



**ÇEŞİTLİ TİPTEKİ TEK VE ÇİFT KADEMELİ ABSORBSİYONLU  
SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ANALİZİ**

**Kousha MORADİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2017**

Kousha Moradi tarafından hazırlanan “ÇEŞİTLİ TİPTEKİ TEK VE ÇİFT KADEMELİ ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. İlhami HORUZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

**Başkan:** Doç. Dr. Cemil YAMALI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ortadoğu Teknik Üniversitesi

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

.....

**Üye:** Doç. Dr. Oğuz TURGUT

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/07/2017

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

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

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

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

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

Kousha MORADİ

24/07/2017



# ÇEŞİTLİ TİPTEKİ TEK VE ÇİFT KADEMELİ ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Kousha MORADI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2017

## ÖZET

Enerji, bu günkü dünyada ekonominin gelişmesi kriterlerinden biri olup dünya topluluklarının gelişmesine neden olur. Enerji üretim ve tüketimi evsel ve endüstriyel sektöründe her ülkenin endüstriyel gelişme seviyesini belirtiyor. Absorbsiyonlu soğutma ve absorbsiyonlu ısı yükselticileri sisteminin kullanılması ile atık enerjiden faydalanıp ve enerji tüketiminde tasarruf yapılabilir. Bu sistemler çevre kirleticilerin ve sera gazlarının (karbon dioksit) azalmasına sebep oluyorlar. Bu çalışmanın amacı, bir paket programında amonyak-su ve lityum buromür-su eriyikleriyle çalışan tek ve çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemleri ve absorbsiyonlu ısı yükselticilerinin termodinamik analizi ve araştırmasıdır. Bu araştırmalardan sonra sistemlerin performans yüzdesi ve çalışma termal limitini karşılaştırıp ve yeni bir adımda absorbsiyonlu soğutma sistemini, absorbsiyonlu ısı yükselticisiyle kombine yapıp ve yeni kurulan sistemin performans ve çalışma termal limiti incelenmiştir.

Bilim Kodu : 91412

Anahtar Kelimeler : Termodinamik analiz, Absorbsiyonlu ısı yükselticisi, Absorbsiyonlu soğutma sistemi, Lityum bromür-su eriyiği Amonyak-su eriyiği

Sayfa Adedi : 91

Danışman : Prof. Dr. İlhami HORUZ

ANALYSIS OF VARIOUS TYPES OF SINGLE AND DOUBLE STAGE VARIOUS  
TYPES OF ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Kousha MORADI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

July 2017

ABSTRACT

Nowadays energy is one of the economic development factors and a measurement for improvement of different countries all over the world. The amount of the production and consumption of the energy in domestic and industrial fields demonstrate each country's level of development. Absorption refrigeration systems and absorption heat transformer are two things which are used to save and benefit industrial waste energy. These systems also reduce environmental pollutants and greenhouse gases (including carbon dioxide). The aim of this thesis is to analyze and evaluate one and two-stage absorption refrigeration systems and absorption heat transformer with ammonia-water and water-lithium-bromide solutions. After evaluating and comparing the coefficient of performance and operating thermal range of the each systems, with a new approach, an absorption refrigeration system will be combined with absorption heat transformer system, thus the coefficient of performance and operating thermal range were also being studied.

Science Code : 91412

Key Words : Thermodynamic analysis, absorption heat transformer, absorption refrigeration system, ammonia-water solution, water-lithium-bromide

Page Number : 91

Supervisor : Prof. Dr. İlhami HORUZ

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmam süresince her türlü yardımı sağlayan, bilgisi, tecrübesi ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirmeye yönelik de birkaç adım ileride olmamı sağlayan hocam sayın Prof. Dr. İlhami HORUZ 'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen ve banaiyi bir insan olmayı öğreten babam Ali Reza Bey'e, sabır taşlarım ve varlıklarıyla her zaman arkamda olan bitanecik annem Letife Hanım'a ve dünya kadar sevdiğim ağabeyim ve sırdaşıma Kaveh bey'e, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Birlikte çok güzel zamanlar geçirdiğim değerli diğerlerim Ramin ABDOLLAHZADEH, Behzad AHDI HARAB, Amir LAK, Pouria PISHGAM 'ma da teşekkürlerimi sunarım.

Son teşekkürlerimi Türk milletine ve yeni Türkiye'nin mimarına ve Türk milletinin her tarafta gururla “Ne mutlu Türküm diyene” söylenmesinin sebebi, Sayın Mustafa Kemal Atatürk 'e sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                            | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET .....                                                                                                 | iv           |
| ABSTRACT.....                                                                                              | v            |
| TEŞEKKÜR.....                                                                                              | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                          | vii          |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                                                                  | ix           |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                                                                                   | x            |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                                               | xiii         |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                              | 1            |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                                                                             | 13           |
| 2.1. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi.....                                                                    | 13           |
| 2.2. Absorbsiyonlu Isı Yükselticisi Sistemi.....                                                           | 14           |
| 3. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ .....                                                                  | 17           |
| 3.1. Tek Kademeli Absorbsiyonlu Soğutma Sistemleri.....                                                    | 17           |
| 3.1.1. Teorik analiz .....                                                                                 | 20           |
| 3.1.2. Hazırlanan paket programın doğruluğunun tespiti ve akış diyagramı .....                             | 24           |
| 3.2. Çift Kademeli Absorbsiyonlu Soğutma Sistemleri.....                                                   | 32           |
| 3.2.1. Teorik analiz .....                                                                                 | 35           |
| 3.2.2. Çift kademeli ABSsistemine hazırlanan paket programının doğruluğunun tespiti ve akış diyagramı..... | 40           |
| 3.2.3. Tek ve çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin STK karşılaştırması.....                   | 49           |
| 4. ABSORBSİYONLU ISI YÜKSELTİCİLERİ.....                                                                   | 55           |
| 4.1. Tek Kademeli Isı Yükselticisi.....                                                                    | 55           |

**Sayfa**

|                                                                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.1. Teori.....                                                                                                                    | 56        |
| 4.2. Çift Kademeli Absorbsiyonlu Isı Yükselticisi Sistemleri.....                                                                    | 65        |
| 4.2.1. Teori.....                                                                                                                    | 66        |
| 4.2.2. Çift kademeli AIY sisteminde paket programına doğrulama tesbiti ve grafikler.....                                             | 69        |
| <b>5. TEK KADEMELİ ABSORBSİYONLU ISI YÜKSELTİCİSİ<br/>TAKVİYELİ ÇİFT KADEMELİ ABSORBSİYONLU SOĞUTMA<br/>SİSTEMİNİN ANALİZİ .....</b> | <b>81</b> |
| 5.1. Teori.....                                                                                                                      | 81        |
| 5.2. Kombine Sistemin Paket Programının Doğrulama Tesibiti ve Grafikleri .....                                                       | 82        |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                                                                                     | <b>87</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                                               | <b>89</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                                                                | <b>91</b> |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                                                                    | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 3.1. Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma çevriminin farklı noktalarda basınç değeri .....                                           | 21    |
| Çizelge 3.2. Bu doğrulama kodunda sol taraftaki rakamlar elde ve sağ taraftakiler paket programında yapılanlar .....                       | 26    |
| Çizelge 3.3. Bu doğrulama kodunda sol taraftaki rakamlar elde ve sağ taraftakiler paket programında yapılanlar .....                       | 27    |
| Çizelge 3.4. Farklı noktaların basıncı çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sisteminde (seri 1) .....                                       | 37    |
| Çizelge 3.5. Tablo 3-5 Çift kademeli paralel absorbsiyonlu soğutma sistemi.....                                                            | 41    |
| Çizelge 3.6. Çift kademeli paralel absorbsiyonlu soğutma sistemi .....                                                                     | 41    |
| Çizelge 3.7. Çift kademeli seri absorbsiyonlu soğutma sistemleri, sol tarafta seri 1 sağ tarafta seri 2 sisteminin değerleri yazılmış..... | 43    |
| Çizelge 4.1. Tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticisinde farklı noktaların basıncı ..                                                   | 57    |
| Çizelge 4.2. Tek kademeli AIY sistemi ( sol tarafta teorik ve sağ tarafta ees ile yapılan rakamlar yazılmış).....                          | 60    |
| Çizelge 4.3. Tek kademeli AIY sistemi (sol tarafta teorik ve sağ tarafta ees ile yapılan rakamlar yazılmış).....                           | 61    |
| Çizelge 4.4. Çift kademeli paralel absorbsiyonlu ısı yükselticisi ( LiBr-H <sub>2</sub> O ).....                                           | 70    |
| Çizelge 4.5. Çift kademeli paralel absorbsiyonlu ısı yükselticisi ( NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O ).....                               | 71    |
| Çizelge 4.6. Çift kademeli seri absorbsiyonlu ısı yükselticisi ( LiBr-H <sub>2</sub> O ).....                                              | 72    |
| Çizelge 4.7. Çift kademeli seri absorbsiyonlu ısı yükselticisi ( NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O ).....                                  | 73    |
| Çizelge 5.1. Absorbsiyonlu ısı yükselticisi tahrikli çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemi.....                                      | 83    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                            | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1. Absorbsiyonlu soğutma sistemi (sağ trafta) ve Buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi (sol trafta) ..... | 2     |
| Şekil 1.2. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi .....                                                                   | 3     |
| Şekil 1.3. Absorbsiyonlu ısı yükselticisi.....                                                                   | 4     |
| Şekil 1.4. Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemi.....                                                       | 7     |
| Şekil 1.5. Çift kademeli seri absorbsiyonlu soğutma sistemleri.....                                              | 8     |
| Şekil 1.6. Çift kademeli paralel absorbsiyonlu soğutma sistemi.....                                              | 8     |
| Şekil 1.7. Tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticisi.....                                                      | 9     |
| Şekil 1.8. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu ısı yükseltici sistemi .....                                      | 10    |
| Şekil 1.9. Çift kademeli seri absorpsiyonlu ısı yükseltici sistemi.....                                          | 11    |
| Şekil 3.1. ABS sistemi.....                                                                                      | 17    |
| Şekil 3.2. ABS sistemi SHX ile beraber.....                                                                      | 18    |
| Şekil 3.3. ABS sistemi SHX ve RHX ile beraber.....                                                               | 18    |
| Şekil 3.4. ABS sistemi SHX, GHX, ve AHX ile beraber.....                                                         | 19    |
| Şekil 3.5. Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemi bütün olarak.....                                          | 19    |
| Şekil 3.6. Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemi doğrulama kodu.....                                        | 24    |
| Şekil 3.7. ABS tek kademeli soğutma sisteminin simülasyonu akış diyagramı.....                                   | 25    |
| Şekil 3.8. Basınç-entalpi diyagramı.....                                                                         | 27    |
| Şekil 3.9. Basınç-sıcaklık diyagramı.....                                                                        | 27    |
| Şekil 3.10. Tek kademeli ABS sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması .....                         | 28    |
| Şekil 3.11. Tek kademeli ABS sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması .....               | 28    |
| Şekil 3.12. Tek kademeli ABS sisteminde kaynatıcısııcaklığı ve STK karşılaştırması.....                          | 29    |

| Şekil                                                                                               | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.13. Tek kademeli ABS sisteminde yoğunlaştırucu sıcaklığı STK karşılaştırma ...              | 29    |
| Şekil 3.14. Tek kademeli ABS sisteminde yoğunlaştırucu sıcaklığı ve ITK karşılaştırması .....       | 30    |
| Şekil 3.15. Tek kademeli ABS sisteminde yoğunlaştırucu sıcaklığı ve STK karşılaştırması.....        | 30    |
| Şekil 3.16. Tek kademeli ABS sisteminde buharlaştırıcı sıcaklığı ve Q karşılaştırması .....         | 31    |
| Şekil 3.17. Tek kademeli ABS sisteminde buharlaştırıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması .....       | 31    |
| Şekil 3.18. Seri 1 çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi.....                                 | 33    |
| Şekil 3.19. Seri 2 çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi.....                                 | 34    |
| Şekil 3.20. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu soğutma sistemi .....                               | 35    |
| Şekil 3.21. Absorpsiyonlu çift kademeli seri tip soğutma sisteminin simülasyonu akış diyagramı..... | 40    |
| Şekil 3.22. Basınç-entalpi diyagramı .....                                                          | 41    |
| Şekil 3.23. Basınç-sıcaklık diyagramı .....                                                         | 41    |
| Şekil 3.25. Çift kademeli sistemlerin kaynatıcı sıcaklığı ve Q karşılaştırması.....                 | 45    |
| Şekil 3.26. Çift kademeli sistemlerin kaynatıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması .....              | 46    |
| Şekil 3.27. Çift kademeli sistemlerin yoğunlaştırucu sıcaklığı ve STK karşılaştırması.....          | 46    |
| Şekil 3.28. Çift kademeli sistemlerin yoğunlaştırucu sıcaklığı ve Q karşılaştırması.....            | 47    |
| Şekil 3.29. Çift kademeli sistemlerin yoğunlaştırucu sıcaklığı ve ITK karşılaştırması.....          | 47    |
| Şekil 3.30. Çift kademeli sistemlerin buharlaştırıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması....           | 48    |
| Şekil 3.31. Çift kademeli sistemlerin buharlaştırıcı sıcaklığı ve Q karşılaştırması .....           | 48    |
| Şekil 3.32. Çift kademeli sistemlerin buharlaştırıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması .....         | 49    |
| Şekil 3.33. Tek ve çift kademeli sistemin kaynatıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması ....           | 50    |

