	6.17	3.92	5.03
97.11	88.08	9.03	8.91	33.33	36.09	2.76	10.42	11.20	6.08	5.12	5.03
96.25	91.25	5.00	8.86	30.25	39.11	8.86	10.45	10.25	6.33	3.92	5.02
97.14	92.14	5.00	8.82	32.33	35.11	2.78	10.50	12.20	8.13	4.08	5.03
92.25	90.08	2.17	8.88	33.33	37.25	3.92	10.42	10.08	8.10	1.98	5.02
96.20	89.14	7.06	8.82	32.25	38.20	5.95	10.41	12.25	8.25	4.00	5.02
99.11	91.10	8.01	8.83	33.33	35.17	1.83	10.53	10.14	7.09	3.05	5.02
97.20	92.10	5.10	8.81	33.08	40.11	7.03	10.42	12.17	7.33	4.83	5.01
94.17	92.11	2.06	8.90	31.11	38.20	7.09	10.41	11.10	8.13	2.98	5.03
99.11	92.17	6.94	8.82	30.33	39.11	8.78	10.44	12.17	6.13	6.04	5.06
99.25	92.09	7.16	8.84	30.13	35.25	5.13	10.51	10.11	6.13	3.99	5.02
95.09	92.20	2.89	8.82	31.14	36.17	5.02	10.44	12.13	8.11	4.01	5.02
99.33	88.25	11.08	8.82	31.11	35.25	4.14	10.50	10.09	8.33	1.76	5.08
92.17	89.17	3.00	8.83	30.33	38.08	7.75	10.42	10.25	6.09	4.16	5.33
96.33	91.11	5.22	9.00	32.11	38.10	5.99	10.41	10.33	7.09	3.24	5.04
92.17	92.11	0.06	8.83	32.17	37.33	5.17	10.47	12.25	8.25	4.00	5.03
91.08	91.09	-0.01	8.82	32.25	39.11	6.86	10.42	12.13	7.17	4.96	5.03
93.08	91.14	1.94	8.85	31.11	40.09	8.98	10.46	10.14	6.20	3.94	5.06
92.33	89.25	3.08	8.86	30.13	37.09	6.97	10.73	11.08	7.13	3.96	5.02
98.10	92.08	6.02	8.82	30.17	37.08	6.92	10.42	12.13	6.11	6.01	5.02
95.17	90.13	5.04	8.85	30.20	35.20	5.00	10.42	12.08	8.08	4.00	5.02
94.11	88.14	5.97	8.84	33.20	40.08	6.88	10.41	12.10	6.33	5.77	5.02
98.33	91.17	7.17	8.81	32.09	36.33	4.24	10.45	10.14	8.11	2.03	5.03
98.33	91.13	7.21	8.83	31.09	36.14	5.05	10.42	11.17	8.25	2.92	5.02
94.14	88.13	6.02	8.82	30.33	40.09	9.76	10.43	10.13	6.25	3.88	5.03
96.25	92.11	4.14	8.82	33.25	36.25	3.00	10.43	12.11	6.25	5.86	5.03
96.17	91.25	4.92	8.82	30.33	38.10	7.77	10.42	11.17	8.13	3.04	5.20
98.25	91.11	7.14	8.87	31.10	38.08	6.98	10.45	12.09	8.17	3.92	5.02
97.14	92.13	5.02	8.83	33.08	39.11	6.03	10.73	12.08	6.14	5.94	5.13
94.33	88.10	6.23	8.82	32.25	40.14	7.89	10.42	10.11	7.25	2.86	5.03
99.13	90.09	9.03	8.82	30.20	40.13	9.93	10.44	11.25	6.13	5.13	5.03
93.08	89.33	3.75	8.81	31.10	40.10	9.00	10.53	11.11	7.10	4.01	5.02
93.11	90.17	2.94	8.81	30.33	35.11	4.78	10.42	11.33	7.13	4.21	5.04
96.17	92.17	4.00	8.83	32.08	37.13	5.04	10.47	10.13	7.13	3.00	5.02
99.13	89.10	10.03	8.82	31.33	39.11	7.78	10.44	12.09	8.08	4.01	5.02
96.10	91.20	4.90	9.13	31.09	35.10	4.01	10.47	10.11	7.25	2.86	5.02
93.10	91.09	2.01	8.83	33.08	38.08	5.00	10.41	11.13	6.17	4.96	5.01
92.09	91.14	0.95	8.83	32.14	40.20	8.06	10.43	10.09	8.25	1.84	5.02
94.25	89.25	5.00	8.81	33.10	39.08	5.98	10.42	10.14	6.25	3.89	5.03
91.33	88.25	3.08	8.82	32.14	37.14	5.00	10.43	11.13	8.09	3.03	5.25

Çizelge Ek 5.1. Deneysel veriler, % 100 kapasite (devam)

92.17	90.33	1.83	8.81	32.17	38.25	6.08	10.60	10.11	6.09	4.02	5.02
97.10	88.11	8.99	8.82	30.25	39.33	9.08	10.42	11.11	7.11	4.00	5.01
93.20	89.20	4.00	8.82	30.09	40.25	10.16	10.42	11.17	6.14	5.02	5.02
94.20	92.25	1.95	8.82	32.09	37.08	4.99	10.49	12.14	6.20	5.94	5.03
94.13	92.17	1.96	8.82	31.17	38.08	6.92	10.49	10.09	7.13	2.97	5.04
97.14	92.33	4.81	8.82	32.08	35.17	3.08	10.65	11.20	8.33	2.87	5.01
94.11	88.10	6.01	8.85	31.25	36.14	4.89	10.46	12.09	6.10	5.99	5.03
95.08	89.17	5.92	8.81	31.10	40.11	9.01	10.42	12.13	6.33	5.79	5.03
98.17	89.17	9.00	8.83	31.10	37.20	6.10	10.44	10.08	7.17	2.92	5.03
93.33	92.08	1.25	8.82	30.13	35.25	5.13	10.42	10.25	8.20	2.05	5.06
95.09	90.11	4.98	8.84	32.11	38.33	6.22	10.73	10.33	8.09	2.24	5.03
95.09	92.09	3.00	8.86	31.13	35.11	3.99	10.48	10.17	6.08	4.08	5.01
95.08	92.10	2.98	8.82	30.17	36.13	5.96	10.41	12.11	7.20	4.91	5.02
92.13	92.25	-0.13	8.89	30.17	39.11	8.94	10.42	12.10	7.10	5.00	5.02
93.13	92.11	1.01	8.87	30.13	40.25	10.13	10.41	12.14	6.17	5.98	5.03
94.10	90.17	3.93	8.86	31.09	36.13	5.03	10.42	12.17	7.25	4.92	5.07
92.10	88.08	4.02	8.83	30.09	39.20	9.11	10.41	10.08	8.25	1.83	5.04
91.11	92.20	-1.09	8.82	33.14	38.17	5.02	10.44	10.09	6.33	3.76	5.03
91.17	89.10	2.07	8.82	30.17	40.33	10.17	10.42	10.14	6.17	3.98	5.02
91.17	89.10	2.07	8.82	31.11	39.09	7.98	10.43	10.11	6.20	3.91	5.03
99.33	90.14	9.19	8.97	31.11	36.20	5.09	10.43	10.33	7.25	3.08	5.04
98.20	89.17	9.03	8.85	33.11	35.17	2.06	10.41	12.08	7.33	4.75	5.02
95.25	88.13	7.13	8.87	33.08	36.13	3.04	10.43	10.25	8.17	2.08	5.08
96.10	89.11	6.99	8.82	32.08	40.20	8.12	10.50	10.33	8.17	2.17	5.01
95.10	90.14	4.96	8.81	33.11	37.08	3.97	10.42	11.33	7.17	4.17	5.04
98.33	91.20	7.13	8.82	31.25	39.10	7.85	10.41	11.33	6.14	5.19	5.17
94.10	88.10	6.00	8.86	33.25	38.14	4.89	10.42	11.25	7.08	4.17	5.03
96.17	91.08	5.08	8.88	32.09	37.09	5.00	10.42	11.09	6.17	4.92	5.06
95.33	91.17	4.17	8.81	30.20	37.10	6.90	10.41	10.33	7.33	3.00	5.03
99.17	88.10	11.07	8.82	31.25	39.14	7.89	10.41	10.10	6.25	3.85	5.02
98.08	89.33	8.75	8.81	30.20	35.09	4.89	10.43	10.25	6.14	4.11	5.03
98.25	91.20	7.05	8.94	31.25	39.11	7.86	10.42	11.17	6.08	5.08	5.03
94.14	88.17	5.98	8.82	31.08	40.13	9.04	10.42	10.20	7.25	2.95	5.02
94.13	89.17	4.96	8.91	32.14	40.14	8.00	10.42	12.14	8.10	4.04	5.02
91.13	88.17	2.96	8.82	30.10	39.11	9.01	10.41	10.10	7.11	2.99	5.01
94.25	90.14	4.11	8.82	32.25	35.14	2.89	10.46	10.09	8.14	1.95	5.02
99.13	91.17	7.96	8.82	32.20	37.11	4.91	10.41	11.25	7.25	4.00	5.02
92.13	92.10	0.03	8.83	30.10	38.33	8.23	10.43	10.25	8.14	2.11	5.02
96.33	90.09	6.24	8.84	33.17	35.09	1.92	10.44	10.33	6.20	4.13	5.25
97.08	92.17	4.92	8.81	31.09	40.25	9.16	10.73	11.33	8.17	3.17	5.10
96.09	90.09	6.00	8.88	32.13	35.33	3.21	10.44	10.10	6.20	3.90	5.02

Çizelge Ek 5.1. Deneysel veriler, % 100 kapasite (devam)

98.20	89.09	9.11	8.82	33.20	35.14	1.94	10.44	11.25	6.14	5.11	5.02
94.14	90.14	4.00	8.81	31.33	35.09	3.76	10.47	11.20	7.17	4.03	5.02
94.33	88.10	6.23	8.91	32.10	38.10	6.00	10.54	12.11	7.08	5.03	5.06
95.20	90.17	5.03	8.82	33.14	38.10	4.96	10.46	12.11	7.20	4.91	5.04
91.08	89.25	1.83	8.82	30.20	36.13	5.93	10.57	10.17	8.08	2.08	5.05
99.13	89.33	9.79	8.88	31.14	35.20	4.06	10.46	11.11	7.08	4.03	5.02
95.17	89.25	5.92	8.85	30.17	36.20	6.03	10.42	11.11	8.08	3.03	5.01
92.09	92.14	-0.05	8.81	31.09	36.10	5.01	10.42	12.17	6.33	5.83	5.01
97.17	89.33	7.83	8.81	33.13	37.13	4.00	10.43	11.14	8.25	2.89	5.02
93.13	89.11	4.01	8.87	31.17	38.14	6.98	10.65	11.33	6.14	5.19	5.02
98.20	91.09	7.11	8.81	32.13	38.17	6.04	10.42	10.20	8.10	2.10	5.02
94.20	89.25	4.95	8.82	31.11	38.14	7.03	10.41	10.14	7.08	3.06	5.01
96.25	88.14	8.11	8.81	32.17	37.33	5.17	10.41	10.20	7.09	3.11	5.03
99.13	89.11	10.01	8.81	32.10	40.13	8.03	10.42	10.09	7.13	2.97	5.05
96.11	89.13	6.99	8.81	32.11	38.11	6.00	10.42	11.13	8.08	3.04	5.02
96.33	89.09	7.24	8.82	31.10	37.13	6.03	10.42	12.33	7.10	5.23	5.01
98.10	92.33	5.77	9.05	31.17	39.11	7.94	10.45	10.20	8.10	2.10	5.25
95.11	88.09	7.02	8.84	32.13	37.11	4.99	10.42	10.08	7.11	2.97	5.02
92.13	92.08	0.04	8.85	30.11	35.33	5.22	10.42	11.14	8.33	2.81	5.11
96.25	91.33	4.92	8.82	31.20	38.17	6.97	10.45	12.14	8.25	3.89	5.17
91.20	88.13	3.08	8.84	33.33	35.25	1.92	10.42	11.20	7.14	4.06	5.02
98.11	91.11	7.00	8.82	33.20	37.08	3.88	10.42	10.11	8.08	2.03	5.01
91.25	91.20	0.05	8.82	31.25	37.17	5.92	10.42	10.08	8.25	1.83	5.02
99.25	92.11	7.14	8.82	32.11	38.20	6.09	10.43	12.25	7.33	4.92	5.04
95.14	92.14	3.00	8.87	30.17	36.11	5.94	10.44	11.10	6.20	4.90	5.33
93.13	89.20	3.93	8.82	31.33	38.09	6.76	10.48	10.33	7.10	3.23	5.03
97.08	88.20	8.88	8.85	33.10	38.10	5.00	10.46	12.08	6.08	6.00	5.03
97.14	89.13	8.02	8.85	32.10	40.10	8.00	10.43	10.09	7.10	2.99	5.04
95.17	91.11	4.06	8.82	32.13	39.08	6.96	10.43	12.10	6.08	6.02	5.02
94.09	91.17	2.92	8.81	33.10	35.11	2.01	10.41	12.14	7.11	5.03	5.02
96.09	89.20	6.89	8.81	31.25	36.17	4.92	10.42	10.08	8.11	1.97	5.04
94.33	91.17	3.17	8.82	30.33	36.17	5.83	10.42	10.25	6.17	4.08	5.02
96.13	91.25	4.88	8.82	31.10	37.33	6.23	10.41	11.25	6.14	5.11	5.02
91.10	89.11	1.99	8.82	33.08	35.33	2.25	10.42	11.20	7.10	4.10	5.33
92.17	88.10	4.07	8.81	32.33	35.10	2.77	10.42	10.09	6.20	3.89	5.02
93.20	88.25	4.95	8.81	30.10	39.13	9.03	10.44	11.09	7.25	3.84	5.02
94.25	90.10	4.15	8.81	31.09	35.08	3.99	10.41	12.13	8.25	3.88	5.04
97.14	88.08	9.06	8.82	31.20	37.10	5.90	10.44	11.14	7.14	4.00	5.11
97.20	92.20	5.00	8.81	30.08	35.11	5.03	10.43	10.20	6.08	4.12	5.01
99.10	88.17	10.93	8.81	33.17	35.08	1.92	10.43	10.13	7.13	3.00	5.03
93.25	90.33	2.92	8.85	32.33	36.33	4.00	10.44	12.09	8.08	4.01	5.02

Çizelge Ek 5.1. Deneysel veriler, % 100 kapasite (devam)

98.08	88.20	9.88	8.87	33.20	39.08	5.88	10.45	12.09	7.17	4.92	5.01
93.25	92.09	1.16	8.82	33.13	37.08	3.96	10.42	10.09	6.13	3.97	5.05
91.20	92.10	-0.90	8.81	30.10	35.14	5.04	10.47	10.33	8.13	2.21	5.05
92.20	89.11	3.09	8.83	33.10	40.17	7.07	10.57	12.17	8.13	4.04	5.03
91.13	88.25	2.88	8.87	33.14	40.08	6.94	10.42	10.13	6.11	4.01	5.02
91.10	92.25	-1.15	8.91	30.08	38.14	8.06	10.42	10.25	7.33	2.92	5.08
95.25	88.33	6.92	8.81	33.17	36.09	2.92	10.46	12.10	6.14	5.96	5.03
97.25	89.17	8.08	8.82	30.11	35.25	5.14	10.60	12.10	6.09	6.01	5.03
97.20	92.09	5.11	8.84	31.13	37.14	6.02	10.47	11.33	8.13	3.21	5.09
96.20	89.13	7.08	8.82	30.08	38.10	8.02	10.43	11.17	7.09	4.08	5.02
96.20	92.09	4.11	8.82	31.10	39.11	8.01	10.45	10.14	7.13	3.02	5.01
96.33	92.08	4.25	8.82	32.20	37.17	4.97	10.41	10.17	8.11	2.06	5.04
93.10	88.20	4.90	8.85	32.13	39.09	6.97	10.41	12.13	6.25	5.88	5.02
98.20	88.17	10.03	8.82	31.17	37.20	6.03	10.41	11.33	8.33	3.00	5.05
94.09	90.17	3.92	8.82	31.17	35.08	3.92	10.43	10.09	8.33	1.76	5.01
94.33	91.10	3.23	8.90	30.25	39.25	9.00	10.44	11.13	8.25	2.88	5.02
93.33	89.11	4.22	8.88	33.13	36.11	2.99	10.43	12.11	8.10	4.01	5.02