| Şekil                                                                                                | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.34. Tek ve çift kademeli sistemin kaynatıcı sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması ..... | 51    |
| Şekil 3.35. Tek ve çift kademeli sistemin kaynatıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması ....            | 51    |
| Şekil 3.36. Tek ve çift kademeli sistemin yoğuşturucu sıcaklığı ve STK karşılaştırması.....          | 52    |
| Şekil 3.37. Tek ve çift kademeli sistemin yoğuşma sıcaklığı ve Q karşılaştırması .....               | 52    |
| Şekil 3.38. Tek ve çift kademeli sistemin yoğuşma sıcaklığı ve ITK karşılaştırması....               | 53    |
| Şekil 3.39. Tek ve çift kademeli sistemin buharlaştırıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması .....      | 53    |
| Şekil 3.40. Tek ve çift kademeli sistemin buharlaştırıcı sıcaklığı ve Q karşılaştırma ....           | 54    |
| Şekil 3.41. Tek ve çift kademeli sistemin buharlaştırıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması .....      | 54    |
| Şekil 4.1. Tek kademeli absorpsiyonlu ısı yükselticisi .....                                         | 55    |
| Şekil 4.2. AYI sisteminin ITK sı yoğuşturucu sıcaklığına göre .....                                  | 60    |
| Şekil 4.3. Basınç-Entalpi Diyagramı .....                                                            | 61    |
| Şekil 4.1. Basınç-Sıcaklık Diyagramı .....                                                           | 61    |
| Şekil 4.5. Tek kademeli AIY sisteminde yoğuşturucu sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması .....  | 62    |
| Şekil 4.6. Tek kademeli AIY sisteminde yoğuştu sıcaklığı ve ITK karşılaştırması.....                 | 63    |
| Şekil 4.7. Tek kademeli AIY sisteminde absorber sıcaklığı ve ITK Karşılaştırması.....                | 63    |
| Şekil 4.8. Tek kademeli AIY sisteminde absorber sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması.....      | 64    |
| Şekil 4.9. Tek kademeli AIY sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması.....               | 64    |
| Şekil 4.10. Tek kademeli AIY sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması .....   | 64    |
| Şekil 4.11. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu ısı yükseltici sistemi .....                         | 65    |
| Şekil 4.12. Çift kademeli seri absorpsiyonlu ısı yükseltici sistemi .....                            | 67    |

| Şekil                                                                                                       | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 4.13. Çift kademeli AIY sisteminde evaporatör 2 sıcaklığı ve ITK karşılaştırması .....                | 75    |
| Şekil 4.14. Çift kademeli AIY sisteminde evaporatör 2 sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması .....      | 76    |
| Şekil 4.15. Çift kademeli AIY sisteminde absorber 2 sıcaklığı ve ITK karşılaştırması..                      | 77    |
| Şekil 4.16. Çift kademeli AIY sisteminde absorber 2 sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması .....        | 78    |
| Şekil 4.17. Çift kademeli AIY sisteminde kondanser sıcaklığı ve ITK karşılaştırması ..                      | 79    |
| Şekil 4.18. Çift kademeli AIY sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması ...                     | 80    |
| Şekil 4.19. Çift kademeli AIY sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması .....         | 81    |
| Şekil 5.1. ABS sisteminin AIY'si sistemi ile kombinesi .....                                                | 84    |
| Şekil 5.2. Kombine sistemin kaynatıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması .....                                | 86    |
| Şekil 5.3. Kombine sistemin buharlaştırıcı sıcaklığı ve stk karşılaştırması ( H <sub>2</sub> O-LiBr ) ..... | 87    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Simgeler                             | Açıklamalar              |
|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>AHX</b>                           | Absorber eşanjörü        |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                | Karbondiyoksit           |
| <b>DS</b>                            | Çift kademeli            |
| <b>f</b>                             | Dolaşım oranı            |
| <b>GHX</b>                           | Kaynatıcı eşanjörü       |
| <b>h</b>                             | Entalpi                  |
| <b>LiBr-H<sub>2</sub>O</b>           | Lityum bromür-Su         |
| <b>NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O</b> | Amonyak-Su               |
| <b>P</b>                             | Basınc                   |
| <b>Q</b>                             | Isı transferi            |
| <b>RHX</b>                           | Soğutma devresi eşanjörü |
| <b>SHX</b>                           | Eriyik eşanjörü          |
| <b>SS</b>                            | Tek kademeli             |
| <b>T</b>                             | Sıcaklık                 |
| <b>x</b>                             | Kalite                   |
| <b>X</b>                             | Konsantrasyon değeri     |

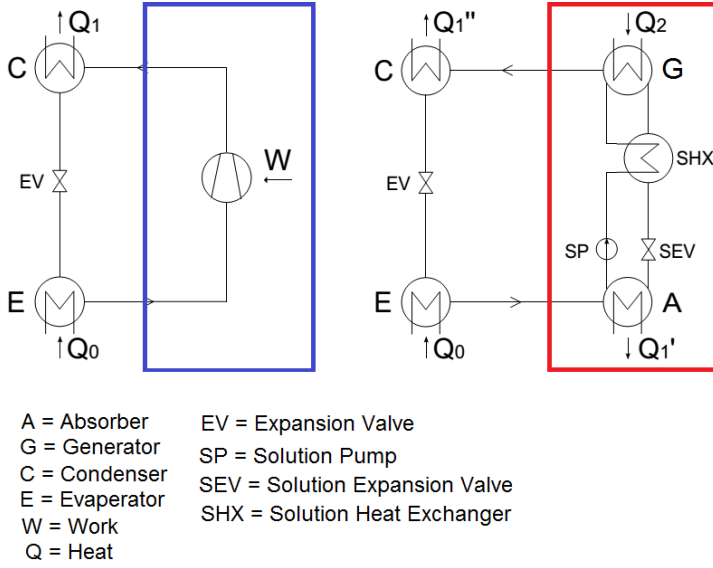
| Kısaltmalar | Açıklamalar                   |
|-------------|-------------------------------|
| <b>Ab</b>   | Absorber                      |
| <b>ABS</b>  | Absorbsiyonlu soğutma sistemi |
| <b>AIY</b>  | Absorbsiyonlu ısı yükseltici  |
| <b>Buh</b>  | Buharlaştırıcı                |
| <b>ITK</b>  | Isıtma tesir katsayısı        |
| <b>Kay</b>  | Kaynatıcı                     |
| <b>STK</b>  | Soğutma tesir katsayısı       |
| <b>Yoğ</b>  | Yoğuşturucu                   |

## 1. GİRİŞ

Enerji, bu günkü dünyada ekonominin gelişmesi kriterlerinden biri olup dünya topluluklarının gelişmesine neden olur. Enerji üretim ve tüketimi evsel ve endüstriyel sektöründe her ülkenin endüstriyel gelişme seviyesini belirtiyor. Şimdi dünyanın %90 enerjisi direk fosil yakıtlardan ve diğer kalan kısmı da su, nükleer ve yenilenebilir vb. gibi kaynaklarından kullanılmaktadır. Fosil yakıtlar çok değerli olmasına karşın polimer gibi sanayide kullanılması çevre kirliliğine ve ondan dolayı zararlara sebep olur. Absorbsiyonlu soğutma sistemleri ve absorbsiyonlu ısı yükselticileri kullanılmasıyla endüstriyel sanayide enerji kaybının büyük kısmını engileyebilir ve enerji tüketimini azaltabiliriz. Absorbsiyonlu sistemlerin diğer avantajlarından biri, bu sistemlerin doğal soğutucular olan su, amonyak, etanol vs ile çalışabilmesidir [1]. Absorbsiyonlu sistemler düşük sıcaklıklı ısıyla kullanıldığı için bu sistemleri endüstride olan atık ısılarla ve güneş enerjisiyle çalıştırmak daha uygundur ve enerji tasarufuna, çevre kirliliği ve sera gazlarının( örneğin CO<sub>2</sub> ) azaltmasına iyi bir çözümdür [2,3].

### Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Çalışma Prensipleri

Absorbsiyonlu soğutma sistemleri ısı enerjisi yardımıyla çalışmaktadır. Absorbsiyonlu soğutma sistemi, buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemine oldukça benzerdir. Soğutma yükü, soğutucu akışkanının buharlaştırıcıda buharlaşmasıyla karşılanır. Buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma çevrimdeki mekanik işlem yerini, absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde fiziko-kimyasal işlemler alır. Mekanik kompresör yerine absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde termik kompresörü kullanılmaktadır. Soğutma elde etmek için, buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemindeki mekanik ve elektrik enerjisi yerine absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde ısı enerjisi kullanılmaktadır. Bunun sağlamış olduğu avantajlarla çeşitli endüstriyel tesislerdeki atık ısı enerjisinin değerlendirilmesiyle tükenmez bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin kullanılması yoluyla enerjinin pahalı olduğu günümüzde absorbsiyonlu soğutma sistemleri daha ekonomik olur. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin, dış hava sıcaklığının yüksek olduğu yörelerde ve büyük tesislerde kullanılması çok uygundur.

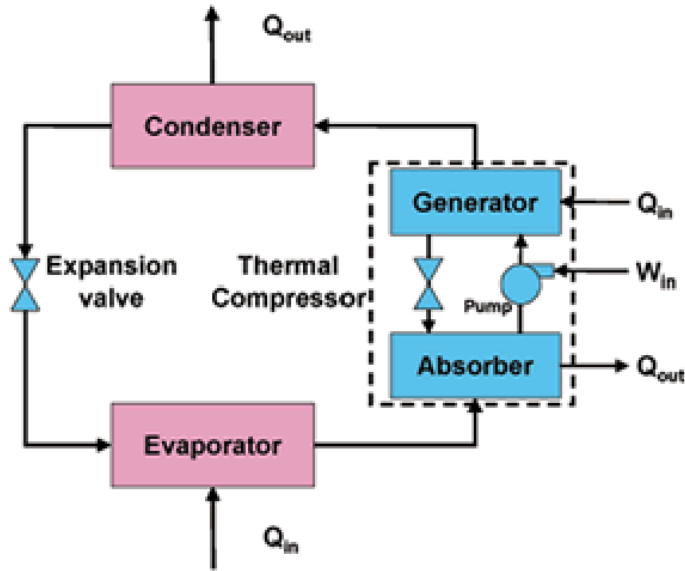


Şekil 1.1. Absorbsiyonlu soğutma sistemi (sağ tarafta) ve Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi (sol tarafta) [4]

Örnek olarak absorpsiyonlu soğutma sistemi lityum bromür-sudur. Bu sistemde su buharı soğutucu akışkan olarak devreye girmektedir. Şekil 1.1'e göre LiBr-su fakir eriyik halinde kaynatıcıda ısınır ve suyun bir kısmı buhar halinde ondan ayrılır ve yoğunlaştırıcıya doğru gitmektedir. Kaynatıcıda LiBr-Su zengin eriyiği kalıyor, oda ilk başta ısı eşanjöründen sonra kısılma vanasından geçip basıncı düşüyor ve sonra absorbere giriyor. Absorberde zengin eriyik, çevrimin diğer tarafından gelen su buharıyla karışıyor ve ısı yayımlanmasıyla birlikte fakir eriyiğe dönüşüyor.

Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinde, soğutucu akışkan düşük basıncı olan kısımdan (buharlaştırıcı) alınıp yüksek basıncı olan kısma (yoğuşturucu) transfer ediliyor. Bu süreçte absorpsiyonlu soğutma sisteminde soğutucu buhar, yutucuda absorbe edilir ve eriyik yüksek basınç tarafına (kaynatıcı ve yoğuşturucu) eriyik pompası vasıtasıyla gönderiliyor. Eriğin soğutucu akışkan kısmı, kaynatıcıda üretilen ısıyla eriyikten ayrılır. Bu esnada gazın basıncını kompresör ile yükseltmek yerine yutucu madde ile karıştırıp ve eriyiğin basıncını pompa ile yükseltmektedir ve sonra kaynatıcıdan ısı vermekle soğutucu akışkan, yutucudan ayrılmaktadır.

Bu sistemde giren enerji, ısı enerjisidir ki kaynatıcıda eriyiğe veriliyor, bu enerji sıcak su, buhar ya da direkt atık ısı olabilir ki buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminde kompresör yerine kullanılıyor. Şekil 1.2., kompresörün yerini alan cihazları ve çevrimin çalışma prensibini göstermektedir.



Şekil 1.2. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi [1]

#### Absorbsiyonlu Isı Yükseticilerin Çalışma Prensipleri

Tüm absorpsiyonlu soğutma sistemleri üç sıcaklık kaynağıyla çalışmaktadır: düşük, orta ve yüksek sıcaklık kaynaklarıyla.

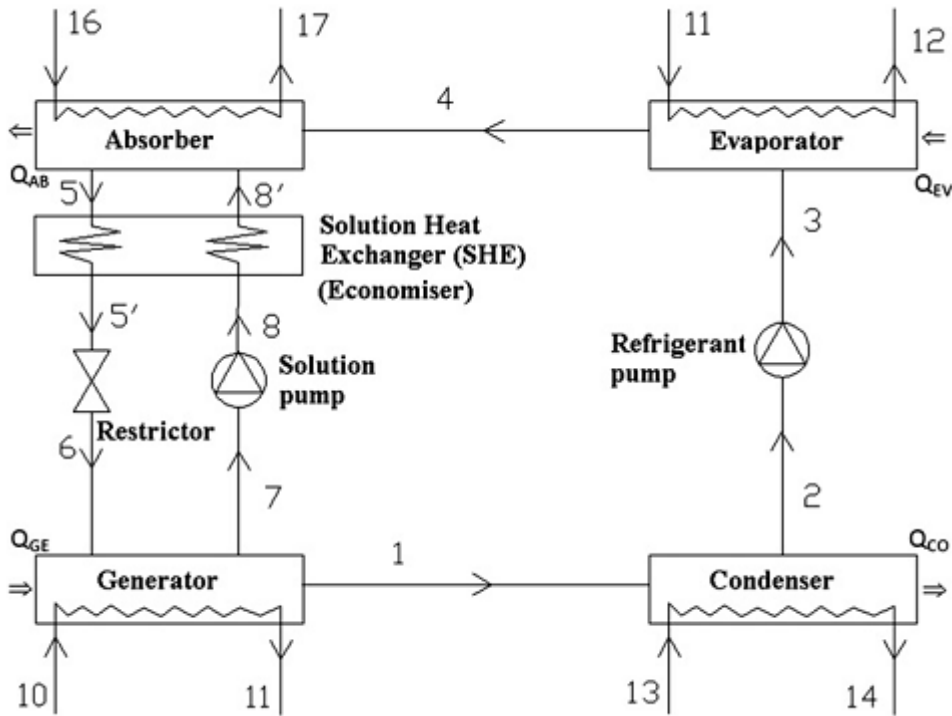
Soğutmayı sağlayan ısı pompası sistemi aşağıdaki özelliklere sahiptir :

- Sistemi harekete geçiren ısı, yüksek sıcaklık kaynaktan sisteme giriş yapıyor.
- Soğutma etkisi düşük sıcaklıktaki kaynaktan bulunur.
- Isı orta sıcaklık kaynaktan atılır.

Soğutma sisteminde düşük sıcaklıklı kaynağın ısısının kullanılması faydalıdır ama ısı pompasında orta sıcaklıklı ısı kaynağı kullanılır. Normalde çevre, düşük sıcaklıklı ısı kaynağı pompasına ve orta sıcaklıklı ısı kaynağı soğutma sisteminde kullanılır [5].

Absorpsiyonlu çevriminin diğer türünden biri olan absorpsiyonlu ısı yükselticisidir ki bu sistemde ısıyı orta sıcaklıklı kaynaktan alarak bir miktarını düşük sıcaklıklı kaynaktan atarak, yüksek sıcaklıklı ve faydalı ısıyı yüksek sıcaklıklı kaynağa teslim eder. Absorpsiyonlu ısı yükselticilerini kullanarak sanayide olan atık ısılardan faydalanarak onu yüksek sıcaklıklı ısıya dönüştürebiliriz. Şekil 1.3 şematik olarak bir absorpsiyonlu ısı yükselticisi sistemini göstermektedir. Görüldüğü gibi bu sistem, absorpsiyonlu soğutma sistemine oldukça benzerdir. Bu iki sistemde olan fark, yoğurturucu ve buharlaştırıcının

arasında olan elemandır ki absorpsiyonlu soğutma sisteminde kısılma vanası kullanılır ama absorpsiyonlu ısı yükselticisinde pompa kullanılır. Atık ısı kaynatıcı sıcaklığından düşük halde sisteme giriyor ki soğutucu akışkan eriyikten ayrılsın. Soğutucu akışkan yoğuşturucudan geçerek düşük sıcaklık kaynağa ( normalde çevreye ) ısı atıyor ve ondan sonra pompa vasıtasıyla basıncı artırıyor. Diğer adımda soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan geçiyor ve ısı almakla buhara dönüşüyor. Soğutucu buhar absorbere giriyor ve eriyikte absorbe ediliyor ve aynı anda faydalı ısı yüksek sıcaklıkta teslim ediyor [5].



Şekil 1.3. Absorpsiyonlu ısı yükselticisi [6]

### Soğutucu ve Yutucunun Özellikleri

Soğutucu ve yutucu çiftleri aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır:

- 1- Soğutucunun kaynama noktası sıcaklığı, yutucunun kaynama noktasından daha düşük olmalıdır. Bunun sonucunda kaynatıcı sadece soğutucunun kaynama noktasının sıcaklığı kadar eriyiğin sıcaklığını da yükseltiyor ki sadece soğutucu faz değişimi yapsın ve buhar haline dönüşsün. Bu kaynama noktalarının sıcaklık farkı sadece soğutucunun, yoğuşturucuya ve buharlaştırıcıya doğru gitmesinden bize güven veriyor.

Yutucuda yüksek << yutma ilgisi >> soğutucunun absorbe basınç ünitesinde kendisiyle karıştırmaya sahip olmalıdır. Yutucunun bu özeliği, yutucunun az miktarda çevrimde dolaşmasına sebep olur (az miktarda yutucuya ihtiyacımız olur) ve eşanjöründe boyutu küçülüyor.

2- Eriyik çevrimin sıcaklık ve çalışma basıncı sınırlarında kristalleşmeye doğru gitmemelidir. Kristalleşme eriyiğin sirkülasyonuna engel olur ve bu durum sisteminin tıkanmasına sebep olur.

3- Hem yutucu, hem soğutucu düşük sıcaklık limitinde ve cihazın termal çalışma limitinde kimyasal dengede olmalıdır. Kimyasal dengesizliği olursa bu kimyasalların uzun zamanda kullanılırsa katı, gaz ve bazı korozyon yapan maddelerin oluşmasına neden olabilir.

Tanınmış eriyik çiftlerinden olan amonyak-su (amonyak soğutucu ve su yutucu) ve Lityum bromür-su (su soğutucu ve LiBr yutucu) yukarıdaki özelliklere sahiptir. Amonyak-su çifti bu özelliklerin birçoğuna sahiptir ama zehirli gazlardan hesaplanır bu nedenle kullanılması kapalı çevrelerle sınırlandırılır. Amonyağın uçuculuk oranı düşük olduğundan onu ayırmak için özel cihazların kullanılması gerekir.

LiBr-su çiftinin uçuculuk oranı, dayanıklılığı ve gizli sıcaklık oranı yüksek olduğundan bu çevrimin Soğutma Tesir Katsayısı (STK) amonyak-suya göre daha yüksektir bu yüzden LiBr-su amonyak-suya göre daha fazla kullanılır.

LiBr-su çiftinde, su soğutucu akışkan olarak kullanılıyor. Bildiğimiz gibi su sıfır derecede donuyor (katı haline dönüşüyor) bu nedenle düşük sıcaklıklarda bu çift kullanılmaz. Absorbsiyonlu soğutma sisteminin soğuk su çıkışını 7°C altına getirilmez ama iklimlendirmeye çok uygundur bu yüzden sıfır derece altındaki soğutmalara amonyak kullanılır.

LiBr-su çiftiyle ilgili kristalizasyon konusunu dikkate almalıyız. Zengin eriyikte orta konsantrasyonlarda ve düşük sıcaklıklarda kristalleşebiliyor, bu yüzden eriyiği bu ortamdan uzak tutmalıyız.

Amonyak sisteminde suyun donma noktasının sınırlanması ve yüksek basınca ihtiyacı olmaması için methanolün kullanılması önerilir. Methanolün zehirli olması ve sıcaklık dayanıklılığının düşük olması bu soğutucunun sorunlarından. Şimdiye kadar birçok deneyim, absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin soğutucu akışkanlar çiftinin üzerinde yapılmış ama hiç birisi bu sayılan çiftlerden daha iyi sonuçlar vermemiştir. Diğer çiftlerin sorunlarından ısı kapasiteleri, gizli ısılarına göre yüksek olmalarıdır. Bu nedenle bunların önemli olan termodinamik özellikleri, su ve amonyak çiftine göre daha zayıftır. İlaveten floridli soğutucuların düşük termal sabitlikleri olması ve düşük korozyonlu olması aslında bir avantajdır ama çevreye zararlı etkilerinden dolayı kullanım şanslarını azalttığından şimdiye kadar diğer dezavantajlarına üstünlük gösterememiştir.

### Absorbsiyonlu Sistemlerde Kullanılan Çevrimler

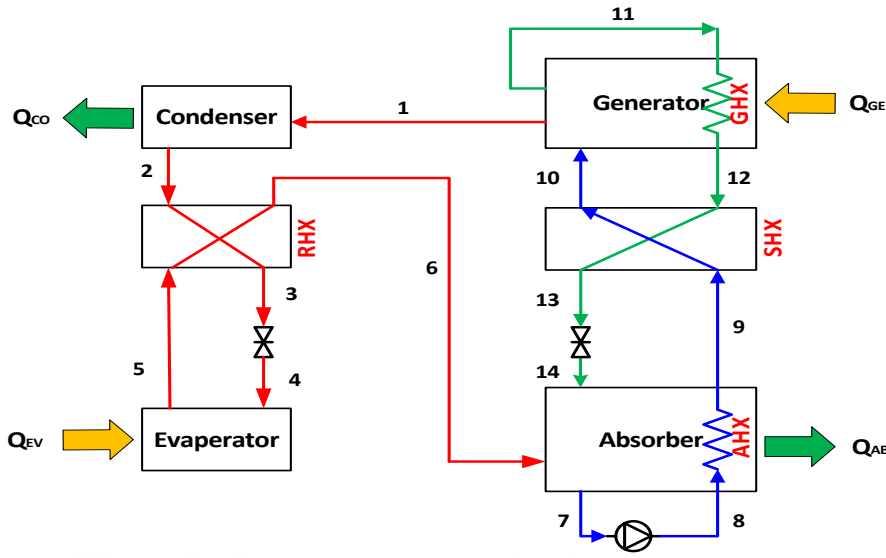
Farklı çevrimler absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılır ki bunların en önemlileri bu bölümde açıklanmıştır.

### Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemleri

Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemleri bütün olarak Şekil 1.4.'de gösterilmiştir. Bu sistemin dört ısı eşanjörü vardır ki altta açıklanmıştır.

- 1- Kaynatıcı eşanjörü (GHX) : Bu eşanjör kaynatıcının içinde olan sıcaklığı kullanarak, 11 den 12 noktasına geçen akışkanı ön ısıtma yapıyor.
- 2- Absorber eşanjörü (AHX) : Bu eşanjör absorberin içinde olan sıcaklığı kullanarak, 8 den 9 noktasına geçen akışkanı ön ısıtma yapıyor.
- 3- Eriyik eşanjörü (SHX) : Bu eşanjör eriyik tarafında, kaynatıcı ve absorber arasında yer alır ki zengin ve fakir eriyik arasında ısı transferi olsun.
- 4- Soğutma devresi eşanjörü (RHX) : Bu eşanjör soğutucu tarafında, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı arasında yer almış ki sıvı soğutucusu ve buhar soğutucusu arasında ısı transferi olsun.

Bütün tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemleri Şekil 1.4'ün özel durumudur ki bir ya da birkaç tane eşanjörü olmayabilir.

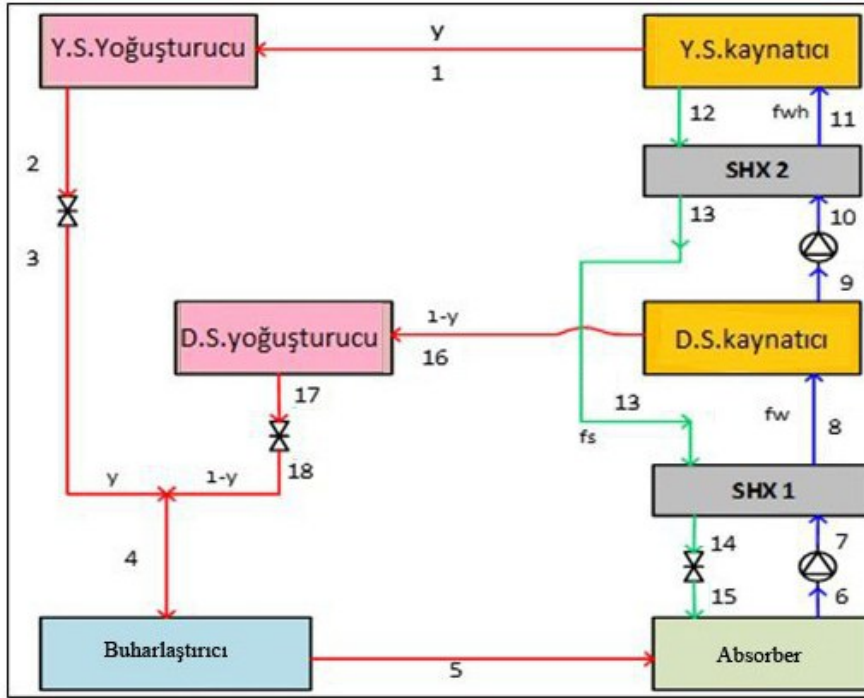


Şekil 1.4. Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi [3]

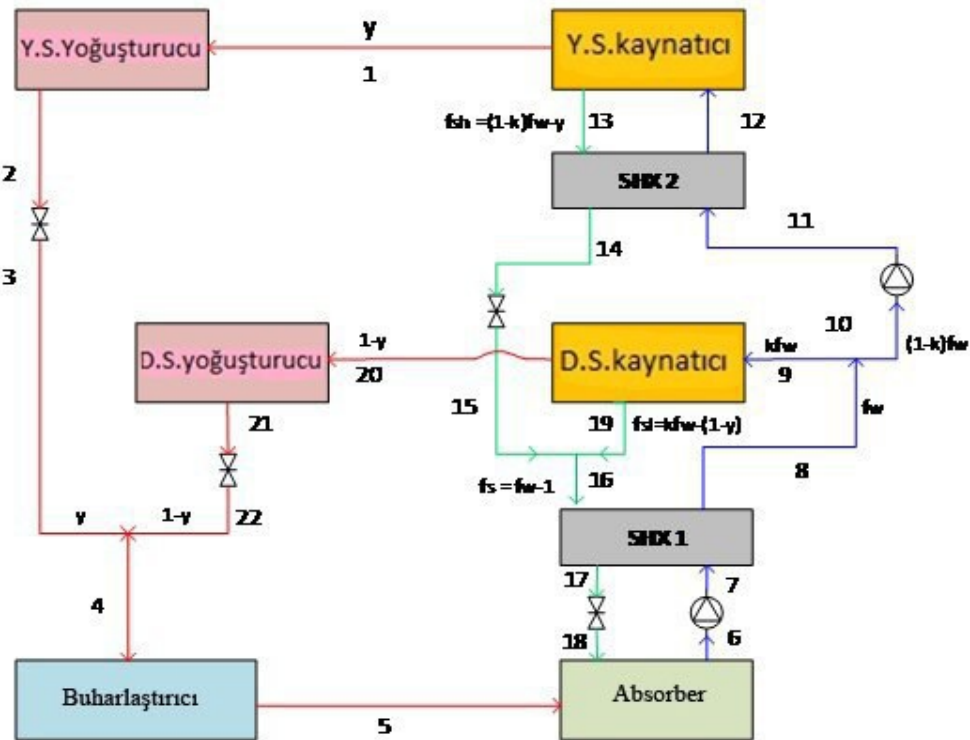
#### Çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemleri

Çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemleri, paralel ve seri türlerinde kullanılır. Şekil 1.5’de çift kademeli seri absorpsiyonlu soğutma sistemi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde iki tane kaynatıcı vardır, biri yüksek sıcaklıkta ve diğeri düşük sıcaklıkta çalışan kaynatıcılardır. Seri türünde kaynatıcılar gidiş ya da dönüş hatlarının birisinde seri şeklinde birbirine bağlanmıştır. Şekil 1.6 paralel sistemi göstermektedir.