Çizelge Ek 5.2. Deneysel veriler, % 75 kapasite

Jeneratör				Soğutma Kulesi				Evaporatör			
Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	Δt_{jen} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]	Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	ΔT_{Sk} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]	Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	ΔT_{evap} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]
98.25	89.13	9.13	6.61	32.25	36.09	3.84	7.95	10.25	6.13	4.13	3.94
94.14	90.08	4.06	6.61	32.13	36.13	4.00	7.85	10.20	8.25	1.95	3.76
92.33	88.11	4.22	6.62	30.17	39.13	8.96	7.86	11.14	7.08	4.06	3.78
91.09	92.14	-1.05	6.62	32.17	38.08	5.92	7.86	11.11	6.20	4.91	3.77
91.17	88.13	3.04	6.62	31.25	37.10	5.85	7.84	10.08	8.25	1.83	3.76
94.13	92.10	2.03	6.85	32.25	39.25	7.00	7.93	10.08	7.13	2.96	3.77
91.17	89.11	2.06	6.61	30.08	35.10	5.02	7.88	11.25	7.13	4.13	3.76
91.20	88.33	2.87	6.63	30.10	36.33	6.23	7.91	11.08	7.25	3.83	3.77
91.33	89.17	2.17	6.66	31.09	37.33	6.24	7.99	12.11	7.13	4.99	3.76
93.09	91.33	1.76	6.69	31.09	35.25	4.16	7.89	12.08	6.11	5.97	3.88
97.14	89.09	8.05	6.62	32.13	39.11	6.99	7.87	10.33	6.11	4.22	3.76
95.25	89.10	6.15	6.61	30.13	38.25	8.13	7.87	12.20	8.25	3.95	3.76
96.20	92.14	4.06	6.62	31.09	38.10	7.01	7.87	10.13	7.25	2.88	3.79
95.25	90.09	5.16	6.65	30.20	38.14	7.94	7.99	12.13	7.11	5.01	3.78
94.08	89.33	4.75	6.63	32.20	36.17	3.97	7.85	12.14	8.09	4.05	3.76
97.20	89.14	8.06	6.62	30.20	37.25	7.05	7.85	12.33	7.09	5.24	3.82
94.10	91.13	2.97	6.63	32.13	36.11	3.99	7.93	10.14	6.20	3.94	3.78

Çizelge Ek 5.2. Deneysel veriler, % 75 kapasite (devam)

96.11	89.10	7.01	6.61	32.08	37.08	5.00	7.84	11.10	8.17	2.93	3.76
93.25	91.20	2.05	6.61	32.08	38.10	6.02	7.86	12.25	7.10	5.15	3.76
94.17	90.33	3.83	6.61	31.17	37.13	5.96	7.95	10.11	6.08	4.03	3.79
99.08	89.17	9.92	6.62	32.17	35.09	2.92	7.86	11.11	8.10	3.01	3.76
98.17	88.11	10.06	6.62	32.17	35.11	2.94	7.95	10.08	7.33	2.75	3.78
97.33	90.25	7.08	6.65	31.25	36.25	5.00	7.85	10.09	6.25	3.84	3.76
98.10	89.14	8.96	6.61	30.33	38.17	7.83	7.91	10.25	7.33	2.92	3.76
99.10	92.11	6.99	6.62	31.08	36.20	5.12	7.89	12.25	6.17	6.08	3.77
98.10	91.20	6.90	6.85	32.10	36.13	4.03	7.93	12.09	8.17	3.92	3.76
96.13	89.13	7.00	6.63	30.17	38.14	7.98	7.95	10.25	6.13	4.13	3.76
91.09	90.08	1.01	6.63	30.33	36.17	5.83	7.86	10.11	7.17	2.94	3.76
94.10	88.17	5.93	6.66	30.17	37.25	7.08	7.89	11.33	7.11	4.22	3.78
98.25	92.13	6.13	6.63	31.09	35.20	4.11	7.87	10.08	7.09	2.99	3.76
91.10	90.09	1.01	6.75	32.10	37.33	5.23	7.95	11.25	6.11	5.14	3.76
93.14	89.25	3.89	6.62	31.13	36.10	4.98	7.89	12.13	8.11	4.01	3.79
99.25	89.14	10.11	6.65	31.17	39.13	7.96	7.93	12.13	6.25	5.88	3.77
99.17	92.13	7.04	6.61	32.11	35.25	3.14	8.05	12.14	6.10	6.04	3.79
92.14	92.14	0.00	6.61	32.09	37.33	5.24	7.86	10.08	8.14	1.94	3.79
91.20	88.17	3.03	6.62	30.33	37.09	6.76	7.86	11.09	6.17	4.92	3.79
93.10	90.09	3.01	6.61	30.13	36.11	5.99	7.95	12.25	8.10	4.15	3.77
98.11	89.13	8.99	6.62	30.10	39.14	9.04	7.85	10.17	7.11	3.06	3.77
94.09	92.10	1.99	6.61	31.10	38.20	7.10	7.99	10.10	7.13	2.98	4.00
97.17	92.14	5.02	6.63	31.08	39.33	8.25	7.91	10.14	8.11	2.03	3.78
92.33	92.10	0.23	6.63	30.09	37.10	7.01	7.88	10.25	6.08	4.17	3.76
94.33	92.10	2.23	6.61	32.20	39.11	6.91	7.87	11.08	7.08	4.00	3.76
94.25	90.09	4.16	6.69	31.33	37.20	5.87	8.05	11.14	6.20	4.94	3.77
95.11	88.11	7.00	6.62	32.09	39.25	7.16	7.93	10.10	6.14	3.96	3.76
93.25	88.33	4.92	6.65	32.33	37.13	4.79	7.88	11.13	6.14	4.98	3.76
96.25	91.20	5.05	6.61	30.08	36.09	6.01	7.85	12.25	7.17	5.08	3.82
91.10	92.10	-1.00	6.65	31.25	39.09	7.84	7.88	11.11	8.20	2.91	3.76
94.25	88.11	6.14	6.63	31.11	36.25	5.14	7.87	10.13	7.20	2.93	3.78
99.11	90.14	8.97	6.62	31.33	35.09	3.76	7.88	11.08	6.33	4.75	3.79
91.11	90.17	0.94	6.63	31.13	35.17	4.04	7.93	11.11	6.33	4.78	3.76
92.10	89.25	2.85	6.61	32.08	38.11	6.03	7.87	10.09	8.13	1.97	3.83
95.33	88.14	7.19	6.62	30.25	37.11	6.86	7.88	12.33	6.10	6.23	3.79
92.11	89.08	3.03	6.62	32.14	39.13	6.98	7.91	12.14	8.08	4.06	3.77
95.13	89.09	6.03	6.61	32.13	37.13	5.00	7.88	11.13	7.11	4.01	3.76
98.09	91.08	7.01	6.63	30.10	39.20	9.10	7.93	12.20	8.09	4.11	3.76
93.17	89.17	4.00	6.61	32.17	35.11	2.94	7.86	10.13	8.13	2.00	3.76
94.11	88.11	6.00	6.62	30.11	37.17	7.06	8.05	11.17	6.20	4.97	3.76
97.17	88.13	9.04	6.61	32.08	39.33	7.25	7.88	11.17	7.10	4.07	3.76

Çizelge Ek 5.2. Deneysel veriler, % 75 kapasite (devam)

96.13	92.33	3.79	6.66	30.14	38.20	8.06	7.95	12.25	6.10	6.15	3.77
95.33	90.09	5.24	6.62	30.25	38.13	7.88	7.86	11.14	6.20	4.94	3.76
97.33	92.09	5.24	6.62	30.25	37.11	6.86	7.86	12.17	7.17	5.00	3.77
96.33	89.25	7.08	6.62	31.08	39.11	8.03	7.86	12.13	8.20	3.93	3.76
98.08	91.25	6.83	6.64	31.17	36.11	4.94	7.84	11.09	7.14	3.95	3.76
95.08	90.13	4.96	6.61	30.10	38.33	8.23	7.89	10.33	6.14	4.19	3.77
96.08	91.08	5.00	6.61	31.08	36.25	5.17	7.88	12.20	8.09	4.11	3.86
97.08	89.17	7.92	6.64	30.17	39.17	9.00	7.85	10.08	8.08	2.00	3.78
91.33	88.08	3.25	6.61	31.09	38.17	7.08	7.87	12.17	6.10	6.07	3.76
99.10	90.08	9.02	6.61	31.13	35.14	4.02	7.99	10.17	8.13	2.04	3.76
95.13	92.10	3.03	6.63	30.13	39.25	9.13	7.84	10.11	6.33	3.78	3.78
93.13	92.08	1.04	6.61	32.08	36.09	4.01	7.87	11.09	7.33	3.76	3.76
95.10	88.20	6.90	6.63	31.25	37.14	5.89	8.05	10.25	6.25	4.00	3.79
91.13	92.13	-1.00	6.64	30.20	36.20	6.00	7.86	10.17	6.09	4.08	3.77
93.25	91.11	2.14	6.64	30.17	35.25	5.08	7.95	12.25	7.33	4.92	3.76
92.17	88.25	3.92	6.61	32.20	39.20	7.00	7.95	10.25	7.25	3.00	3.76
98.17	91.10	7.07	6.61	30.17	37.20	7.03	7.86	12.14	7.14	5.00	3.77
96.10	89.09	7.01	6.64	30.10	39.08	8.98	7.91	11.33	6.10	5.23	3.90
99.08	89.09	9.99	6.71	31.20	38.17	6.97	7.85	10.33	7.25	3.08	3.90
99.08	90.14	8.94	6.62	32.17	37.14	4.98	7.85	12.13	8.10	4.03	3.78
97.08	90.13	6.96	6.65	31.20	35.20	4.00	7.86	10.11	6.10	4.01	3.88
96.08	91.10	4.98	6.61	30.11	35.08	4.97	7.88	10.08	6.10	3.98	3.76
98.14	88.20	9.94	6.62	32.14	36.33	4.19	7.85	10.17	7.09	3.08	3.76
97.25	90.10	7.15	6.71	32.17	36.13	3.96	7.86	11.13	7.17	3.96	3.77
94.17	92.11	2.06	6.61	30.33	39.14	8.81	7.87	11.13	8.25	2.88	3.78
92.09	90.11	1.98	6.64	31.17	35.20	4.03	7.88	10.17	7.17	3.00	3.81
98.17	88.33	9.83	6.65	31.14	35.13	3.98	7.85	11.25	6.08	5.17	3.76
96.13	91.33	4.79	6.61	32.20	37.08	4.88	7.86	11.08	7.25	3.83	3.78
91.10	91.20	-0.10	6.63	30.33	35.17	4.83	7.95	11.10	6.09	5.01	3.77
91.17	92.17	-1.00	6.61	30.25	39.11	8.86	7.85	11.13	8.17	2.96	3.78
94.10	89.20	4.90	6.61	32.17	37.13	4.96	7.87	12.25	6.20	6.05	3.76
98.09	92.11	5.98	6.61	31.09	37.14	6.05	7.85	11.10	7.09	4.01	3.78
96.20	89.14	7.06	6.61	32.25	38.33	6.08	7.86	10.11	8.10	2.01	3.77
96.33	90.33	6.00	6.62	31.25	39.09	7.84	7.84	11.20	6.08	5.12	3.94
99.09	91.17	7.92	6.61	32.10	37.33	5.23	7.95	12.25	6.20	6.05	3.78
91.09	92.08	-0.99	6.62	32.17	39.25	7.08	7.86	12.11	8.25	3.86	3.77
99.20	91.20	8.00	6.69	32.33	36.11	3.78	7.85	11.09	6.17	4.92	3.79
92.11	90.08	2.03	6.61	30.10	37.13	7.03	7.86	10.20	8.11	2.09	3.76
97.25	91.09	6.16	6.61	32.13	38.20	6.08	7.84	12.10	6.33	5.77	3.80
97.13	90.08	7.04	6.63	30.17	39.17	9.00	8.05	11.09	8.09	3.00	3.77
97.09	92.17	4.92	6.61	32.11	39.17	7.06	7.99	12.13	7.14	4.98	3.77

Çizelge Ek 5.2. Deneysel veriler, % 75 kapasite (devam)

99.25	92.10	7.15	6.64	30.10	39.17	9.07	7.91	11.25	8.10	3.15	3.76
93.25	90.17	3.08	6.63	30.09	38.33	8.24	7.85	12.10	6.20	5.90	3.77
94.09	89.09	5.00	6.62	30.33	37.25	6.92	7.85	10.10	7.08	3.02	3.78
98.20	90.13	8.08	6.61	31.14	38.33	7.19	7.99	10.11	8.25	1.86	3.76
95.08	89.11	5.97	6.61	31.17	37.25	6.08	7.95	11.20	6.08	5.12	3.77
97.17	89.11	8.06	6.62	30.13	35.17	5.04	7.88	10.13	7.11	3.01	3.83
93.20	89.09	4.11	6.61	31.17	37.33	6.17	7.93	10.25	6.25	4.00	3.76
97.08	90.10	6.98	6.62	31.08	38.17	7.08	7.89	11.11	6.20	4.91	3.76
96.25	89.33	6.92	6.62	30.10	37.20	7.10	7.88	12.20	7.13	5.08	3.77
99.08	88.08	11.00	6.61	31.10	35.14	4.04	7.88	11.14	7.09	4.05	3.76
94.33	92.08	2.25	6.61	31.13	38.11	6.99	7.85	11.20	7.08	4.12	3.78
92.25	89.33	2.92	6.62	32.14	39.08	6.94	7.84	12.14	7.08	5.06	3.77
96.09	88.25	7.84	6.61	31.20	39.13	7.93	7.88	10.11	7.14	2.97	3.83
99.10	91.20	7.90	6.63	31.08	36.25	5.17	7.85	11.10	6.20	4.90	3.78
91.25	92.33	-1.08	6.62	31.10	36.08	4.98	7.86	11.17	7.33	3.83	3.77
92.10	92.25	-0.15	6.61	31.14	38.17	7.02	7.88	11.33	7.08	4.25	3.80
94.25	89.20	5.05	6.62	32.14	37.08	4.94	7.99	11.11	6.10	5.01	3.80
99.14	92.20	6.94	6.61	31.20	37.25	6.05	7.86	11.08	8.11	2.97	3.76
91.14	92.20	-1.06	6.61	32.09	39.14	7.05	7.99	12.09	7.10	4.99	3.76
96.17	91.09	5.08	6.61	31.17	38.11	6.94	7.99	12.13	8.13	4.00	3.82
94.14	91.20	2.94	6.61	31.17	36.20	5.03	7.99	12.09	8.09	4.00	3.76
91.13	89.13	2.00	6.61	31.25	39.14	7.89	7.84	11.17	7.20	3.97	3.76
99.13	88.09	11.03	6.62	31.11	39.17	8.06	7.95	12.14	6.13	6.02	3.77
92.33	90.10	2.23	6.61	32.17	36.09	3.92	8.05	10.25	7.17	3.08	3.77
93.13	92.09	1.03	6.62	31.13	37.33	6.21	7.84	12.17	6.09	6.08	3.77
95.11	92.13	2.99	6.61	32.17	35.11	2.94	7.95	10.09	7.09	3.00	3.77
91.13	91.25	-0.13	6.61	32.14	38.10	5.96	7.95	10.20	8.10	2.10	3.76
91.33	90.09	1.24	6.69	30.11	36.17	6.06	7.99	12.17	7.09	5.08	3.78
97.11	91.25	5.86	6.63	32.14	36.25	4.11	7.88	12.09	8.10	3.99	3.76
98.25	90.08	8.17	6.61	32.11	36.13	4.01	7.88	10.11	7.10	3.01	3.88
95.17	88.13	7.04	6.61	32.10	36.20	4.10	7.89	11.13	8.08	3.04	3.83
99.20	91.11	8.09	6.63	31.25	35.13	3.88	7.88	10.09	7.08	3.01	3.86
99.17	90.08	9.08	6.61	32.14	37.20	5.06	7.91	12.08	8.14	3.94	3.81
92.08	88.25	3.83	6.61	32.25	38.20	5.95	7.91	12.25	6.09	6.16	3.80
95.20	92.14	3.06	6.61	31.11	38.17	7.06	7.91	10.13	7.20	2.93	3.76
98.09	88.25	9.84	6.63	32.20	38.33	6.13	7.89	12.17	6.09	6.08	3.78
97.14	88.13	9.02	6.62	32.10	35.08	2.98	7.99	11.11	8.20	2.91	3.78
94.20	91.14	3.06	6.62	32.33	37.09	4.76	7.89	10.08	8.09	1.99	3.77
97.20	91.10	6.10	6.69	31.11	38.10	6.99	7.93	11.11	6.10	5.01	3.78
98.08	88.20	9.88	6.62	31.33	39.09	7.76	7.88	10.25	7.11	3.14	3.76
91.09	92.11	-1.02	6.61	32.10	37.11	5.01	7.91	11.20	8.33	2.87	3.77