Bu sistemde yüksek sıcaklıkta ve düşük sıcaklıkta olan kaynatıcılar birbirine paralel halinde bağlanmaktadır.



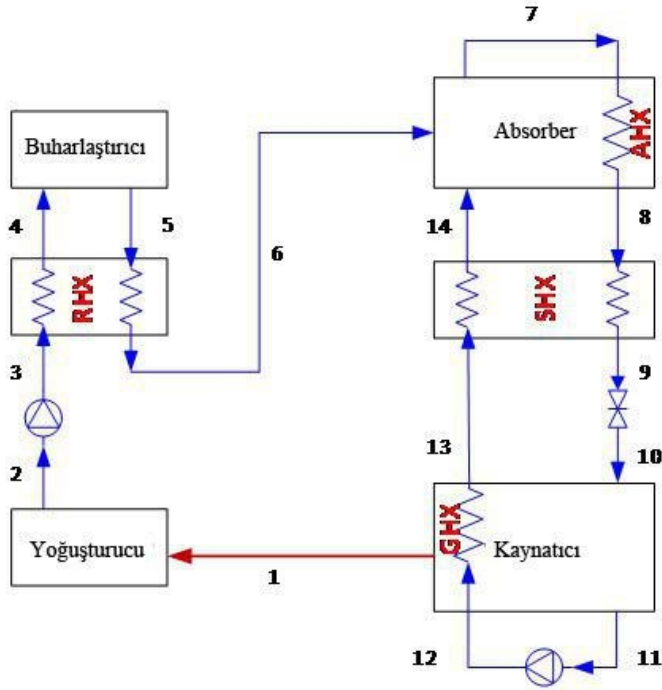
Şekil 1.5. Çift kademeli seri absorpsiyonlu soğutma sistemleri



Şekil 1.6. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu soğutma sistemi

### Tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticileri

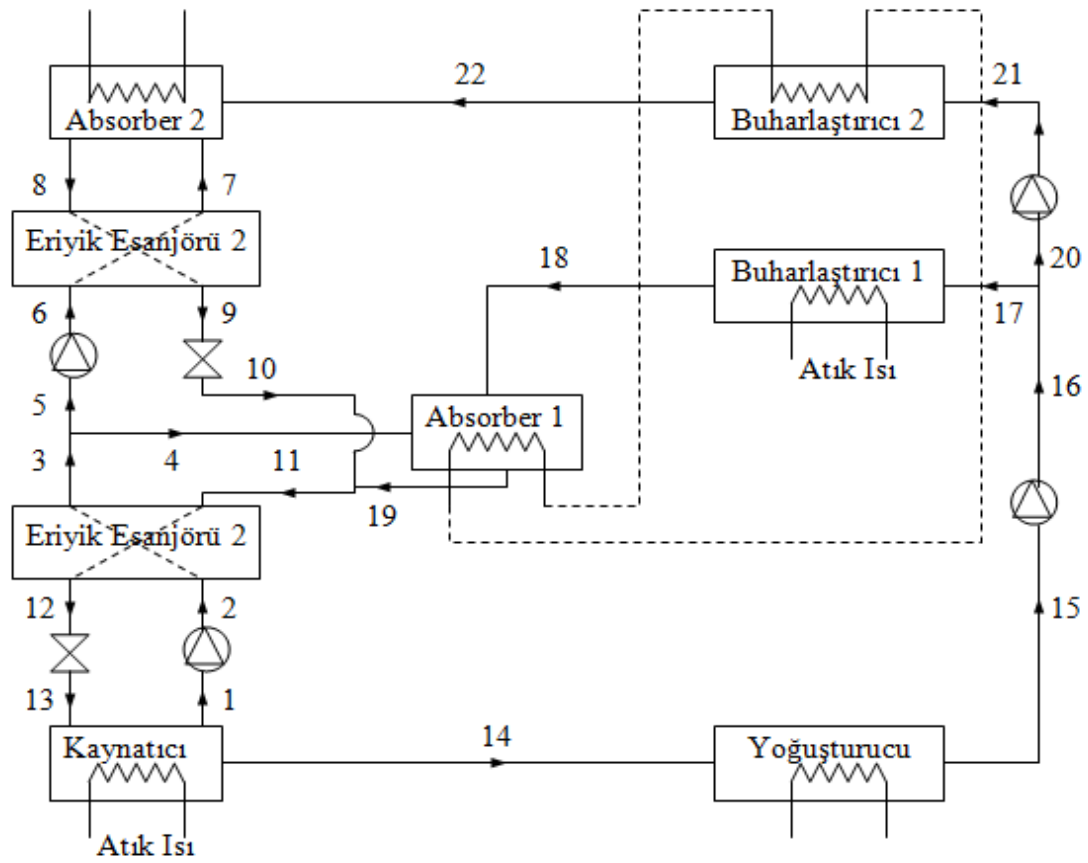
Tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticileri genel olarak Şekil 1.7.'de gösterilmiştir. Bu sistemde önceden açıklanan dört tane ısı eşanjörü olmaktadır. Bütün tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticileri Şekil 1.7'nin özel durumudur ki, bir ya da birkaç tane ısı eşanjörü olmayabilir.



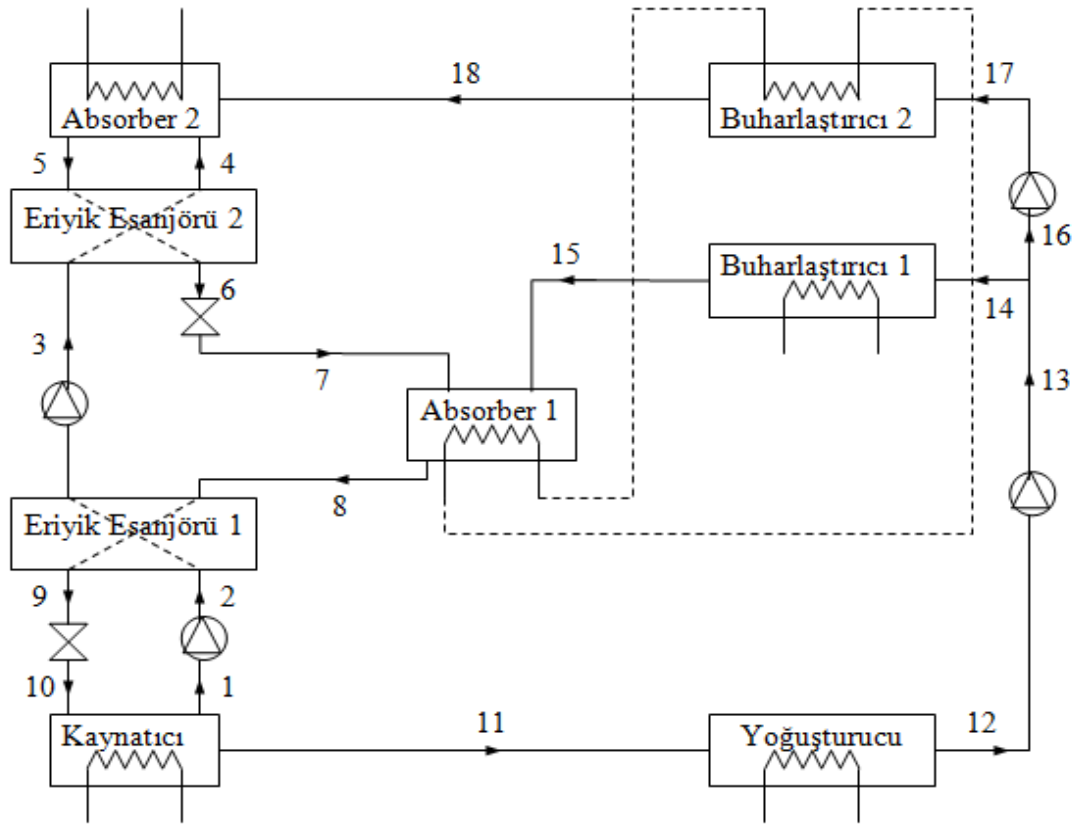
Şekil 1.7. Tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticisi

### Çift kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticileri

Genel olarak tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticileri sıcaklığı 30-40°C yükseltebiliyorlar. Sıcaklığı yükseltmek çözümlerinden biri çift kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticinin kullanılmasıdır. Çift kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticileri paralel ve seri tiplerde olmaktadır. Şekil 1.8 ve Şekil 1.9'da bu sistemlerin çeşitli tipleri gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi bu sistemlerde iki buharlaştırıcı ve iki absorber kullanılmıştır.



Şekil 1.8. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu ısı yükseltici sistemi [6]



Şekil 1.9. Çift kademeli seri absorpsiyonlu ısı yükseltici sistemi [6]



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi

Absorbsiyonlu soğutma sistemleri ile ilgili makaleler ve araştırmalar incelenmiş ve bunların sadece önemli olan bir kaç özet olarak aşağıda verilmiştir:

- A. Sözen ve M. Özalp, 2003 [7] absorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışmasını verimli hale getirmesi üzerine su ve amonyağın eriyiğiyle araştırmalar yaptılar. Bu uygulamada sistemin girişine ejektör kullanarak sistemin soğutma tesir katsayısında %49 yükseliş sağlandı.
- S. Q. Abu-Ein, S. M. Fayyad, W. Momani, ve M. Al-Bousoul, 2009 [8] Termodinamik analizini güneş enerjisiyle çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemini, amonyak-su eriyiği ile deneyen bu araştırmacıların görüşlerine göre, bu sistemin en verimli uygulandığı 110-200°C arasındadır.
- O. Kaynaklı ve M. Kilic, 2007 [9] termal çalışma limiti ve ısı eşanjörleri (RHX, SHX) etkisini termal yükler üzerinde ve bunların performansları üzerinde araştırmalar yapmışlardır.
- A. Şencan, 2007 [10] Sinir ağı yöntemi ile tek kademeli absorpsiyonlu sistemini analiz etmiş ve hız ile uygulama açısından en verimli olarak bizlere sunmuştur.
- I. Horuz ve T. Callander, 2004 [11] Absorpsiyonlu sistemi amonyak – su eriyiği ile endüstriyel amaçlı chillerler üzerinde deney yapılmıştır. Sonraki aşamada bilgisayar programı ile modelleme yapılmıştır.
- Karamangil ve diğerleri [1] tek kademeli Absorpsiyonlu soğutma sisteminin performans değerlendirmesini geleneksel çalışma akışkanları ve alternatifler kullanarak yapmışlardır. Sistemin termodinamik analizini ve çalışma akışkanını seçmesini sistemin performansına göre paket programıyla yapmışlardır. Bu araştırma sonucunda görülmüştür ki, kaynatıcı ve buharlaştırıcı sıcaklığı arttığı zaman sistemin performansı iyileşir ama yoğunlaştırıcı ve absorberin sıcaklığı arttığı zaman sistemin performansı azalır. Ayrıca sistemin performansı eriyik ve soğutucu eşanjöründen de etkileniyor.

## 2.2. Absorbsiyonlu Isı Yükselticisi Sistemi

Tek kademli absorbsiyonlu ısı yükselticisi sistemi ile ilgili çalışmaların yapılış konuları aşağıda getirilmiştir:

- J. Chen 1995 [12] etkili parametreleri absorbsiyonlu ısı yükseltici sistemlerin verimli çalışmasını belirtmiş ve sistemin uygulama ölçülerini raporlamıştır ayrıca etkili parametreleri belirlemiştir.
- J. Chen 1997 [13] Aynı zamanda bir güneş enerjisi ile çalışan absorbsiyonlu ısı yükseltici sistemi üzerinde termodinamik analizi yapmış ve bu sistemin maksimum çalışma konsantasyonunu belirlemiştir. Bu kaynağın sonuçları benzer diğer sistemlerin tasarımında önemli yol gösterebilir.
- P. Bhardwaj, S. Kaushik, ve S. Jain 2003 [14] geriye dönüşü olmayan absorbsiyonlu ısı yükselticisi sistemini verimli hale getirdiler. Analiz sonuçlarına göre maksimum hararet yüklemeleri, ısıtma tesir katsayısı, kullanılan eriyiğin maksimum sıcaklığı ve sıcaklık transfer oranını, sistem ve sıcaklık kaynağı arasındaki çalışma değişkenleri üzerinden gösterdiler.
- E. Kurem ve I. Horuz 2001 [15] Tek kademli absorbsiyonlu ısı yükselticisi sistemini SHX ile beraber amonyak-su ve lityum bromür-su eriyikleriyle araştırmalar yapıp ve bunların performanslarını kıyasladılar. Araştırma sonuçlarına göre sistem performansı lityum bromür-su eriyiğinde daha iyi olmasına rağmen çalışma termal limiti açısından amonyak- su eriyiğine göre daha azdır ve konsantrasyonunun artması ile kristalizasyon olayı meydana gelmesi nedeniyle sıcaklığın artırması her seviye için mümkün değildir.
- I. Horuz ve B. Kurt 2010 [6] Tek kademli absorbsiyonlu ısı yükselticisi performansının SHX ile birlikte sanayi kullanımı üzerinde araştırma yaptılar. Sanayi kullanımında 90°C'lik enerji kaynağını elde bulundurarak 120°C'lik sıcak suya ihtiyaç duyulmaktaydı. Bu yazı çeşitli çevrimler araştırmalarına göre yoğunlaştırıcının ısı artışı sonrası ısıtma tesir katsayısı ve absorberin ısı kapasitesinde düşüş görülmüştür. Buna ilaveten kaynatıcı ve buharlaştırıcı ısı artışı sonucunda ısıtma tesir katsayısında ve absorberin ısı kapasitesinde artış gerçekleşmiştir.

Çift kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticisi sistemlerinde aşağıdaki araştırmalar gerçekleştirilmiştir:

- W. Rivera ve diğerleri 1994 [16,17] Lityum bromür-Su eriyiğiyle çalışan tek ve çift kademeli çevrimlerde kıyaslamalar gerçekleştirmiş ve elde edilen ısıtma tesir katsayısı sonuçları tek kademeli sistemde 0.48 ve çift kademeli sistemde 0.31 olmuş ve sıcaklık artışı açısından tek kademeli sistemde 50°C ve çift kademeli sistemde 80°C olarak görülmüştür. Her ne kadar ısı artışı çift kademeli sistemde çok olduğu görülsede sistemde parçaların çoğunluğu nedeninden dolayı fiyat olarak daha masraflı olarak görülür.
- J. Ji ve M. Ishida 1999 [18] deneylerinde küçük bir değişiklik ile lityum bromür-su eriyiğiyle çalışan çift kademeli sisteminde gizli ısı kullanarak sıcaklığını 10°C artırdığını gösterdi ancak bu deneyde ısıtma tesir katsayısında 0.314 den 0.293 e kadar düşüş yaşandı.
- P. Donnellan 2013 [19] Eşanjörlerin yerini değiştirerek lityum bromür-su eriyiğiyle çalışan çift kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticisi sisteminin ısıtma tesir katsayısında 11.7% artışı sağladı. Buna ilişkin bu araştırma bir veya iki ısı eşanjörü kullanımında ısıtma tesir katsayısı sırayla %16.4 ve %18.8 artış sağlanabileceğini göstermiş oldu.
- Philip Donnellan ve diğerleri [22] AIY vasıtasıyla atık ısı enerjisinin geri dönüşümünü araştırmışlardır, bu araştırmanın sonucunda sadece elektrik enerjisini ihmal edilen miktarda kullanarak atık ısı sıcaklığını yükseltmişlerdir. Son 20 yılda optimizasyon çalışmaları ve alternatif çevrimler, çalışma akışkanları karşılaştırılmıştır ve sanayi uygulamaları incelenmiştir

Yapılan literatür araştırması sonunda, bu çalışmada, hazırlanan bir paket programda amonyak-su ve lityum bromür-su eriyikleriyle çalışan tek ve çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemleri ve absorbsiyonlu ısı yükselticilerinin termodinamik analizi ve araştırması yapılmıştır. Bu araştırmalardan sonra sistemlerin performans yüzdesi ve çalışma termal limitini karşılaştırıp ve yeni bir adımda absorbsiyonlu soğutma sistemini, absorbsiyonlu ısı yükselticisiyle kombine yapıp ve yeni kurulan sistemin performans ve çalışma termal limiti incelenmiştir.

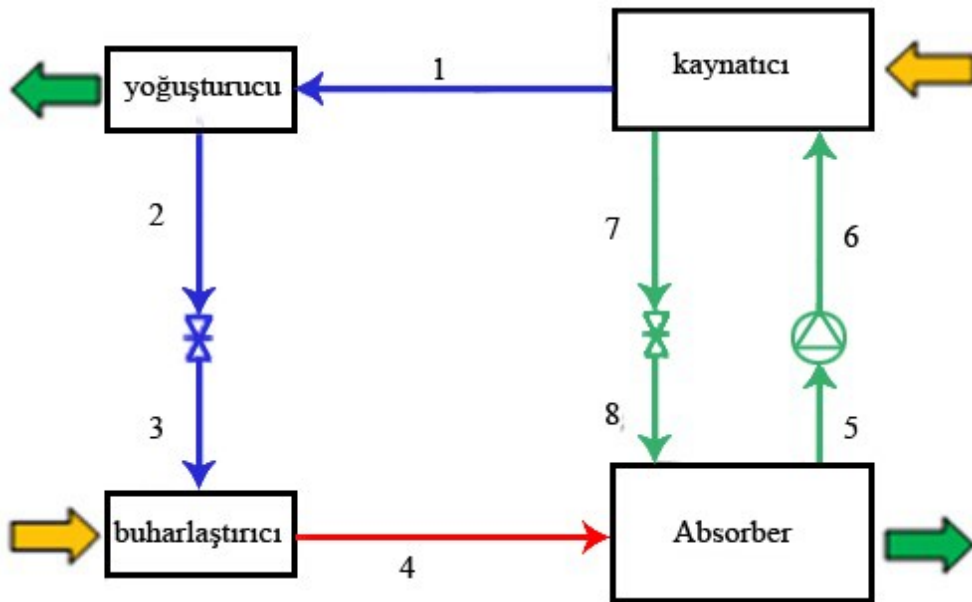


### 3. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ

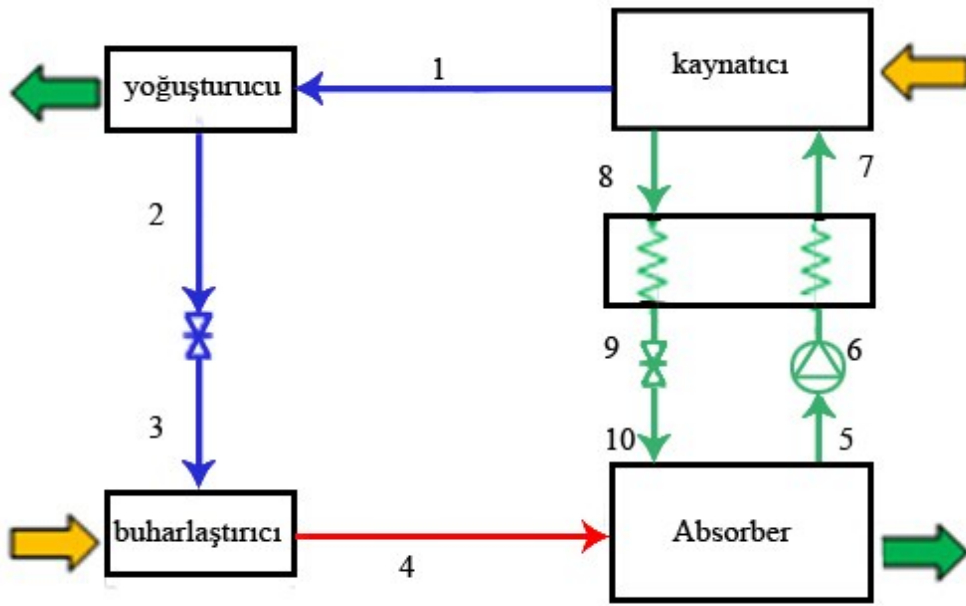
Önceki bölümde absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin nasıl çalıştığı açıklandı. Bu bölümde tek ve çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemleri incelenmiş ve denklemleri yazılmıştır. Sonunda farklı sistemlerin Soğutma Tesir Katsayılarının (STK) karşılaştırması ile, performansları değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Tek Kademeli Absorbsiyonlu Soğutma Sistemleri

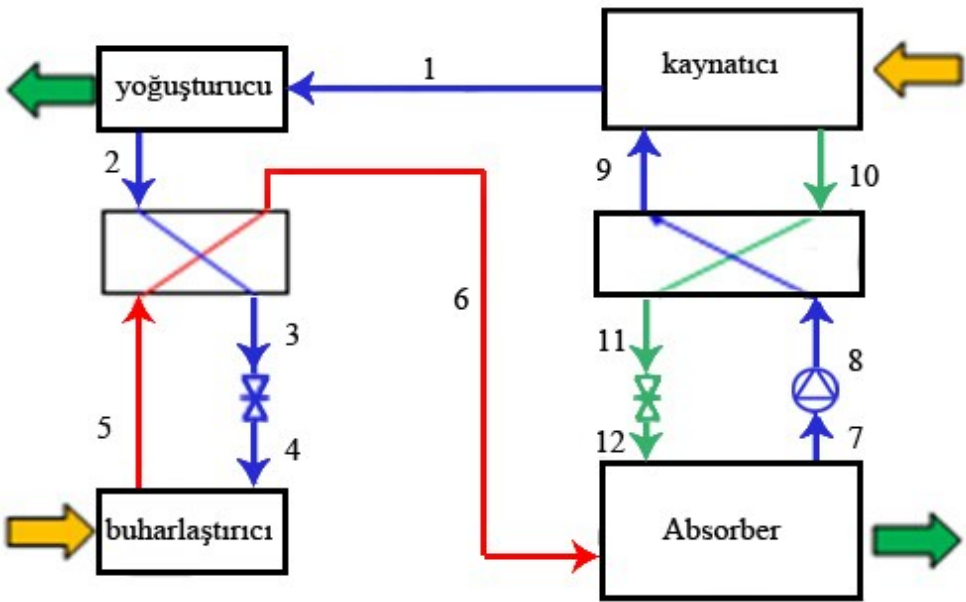
Bu bölümde Şekil 3.1.'dan 3.5.'e kadar gösterilen tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemleri incelenecektir. Bu yüzden her eriyik için bilgisayar programı bir paket programında şekil 3.5'e yazılmış ve ısı eşanjörleri devre dışı bırakılarak diğer şekillerin analizi yapılmıştır.



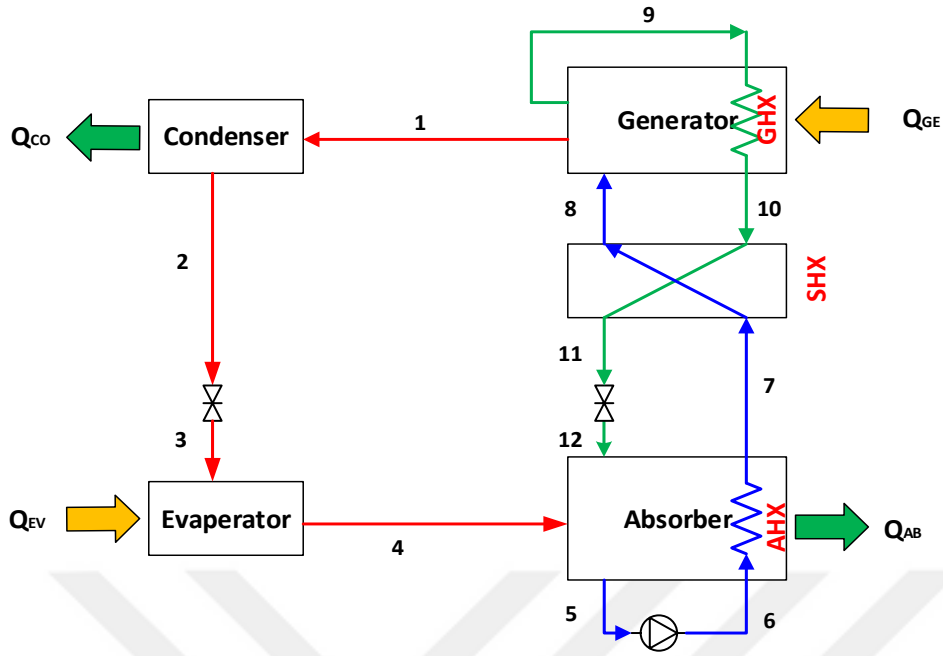
Şekil 3.1. Absorbsiyonlu soğutma sistemi (ABS)



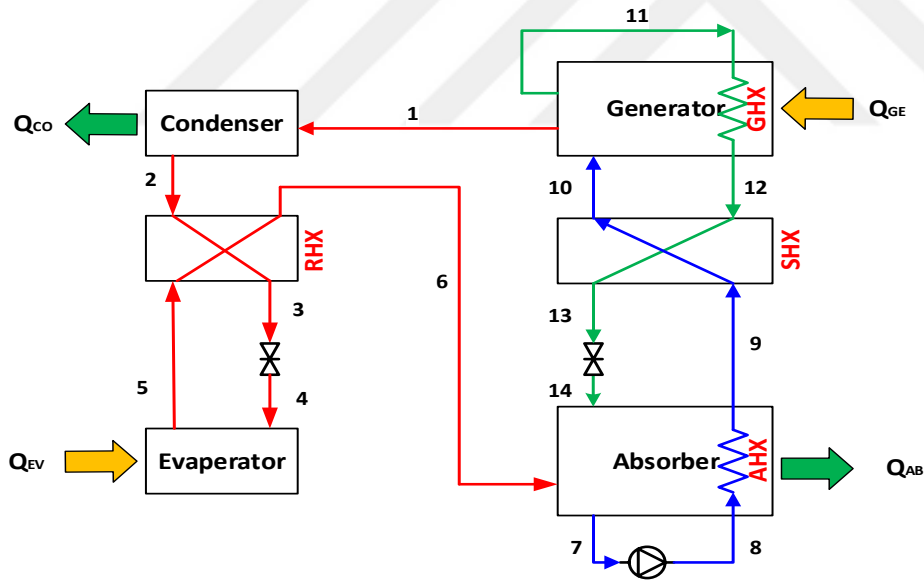
Şekil 3.2. ABS sistemi SHX ile beraber



Şekil 3.3. ABS sistemi SHX ve RHX ile beraber



Şekil 3.4. ABS sistemi SHX, GHX, ve AHX ile beraber [3]



Şekil 3.5. Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi bütün olarak [3]

### 3.1.1. Teorik analiz

Bu bölümde Şekil 3.5'deki çevrimin termodinamik denklemleri yazılmıştır. Diğer çevrimlerde denklemler aynıdır. Belirtmelidir ki 1 ve 6 notasının arasında olan konsantrasyon değeri su-LiBr çiftinde %0 ve amonyak-su çiftinde %100 alınmıştır.

#### Çevrimin çalışma basıncının bulması

Çevrimin yüksek basıncı yoğuşturucunun çıkış noktasından (nokta 2) çıkan akışkanın özellikleri ile belirleniyor. Bu nokta için :

1. Yoğuşturucudan çıkan soğutucu akışkan doymuş sıvı olması kabul edilir. Bu araştırmada kuruluk derecesi (kalite)  $x$  ile gösterilecektir.
2. Yoğuşturucudan çıkan soğutucu belirli bir sıcaklığı var örnek olarak  $30^{\circ}\text{C}$  Bir tek soğutucu bu noktadan geçiyor.

Bu nedenle akışkanın sıcaklığı, konsantrasyonu ve kalitesi belli olduğu zaman çevrimin yüksek basıncı (  $P_{yük}$  ) elde edilir.

$$\begin{cases} T_2 = T_{yoğ} \\ X_2 = 0 \\ x_2 = 0 \end{cases} \quad (3-1)$$

$$P_2 = P(T_2, X_2, x_2) = P_{yük} \quad (3-2)$$

Çevrimin düşük çalışma basıncı buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın ( nokta 5 ) özellikleri ile belirleniyor.