Çizelge Ek 5.2. Deneysel veriler, % 75 kapasite (devam)

91.33	88.11	3.22	6.62	30.11	35.08	4.97	7.85	12.14	7.10	5.04	3.79
98.11	90.11	8.00	6.61	32.14	39.20	7.06	7.95	11.10	8.14	2.96	3.83
91.33	92.25	-0.92	6.62	32.14	39.08	6.94	7.95	11.13	6.11	5.01	3.77
91.08	88.20	2.88	6.71	30.20	36.13	5.93	7.99	10.25	7.14	3.11	3.77
94.33	88.14	6.19	6.61	32.14	38.14	6.00	7.93	12.13	8.14	3.98	3.76
93.09	92.25	0.84	6.61	30.33	36.14	5.81	7.84	12.09	8.08	4.01	3.76
97.08	90.33	6.75	6.79	30.09	37.17	7.08	7.85	12.09	8.14	3.95	3.78
91.09	91.25	-0.16	6.69	30.08	39.09	9.01	7.91	12.17	8.08	4.08	3.79
91.33	88.25	3.08	6.67	32.13	35.20	3.08	7.88	12.09	6.13	5.97	3.77
96.09	89.11	6.98	6.61	31.08	39.17	8.08	7.89	10.25	6.14	4.11	3.76
95.09	89.20	5.89	6.62	31.09	35.09	4.00	7.86	11.13	8.10	3.03	3.77
93.09	90.33	2.76	6.75	32.17	35.33	3.17	7.87	10.17	7.20	2.97	3.76
96.14	88.10	8.04	6.67	32.10	36.08	3.98	7.85	11.14	8.14	3.00	3.79
92.20	88.14	4.06	6.62	31.17	38.25	7.08	7.95	11.25	6.33	4.92	3.77
92.17	88.08	4.08	6.62	30.33	39.20	8.87	7.84	11.09	8.13	2.97	3.94
98.13	91.10	7.03	6.63	31.11	38.25	7.14	7.85	12.20	7.13	5.08	3.77
94.20	92.17	2.03	6.61	32.14	39.09	6.95	7.88	11.11	7.10	4.01	3.77
93.33	92.20	1.13	6.61	32.14	37.09	4.95	7.85	10.08	7.09	2.99	3.79
96.08	91.33	4.75	6.61	32.17	39.33	7.17	7.95	10.11	8.08	2.03	3.78
93.20	90.11	3.09	6.61	30.11	39.33	9.22	7.93	10.08	6.11	3.97	3.77
97.10	88.13	8.97	6.69	32.13	39.13	7.00	7.99	11.08	8.14	2.94	3.78
94.11	91.25	2.86	6.62	31.17	37.09	5.92	7.93	12.09	6.09	6.00	3.77
95.08	91.14	3.94	6.61	31.25	36.33	5.08	7.91	11.17	6.08	5.08	3.79
94.33	89.11	5.22	6.62	32.14	39.10	6.96	7.86	12.20	8.10	4.10	3.81
97.20	92.13	5.08	6.63	30.08	35.10	5.02	7.86	11.14	8.10	3.04	3.76
96.10	89.17	6.93	6.75	30.08	38.14	8.06	7.87	12.20	7.09	5.11	3.84
98.08	90.20	7.88	6.63	31.25	38.09	6.84	7.89	10.33	8.20	2.13	3.77
94.14	91.17	2.98	6.62	32.14	39.20	7.06	7.95	12.33	8.11	4.22	3.77
92.17	90.13	2.04	6.63	31.10	36.10	5.00	7.85	12.11	8.10	4.01	3.78
93.08	88.09	4.99	6.79	31.17	39.13	7.96	7.88	12.20	8.25	3.95	3.76
95.25	89.33	5.92	6.62	32.08	35.25	3.17	7.88	12.33	7.11	5.22	3.76
95.20	90.10	5.10	6.61	30.17	39.11	8.94	7.85	11.17	8.17	3.00	3.79
95.09	90.25	4.84	6.61	30.25	39.25	9.00	7.93	12.10	7.11	4.99	3.76
98.33	90.09	8.24	6.66	31.14	38.09	6.95	7.85	10.33	7.25	3.08	3.79
97.17	88.09	9.08	6.62	31.14	36.17	5.02	7.89	11.09	8.09	3.00	3.78
97.17	88.09	9.08	6.61	32.33	38.08	5.75	7.91	12.33	6.20	6.13	3.76
92.08	89.08	3.00	6.69	30.14	38.25	8.11	7.86	11.20	6.17	5.03	3.78
97.11	92.09	5.02	6.63	31.33	39.11	7.78	7.91	10.09	8.08	2.01	3.76
98.25	89.08	9.17	6.62	31.09	37.14	6.05	8.05	12.25	6.25	6.00	3.76
99.14	90.25	8.89	6.62	31.08	39.08	8.00	7.87	12.33	8.08	4.25	3.76
96.20	89.08	7.12	6.61	31.33	35.10	3.77	7.86	11.13	6.17	4.96	3.78

Çizelge Ek 5.2. Deneysel veriler, % 75 kapasite (devam)

96.17	88.09	8.08	6.64	30.13	35.09	4.97	7.93	12.14	6.33	5.81	3.79
93.33	92.17	1.17	6.62	32.13	36.11	3.99	7.91	11.17	6.25	4.92	3.79
92.20	88.25	3.95	6.62	31.13	39.13	8.00	7.95	11.25	7.17	4.08	3.80
95.08	88.09	6.99	6.66	31.17	37.10	5.93	7.93	11.25	8.33	2.92	3.79
98.13	90.09	8.03	6.61	31.11	38.25	7.14	8.05	11.13	8.33	2.79	3.80
91.33	91.09	0.24	6.85	32.17	38.14	5.98	7.89	11.14	8.11	3.03	3.90
97.10	88.11	8.99	6.61	32.33	38.17	5.83	7.86	10.14	6.14	4.00	3.76
97.17	88.14	9.02	6.62	30.11	37.25	7.14	7.99	10.08	6.14	3.94	3.76
96.10	91.25	4.85	6.63	31.25	39.11	7.86	8.05	10.20	7.11	3.09	3.79
94.14	89.14	5.00	6.73	32.13	39.25	7.13	7.85	11.20	8.25	2.95	3.77
97.17	88.20	8.97	6.62	32.10	35.33	3.23	7.85	11.13	8.14	2.98	3.77
95.17	90.09	5.08	6.63	32.09	37.08	4.99	7.91	10.10	6.14	3.96	3.76
94.17	92.08	2.08	6.61	31.14	36.20	5.06	8.05	11.33	7.09	4.24	3.76
95.11	91.08	4.03	6.64	31.10	35.13	4.03	7.88	10.33	6.14	4.19	3.76
92.10	88.09	4.01	6.65	31.09	35.09	4.00	7.88	11.25	8.08	3.17	3.76
96.17	91.09	5.08	6.62	30.09	35.25	5.16	7.86	11.13	8.20	2.93	3.78
93.14	88.25	4.89	6.85	30.11	37.08	6.97	7.89	11.09	7.33	3.76	3.77
94.13	92.33	1.79	6.66	32.25	37.14	4.89	7.86	10.10	8.25	1.85	3.77
95.10	90.25	4.85	6.62	31.20	35.17	3.97	7.87	11.11	8.13	2.99	3.78
94.13	88.13	6.00	6.61	31.14	35.25	4.11	7.88	10.33	7.09	3.24	3.76
98.17	91.09	7.08	6.61	32.17	38.14	5.98	7.95	10.25	8.13	2.13	3.78
91.25	90.09	1.16	6.64	30.14	38.25	8.11	7.86	12.20	7.09	5.11	3.79
96.09	92.17	3.92	6.62	31.17	39.33	8.17	7.93	10.08	7.08	3.00	3.78
92.33	91.33	1.00	6.61	32.17	36.25	4.08	7.89	12.11	6.13	5.99	3.76
91.33	89.09	2.24	6.68	30.08	35.33	5.25	7.85	11.10	7.17	3.93	3.76
97.11	91.08	6.03	6.61	30.20	36.17	5.97	7.86	12.25	7.33	4.92	3.77
91.25	91.13	0.13	6.61	31.25	36.14	4.89	7.87	10.13	6.25	3.88	3.76
92.11	89.13	2.99	6.62	30.33	36.17	5.83	7.93	11.13	8.11	3.01	3.76
91.33	89.33	2.00	6.64	32.14	39.25	7.11	7.89	12.20	7.09	5.11	3.76
99.33	91.13	8.21	6.79	32.33	38.14	5.81	7.91	12.08	8.09	3.99	3.77
91.33	90.09	1.24	6.61	30.17	39.09	8.92	7.84	12.17	8.10	4.07	3.78
97.10	90.10	7.00	6.68	32.08	38.08	6.00	7.85	12.20	7.17	5.03	3.77
94.09	91.08	3.01	6.61	31.33	36.17	4.83	8.05	10.13	8.20	1.93	3.76
98.20	90.09	8.11	6.67	31.10	36.14	5.04	7.86	11.33	7.17	4.17	3.88
97.14	92.08	5.06	6.63	32.17	35.14	2.98	7.99	12.10	8.08	4.02	3.76
96.08	91.09	4.99	6.61	31.09	37.09	6.00	7.87	11.09	8.17	2.92	3.90
99.10	91.14	7.96	6.63	32.08	39.25	7.17	7.99	11.33	6.25	5.08	3.77
93.20	90.14	3.06	6.65	32.10	35.25	3.15	7.91	10.14	8.09	2.05	3.83
92.17	90.14	2.02	6.61	31.09	39.11	8.02	7.89	11.13	8.13	3.00	3.78
95.17	90.25	4.92	6.62	30.33	37.11	6.78	7.88	11.10	6.33	4.77	3.81
94.20	92.17	2.03	6.61	30.20	36.17	5.97	7.87	10.25	6.20	4.05	3.76

Çizelge Ek 5.2 Deneysel veriler, % 75 kapasite (devam)

92.25	90.33	1.92	6.61	30.10	35.25	5.15	7.85	11.14	6.25	4.89	3.77
97.33	90.33	7.00	6.79	32.13	39.14	7.02	7.86	10.11	8.14	1.97	3.82
98.11	89.11	9.00	6.67	30.10	35.08	4.98	7.87	11.25	6.33	4.92	3.77
91.13	92.10	-0.97	6.64	30.20	37.10	6.90	7.87	12.10	7.14	4.96	3.78
97.20	92.13	5.08	6.61	32.08	36.33	4.25	7.85	12.11	6.13	5.99	3.77
95.11	90.13	4.99	6.61	30.17	39.33	9.17	7.85	12.09	6.33	5.76	3.81
98.17	92.10	6.07	6.79	32.09	36.11	4.02	7.85	12.25	6.13	6.13	3.88
95.10	92.13	2.97	6.61	30.10	37.10	7.00	7.85	10.13	6.25	3.88	3.82
91.10	92.33	-1.23	6.61	32.25	39.11	6.86	7.91	11.17	7.25	3.92	3.78
93.20	90.14	3.06	6.61	30.10	39.08	8.98	7.88	11.11	8.20	2.91	3.76
94.14	89.11	5.03	6.62	30.14	37.09	6.95	7.99	12.20	6.14	6.06	3.76
98.11	90.33	7.78	6.62	31.25	35.14	3.89	7.93	10.17	6.33	3.83	3.83
95.09	88.14	6.95	6.61	30.25	36.13	5.88	7.99	10.08	6.08	4.00	3.77
99.11	88.17	10.94	6.75	30.08	37.09	7.01	7.85	11.13	7.08	4.04	3.76
91.10	91.25	-0.15	6.61	32.20	39.20	7.00	7.99	12.33	7.08	5.25	3.77
92.11	91.10	1.01	6.73	31.14	35.08	3.94	7.85	11.13	7.09	4.03	3.78
98.09	89.11	8.98	6.63	31.14	35.20	4.06	7.85	12.25	6.25	6.00	3.80
92.08	92.25	-0.17	6.61	32.20	38.09	5.89	7.85	10.13	6.08	4.04	3.76
93.13	90.14	2.98	6.71	32.25	39.10	6.85	7.87	12.33	8.09	4.24	3.77
99.17	88.20	10.97	6.66	31.09	37.09	6.00	8.05	10.11	7.33	2.78	3.78
96.10	89.09	7.01	6.68	31.20	35.25	4.05	7.86	10.14	7.09	3.05	3.76
94.17	90.33	3.83	6.69	32.10	36.08	3.98	7.85	11.13	7.17	3.96	3.76
99.09	92.20	6.89	6.79	30.14	37.08	6.94	8.05	11.20	8.14	3.06	3.76
98.17	89.17	9.00	6.61	30.13	37.13	7.00	7.88	11.33	6.17	5.17	3.76
98.33	92.20	6.13	6.61	31.14	37.13	5.98	7.88	12.10	6.25	5.85	3.79
94.17	90.33	3.83	6.62	31.17	38.08	6.92	7.87	12.33	8.11	4.22	3.77
98.13	91.17	6.96	6.61	32.17	35.13	2.96	7.84	12.11	7.09	5.02	3.77
97.25	89.14	8.11	6.67	32.08	37.08	5.00	7.85	10.10	6.10	4.00	3.78
93.25	92.14	1.11	6.66	32.09	37.20	5.11	7.85	11.14	8.10	3.04	3.77
93.08	88.33	4.75	6.62	31.20	37.10	5.90	7.93	10.11	7.14	2.97	3.77
91.13	91.14	-0.02	6.61	31.17	35.08	3.92	7.88	12.09	7.09	5.00	3.83
96.17	88.08	8.08	6.61	30.33	37.33	7.00	7.86	11.08	6.14	4.94	3.77
91.09	89.08	2.01	6.61	30.09	36.09	6.00	7.85	11.10	7.09	4.01	3.76
99.17	90.25	8.92	6.63	30.10	35.33	5.23	7.91	12.33	7.08	5.25	3.80
98.08	92.17	5.92	6.65	31.20	36.33	5.13	7.95	10.14	8.14	2.00	3.76
98.20	88.20	10.00	6.62	30.14	37.17	7.02	7.85	11.11	8.20	2.91	3.78
95.25	88.11	7.14	6.62	31.33	35.14	3.81	8.05	11.13	7.20	3.93	3.94
98.33	92.08	6.25	6.62	31.13	35.10	3.98	7.91	12.13	6.17	5.96	3.76
94.33	90.09	4.24	6.63	31.09	35.20	4.11	7.87	11.25	7.20	4.05	3.77
91.08	90.10	0.98	6.61	31.14	38.10	6.96	7.86	10.13	6.14	3.98	3.77
95.14	89.17	5.98	6.61	30.14	37.17	7.02	7.91	10.20	6.10	4.10	3.77

Çizelge Ek 5.2. Deneysel veriler, % 75 kapasite (devam)