1. Bu noktada akışkan doymuş buhar halindedir.
2. Buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın belirli bir sıcaklığı var örnek olarak  $10^{\circ}\text{C}$

Bu nedenle akışkanın sıcaklığı, konsantrasyonu ve kalitesi belli olduğu zaman çevrimin düşük basıncı (  $P_{düş}$  ) elde edilir.

$$\begin{cases} T_5 = T_{buh} \\ X_5 = 0 \\ x_5 = 1 \end{cases} \quad (3-3)$$

$$P_5 = P(T_5, X_5, x_5) = P_{düş} \quad (3-4)$$

Çizelge 3.1. Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevriminin farklı noktalarda basınç değeri

|           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| $P_{düş}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| $P_{yük}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |

#### Zengin ve fakir eriyik konsantrasyonlarının bulunması

Zengin ve fakir eriyiğin konsantrasyonları absorberden çıkan eriyiğin ( nokta 7 ) ve kaynatıcıdan çıkan eriyiğin ( nokta 11 ) durumuna göre belirleniyor. Bu noktalarda, eriyiğin sıcaklığı, basıncı ve kalitesi belirlidir, bu nedenle konsantrasyonu bulunabilir.

$$\begin{cases} T_7 = T_{Abs} \\ P_7 = P_{düş} \Rightarrow X_f = x(T_7, P_7, x_7) \\ x_7 = 0 \end{cases} \quad (3-5)$$

LiBr-su:

$$\begin{cases} T_{11} = T_{Kay} \\ P_{11} = P_{yük} \Rightarrow X_z = x(T_{11}, P_{11}, x_{11}) \\ x_{11} = 0 \end{cases} \quad (3-6)$$

$$\begin{cases} T_7 = T_{Abs} \\ P_7 = P_{düş} \Rightarrow X_f = x(T_7, P_7, x_7) \\ x_7 = 0 \end{cases} \quad (3-7)$$

Amonyak-su:

$$\begin{cases} T_{11} = T_{Kay} \\ P_{11} = P_{yük} \Rightarrow X_z = x(T_{11}, P_{11}, x_{11}) \\ x_{11} = 0 \end{cases} \quad (3-8)$$

### Kütle dengesi

Burada kütle denklemi her noktanın debi oranı soğutucu debisine yazılır. Kaynatıcı ve absorberde kütle korunumu yasası yazılırsa :

$$\text{LiBr-su:} \quad \begin{cases} f_f = f_z + 1 \\ f_z x_z = f_f X_f \end{cases} \quad (3-9)$$

$$\text{Amonyak-Su:} \quad \begin{cases} f_z = f_f + 1 \\ f_z x_z = f_f X_f + 1 \end{cases} \quad (3-10)$$

ki burada  $f_z = m_z/m_r$  ,  $f_f = m_f/m_r$  sıra ile zengin ve fakir eriyiğin kütle debisinin oranı soğutucu kütle debisine yazılmıştır

### Enerji dengesi

Enerji dengesi yoğuşturucuda ve buharlaştırıcıda aşağıdaki gibi olacaktır :

$$\text{Buharlaştırıcı} \quad q_{buh} = h_5 - h_4 \quad (3-11)$$

$$\text{Yoğusturucu} \quad q_{yoğ} = (h_2 - h_1) \quad (3-12)$$

Absorber ve kaynatıcıda enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılır :

$$\begin{array}{l} \text{Absorber} \\ \text{Su-LiBr:} \end{array} \quad q_{Abs} = (f_f h_7 + f_f h_9) - (f_f h_8 + f_z h_{14} + h_6) \quad (3-13)$$

$$\begin{array}{l} \text{Absorber} \\ \text{Amonyak-Su:} \end{array} \quad q_{Abs} = (f_z h_7 + f_z h_9) - (f_z h_8 + f_f h_{14} + h_6) \quad (3-14)$$

$$\begin{array}{l} \text{Kaynatıcı} \\ \text{Su-LiBr:} \end{array} \quad q_{Kay} = f_z h_{12} + h_1 - f_f h_{10} \quad (3-15)$$

$$\begin{array}{l} \text{Kaynatıcı} \\ \text{Amonyak-Su:} \end{array} \quad q_{Kay} = f_f h_{12} + h_1 - f_z h_{10} \quad (3-16)$$

entalpi değeri kısılma vanasında hiç değişmiyor ve sabit kalıyor

$$0 = h_4 - h_3 \quad (3-17)$$

$$0 = h_{14} - h_{13} \quad (3-18)$$

Pompalarda enerji dengesi aşağıdaki şekilde yazılır :

$$-w_{Pump} = v\Delta P = f\Delta h \quad (3-19)$$

Aşağıdaki eriyik eşanjörü ve soğutucu eşanjörü denklemleri ile sırayla  $h_6$  ve  $h_{13}$  bulunur.

$$\text{RHX} \quad 0 = (h_3 - h_2) + (h_6 - h_5) \quad (3-20)$$

$$\text{SHX} \quad 0 = (h_{13} - h_{12}) + (h_{10} - h_9) \quad (3-21)$$

Özelliklerin farklı noktalarda bulunması

$$\text{LiBr-su:} \quad \begin{cases} X_7 = X_8 = X_9 = X_{10} = X_f \\ X_{11} = X_{12} = X_{13} = X_{14} = X_z \\ X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = X_5 = X_6 = 0 \end{cases} \quad (3-22)$$

$$\text{Amonyak-Su:} \quad \begin{cases} X_7 = X_8 = X_9 = X_{10} = X_z \\ X_{11} = X_{12} = X_{13} = X_{14} = X_f \\ X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = X_5 = X_6 = 1 \end{cases} \quad (3-23)$$

Ayrıca akışkanın kalitesiyle ilgili, bir kaç özel noktada aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

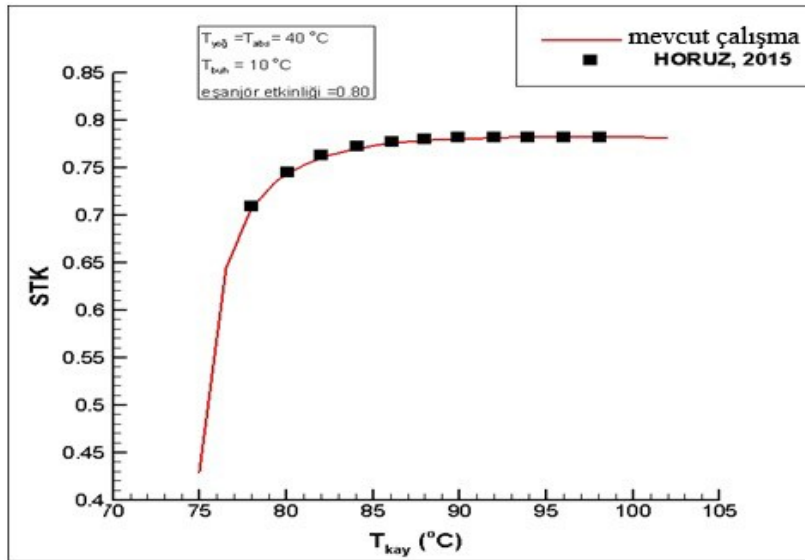
$$x_7 = 0, \quad x_{11} = 0, \quad x_2 = 0, \quad x_5 = 1 \quad (3-23)$$

### Soğutma tesir katsayısının bulması

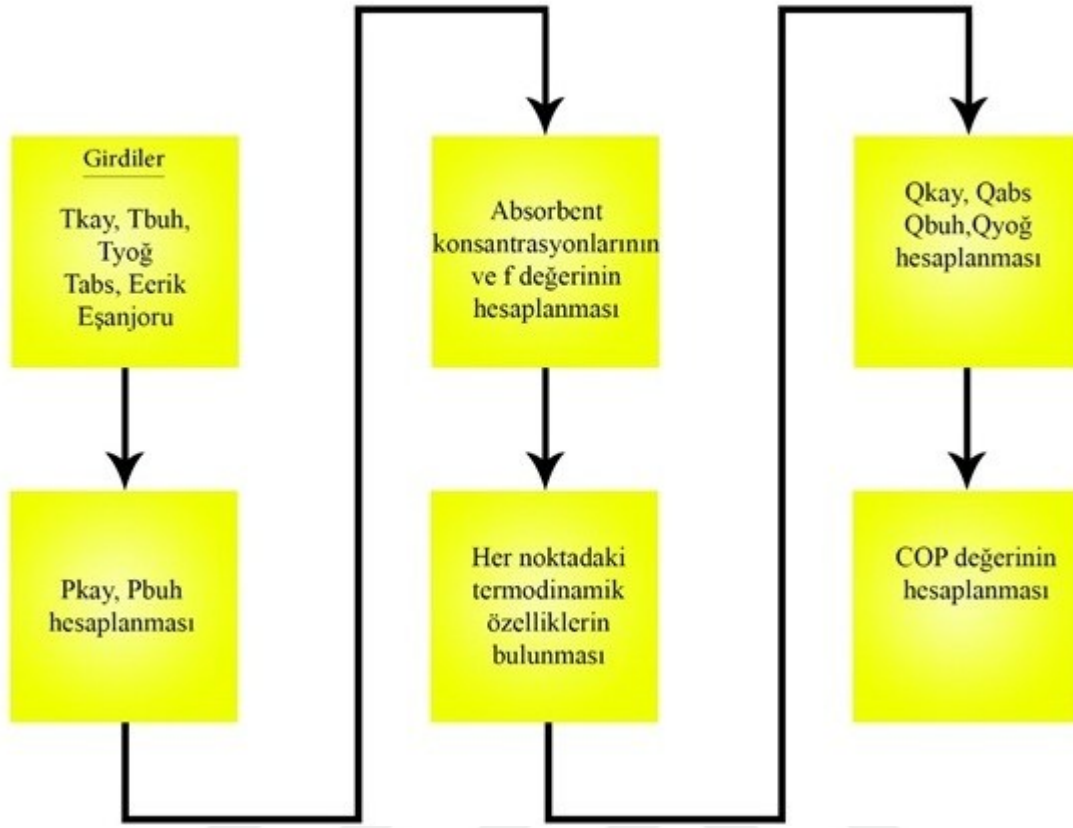
$$STK = \frac{q_{buh}}{q_{kay}}$$

### 3.1.2. Hazırlanan Paket Programın Doğruluğunun Tespiti ve Akış Diyagramı

Bölüm 3.1.1 denklemlerine göre, her akışkana paket programda kod yazılmıştır ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. Sonuçların doğru olmasını belirtmek için doğrulama kodu yazılmıştır. Kodun sonuçları, referans sonuçları ile Horuz, 2013 [20] karşılaştırılmıştır ve karşılaştırma eğrisi Şekil 3.6.'de sunulmuştur. Ayrıca teorik olarak yapılan rakamsal sonuçlar paket programının sonuçlarıyla tablo halinde Çizelge 3.2 ve 3.3'de karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi sonuçlar birbirlerine oldukça yakındır. Bu durum hazırlanan bilgisayar programının system analizini doğru bir şekilde yaptığının kanıtıdır.



Şekil 3.6. Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemi doğrulama kodu



Şekil 3.7. Absorbsiyonlu tek kademeli soğutma sisteminin simülasyonu akış diyagramı

Bu örnekte (Şekil 3.1) LiBir-Su eriyi kullanan tek kademeli absorbsiyonlu soğutma makinesiyle 10°C soğutma yapılmak isteniyor. Yoğuşma sıcaklığı 40°C, kaynatıcıdan çıkış sıcaklığı 100°C olarak alınıyor.

Çizelge 3.2. Bu doğrulama çizelgesinde sol taraftaki rakamlar teorik ve sağ taraftaki ler paket programı sonuçları

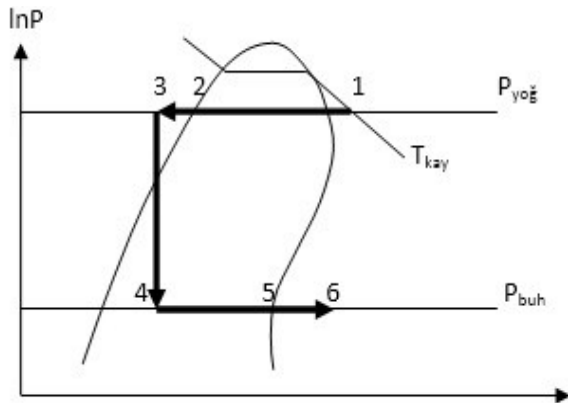
| LiBr-H <sub>2</sub> O | T(°C)          | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                     | 100            | 7.375            | 7.381             | 2682.6             | 2687                | 0           | 0            |
| 2                     | 40             | 7.375            | 7.381             | 167.45             | 167.5               | 0           | 0            |
| 3                     | 40             | 7.375            | 7.381             | 167.45             | 167.5               | 0           | 0            |
| 4                     | 10             | 1.227            | 1.228             | 2519.9             | 2519                | 1           | 1            |
| 5                     | 40             | 1.227            | 1.228             | 94                 | 93.39               | 0.55        | 0.5491       |
| 6                     | 40             | 1.277            | 1.228             | 94                 | 93.39               | 0.55        | 0.5491       |
| 7                     | 100            | 7.375            | 7.381             | 255                | 259.6               | 0.66        | 66.23        |
| 8                     | 100            | 7.375            | 7.381             | 255                | 259.6               | 0.66        | 66.23        |
| q <sub>kay</sub>      | 3393.6 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>kay</sub>   | 3400 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>yoğ</sub>      | -2515.15 kJ/kg |                  |                   | q <sub>yoğ</sub>   | -2520 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh</sub>      | 2352.45 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>buh</sub>   | 2351 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs</sub>      | - 3230.9 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs</sub>   | - 3232 kJ/kg        |             |              |
| STK                   | 0.69           |                  |                   | STK                | 0.69                |             |              |

Bu örnekte (Şekil 3.1) NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O eriyiği kullanan tek kademeli absorpsiyonlu soğutma makinesiyle 10°C soğutma yapılmak isteniyor. Yoğuşma sıcaklığı 30°C, kaynatıcıdan çıkış sıcaklığı 90°C olarak alınıyor.

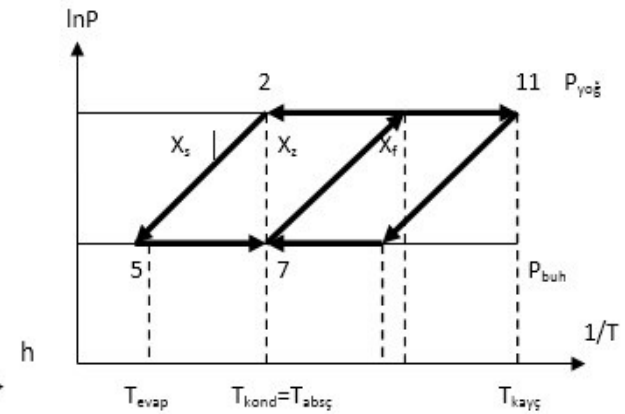
Çizelge 3.3. Bu doğrulama çizelgesinde sol taraftaki rakamlar teorik ve sağ taraftakiler paket programı sonuçları

| NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O | T(°C)           | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                                 | 90              | 1166.49          | 1167              | 1676.88            | 1653                | 0           | 0            |
| 2                                 | 30              | 1166.49          | 1167              | 322.9              | 341.8               | 0           | 0            |
| 3                                 | 30              | 1166.49          | 1167              | 322.9              | 341.8               | 0           | 0            |
| 4                                 | 10              | 614.95           | 615.3             | 1453.3             | 1472                | 1           | 1            |
| 5                                 | 30              | 614.95           | 615.3             | -83                | -85.39              | 0.61        | 0.62         |
| 6                                 | 30              | 614.95           | 615.3             | -83                | -85.39              | 0.61        | 0.62         |
| 7                                 | 90              | 1166.49          | 1167              | 173                | 175.1               | 0.38        | 0.39         |
| 8                                 | 90              | 1166.49          | 1167              | 173                | 175.1               | 0.38        | 0.39         |
| q <sub>kay</sub>                  | 2190.66 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>kay</sub>   | 2162 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>yoğ</sub>                  | -1353.98 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>yoğ</sub>   | -1311 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh</sub>                  | 1130.4 kJ/kg    |                  |                   | q <sub>buh</sub>   | 1130 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs</sub>                  | - 1967.08 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs</sub>   | - 1983 kJ/kg        |             |              |
| STK                               | 0.52            |                  |                   | STK                | 0.5228              |             |              |

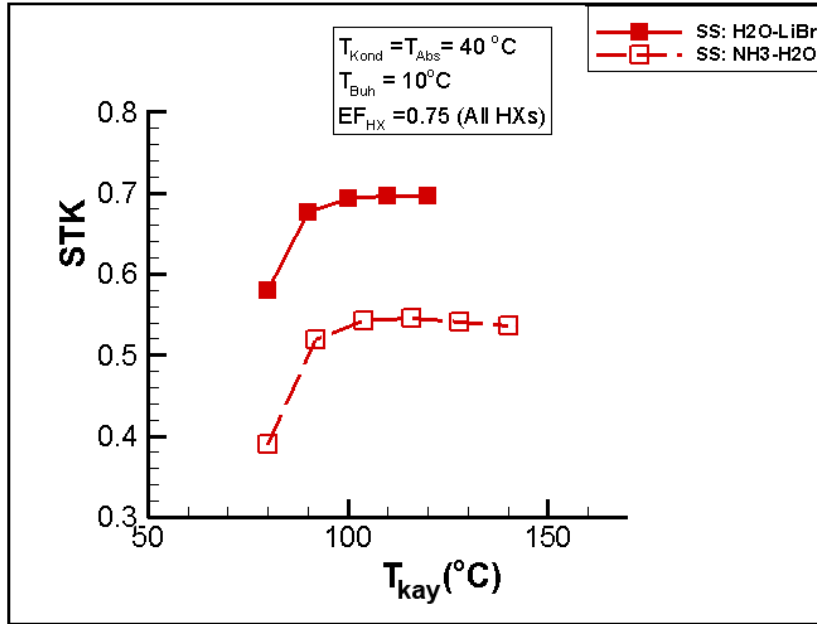
Şekil 3.5’de verilen tek kademeli (SS) çevrimin soğutma tesir katsayısı değerleri her iki akışkan için (Su-LiBr ve Amonyak-Su) Şekil 3.10’de verilmiştir.



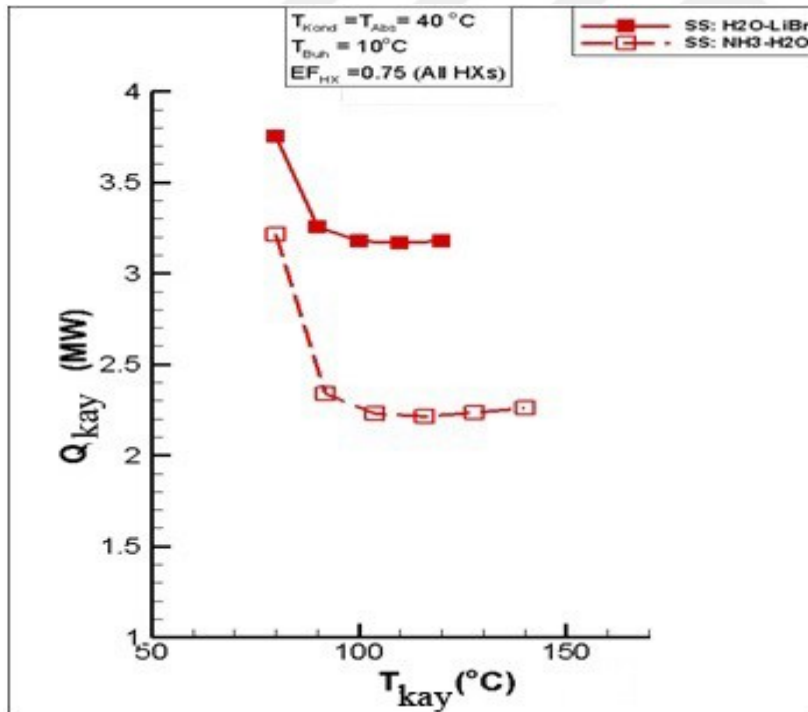
Şekil 3.8. Basınç-entalpi diyagramı



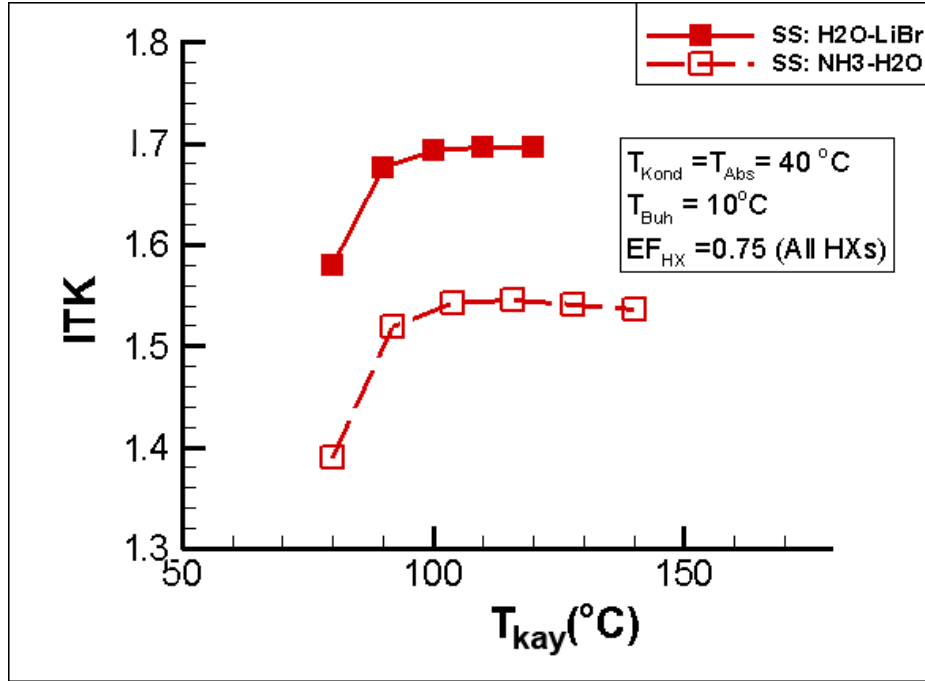
Şekil 3.9. Basınç-sıcaklık diyagramı



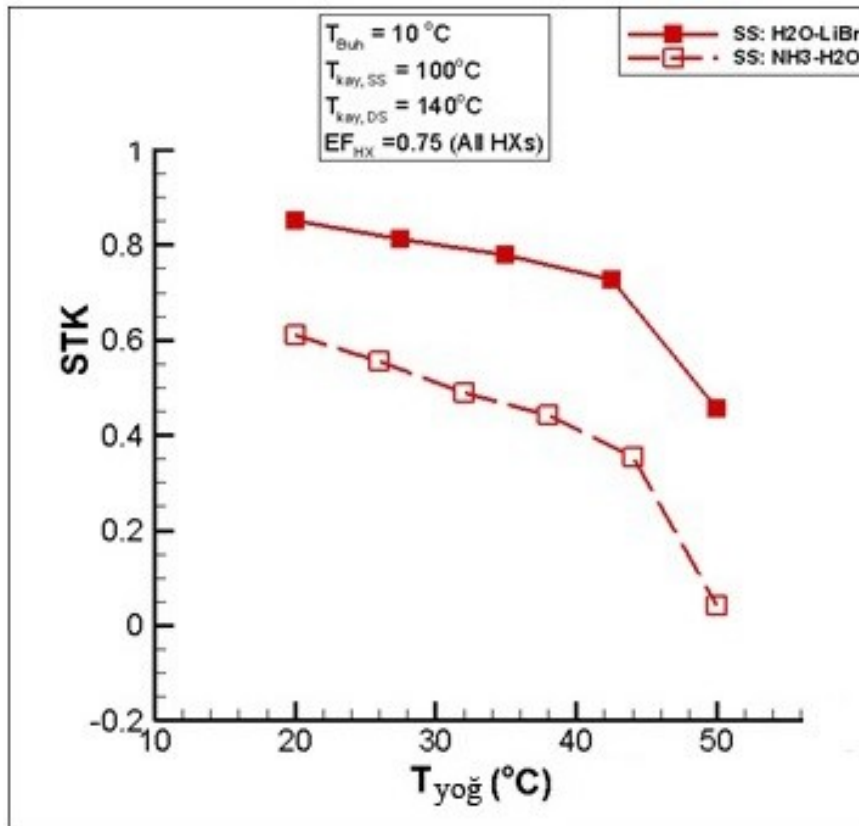
Şekil 3.10. Tek kademeli (SS) ABS sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması



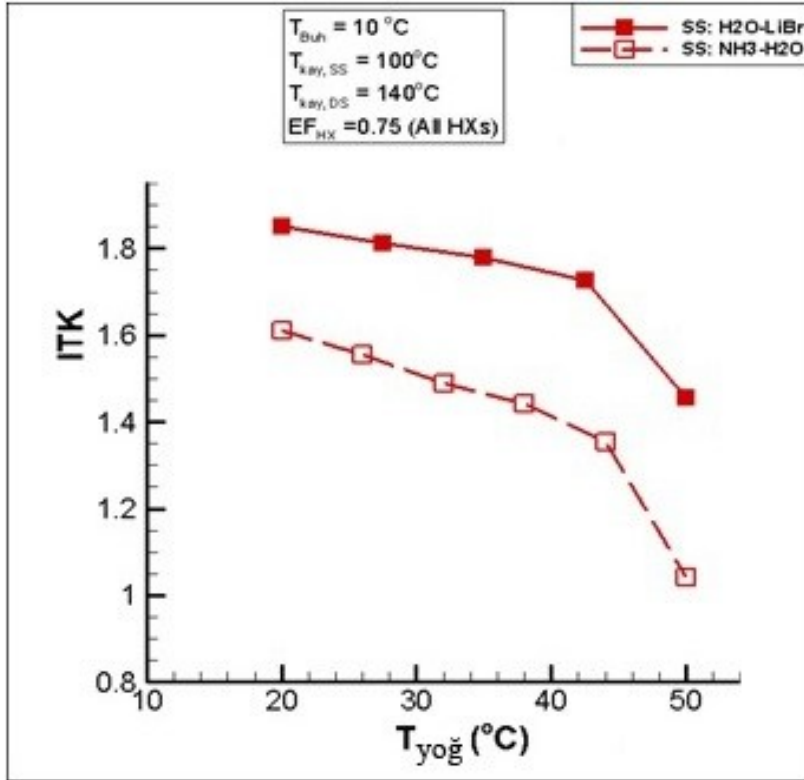
Şekil 3.11. Tek kademeli ABS sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması



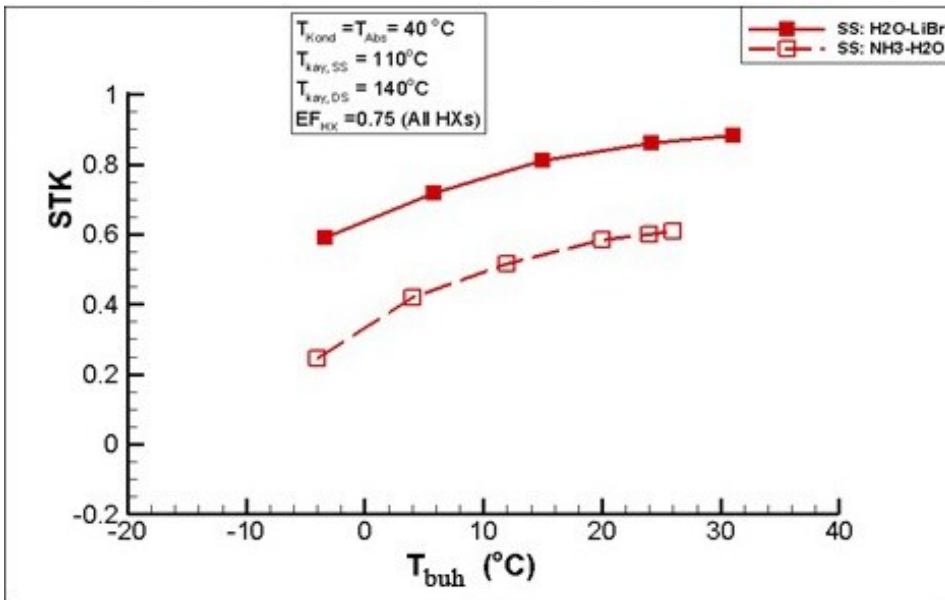
Şekil 3.12. Tek kademeli ABS sisteminde kaynatıcısı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