95.11	89.25	5.86	6.62	30.33	37.10	6.77	7.88	10.08	6.10	3.98	3.77
91.11	92.13	-1.01	6.61	30.14	39.08	8.94	7.86	11.25	6.10	5.15	3.77
98.10	88.33	9.77	6.62	30.25	35.09	4.84	7.87	10.20	8.25	1.95	3.86
96.33	90.20	6.13	6.65	31.33	35.11	3.78	7.89	12.13	7.25	4.88	3.77
98.14	92.08	6.06	6.69	32.17	35.13	2.96	7.84	12.11	8.14	3.97	3.79
96.25	90.11	6.14	6.63	31.10	38.10	7.00	7.88	10.09	8.14	1.95	3.76
91.09	92.17	-1.08	6.62	31.11	38.20	7.09	7.88	11.17	6.11	5.06	3.77
91.10	90.14	0.96	6.64	32.10	39.08	6.98	7.88	12.17	7.09	5.08	3.79
99.14	92.14	7.00	6.66	30.11	35.20	5.09	7.89	12.20	6.08	6.12	3.77
96.25	92.33	3.92	6.61	31.14	35.10	3.96	7.93	10.33	8.17	2.17	3.80
92.10	88.33	3.77	6.61	32.09	36.13	4.03	7.88	10.13	6.13	4.00	3.77
92.14	91.13	1.02	6.61	32.08	36.33	4.25	7.88	11.13	7.14	3.98	3.77
93.08	89.17	3.92	6.61	31.10	39.13	8.03	7.85	11.09	7.08	4.01	3.80
91.10	88.09	3.01	6.64	32.17	36.10	3.93	7.88	10.25	8.33	1.92	3.76
93.08	88.17	4.92	6.61	31.17	38.13	6.96	7.86	12.13	7.10	5.03	3.76
99.17	90.09	9.08	6.61	32.17	37.11	4.94	7.89	10.09	7.25	2.84	3.80
99.33	91.11	8.22	6.62	30.08	38.08	8.00	7.95	12.09	8.33	3.76	3.76
98.09	89.08	9.01	6.61	30.10	35.09	4.99	7.86	12.13	6.33	5.79	3.76
98.13	92.20	5.93	6.61	31.33	39.13	7.79	7.84	10.25	6.08	4.17	3.78
95.20	92.25	2.95	6.62	32.14	38.14	6.00	7.84	11.10	6.14	4.96	3.80
93.20	89.08	4.12	6.61	30.17	37.11	6.94	7.89	12.09	7.10	4.99	3.77
93.11	92.25	0.86	6.61	32.10	38.20	6.10	7.88	10.10	8.25	1.85	3.76
96.20	92.14	4.06	6.62	31.11	38.17	7.06	7.86	11.25	7.11	4.14	3.81
94.13	89.17	4.96	6.61	32.10	36.17	4.07	7.93	10.14	8.17	1.98	3.77
94.17	89.13	5.04	6.61	30.17	38.20	8.03	7.86	10.11	6.11	4.00	3.77
99.14	92.13	7.02	6.64	31.13	39.17	8.04	7.88	12.10	6.13	98	3.77

Çizelge Ek 5.3. Deneysel veriler, % 50 kapasite

Jeneratör				Soğutma Kulesi				Evaporatör			
Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	Δt_{jen} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]	Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	ΔT_{Sk} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]	Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	ΔT_{evap} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]
99.17	88.08	11.08	4.43	30.14	34.09	3.95	5.25	10.10	6.10	4.00	2.51
97.25	92.08	5.17	4.42	31.13	35.09	3.97	5.24	12.09	7.10	4.99	2.51
91.08	92.08	-1.00	4.48	30.11	39.10	8.99	5.27	12.11	7.17	4.94	2.53
97.17	89.14	8.02	4.41	31.25	36.09	4.84	5.30	11.13	6.13	5.00	2.51
96.09	88.20	7.89	4.41	31.25	38.33	7.08	5.26	10.13	6.13	4.00	2.51
93.08	90.17	2.92	4.43	31.10	38.14	7.04	5.24	12.10	6.25	5.85	2.53
95.13	88.10	7.03	4.42	31.20	37.13	5.93	5.25	11.17	7.25	3.92	2.56
93.14	91.25	1.89	4.41	30.17	35.33	5.17	5.28	10.09	7.17	2.92	2.53

Çizelge Ek 5.3. Deneysel veriler, % 50 kapasite (devam)

97.14	91.08	6.06	4.45	30.17	34.25	4.08	5.24	11.14	6.33	4.81	2.55
95.13	91.11	4.01	4.41	31.09	34.13	3.03	5.23	12.09	6.20	5.89	2.51
99.17	89.08	10.08	4.41	31.17	34.09	2.92	5.27	10.17	6.14	4.02	2.52
95.13	90.11	5.01	4.41	31.09	34.17	3.08	5.23	10.09	7.11	2.98	2.52
97.14	90.09	7.05	4.41	30.13	39.09	8.97	5.23	11.20	6.09	5.11	2.51
98.11	90.10	8.01	4.42	31.14	36.20	5.06	5.25	11.09	7.13	3.97	2.51
93.25	90.33	2.92	4.41	30.11	38.20	8.09	5.24	11.20	7.11	4.09	2.51
91.33	90.17	1.17	4.43	31.13	36.14	5.02	5.26	11.25	6.20	5.05	2.57
92.17	92.20	-0.03	4.42	31.09	36.13	5.03	5.33	11.11	6.14	4.97	2.51
91.14	89.10	2.04	4.41	30.08	38.17	8.08	5.26	11.33	6.13	5.21	2.56
97.13	92.11	5.01	4.42	31.14	37.11	5.97	5.23	12.14	7.08	5.06	2.52
91.08	91.08	0.00	4.43	31.14	34.14	3.00	5.27	12.25	6.33	5.92	2.54
92.17	90.14	2.02	4.47	31.25	35.33	4.08	5.23	10.11	6.25	3.86	2.60
96.14	90.13	6.02	4.47	31.13	37.11	5.99	5.33	12.09	6.17	5.92	2.51
98.25	88.20	10.05	4.41	31.20	35.08	3.88	5.23	12.14	6.20	5.94	2.51
97.10	91.20	5.90	4.41	31.13	39.17	8.04	5.23	10.13	6.20	3.93	2.51
96.20	89.11	7.09	4.41	30.14	39.08	8.94	5.28	12.14	6.10	6.04	2.51
97.09	89.13	7.97	4.41	31.08	34.25	3.17	5.25	11.33	6.10	5.23	2.60
99.11	92.13	6.99	4.41	31.09	35.14	4.05	5.30	10.11	6.10	4.01	2.53
93.33	89.14	4.19	4.42	30.11	36.09	5.98	5.30	10.17	6.33	3.83	2.53
92.14	91.25	0.89	4.41	30.14	38.10	7.96	5.26	10.33	6.33	4.00	2.53
92.17	92.13	0.04	4.41	31.17	38.13	6.96	5.30	12.25	7.09	5.16	2.51
91.13	90.13	1.00	4.43	30.08	36.14	6.06	5.25	12.10	6.14	5.96	2.51
93.13	91.14	1.98	4.42	31.10	34.25	3.15	5.25	12.25	6.20	6.05	2.67
93.08	91.33	1.75	4.43	31.11	37.33	6.22	5.30	10.20	6.13	4.08	2.51
92.13	91.25	0.88	4.43	30.14	36.17	6.02	5.26	11.25	7.33	3.92	2.51
97.08	90.25	6.83	4.41	31.25	39.11	7.86	5.37	12.08	7.17	4.92	2.53
91.25	89.25	2.00	4.42	30.20	36.08	5.88	5.24	11.13	7.09	4.03	2.52
95.17	90.33	4.83	4.41	30.20	38.33	8.13	5.25	10.09	6.25	3.84	2.56
92.33	88.33	4.00	4.41	30.20	39.20	9.00	5.23	11.33	7.10	4.23	2.51
91.10	88.09	3.01	4.41	31.17	34.13	2.96	5.24	10.33	6.17	4.17	2.51
95.14	90.17	4.98	4.41	30.08	36.08	6.00	5.30	10.10	6.33	3.77	2.54
99.13	92.08	7.04	4.41	30.25	36.11	5.86	5.24	11.10	6.33	4.77	2.51
91.14	92.14	-1.00	4.43	30.17	38.14	7.98	5.25	10.25	7.08	3.17	2.55
98.13	89.25	8.88	4.42	31.11	37.25	6.14	5.24	11.33	7.13	4.21	2.51
92.10	91.10	1.00	4.41	30.25	35.11	4.86	5.33	12.20	7.13	5.08	2.51
92.11	90.10	2.01	4.43	31.14	36.14	5.00	5.25	10.33	7.25	3.08	2.56
95.25	90.09	5.16	4.42	30.17	34.25	4.08	5.27	11.17	7.14	4.02	2.51
98.14	91.08	7.06	4.41	30.09	35.20	5.11	5.24	10.09	7.11	2.98	2.51
91.11	91.33	-0.22	4.41	31.20	36.09	4.89	5.37	11.08	6.08	5.00	2.51
99.14	89.11	10.03	4.41	31.13	34.25	3.13	5.24	12.33	7.20	5.13	2.54

Çizelge Ek 5.3. Deneysel veriler, % 50 kapasite (devam)

96.09	90.11	5.98	4.41	30.13	39.20	9.08	5.24	10.09	6.14	3.95	2.51
93.17	89.14	4.02	4.44	30.08	36.13	6.04	5.26	12.10	7.33	4.77	2.52
91.14	91.33	-0.19	4.41	30.20	36.20	6.00	5.30	12.13	6.08	6.04	2.51
96.08	89.33	6.75	4.43	30.25	39.11	8.86	5.23	12.14	7.10	5.04	2.52
95.13	88.10	7.03	4.50	31.08	34.08	3.00	5.26	12.20	6.13	6.08	2.53
92.14	88.33	3.81	4.50	30.20	34.13	3.93	5.24	10.25	7.09	3.16	2.51
98.17	90.13	8.04	4.41	30.10	37.13	7.03	5.23	10.11	7.13	2.99	2.56
92.13	90.17	1.96	4.42	30.11	37.09	6.98	5.30	12.13	7.17	4.96	2.51
97.14	88.08	9.06	4.42	31.17	36.10	4.93	5.28	11.20	6.33	4.87	2.51
93.25	89.14	4.11	4.41	30.17	36.17	6.00	5.28	12.20	6.17	6.03	2.53
94.20	89.33	4.87	4.41	31.13	37.25	6.13	5.24	10.33	7.13	3.21	2.51
91.14	91.25	-0.11	4.44	30.14	34.11	3.97	5.25	10.14	6.08	4.06	2.52
93.11	89.14	3.97	4.53	30.09	38.25	8.16	5.23	10.33	7.14	3.19	2.51
98.17	90.08	8.08	4.41	31.08	36.08	5.00	5.26	10.13	7.20	2.93	2.53
92.11	89.11	3.00	4.44	31.17	34.13	2.96	5.26	11.33	7.13	4.21	2.52
96.33	88.13	8.21	4.41	31.20	37.17	5.97	5.24	12.08	7.09	4.99	2.51
95.14	89.33	5.81	4.44	31.13	38.10	6.98	5.30	11.13	6.33	4.79	2.51
91.17	89.20	1.97	4.41	30.10	36.33	6.23	5.33	11.14	7.13	4.02	2.51
98.25	88.11	10.14	4.41	30.20	37.11	6.91	5.25	12.25	7.20	5.05	2.52
98.20	92.13	6.08	4.41	30.08	39.17	9.08	5.24	12.08	6.11	5.97	2.53
96.13	91.08	5.04	4.43	31.10	35.08	3.98	5.23	10.08	7.33	2.75	2.52
98.11	90.11	8.00	4.41	31.08	35.20	4.12	5.37	12.33	6.11	6.22	2.51
92.13	90.25	1.88	4.41	30.13	37.11	6.99	5.23	12.10	6.33	5.77	2.58
97.11	88.33	8.78	4.41	31.33	38.25	6.92	5.23	12.08	7.13	4.96	2.54
99.11	92.11	7.00	4.41	31.25	38.20	6.95	5.33	11.33	7.20	4.13	2.51
98.11	88.11	10.00	4.41	31.13	34.13	3.00	5.24	12.11	7.20	4.91	2.51
99.09	89.11	9.98	4.41	30.11	36.10	5.99	5.23	10.08	6.17	3.92	2.63
95.17	92.25	2.92	4.53	31.11	35.10	3.99	5.26	12.17	6.20	5.97	2.52
93.33	88.08	5.25	4.41	31.17	38.13	6.96	5.33	11.33	6.08	5.25	2.63
97.09	91.17	5.92	4.43	31.25	35.17	3.92	5.25	11.11	7.10	4.01	2.51
94.33	90.11	4.22	4.42	31.09	39.10	8.01	5.25	10.14	6.08	4.06	2.54
92.11	92.14	-0.03	4.50	31.20	35.08	3.88	5.23	12.09	6.33	5.76	2.51
97.33	88.09	9.24	4.42	31.10	35.17	4.07	5.25	10.17	7.33	2.83	2.51
98.13	92.10	6.03	4.41	30.11	34.08	3.97	5.25	10.09	6.17	3.92	2.51
94.14	89.17	4.98	4.45	30.11	34.14	4.03	5.23	11.25	6.10	5.15	2.51
95.09	89.25	5.84	4.41	31.17	39.08	7.92	5.25	10.25	7.13	3.13	2.51
99.13	88.10	11.03	4.41	30.08	37.11	7.03	5.30	11.14	6.09	5.05	2.51
95.25	89.13	6.13	4.42	30.10	39.10	9.00	5.24	11.14	7.13	4.02	2.51
97.33	88.14	9.19	4.41	31.25	37.14	5.89	5.28	11.20	6.20	5.00	2.51
93.11	88.25	4.86	4.41	30.08	36.09	6.01	5.24	11.09	6.13	4.97	2.51
98.10	90.20	7.90	4.43	30.11	34.33	4.22	5.26	10.08	6.17	3.92	2.52

Çizelge Ek 5.3 Deneysel veriler, % 50 kapasite (devam)

99.08	89.14	9.94	4.41	31.20	36.11	4.91	5.33	12.33	7.20	5.13	2.51
98.11	92.14	5.97	4.41	30.09	36.20	6.11	5.25	10.13	7.20	2.93	2.52
99.14	88.20	10.94	4.41	31.09	36.11	5.02	5.23	10.09	6.09	4.00	2.53
91.20	88.33	2.87	4.41	30.14	35.11	4.97	5.23	11.20	6.33	4.87	2.51
91.10	88.25	2.85	4.41	30.25	39.14	8.89	5.25	11.14	7.09	4.05	2.55
93.13	89.11	4.01	4.42	30.08	39.33	9.25	5.28	11.08	6.13	4.96	2.52
92.14	91.33	0.81	4.42	31.11	37.11	6.00	5.37	11.10	6.08	5.02	2.51
96.09	90.25	5.84	4.41	31.33	39.11	7.78	5.24	12.20	7.11	5.09	2.53
98.08	90.25	7.83	4.46	30.11	37.33	7.22	5.26	10.11	6.08	4.03	2.51
93.10	88.13	4.97	4.41	31.10	35.17	4.07	5.30	12.09	6.08	6.01	2.51
93.08	91.11	1.97	4.43	31.10	34.13	3.03	5.25	12.09	7.09	5.00	2.51
96.08	89.14	6.94	4.42	31.20	35.08	3.88	5.25	11.33	7.25	4.08	2.51
98.10	92.14	5.96	4.42	31.17	35.11	3.94	5.30	10.08	7.08	3.00	2.63
97.33	92.08	5.25	4.42	31.10	35.20	4.10	5.27	11.20	6.08	5.12	2.51
98.17	92.33	5.83	4.53	30.33	36.17	5.83	5.25	10.13	6.17	3.96	2.51
94.08	90.14	3.94	4.42	30.33	36.13	5.79	5.26	12.25	7.33	4.92	2.51
98.14	88.33	9.81	4.41	30.33	37.13	6.79	5.23	10.33	7.14	3.19	2.52
91.13	89.33	1.79	4.53	30.14	38.11	7.97	5.28	11.25	6.33	4.92	2.52
98.09	88.33	9.76	4.41	31.10	38.14	7.04	5.26	12.14	7.09	5.05	2.51
91.10	91.08	0.02	4.42	31.13	34.11	2.99	5.24	10.17	7.25	2.92	2.52
95.20	89.10	6.10	4.41	31.10	39.08	7.98	5.24	11.33	7.11	4.22	2.53
92.14	91.33	0.81	4.41	31.17	38.08	6.92	5.26	11.09	6.10	4.99	2.51
99.09	92.08	7.01	4.42	31.08	34.09	3.01	5.23	11.14	7.11	4.03	2.51
97.14	89.11	8.03	4.41	31.20	37.09	5.89	5.23	11.10	7.10	4.00	2.55
94.09	91.09	3.00	4.41	31.10	36.20	5.10	5.24	11.25	7.09	4.16	2.52
94.14	90.20	3.94	4.41	31.25	35.09	3.84	5.23	11.14	7.14	4.00	2.52
96.17	89.13	7.04	4.41	31.17	37.10	5.93	5.25	10.14	7.13	3.02	2.51
99.17	91.10	8.07	4.42	31.20	35.11	3.91	5.26	12.14	6.20	5.94	2.53
98.14	91.25	6.89	4.41	31.33	36.08	4.75	5.33	12.14	6.25	5.89	2.53
97.09	89.33	7.76	4.41	30.09	36.10	6.01	5.23	11.08	7.13	3.96	2.56
94.10	91.08	3.02	4.57	30.08	36.10	6.02	5.25	10.25	6.10	4.15	2.51
96.10	89.09	7.01	4.43	31.20	36.10	4.90	5.25	12.10	6.08	6.02	2.51
91.08	89.08	2.00	4.42	31.09	39.10	8.01	5.28	11.11	7.33	3.78	2.51
94.17	90.11	4.06	4.42	30.10	35.10	5.00	5.25	11.08	6.25	4.83	2.51
95.25	90.25	5.00	4.41	30.09	35.17	5.08	5.23	11.11	7.13	3.99	2.51
96.08	91.10	4.98	4.41	31.14	36.08	4.94	5.24	11.20	7.17	4.03	2.58
92.20	88.17	4.03	4.41	31.25	38.09	6.84	5.26	12.20	6.13	6.08	2.51
96.25	89.09	7.16	4.44	30.25	39.10	8.85	5.37	11.09	6.17	4.92	2.56
92.11	90.20	1.91	4.41	30.09	38.14	8.05	5.33	12.09	6.33	5.76	2.52
91.25	90.13	1.13	4.44	30.33	35.33	5.00	5.24	10.17	7.09	3.08	2.51
93.11	89.14	3.97	4.41	30.09	39.17	9.08	5.23	11.09	7.09	4.00	2.51

Çizelge Ek 5.3. Deneysel veriler, % 50 kapasite (devam)

95.11	88.25	6.86	4.41	31.13	35.14	4.02	5.23	11.17	6.11	5.06	2.53
96.14	88.33	7.81	4.42	30.17	35.08	4.92	5.25	10.10	6.11	3.99	2.51
94.14	90.09	4.05	4.43	30.25	34.10	3.85	5.25	12.11	6.14	5.97	2.51
91.25	88.20	3.05	4.41	31.08	34.11	3.03	5.23	11.14	6.08	5.06	2.51
99.33	91.17	8.17	4.41	31.33	38.17	6.83	5.24	12.25	7.17	5.08	2.51
92.14	88.10	4.04	4.53	30.13	37.33	7.21	5.24	12.20	7.25	4.95	2.51
91.09	91.20	-0.11	4.41	31.20	36.10	4.90	5.23	11.17	7.25	3.92	2.51
99.08	90.10	8.98	4.42	30.20	34.17	3.97	5.26	10.11	6.11	4.00	2.53
98.14	92.20	5.94	4.43	31.25	35.11	3.86	5.26	11.25	6.17	5.08	2.51
99.10	89.10	10.00	4.43	31.20	39.13	7.93	5.30	11.10	6.08	5.02	2.51
97.33	92.08	5.25	4.41	30.20	39.10	8.90	5.23	12.25	7.10	5.15	2.52
98.08	92.10	5.98	4.42	30.10	36.25	6.15	5.24	12.09	6.20	5.89	2.51
94.09	92.13	1.97	4.41	30.17	36.08	5.92	5.26	11.17	6.14	5.02	2.54
95.25	88.20	7.05	4.43	30.08	37.11	7.03	5.23	11.08	6.17	4.92	2.51
92.10	91.09	1.01	4.41	31.17	36.17	5.00	5.26	10.14	7.17	2.98	2.54
93.08	88.11	4.97	4.41	31.14	39.14	8.00	5.23	10.17	7.14	3.02	2.52
97.20	88.25	8.95	4.46	31.14	36.08	4.94	5.23	12.09	6.33	5.76	2.52
91.20	92.20	-1.00	4.42	31.13	36.33	5.21	5.27	12.11	7.09	5.02	2.56
99.13	90.09	9.03	4.41	30.17	39.10	8.93	5.25	12.13	7.20	4.93	2.51
93.10	88.13	4.97	4.41	31.11	35.14	4.03	5.25	10.08	7.25	2.83	2.51
92.08	91.10	0.98	4.43	31.33	35.09	3.76	5.24	12.20	6.13	6.08	2.51
99.25	91.13	8.13	4.41	31.25	34.13	2.88	5.28	10.33	6.25	4.08	2.51
97.09	89.25	7.84	4.41	31.17	34.08	2.92	5.33	10.20	6.11	4.09	2.51
97.13	92.20	4.93	4.41	30.08	39.14	9.06	5.24	12.33	7.09	5.24	2.53
92.13	90.20	1.93	4.45	30.14	34.20	4.06	5.26	12.33	7.08	5.25	2.60
96.17	92.14	4.02	4.44	31.17	36.14	4.98	5.28	12.13	7.11	5.01	2.51
92.11	90.11	2.00	4.41	31.33	35.10	3.77	5.23	12.11	7.25	4.86	2.51
93.09	88.13	4.97	4.43	30.13	36.25	6.13	5.23	10.13	6.13	4.00	2.51
97.09	89.33	7.76	4.43	31.14	35.10	3.96	5.23	12.11	7.33	4.78	2.51
93.10	90.33	2.77	4.42	31.10	36.17	5.07	5.27	11.13	7.13	4.00	2.51
94.13	91.08	3.04	4.41	30.14	36.20	6.06	5.23	10.10	7.08	3.02	2.51
92.08	91.25	0.83	4.41	30.25	36.17	5.92	5.24	12.09	6.09	6.00	2.51
92.11	88.09	4.02	4.41	31.13	36.20	5.08	5.28	11.33	6.14	5.19	2.54
96.08	92.10	3.98	4.42	31.17	36.33	5.17	5.24	11.11	7.09	4.02	2.51
98.14	91.17	6.98	4.47	30.14	35.13	4.98	5.26	10.25	7.33	2.92	2.51
97.08	89.11	7.97	4.46	30.25	39.13	8.88	5.26	10.20	7.14	3.06	2.51
99.08	88.20	10.88	4.42	31.20	34.11	2.91	5.24	10.08	6.11	3.97	2.51
97.09	88.13	8.97	4.41	30.20	37.25	7.05	5.37	12.25	6.08	6.17	2.52
94.25	92.11	2.14	4.41	30.14	35.13	4.98	5.33	11.20	6.14	5.06	2.52
92.17	90.20	1.97	4.41	31.13	37.08	5.96	5.33	10.17	6.17	4.00	2.51
94.13	88.08	6.04	4.47	30.33	37.13	6.79	5.26	11.25	7.25	4.00	2.51

Çizelge Ek 5.3. Deneysel veriler, % 50 kapasite (devam)

96.08	90.09	5.99	4.42	31.08	34.20	3.12	5.23	10.10	7.20	2.90	2.51
94.11	90.20	3.91	4.42	30.11	38.09	7.98	5.24	12.09	7.25	4.84	2.51
99.33	88.33	11.00	4.41	30.20	39.08	8.88	5.26	11.33	7.20	4.13	2.55
92.20	88.09	4.11	4.43	31.10	35.08	3.98	5.27	12.33	7.33	5.00	2.51
99.11	91.13	7.99	4.42	31.09	37.25	6.16	5.23	12.25	6.11	6.14	2.51
93.09	90.11	2.98	4.41	31.10	37.08	5.98	5.37	12.33	6.11	6.22	2.51
91.14	90.20	0.94	4.41	30.08	34.14	4.06	5.37	12.11	6.09	6.02	2.51
93.20	92.20	1.00	4.41	30.25	39.33	9.08	5.23	12.09	6.09	6.00	2.54
97.11	90.20	6.91	4.41	31.08	39.14	8.06	5.23	11.13	6.10	5.03	2.51
96.09	90.08	6.01	4.42	31.09	37.11	6.02	5.33	10.17	7.10	3.07	2.57
94.25	92.09	2.16	4.42	30.25	37.11	6.86	5.25	11.17	6.13	5.04	2.56
92.11	89.10	3.01	4.41	30.20	35.33	5.13	5.23	12.08	6.14	5.94	2.51
94.10	92.33	1.77	4.47	31.20	34.09	2.89	5.26	10.08	6.17	3.92	2.51
96.10	90.10	6.00	4.44	30.20	38.17	7.97	5.23	10.25	6.14	4.11	2.51
96.14	90.17	5.98	4.47	30.17	34.10	3.93	5.25	10.13	6.20	3.93	2.51
99.14	88.17	10.98	4.41	31.33	37.10	5.77	5.23	11.25	6.14	5.11	2.51
99.20	92.09	7.11	4.41	30.33	37.20	6.87	5.27	12.33	6.13	6.21	2.52
92.33	91.20	1.13	4.43	31.11	37.17	6.06	5.28	11.10	7.20	3.90	2.53
93.25	92.10	1.15	4.41	30.20	35.08	4.88	5.23	12.14	7.13	5.02	2.52
92.11	88.33	3.78	4.41	31.20	37.08	5.88	5.25	11.33	7.13	4.21	2.51
97.09	90.25	6.84	4.42	31.08	37.33	6.25	5.37	11.10	7.25	3.85	2.51
92.20	89.09	3.11	4.41	30.25	34.08	3.83	5.27	10.14	7.17	2.98	2.55
97.20	89.13	8.08	4.43	30.17	36.20	6.03	5.28	12.25	6.17	6.08	2.53
91.09	89.14	1.95	4.57	30.33	39.17	8.83	5.28	11.14	6.25	4.89	2.51
95.13	92.13	3.00	4.41	30.08	39.33	9.25	5.24	12.10	6.20	5.90	2.52
94.14	92.10	2.04	4.41	31.14	39.11	7.97	5.24	10.17	6.13	4.04	2.55
91.10	90.10	1.00	4.41	31.20	34.08	2.88	5.24	10.25	6.25	4.00	2.51
98.25	91.13	7.13	4.41	30.14	37.08	6.94	5.23	12.14	7.09	5.05	2.53
93.14	88.17	4.98	4.41	30.17	34.25	4.08	5.23	11.11	6.11	5.00	2.52
98.09	91.09	7.00	4.48	30.09	39.08	8.99	5.24	11.11	6.13	4.99	2.51
91.25	91.13	0.13	4.41	30.17	39.11	8.94	5.23	12.33	6.33	6.00	2.51
95.08	90.25	4.83	4.41	31.11	34.17	3.06	5.24	11.11	6.13	4.99	2.52
95.13	91.14	3.98	4.42	31.14	34.10	2.96	5.23	10.17	7.20	2.97	2.51
92.17	90.20	1.97	4.41	30.17	39.10	8.93	5.26	12.09	7.17	4.92	2.51
92.17	91.11	1.06	4.42	30.13	34.13	4.00	5.26	10.09	7.08	3.01	2.52
93.08	91.33	1.75	4.42	31.10	38.25	7.15	5.25	12.11	7.09	5.02	2.52
98.17	89.25	8.92	4.41	30.25	36.09	5.84	5.26	12.20	6.10	6.10	2.53
95.10	88.20	6.90	4.43	30.33	35.33	5.00	5.25	10.25	6.33	3.92	2.51
96.25	89.08	7.17	4.42	30.09	37.17	7.08	5.24	10.20	7.25	2.95	2.52
94.10	91.08	3.02	4.42	30.10	37.08	6.98	5.23	12.09	7.08	5.01	2.52
96.14	90.33	5.81	4.41	31.17	36.25	5.08	5.25	12.14	6.11	6.03	2.52

Çizelge Ek 5.3. Deneysel veriler, % 50 kapasite (devam)

98.20	89.33	8.87	4.41	31.10	37.11	6.01	5.24	11.09	6.08	5.01	2.51
93.20	88.08	5.12	4.42	31.17	36.25	5.08	5.23	11.25	7.09	4.16	2.51
95.25	89.25	6.00	4.41	30.13	34.33	4.21	5.28	10.25	6.25	4.00	2.52
94.08	90.20	3.88	4.41	30.17	34.14	3.98	5.23	10.10	6.08	4.02	2.51
94.17	92.10	2.07	4.41	30.13	39.10	8.98	5.24	11.33	7.17	4.17	2.51
95.09	90.17	4.92	4.41	31.13	39.20	8.08	5.24	11.13	6.33	4.79	2.67
95.09	91.33	3.76	4.42	30.25	35.14	4.89	5.23	11.13	6.25	4.88	2.53
98.09	90.14	7.95	4.50	31.17	39.33	8.17	5.27	10.11	7.20	2.91	2.60
98.17	90.17	8.00	4.41	31.09	39.25	8.16	5.23	10.10	7.13	2.98	2.51
92.25	88.10	4.15	4.42	30.17	37.33	7.17	5.37	10.08	7.20	2.88	2.51
91.09	89.33	1.76	4.41	30.11	37.09	6.98	5.24	10.33	6.10	4.23	2.51
98.20	90.20	8.00	4.48	31.20	38.33	7.13	5.27	12.13	7.10	5.03	2.54
95.13	91.25	3.88	4.41	30.10	37.09	6.99	5.23	10.33	7.33	3.00	2.51
93.25	92.14	1.11	4.42	30.25	37.20	6.95	5.23	10.25	7.33	2.92	2.52
93.09	89.09	4.00	4.43	31.13	39.33	8.21	5.24	10.25	6.11	4.14	2.53
93.14	89.08	4.06	4.41	30.08	39.20	9.12	5.25	12.25	7.11	5.14	2.52
92.11	88.17	3.94	4.42	30.10	37.13	7.03	5.26	11.33	7.17	4.17	2.57
92.33	88.20	4.13	4.41	31.10	38.08	6.98	5.28	10.09	7.08	3.01	2.53
93.20	92.11	1.09	4.44	30.25	35.25	5.00	5.23	11.13	7.25	3.88	2.51
93.33	90.13	3.21	4.41	31.33	35.09	3.76	5.26	11.09	7.25	3.84	2.51
91.17	91.17	0.00	4.41	31.09	35.25	4.16	5.26	10.20	7.10	3.10	2.51
94.14	88.20	5.94	4.42	31.14	34.08	2.94	5.25	11.09	7.10	3.99	2.55
93.11	92.20	0.91	4.41	31.09	34.17	3.08	5.23	12.33	7.08	5.25	2.51
91.17	89.33	1.83	4.41	30.25	35.33	5.08	5.24	10.08	6.20	3.88	2.52
92.10	88.33	3.77	4.43	31.11	34.33	3.22	5.23	10.17	6.08	4.08	2.51
92.25	90.11	2.14	4.41	31.11	39.11	8.00	5.24	12.11	6.09	6.02	2.52
96.09	89.13	6.97	4.41	30.33	38.10	7.77	5.37	10.10	6.14	3.96	2.60
91.09	92.11	-1.02	4.41	31.14	37.10	5.96	5.37	10.09	6.20	3.89	2.53
95.20	91.11	4.09	4.42	31.10	34.25	3.15	5.25	10.11	6.09	4.02	2.51
94.09	89.09	5.00	4.45	31.13	35.20	4.08	5.28	11.10	6.09	5.01	2.51
92.08	90.08	2.00	4.41	31.08	36.25	5.17	5.27	11.09	7.10	3.99	2.51
98.09	90.25	7.84	4.42	30.33	35.33	5.00	5.25	10.13	7.08	3.04	2.63
97.11	90.08	7.03	4.41	31.25	34.20	2.95	5.28	11.20	6.11	5.09	2.51
95.33	91.17	4.17	4.45	31.13	37.08	5.96	5.30	12.09	7.08	5.01	2.51
93.17	92.11	1.06	4.41	30.13	34.17	4.04	5.37	12.17	6.11	6.06	2.52
96.17	90.13	6.04	4.44	31.13	38.09	6.97	5.30	11.13	6.17	4.96	2.51
95.17	90.11	5.06	4.42	31.10	39.11	8.01	5.24	11.25	7.20	4.05	2.51
93.25	88.11	5.14	4.41	31.11	37.08	5.97	5.24	11.09	6.17	4.92	2.55
92.25	89.17	3.08	4.41	31.17	37.10	5.93	5.26	11.20	7.33	3.87	2.51
97.25	89.25	8.00	4.42	31.25	36.13	4.88	5.24	11.11	6.10	5.01	2.51
94.10	91.20	2.90	4.41	31.33	34.17	2.83	5.33	12.10	6.08	6.02	2.51

Çizelge Ek 5.3. Deneysel veriler, % 50 kapasite (devam)

92.20	89.11	3.09	4.41	30.33	36.11	5.78	5.23	12.20	6.20	6.00	2.53
97.09	90.17	6.92	4.42	31.33	35.14	3.81	5.24	12.08	7.17	4.92	2.51
95.11	92.14	2.97	4.41	30.20	39.10	8.90	5.23	11.33	6.08	5.25	2.51
99.14	92.17	6.98	4.41	31.20	37.33	6.13	5.28	11.25	6.11	5.14	2.51
92.09	91.09	1.00	4.41	30.10	35.13	5.03	5.26	10.09	7.14	2.95	2.51
96.13	91.10	5.03	4.42	31.10	37.09	5.99	5.30	12.14	6.08	6.06	2.53
92.20	92.25	-0.05	4.42	31.13	34.13	3.00	5.25	11.09	7.11	3.98	2.51
97.14	90.17	6.98	4.41	31.11	38.08	6.97	5.26	10.33	6.17	4.17	2.51
99.33	88.17	11.17	4.41	30.17	35.08	4.92	5.28	12.20	7.08	5.12	2.52
94.14	91.17	2.98	4.42	30.17	34.17	4.00	5.23	12.33	6.10	6.23	2.51
99.14	92.25	6.89	4.46	31.13	34.33	3.21	5.23	10.10	7.10	3.00	2.51
93.14	89.09	4.05	4.41	31.33	38.11	6.78	5.30	10.11	6.13	3.99	2.51
95.14	91.13	4.02	4.41	30.11	35.17	5.06	5.23	11.09	7.17	3.92	2.51
93.33	89.08	4.25	4.48	30.25	39.20	8.95	5.23	10.08	6.33	3.75	2.54
92.33	88.11	4.22	4.41	30.11	39.25	9.14	5.24	10.20	6.13	4.08	2.51
95.09	91.33	3.76	4.41	30.25	37.17	6.92	5.27	11.08	7.09	3.99	2.63
98.14	92.11	6.03	4.41	30.13	34.08	3.96	5.37	11.08	6.17	4.92	2.54
91.13	91.17	-0.04	4.44	31.14	34.17	3.02	5.28	12.09	6.25	5.84	2.52
95.33	89.17	6.17	4.41	30.14	37.11	6.97	5.23	12.08	7.13	4.96	2.51
98.09	89.09	9.00	4.42	30.13	38.33	8.21	5.25	12.09	7.17	4.92	2.52
92.14	91.13	1.02	4.41	31.25	38.10	6.85	5.25	10.08	6.09	3.99	2.51
96.33	91.09	5.24	4.42	31.11	34.17	3.06	5.23	12.20	6.25	5.95	2.55
92.14	88.08	4.06	4.42	31.11	38.14	7.03	5.27	12.10	6.09	6.01	2.51
93.20	92.11	1.09	4.41	31.09	39.33	8.24	5.27	10.14	7.09	3.05	2.51
92.11	89.13	2.99	4.41	31.09	34.11	3.02	5.25	12.17	7.09	5.08	2.53
98.25	89.09	9.16	4.41	30.14	37.08	6.94	5.26	10.10	6.25	3.85	2.51
97.25	90.25	7.00	4.44	31.20	35.33	4.13	5.26	10.10	7.09	3.01	2.52
99.20	92.13	7.08	4.41	30.08	39.25	9.17	5.23	12.11	7.11	5.00	2.54
99.20	89.13	10.08	4.41	31.09	34.14	3.05	5.24	11.11	6.14	4.97	2.51
97.10	91.13	5.97	4.53	31.10	37.08	5.98	5.37	11.33	7.14	4.19	2.58
95.09	89.14	5.95	4.41	30.25	36.17	5.92	5.37	10.17	6.11	4.06	2.51
98.09	91.33	6.76	4.41	31.11	38.33	7.22	5.23	11.25	6.25	5.00	2.51
98.14	89.25	8.89	4.41	30.08	34.11	4.03	5.28	10.09	6.11	3.98	2.52
92.25	90.13	2.13	4.42	31.10	38.10	7.00	5.23	10.11	6.11	4.00	2.52
92.08	91.17	0.92	4.42	30.09	37.11	7.02	5.23	12.14	7.14	5.00	2.51
99.14	88.25	10.89	4.42	31.11	35.14	4.03	5.24	11.25	7.17	4.08	2.51
98.08	92.09	5.99	4.41	31.14	37.25	6.11	5.25	11.33	6.13	5.21	2.51
92.17	89.25	2.92	4.41	31.13	34.10	2.98	5.23	10.14	6.09	4.05	2.52
94.17	90.08	4.08	4.41	30.20	38.13	7.93	5.37	12.25	7.08	5.17	2.52
99.14	90.20	8.94	4.53	30.13	36.11	5.99	5.33	11.33	6.20	5.13	2.52
99.11	90.25	8.86	4.42	31.33	34.17	2.83	5.33	12.20	6.14	6.06	2.51

Çizelge Ek 5.3. Deneysel veriler, % 50 kapasite (devam)

97.14	88.13	9.02	4.41	31.10	39.25	8.15	5.26	10.08	6.08	4.00	2.53
92.20	91.10	1.10	4.41	31.13	35.11	3.99	5.26	10.25	7.33	2.92	2.51
97.14	89.20	7.94	4.41	30.11	35.25	5.14	5.33	11.13	6.25	4.88	2.52
94.14	92.10	2.04	4.42	30.25	37.33	7.08	5.30	11.08	7.33	3.75	2.52
92.17	91.08	1.08	4.42	31.33	34.09	2.76	5.25	10.17	6.14	4.02	2.51
92.14	91.10	1.04	4.41	30.11	39.10	8.99	5.27	10.13	6.33	3.79	2.51
95.08	92.13	2.96	4.44	30.25	36.17	5.92	5.23	10.10	7.17	2.93	2.51
96.17	88.25	7.92	4.41	30.20	35.14	4.94	5.26	11.10	6.25	4.85	2.51
95.17	89.14	6.02	4.43	31.13	37.33	6.21	5.26	11.09	7.33	3.76	2.51
99.10	89.25	9.85	4.41	31.10	35.09	3.99	5.26	11.14	7.13	4.02	2.52
91.33	88.11	3.22	4.43	30.13	39.10	8.98	5.26	10.25	6.17	4.08	2.52
96.09	88.20	7.89	4.41	31.17	34.11	2.94	5.28	12.13	7.20	4.93	2.51
91.33	92.08	-0.75	4.41	31.09	35.11	4.02	5.23	12.25	6.13	6.13	2.51
98.08	88.09	9.99	4.41	31.17	36.11	4.94	5.33	10.14	6.11	4.03	2.51
97.25	88.17	9.08	4.45	31.20	39.08	7.88	5.26	12.17	7.08	5.08	2.51
96.11	92.09	4.02	4.41	30.11	34.20	4.09	5.27	11.11	6.09	5.02	2.51
98.13	90.09	8.03	4.41	31.20	36.17	4.97	5.24	10.10	6.17	3.93	2.51
98.08	88.17	9.92	4.41	30.11	39.17	9.06	5.24	11.17	6.20	4.97	2.51
91.13	88.08	3.04	4.41	30.09	34.20	4.11	5.30	12.08	6.11	5.97	2.51
99.33	92.14	7.19	4.42	30.10	38.13	8.03	5.23	12.08	7.10	4.98	2.51
94.33	90.10	4.23	4.41	31.09	38.17	7.08	5.37	10.20	6.17	4.03	2.56
97.08	88.09	8.99	4.41	30.13	35.09	4.97	5.37	11.09	7.09	4.00	2.52
93.14	91.33	1.81	4.42	31.33	35.13	3.79	5.33	11.25	7.11	4.14	2.51
95.13	89.17	5.96	4.44	31.17	38.25	7.08	5.23	12.08	6.17	5.92	2.51
97.11	92.33	4.78	4.41	30.25	39.20	8.95	5.24	10.14	6.11	4.03	2.51
97.33	92.20	5.13	4.42	30.14	38.17	8.02	5.30	10.20	7.20	3.00	2.51
91.17	92.10	-0.93	4.41	30.17	38.09	7.92	5.26	12.17	7.13	5.04	2.51
95.25	88.08	7.17	4.41	30.17	35.14	4.98	5.24	12.25	7.25	5.00	2.63
98.17	92.08	6.08	4.41	30.17	35.33	5.17	5.23	12.33	6.11	6.22	2.52
91.14	88.20	2.94	4.42	31.08	37.20	6.12	5.28	11.08	7.33	3.75	2.51
99.17	90.20	8.97	4.41	30.25	34.33	4.08	5.33	12.14	7.09	5.05	2.51
93.17	89.14	4.02	4.46	31.17	39.09	7.92	5.23	11.10	6.09	5.01	2.53
99.25	89.08	10.17	4.41	30.25	39.20	8.95	5.25	11.10	7.08	4.02	2.51
98.17	88.33	9.83	4.41	31.17	34.09	2.92	5.25	12.25	6.09	6.16	2.51
95.08	88.20	6.88	4.41	30.08	35.08	5.00	5.33	10.10	7.25	2.85	2.51

Çizelge Ek 5.4. Deneysel veriler, % 25 kapasite

Jeneratör				Soğutma Kulesi				Evaporatör			
Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	Δt_{jen} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]	Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	ΔT_{Sk} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]	Giriş Sıcaklığı [C]	Çıkış Sıcaklığı [C]	ΔT_{evap} [C]	Debi [$\frac{m^3}{h}$]
92.25	91.13	1.13	2.20	29.08	34.25	5.17	2.63	11.10	6.25	4.85	1.25
98.08	90.10	7.98	2.21	32.11	38.25	6.14	2.66	11.09	7.11	3.98	1.26
93.08	90.10	2.98	2.21	32.13	36.25	4.13	2.63	12.13	7.08	5.04	1.26
94.17	91.25	2.92	2.21	32.10	34.10	2.00	2.64	10.11	7.11	3.00	1.27
91.17	92.17	-1.00	2.21	31.14	36.10	4.96	2.62	11.13	7.08	4.04	1.25
95.08	88.09	6.99	2.20	28.17	33.17	5.00	2.65	12.11	7.33	4.78	1.25
97.25	88.17	9.08	2.21	32.08	33.14	1.06	2.64	11.25	7.14	4.11	1.26
97.33	90.08	7.25	2.21	28.14	33.10	4.96	2.64	11.17	7.14	4.02	1.25
91.08	90.09	0.99	2.21	28.08	37.14	9.06	2.63	10.25	6.17	4.08	1.27
91.17	92.10	-0.93	2.21	30.13	35.20	5.08	2.63	11.14	7.09	4.05	1.26
98.33	88.20	10.13	2.20	30.17	38.08	7.92	2.63	11.20	7.14	4.06	1.27
95.09	88.11	6.98	2.20	28.20	35.08	6.88	2.62	12.13	7.11	5.01	1.26
99.20	91.09	8.11	2.20	31.17	36.08	4.92	2.63	12.09	7.25	4.84	1.27
96.20	92.10	4.10	2.20	28.33	37.11	8.78	2.66	11.25	6.13	5.13	1.26
91.09	88.13	2.97	2.21	32.11	33.11	1.00	2.62	10.14	6.25	3.89	1.26
98.33	88.17	10.17	2.21	32.11	35.25	3.14	2.62	10.25	6.08	4.17	1.26
95.25	90.25	5.00	2.21	30.20	37.11	6.91	2.61	12.08	7.13	4.96	1.26
98.20	89.13	9.08	2.21	31.17	35.13	3.96	2.62	11.08	7.25	3.83	1.30
98.17	88.10	10.07	2.20	31.09	37.08	5.99	2.63	11.33	7.17	4.17	1.25
96.33	92.25	4.08	2.22	31.33	35.14	3.81	2.64	10.14	7.09	3.05	1.26
95.25	89.33	5.92	2.21	29.13	36.13	7.00	2.63	12.10	6.08	6.02	1.26
99.13	92.33	6.79	2.21	28.17	35.20	7.03	2.66	10.17	7.33	2.83	1.26
96.25	89.17	7.08	2.22	31.14	38.10	6.96	2.64	11.33	7.14	4.19	1.25
97.10	92.11	4.99	2.21	32.33	36.20	3.87	2.66	11.13	6.14	4.98	1.25
93.13	90.33	2.79	2.21	28.20	33.17	4.97	2.62	11.09	6.08	5.01	1.25
93.14	90.09	3.05	2.20	31.33	37.33	6.00	2.62	10.13	6.17	3.96	1.26
98.13	91.25	6.88	2.22	30.13	36.08	5.96	2.64	11.17	7.10	4.07	1.26
91.11	88.25	2.86	2.20	31.08	34.11	3.03	2.62	10.08	7.14	2.94	1.26
96.09	92.09	4.00	2.22	31.20	36.20	5.00	2.62	10.11	6.14	3.97	1.30
98.08	88.08	10.00	2.25	32.20	38.33	6.13	2.63	12.20	7.14	5.06	1.25
91.25	89.17	2.08	2.21	31.25	35.20	3.95	2.62	12.08	7.17	4.92	1.26
98.17	88.10	10.07	2.23	29.11	36.33	7.22	2.62	11.25	7.13	4.13	1.25
95.17	88.17	7.00	2.21	32.11	34.14	2.03	2.63	12.13	6.11	6.01	1.25
97.33	90.08	7.25	2.20	29.10	38.11	9.01	2.62	11.14	6.13	5.02	1.26
95.08	90.33	4.75	2.20	29.33	35.17	5.83	2.63	12.14	7.10	5.04	1.25
97.08	90.25	6.83	2.22	31.25	38.17	6.92	2.63	10.33	7.25	3.08	1.26
91.09	88.10	2.99	2.21	30.17	35.11	4.94	2.68	10.20	6.09	4.11	1.26

Çizelge Ek 5.4. Deneysel veriler, % 25 kapasite (devam)

91.13	88.08	3.04	2.20	32.20	33.08	0.88	2.62	12.14	6.17	5.98	1.25
99.25	88.13	11.13	2.20	28.14	35.09	6.95	2.64	11.13	6.17	4.96	1.25
97.13	90.25	6.88	2.21	29.33	38.33	9.00	2.62	12.25	7.11	5.14	1.26
94.08	92.09	1.99	2.21	29.20	38.17	8.97	2.63	12.10	6.25	5.85	1.26
98.33	92.10	6.23	2.21	28.14	37.13	8.98	2.64	11.33	6.20	5.13	1.25
91.33	92.09	-0.76	2.22	32.10	35.25	3.15	2.64	11.11	7.17	3.94	1.25
91.10	88.14	2.96	2.20	29.17	34.09	4.92	2.62	10.11	6.14	3.97	1.26
92.25	89.33	2.92	2.20	28.20	34.33	6.13	2.62	11.09	6.10	4.99	1.26
96.14	90.14	6.00	2.20	28.10	35.20	7.10	2.63	12.09	7.25	4.84	1.29
97.11	90.13	6.99	2.21	28.10	33.10	5.00	2.63	12.20	6.33	5.87	1.26
92.17	88.09	4.08	2.21	28.10	37.11	9.01	2.64	12.33	6.33	6.00	1.25
94.17	92.20	1.97	2.21	32.14	34.33	2.19	2.64	10.25	7.11	3.14	1.27
95.17	90.20	4.97	2.20	31.11	37.14	6.03	2.66	11.09	6.33	4.76	1.25
98.25	88.13	10.13	2.22	31.13	35.25	4.13	2.62	12.14	7.14	5.00	1.26
91.08	88.17	2.92	2.20	28.14	36.25	8.11	2.64	11.33	7.14	4.19	1.26
91.11	91.10	0.01	2.25	30.10	35.09	4.99	2.64	12.10	7.10	5.00	1.25
97.20	90.10	7.10	2.20	30.09	34.25	4.16	2.64	10.09	6.20	3.89	1.25
97.09	90.10	6.99	2.20	30.08	35.17	5.08	2.62	12.13	6.10	6.03	1.26
91.08	88.09	2.99	2.20	32.17	38.09	5.92	2.62	11.13	7.17	3.96	1.26
93.13	92.10	1.03	2.25	31.10	34.09	2.99	2.63	12.11	6.10	6.01	1.25
97.25	89.08	8.17	2.20	31.13	37.14	6.02	2.63	10.20	6.25	3.95	1.26
99.13	91.25	7.88	2.21	29.13	37.17	8.04	2.63	10.14	6.20	3.94	1.25
99.25	90.11	9.14	2.21	31.11	34.25	3.14	2.62	10.09	6.11	3.98	1.27
95.09	92.10	2.99	2.21	28.08	33.08	5.00	2.62	10.09	6.11	3.98	1.26
92.09	90.11	1.98	2.21	32.13	34.13	2.00	2.65	11.14	6.14	5.00	1.25
95.14	90.33	4.81	2.21	28.17	38.08	9.92	2.62	11.20	7.33	3.87	1.25
94.13	92.13	2.00	2.20	29.17	37.20	8.03	2.62	11.08	7.11	3.97	1.25
96.13	92.14	3.98	2.20	29.09	34.20	5.11	2.68	12.25	7.33	4.92	1.26
92.11	88.08	4.03	2.21	29.10	33.14	4.04	2.63	11.08	6.10	4.98	1.26
94.33	88.09	6.24	2.21	30.33	34.25	3.92	2.62	12.17	7.11	5.06	1.26
94.09	92.11	1.98	2.20	28.17	35.10	6.93	2.62	11.17	6.14	5.02	1.25
92.25	90.33	1.92	2.21	31.13	37.09	5.97	2.62	11.25	7.09	4.16	1.26
96.11	90.20	5.91	2.24	32.08	35.10	3.02	2.63	11.09	6.14	4.95	1.25
94.14	90.08	4.06	2.21	28.25	36.25	8.00	2.62	10.10	7.33	2.77	1.25
97.13	92.11	5.01	2.21	32.20	37.08	4.88	2.62	12.14	6.20	5.94	1.26
93.13	92.10	1.03	2.21	31.10	38.33	7.23	2.68	12.08	6.14	5.94	1.26
92.33	90.08	2.25	2.21	31.14	33.14	2.00	2.62	12.17	6.14	6.02	1.26
97.11	92.20	4.91	2.21	28.13	37.11	8.99	2.62	10.33	6.14	4.19	1.28
95.17	92.20	2.97	2.20	29.11	38.08	8.97	2.66	11.11	6.13	4.99	1.31
96.20	88.25	7.95	2.20	32.20	36.10	3.90	2.68	12.11	7.25	4.86	1.25
92.08	88.08	4.00	2.21	28.14	36.20	8.06	2.63	11.14	6.08	5.06	1.26

Çizelge Ek 5.4 Deneysel veriler, % 25 kapasite (devam)

92.20	89.09	3.11	2.20	28.20	33.14	4.94	2.62	10.13	6.14	3.98	1.26
96.09	90.20	5.89	2.21	32.20	38.25	6.05	2.62	12.11	6.17	5.94	1.25
96.14	89.25	6.89	2.21	32.17	34.13	1.96	2.61	11.25	6.25	5.00	1.26
91.25	89.25	2.00	2.21	29.11	34.33	5.22	2.62	11.20	6.08	5.12	1.27
96.11	89.08	7.03	2.21	31.17	35.25	4.08	2.62	10.09	7.14	2.95	1.26
97.14	88.08	9.06	2.21	31.14	33.17	2.02	2.64	11.14	7.17	3.98	1.26
95.08	88.17	6.92	2.20	29.09	33.17	4.08	2.66	10.11	6.25	3.86	1.26
96.13	88.20	7.93	2.21	31.33	33.25	1.92	2.64	12.10	6.14	5.96	1.27
96.20	90.14	6.06	2.21	30.09	36.17	6.08	2.62	10.10	6.17	3.93	1.26
94.13	88.20	5.93	2.25	29.14	35.33	6.19	2.62	11.20	6.33	4.87	1.26
91.13	92.25	-1.13	2.22	30.25	33.09	2.84	2.63	10.10	6.08	4.02	1.26
98.13	88.14	9.98	2.20	31.25	35.25	4.00	2.62	11.33	7.11	4.22	1.26
93.10	92.25	0.85	2.22	29.13	37.10	7.98	2.63	11.09	6.11	4.98	1.27
93.08	89.11	3.97	2.20	29.11	36.33	7.22	2.64	10.09	7.09	3.00	1.25
93.10	91.20	1.90	2.21	29.13	36.08	6.96	2.64	10.14	6.09	4.05	1.26
99.09	90.08	9.01	2.21	28.20	35.25	7.05	2.62	10.17	7.14	3.02	1.25
91.14	90.13	1.02	2.21	32.25	34.09	1.84	2.63	11.10	6.14	4.96	1.25
92.13	90.10	2.03	2.21	28.11	37.10	8.99	2.62	12.08	7.20	4.88	1.25
97.10	88.11	8.99	2.20	31.33	36.08	4.75	2.63	11.09	7.11	3.98	1.26
91.11	92.11	-1.00	2.21	28.09	36.11	8.02	2.62	12.11	7.20	4.91	1.26
97.14	90.09	7.05	2.21	28.09	38.13	10.03	2.63	12.14	6.33	5.81	1.26
95.10	91.25	3.85	2.21	28.10	37.13	9.03	2.63	10.13	7.13	3.00	1.27
99.11	88.20	10.91	2.21	29.20	34.13	4.93	2.62	10.09	7.08	3.01	1.26
95.14	88.09	7.05	2.21	30.33	35.11	4.78	2.62	12.08	6.20	5.88	1.27
97.13	88.08	9.04	2.20	32.17	36.13	3.96	2.65	10.17	6.13	4.04	1.25
92.33	88.10	4.23	2.22	32.14	38.17	6.02	2.62	11.17	6.25	4.92	1.26
94.14	92.08	2.06	2.21	29.33	38.17	8.83	2.62	11.14	6.11	5.03	1.26
92.10	88.09	4.01	2.22	29.14	34.17	5.02	2.62	10.17	7.25	2.92	1.26
93.33	89.13	4.21	2.20	30.13	35.33	5.21	2.62	10.33	6.13	4.21	1.26
99.09	88.08	11.01	2.20	30.14	36.33	6.19	2.62	12.09	6.09	6.00	1.27
91.08	90.17	0.92	2.20	29.11	34.08	4.97	2.68	12.13	7.25	4.88	1.29
92.08	91.08	1.00	2.22	31.08	38.10	7.02	2.63	11.13	6.20	4.93	1.25
94.08	91.10	2.98	2.24	32.13	37.25	5.13	2.63	12.11	6.08	6.03	1.26
93.20	90.17	3.03	2.21	31.11	35.10	3.99	2.62	12.20	6.09	6.11	1.25
95.14	89.09	6.05	2.28	32.08	38.17	6.08	2.63	12.14	7.33	4.81	1.25
96.10	92.10	4.00	2.21	30.13	37.17	7.04	2.64	10.25	6.08	4.17	1.25
95.33	89.11	6.22	2.21	30.11	33.13	3.01	2.62	10.25	7.33	2.92	1.25
94.25	92.20	2.05	2.20	30.10	36.25	6.15	2.66	10.17	6.25	3.92	1.26
95.20	90.33	4.87	2.21	28.25	34.08	5.83	2.64	11.09	6.10	4.99	1.26
93.25	92.25	1.00	2.20	30.10	38.25	8.15	2.62	10.08	6.10	3.98	1.25
98.25	89.25	9.00	2.25	28.10	34.20	6.10	2.64	10.08	6.08	4.00	1.27

Çizelge Ek 5.4. Deneysel veriler, % 25 kapasite (devam)

98.14	91.14	7.00	2.23	31.08	33.10	2.02	2.65	11.13	6.20	4.93	1.25
99.08	91.10	7.98	2.20	32.09	33.33	1.24	2.64	11.33	6.17	5.17	1.26
96.10	91.25	4.85	2.21	30.09	33.11	3.02	2.62	10.17	6.33	3.83	1.25
96.25	88.09	8.16	2.21	31.09	33.11	2.02	2.62	12.11	7.09	5.02	1.26
96.10	88.10	8.00	2.25	30.25	35.13	4.88	2.66	12.08	6.10	5.98	1.25
95.14	90.20	4.94	2.20	30.11	38.11	8.00	2.63	12.17	7.11	5.06	1.25
96.10	89.14	6.96	2.21	31.20	35.08	3.88	2.66	11.11	6.11	5.00	1.26
92.11	89.20	2.91	2.23	30.17	34.25	4.08	2.68	12.13	6.25	5.88	1.26
94.20	92.10	2.10	2.20	28.09	38.10	10.01	2.63	10.09	6.33	3.76	1.26
94.11	88.14	5.97	2.21	29.14	34.33	5.19	2.61	11.08	7.33	3.75	1.26
96.10	89.25	6.85	2.21	30.25	34.10	3.85	2.63	11.11	6.14	4.97	1.26
95.11	88.14	6.97	2.21	28.14	35.25	7.11	2.63	11.11	7.25	3.86	1.26
92.09	92.08	0.01	2.21	30.10	37.14	7.04	2.63	12.14	6.20	5.94	1.26
93.17	88.33	4.83	2.23	31.13	36.17	5.04	2.63	12.11	6.33	5.78	1.25
93.20	92.09	1.11	2.22	28.20	33.14	4.94	2.63	10.20	6.11	4.09	1.29
91.14	89.08	2.06	2.21	29.33	34.33	5.00	2.63	12.08	6.09	5.99	1.25
96.33	92.14	4.19	2.20	30.17	33.10	2.93	2.62	12.11	7.10	5.01	1.28
99.17	89.11	10.06	2.20	28.11	35.09	6.98	2.68	12.33	7.20	5.13	1.25
95.13	91.11	4.01	2.24	30.33	33.08	2.75	2.62	11.17	7.13	4.04	1.26
98.13	91.13	7.00	2.20	28.20	38.14	9.94	2.63	12.14	6.11	6.03	1.26
91.09	92.10	-1.01	2.21	32.14	34.09	1.95	2.62	11.09	6.11	4.98	1.26
92.20	92.25	-0.05	2.24	30.17	36.14	5.98	2.62	12.13	6.10	6.03	1.26
96.09	90.25	5.84	2.23	29.17	37.14	7.98	2.64	10.08	7.33	2.75	1.26
98.09	91.33	6.76	2.21	31.13	37.25	6.13	2.63	10.13	7.09	3.03	1.26
99.14	90.20	8.94	2.21	30.10	33.17	3.07	2.62	12.14	7.09	5.05	1.26
95.14	91.13	4.02	2.20	28.10	34.14	6.04	2.68	11.08	7.25	3.83	1.26
99.33	91.14	8.19	2.20	31.17	34.20	3.03	2.63	10.25	7.17	3.08	1.25
97.14	88.13	9.02	2.22	28.13	37.09	8.97	2.63	10.10	7.11	2.99	1.26
92.25	92.25	0.00	2.20	31.08	34.11	3.03	2.62	12.10	6.09	6.01	1.26
93.14	89.17	3.98	2.20	28.10	33.20	5.10	2.63	11.17	7.25	3.92	1.26
91.08	88.13	2.96	2.20	30.10	34.33	4.23	2.66	12.33	6.08	6.25	1.26
95.33	90.33	5.00	2.20	29.33	33.14	3.81	2.62	10.09	6.33	3.76	1.29
96.14	90.08	6.06	2.21	28.08	33.17	5.08	2.63	11.25	7.33	3.92	1.27
95.13	90.09	5.03	2.22	29.25	36.17	6.92	2.62	12.17	6.25	5.92	1.25
97.11	89.25	7.86	2.26	30.09	38.14	8.05	2.62	11.10	6.17	4.93	1.28
93.11	88.11	5.00	2.20	30.14	33.33	3.19	2.62	10.25	7.13	3.13	1.25
99.08	92.25	6.83	2.21	32.17	33.17	1.00	2.68	11.10	6.13	4.98	1.26
96.09	92.13	3.97	2.21	28.14	37.10	8.96	2.62	11.13	6.20	4.93	1.26
95.11	91.17	3.94	2.21	31.11	33.25	2.14	2.62	11.20	6.11	5.09	1.25
93.13	91.33	1.79	2.28	32.08	38.25	6.17	2.62	11.20	7.25	3.95	1.26
96.11	89.11	7.00	2.20	30.14	36.33	6.19	2.62	12.17	6.11	6.06	1.26

Çizelge Ek 5.4. Deneysel veriler, % 25 kapasite (devam)

98.13	89.25	8.88	2.22	31.20	34.09	2.89	2.62	11.10	7.08	4.02	1.28
95.20	91.33	3.87	2.21	29.20	35.33	6.13	2.63	10.09	7.09	3.00	1.28
95.08	91.11	3.97	2.21	32.08	34.09	2.01	2.64	10.20	6.09	4.11	1.26
96.08	91.20	4.88	2.28	31.13	38.10	6.98	2.61	10.08	7.11	2.97	1.26
96.13	88.10	8.03	2.26	32.10	37.08	4.98	2.61	11.33	7.10	4.23	1.25
97.17	92.33	4.83	2.24	31.10	35.08	3.98	2.65	12.09	6.14	5.95	1.25
94.17	90.17	4.00	2.21	30.17	34.14	3.98	2.62	12.11	7.17	4.94	1.29
97.11	89.14	7.97	2.20	31.14	34.20	3.06	2.64	10.10	7.25	2.85	1.26
91.10	91.14	-0.04	2.20	31.25	33.13	1.88	2.62	11.08	7.09	3.99	1.25
92.33	89.10	3.23	2.20	31.17	35.14	3.98	2.65	12.20	6.17	6.03	1.25
99.10	91.09	8.01	2.21	32.14	34.13	1.98	2.62	10.11	7.08	3.03	1.26
99.14	91.13	8.02	2.20	28.11	38.09	9.98	2.62	10.09	7.11	2.98	1.26
93.13	89.11	4.01	2.20	32.33	33.25	0.92	2.63	11.10	6.10	5.00	1.26
99.14	92.14	7.00	2.21	31.11	34.09	2.98	2.63	11.14	7.17	3.98	1.26
92.08	90.11	1.97	2.21	32.17	38.08	5.92	2.64	12.10	6.14	5.96	1.26
91.17	90.09	1.08	2.21	29.20	36.17	6.97	2.61	12.11	6.20	5.91	1.25
98.08	88.17	9.92	2.21	30.33	36.14	5.81	2.62	10.10	6.13	3.98	1.26
98.08	91.09	6.99	2.22	28.20	36.25	8.05	2.62	10.33	6.11	4.22	1.26
99.20	88.33	10.87	2.21	31.13	36.11	4.99	2.64	10.09	6.09	4.00	1.30
94.10	91.13	2.97	2.20	31.33	37.20	5.87	2.61	11.25	7.17	4.08	1.26
98.13	89.25	8.88	2.21	30.33	33.11	2.78	2.64	10.08	6.14	3.94	1.26
93.20	90.11	3.09	2.20	29.14	36.20	7.06	2.63	12.13	6.13	6.00	1.26
92.08	88.13	3.96	2.20	31.10	36.13	5.03	2.66	10.13	7.08	3.04	1.25
97.08	89.13	7.96	2.21	32.20	34.08	1.88	2.63	12.14	6.09	6.05	1.26
95.14	89.17	5.98	2.22	29.11	38.33	9.22	2.65	12.10	6.08	6.02	1.26
99.33	90.14	9.19	2.21	29.14	34.14	5.00	2.62	11.10	7.14	3.96	1.25
97.11	88.33	8.78	2.20	30.09	35.17	5.08	2.62	10.20	7.25	2.95	1.25
92.10	89.17	2.93	2.20	28.10	37.17	9.07	2.62	11.10	7.33	3.77	1.26
92.33	90.20	2.13	2.25	28.33	35.13	6.79	2.62	12.17	6.11	6.06	1.28
92.09	89.17	2.92	2.21	30.09	33.08	2.99	2.64	12.33	7.09	5.24	1.25
97.10	89.20	7.90	2.22	30.17	34.13	3.96	2.63	12.13	7.10	5.03	1.26
98.17	90.08	8.08	2.20	28.10	35.33	7.23	2.61	10.09	7.13	2.97	1.25
97.10	89.33	7.77	2.20	29.09	33.08	3.99	2.62	12.10	7.09	5.01	1.25
94.33	90.33	4.00	2.28	29.08	34.20	5.12	2.66	12.10	6.25	5.85	1.26
93.20	90.20	3.00	2.21	30.20	37.13	6.93	2.63	12.25	7.11	5.14	1.25
91.14	92.17	-1.02	2.21	30.08	38.17	8.08	2.63	12.13	7.10	5.03	1.26
91.13	88.10	3.03	2.21	29.10	37.10	8.00	2.63	10.14	7.14	3.00	1.26
92.14	89.17	2.98	2.28	28.09	35.17	7.08	2.62	10.33	7.10	3.23	1.28
96.08	88.08	8.00	2.21	30.08	38.20	8.12	2.63	10.10	6.13	3.98	1.29
94.13	90.13	4.00	2.21	32.10	36.08	3.98	2.62	12.10	6.14	5.96	1.26
91.20	90.08	1.12	2.20	31.13	37.20	6.08	2.62	12.10	6.20	5.90	1.25

Çizelge Ek 5.4. Deneysel veriler, % 25 kapasite (devam)

97.25	89.14	8.11	2.21	28.10	35.17	7.07	2.64	10.25	7.33	2.92	1.26
95.25	90.13	5.13	2.23	32.10	38.08	5.98	2.62	11.10	7.09	4.01	1.28
99.14	92.09	7.05	2.20	30.13	35.13	5.00	2.65	11.14	6.20	4.94	1.25
91.13	90.14	0.98	2.22	28.09	35.33	7.24	2.63	10.17	6.17	4.00	1.27
93.08	91.11	1.97	2.21	31.10	34.11	3.01	2.68	11.25	6.14	5.11	1.25
93.08	90.13	2.96	2.22	31.13	37.08	5.96	2.63	11.08	6.14	4.94	1.26
97.11	89.20	7.91	2.20	30.25	37.33	7.08	2.66	12.20	6.08	6.12	1.26
94.08	89.09	4.99	2.20	32.13	35.09	2.97	2.62	11.33	6.13	5.21	1.25
98.33	91.17	7.17	2.20	32.25	34.20	1.95	2.62	10.20	6.11	4.09	1.25
97.11	91.25	5.86	2.23	28.09	38.25	10.16	2.61	12.20	7.09	5.11	1.26
95.13	91.33	3.79	2.22	29.33	36.13	6.79	2.63	10.25	6.13	4.13	1.26
92.13	91.08	1.04	2.21	31.14	36.20	5.06	2.65	10.20	7.14	3.06	1.33
93.08	89.33	3.75	2.21	28.25	38.09	9.84	2.62	10.17	6.09	4.08	1.29
91.20	92.25	-1.05	2.20	29.13	38.17	9.04	2.62	12.11	7.33	4.78	1.26
94.11	91.14	2.97	2.21	28.17	34.33	6.17	2.61	11.14	6.25	4.89	1.26
91.14	90.17	0.98	2.21	31.10	38.25	7.15	2.62	10.10	6.10	4.00	1.25
95.10	91.20	3.90	2.20	30.20	36.33	6.13	2.61	12.13	6.14	5.98	1.26
95.08	89.13	5.96	2.21	29.13	34.13	5.00	2.62	12.10	7.13	4.98	1.26
92.20	90.20	2.00	2.20	28.33	36.08	7.75	2.64	10.14	6.20	3.94	1.25
99.33	91.17	8.17	2.24	31.08	34.20	3.12	2.62	12.10	6.13	5.98	1.33
95.25	89.25	6.00	2.23	29.11	37.20	8.09	2.64	10.20	6.13	4.08	1.25
95.09	90.11	4.98	2.21	32.25	36.14	3.89	2.63	12.13	6.25	5.88	1.26
98.09	89.10	8.99	2.28	28.33	35.13	6.79	2.62	10.25	6.08	4.17	1.26
94.09	92.11	1.98	2.21	30.20	36.13	5.93	2.63	10.17	7.25	2.92	1.26
92.25	88.33	3.92	2.21	28.13	37.13	9.00	2.63	11.25	7.11	4.14	1.26
92.20	91.11	1.09	2.20	30.17	34.09	3.92	2.66	10.09	6.13	3.97	1.31
99.08	92.14	6.94	2.20	31.17	34.11	2.94	2.64	10.17	7.20	2.97	1.25
93.33	92.11	1.22	2.22	31.33	36.08	4.75	2.62	12.33	7.09	5.24	1.26
93.14	91.08	2.06	2.21	28.17	35.11	6.94	2.62	11.14	7.17	3.98	1.29
99.14	88.11	11.03	2.20	28.14	33.13	4.98	2.62	12.20	6.13	6.08	1.26
96.13	88.08	8.04	2.28	30.17	38.33	8.17	2.68	11.10	6.08	5.02	1.25
94.14	92.17	1.98	2.20	30.17	35.08	4.92	2.62	11.09	7.20	3.89	1.26
93.09	89.11	3.98	2.20	30.10	36.13	6.03	2.63	11.25	7.14	4.11	1.26
96.20	89.09	7.11	2.20	31.08	34.25	3.17	2.66	11.20	6.25	4.95	1.26
93.08	90.13	2.96	2.20	29.09	38.08	8.99	2.63	10.08	6.33	3.75	1.27
91.20	91.08	0.12	2.21	31.11	33.11	2.00	2.63	12.08	7.20	4.88	1.25
98.25	92.09	6.16	2.21	28.10	38.33	10.23	2.62	11.13	7.11	4.01	1.25
91.10	92.33	-1.23	2.20	32.14	36.09	3.95	2.62	11.20	6.14	5.06	1.31
91.13	88.13	3.00	2.22	32.11	37.17	5.06	2.63	11.11	7.17	3.94	1.26
96.14	88.33	7.81	2.20	30.25	37.09	6.84	2.62	12.10	6.11	5.99	1.26
99.09	92.13	6.97	2.22	30.20	38.25	8.05	2.62	10.10	6.25	3.85	1.26

Çizelge Ek 5.4. Deneysel veriler, % 25 kapasite (devam)

94.10	90.09	4.01	2.21	31.11	36.08	4.97	2.63	10.08	7.17	2.92	1.33
99.17	90.11	9.06	2.20	31.09	35.11	4.02	2.66	10.20	6.20	4.00	1.27
92.08	90.13	1.96	2.23	28.33	36.13	7.79	2.68	11.09	7.11	3.98	1.29
93.11	88.08	5.03	2.21	32.10	36.11	4.01	2.62	11.08	7.13	3.96	1.25
92.08	90.10	1.98	2.21	32.08	37.20	5.12	2.61	10.08	7.17	2.92	1.29
98.33	90.33	8.00	2.20	31.08	35.11	4.03	2.68	10.20	7.14	3.06	1.26
97.14	92.14	5.00	2.21	30.33	35.14	4.81	2.62	12.14	6.09	6.05	1.26
93.10	88.09	5.01	2.20	30.13	33.11	2.99	2.66	10.08	7.25	2.83	1.26
96.08	88.10	7.98	2.20	29.11	35.09	5.98	2.62	10.17	7.14	3.02	1.25
91.17	90.10	1.07	2.21	29.13	36.11	6.99	2.63	11.25	7.13	4.13	1.25
99.09	90.13	8.97	2.21	29.10	38.17	9.07	2.62	12.10	6.17	5.93	1.25
95.20	91.11	4.09	2.21	28.11	35.17	7.06	2.63	10.10	7.17	2.93	1.26
96.20	88.09	8.11	2.25	30.17	35.10	4.93	2.62	12.08	7.13	4.96	1.25
95.20	91.13	4.08	2.22	29.09	35.25	6.16	2.62	11.20	7.13	4.08	1.26
94.17	88.11	6.06	2.21	29.10	34.14	5.04	2.62	12.33	6.25	6.08	1.26
98.25	91.09	7.16	2.21	30.17	37.20	7.03	2.62	12.13	6.17	5.96	1.25
96.17	91.33	4.83	2.21	31.08	36.13	5.04	2.62	10.14	6.25	3.89	1.26
97.20	89.25	7.95	2.20	31.08	37.14	6.06	2.62	11.08	7.09	3.99	1.26
91.33	88.11	3.22	2.20	29.13	37.20	8.08	2.63	10.11	7.11	3.00	1.26
93.14	92.33	0.81	2.24	30.08	34.25	4.17	2.64	11.17	6.10	5.07	1.26
97.09	89.11	7.98	2.20	28.17	34.10	5.93	2.62	10.33	7.17	3.17	1.26
91.25	92.14	-0.89	2.21	32.17	37.09	4.92	2.62	12.17	6.11	6.06	1.25
93.25	90.17	3.08	2.22	29.33	37.08	7.75	2.64	10.33	6.11	4.22	1.25
92.20	90.17	2.03	2.21	31.09	38.09	7.00	2.64	12.13	6.09	6.03	1.26
92.25	92.10	0.15	2.21	30.10	38.11	8.01	2.66	12.10	6.14	5.96	1.25
99.20	92.11	7.09	2.20	30.25	34.08	3.83	2.62	10.17	7.20	2.97	1.25
92.17	89.17	3.00	2.20	29.11	37.08	7.97	2.62	11.14	6.08	5.06	1.25
94.33	91.11	3.22	2.22	30.25	34.25	4.00	2.61	10.10	6.17	3.93	1.25
92.20	92.20	0.00	2.20	29.09	34.20	5.11	2.62	11.09	7.20	3.89	1.26
91.11	92.13	-1.01	2.24	29.11	38.08	8.97	2.64	12.25	6.13	6.13	1.26
95.13	90.25	4.88	2.23	29.10	34.08	4.98	2.62	12.25	7.09	5.16	1.26
95.20	88.17	7.03	2.21	30.17	35.25	5.08	2.62	10.17	6.14	4.02	1.33
92.14	89.13	3.02	2.21	29.17	33.13	3.96	2.68	12.08	7.25	4.83	1.26
97.13	92.17	4.96	2.22	32.11	34.25	2.14	2.62	11.20	7.20	4.00	1.25
93.33	92.33	1.00	2.22	28.17	38.20	10.03	2.66	10.33	6.17	4.17	1.26
95.13	92.08	3.04	2.21	31.20	33.09	1.89	2.63	12.33	7.08	5.25	1.25
97.25	92.20	5.05	2.20	31.13	34.13	3.00	2.66	10.11	7.09	3.02	1.26
94.33	89.17	5.17	2.20	29.09	36.17	7.08	2.63	12.20	7.11	5.09	1.26
94.11	89.17	4.94	2.21	29.11	35.33	6.22	2.65	10.14	7.14	3.00	1.27
94.33	90.20	4.13	2.21	30.10	33.09	2.99	2.68	10.08	7.09	2.99	1.26
99.25	92.20	7.05	2.20	32.25	34.20	1.95	2.63	12.13	7.25	4.88	1.26

Çizelge Ek 5.4. Deneysel veriler, % 25 kapasite (devam)

95.33	89.09	6.24	2.20	31.11	37.09	5.98	2.62	10.09	6.17	3.92	1.25
98.13	92.14	5.98	2.21	31.10	37.10	6.00	2.62	10.08	7.10	2.98	1.27
99.17	90.10	9.07	2.21	31.25	33.09	1.84	2.62	12.17	6.11	6.06	1.25
98.33	90.20	8.13	2.20	29.10	34.33	5.23	2.68	12.20	6.13	6.08	1.26
92.13	89.11	3.01	2.23	32.09	35.10	3.01	2.61	10.13	7.13	3.00	1.25
91.10	92.17	-1.07	2.23	31.08	38.13	7.04	2.66	12.20	7.11	5.09	1.25
93.08	92.14	0.94	2.21	28.17	38.14	9.98	2.63	11.25	6.20	5.05	1.26
92.20	90.20	2.00	2.20	29.10	33.17	4.07	2.64	12.10	6.14	5.96	1.26
99.08	92.11	6.97	2.21	28.13	34.14	6.02	2.62	10.09	6.33	3.76	1.25
93.33	88.11	5.22	2.21	31.33	36.17	4.83	2.62	12.10	6.25	5.85	1.27
99.33	91.13	8.21	2.20	32.25	36.20	3.95	2.62	11.25	6.11	5.14	1.31
94.17	90.13	4.04	2.20	28.10	36.17	8.07	2.62	12.10	7.33	4.77	1.26
93.14	89.09	4.05	2.20	31.14	33.14	2.00	2.61	12.13	6.09	6.03	1.27
92.13	88.25	3.88	2.22	28.13	34.17	6.04	2.66	12.33	6.11	6.22	1.26
93.33	91.10	2.23	2.21	31.20	35.17	3.97	2.61	11.10	6.33	4.77	1.26
95.20	88.10	7.10	2.20	30.33	38.14	7.81	2.66	10.09	6.14	3.95	1.26
94.20	90.20	4.00	2.25	29.08	36.17	7.08	2.64	12.20	7.17	5.03	1.26
96.13	90.14	5.98	2.21	28.09	34.09	6.00	2.68	10.08	7.14	2.94	1.26
95.10	89.25	5.85	2.21	30.09	37.20	7.11	2.62	12.09	7.17	4.92	1.26
91.11	90.25	0.86	2.20	31.33	37.10	5.77	2.62	10.14	7.09	3.05	1.25
94.25	90.33	3.92	2.21	32.14	36.20	4.06	2.62	12.11	7.11	5.00	1.28
94.10	92.11	1.99	2.22	31.25	35.13	3.88	2.64	12.13	6.08	6.04	1.25
91.25	89.11	2.14	2.21	31.33	34.20	2.87	2.64	11.14	6.11	5.03	1.26
94.17	90.08	4.08	2.23	30.17	38.13	7.96	2.65	10.11	6.25	3.86	1.26
98.14	88.20	9.94	2.21	31.11	36.13	5.01	2.62	11.14	7.14	4.00	1.25
98.13	91.33	6.79	2.21	30.13	34.25	4.13	2.63	11.08	6.17	4.92	1.25
95.33	92.20	3.13	2.21	30.20	37.13	6.93	2.63	11.33	6.20	5.13	1.26
97.14	90.10	7.04	2.20	29.10	37.20	8.10	2.65	12.17	6.20	5.97	1.26
93.20	91.10	2.10	2.22	30.09	33.11	3.02	2.62	10.10	6.25	3.85	1.26
91.14	89.14	2.00	2.20	29.25	34.08	4.83	2.62	10.20	6.08	4.12	1.25
96.10	92.11	3.99	2.21	30.09	35.33	5.24	2.62	12.20	7.08	5.12	1.25
96.11	91.14	4.97	2.20	31.09	35.33	4.24	2.63	11.25	7.25	4.00	1.26
97.10	92.09	5.01	2.22	29.09	37.13	8.03	2.62	10.25	6.20	4.05	1.25
91.11	91.20	-0.09	2.23	28.17	37.25	9.08	2.63	11.11	6.20	4.91	1.26
97.10	91.14	5.96	2.21	29.10	33.10	4.00	2.63	11.25	7.13	4.13	1.25
99.14	92.08	7.06	2.20	30.09	34.08	3.99	2.63	10.09	6.11	3.98	1.26
92.09	88.13	3.97	2.21	32.10	38.09	5.99	2.62	10.20	7.10	3.10	1.26
96.11	91.10	5.01	2.21	31.17	37.09	5.92	2.62	12.10	7.08	5.02	1.26
91.20	89.10	2.10	2.21	29.10	36.13	7.03	2.63	12.13	7.33	4.79	1.27
94.13	90.33	3.79	2.22	30.14	36.11	5.97	2.62	10.08	6.13	3.96	1.25
96.14	92.08	4.06	2.21	31.25	36.10	4.85	2.62	10.09	6.33	3.76	1.25

Çizelge Ek 5.4. Deneysel veriler, % 25 kapasite (devam)

93.25	89.20	4.05	2.24	32.14	35.11	2.97	2.61	10.08	7.14	2.94	1.26
92.25	91.33	0.92	2.25	31.10	37.11	6.01	2.66	11.13	6.33	4.79	1.27
99.08	90.20	8.88	2.28	30.25	36.25	6.00	2.63	10.20	6.14	4.06	1.28
95.25	90.20	5.05	2.25	30.08	38.08	8.00	2.62	12.20	7.17	5.03	1.26
93.33	88.25	5.08	2.22	29.14	37.09	7.95	2.64	10.08	6.14	3.94	1.26
97.33	90.09	7.24	2.21	29.14	34.13	4.98	2.64	12.33	6.13	6.21	1.30



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hasan Basri RAVUL
Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa 23.04/1973
Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Tophane Teknik Lisesi, 1991
Lisans: Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 1996
Yüksek Lisans: Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2010

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: Dörteller Otomotiv A.Ş., 1998-1999
Hasdemir Mühendislik Ltd.Şti., 2000-2009
Bf Teknik Ltd.Şti., 2009-Günümüz

İletişim (e-posta): hbravul@yahoo.com

Yayınları:

Kılıç M., Ravul H.B., 2016. Energy and exergy analysis of a double effect LiBr – H₂O and LiCl – H₂O chillers. *Bulgarian Chemical Communications*, 48: 312-317.