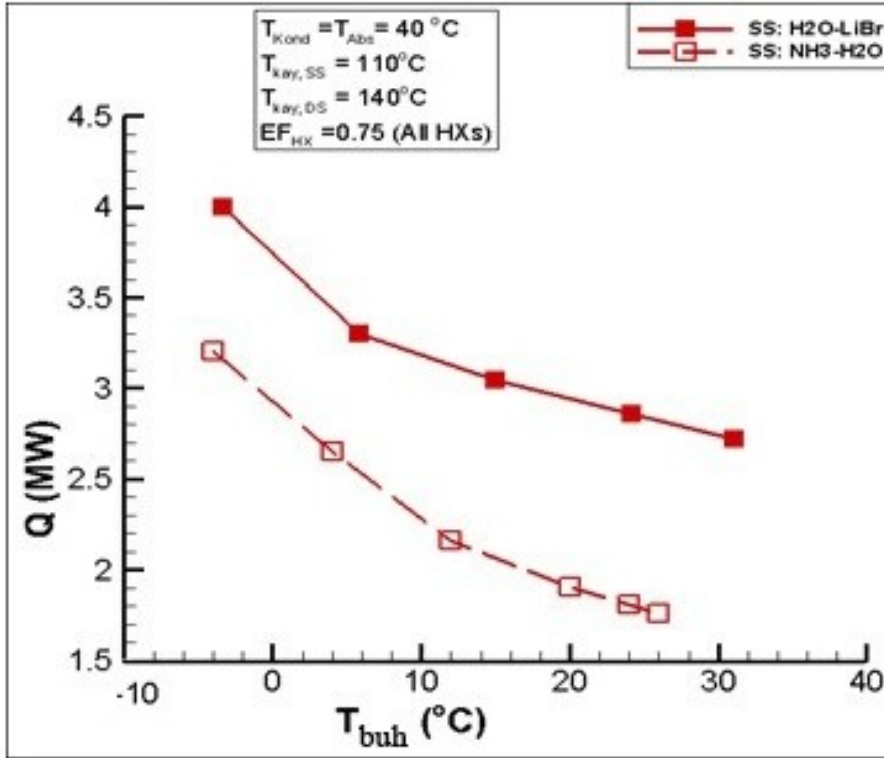
Şekil 3.13. Tek kademeli ABS sisteminde yoğuşturucu sıcaklığı ve STK karşılaştırması



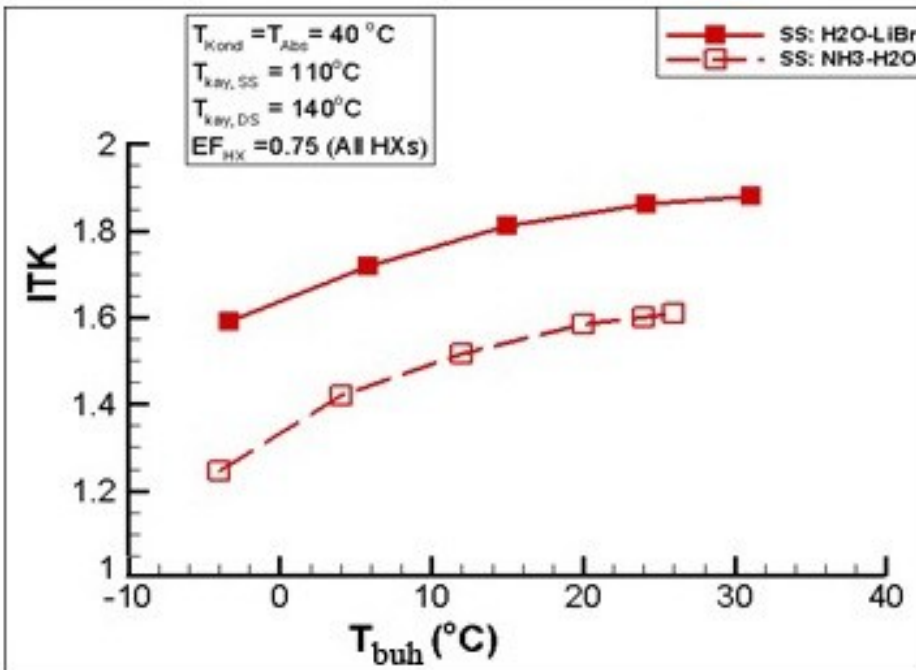
Şekil 3.14. Tek kademeli ABS sisteminde yoğuşturucu sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



Şekil 3.15. Tek kademeli ABS sisteminde buharlaştırıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması



Şekil 3.16. Tek kademeli ABS sisteminde buharlaştırıcı sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması

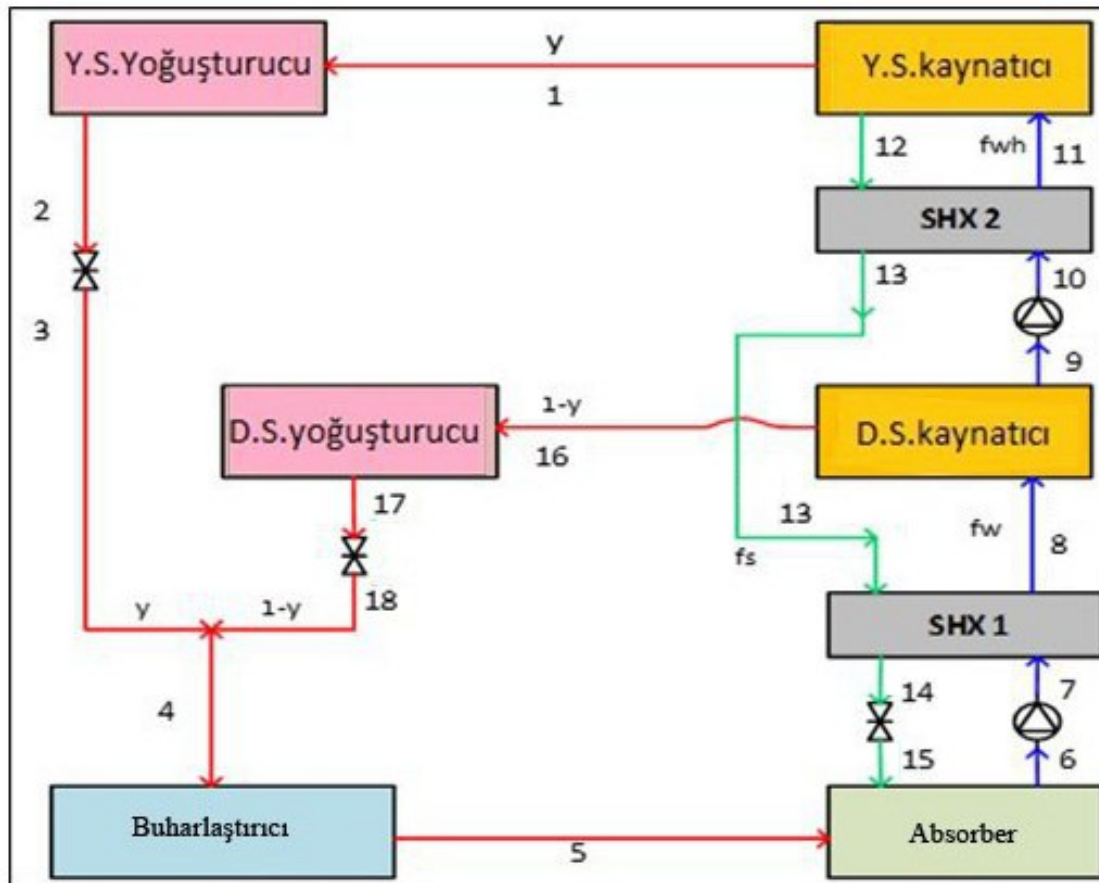


Şekil 3.17. Tek kademeli ABS sisteminde buharlaştırıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması

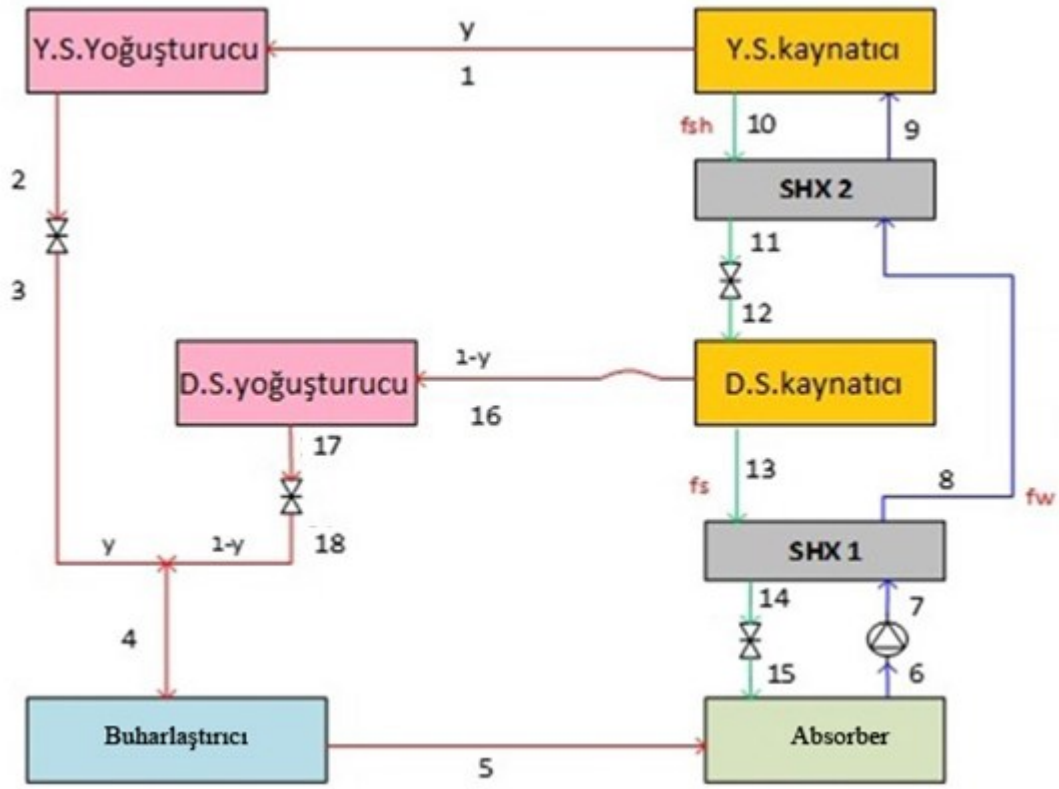
Tek kademeli Absorbsiyonlu sistemlerde yukarıdaki grafiklere göre LiBr-H<sub>2</sub>O eriyiği amonyak-su eriyiğinden daha verimlidir ama çalışma sıcaklığı amonyak-su eriyiğine göre azdır. Grafikte görüldüğü gibi LiBr-H<sub>2</sub>O eriyiğinde 130 °C sonra kristalizasyon nedeniyle yüksek sıcaklıklara çıkamaz.

### 3.2. Çift Kademeli Absorbsiyonlu Soğutma Sistemleri

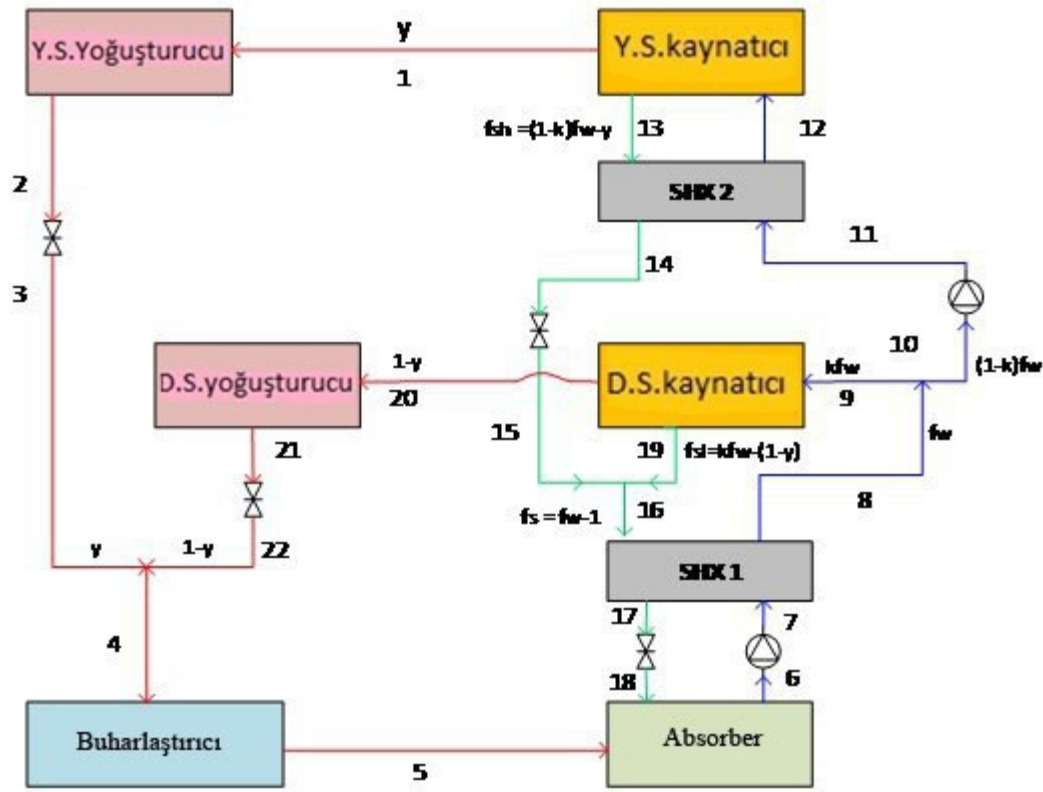
Önceki bölümde görüldüğü gibi tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde her eriyik için sıcaklık limitleri uygulanmıştır. Örnek olarak tek kademeli absorbsiyonlu soğutma sisteminde, Su-LiBr çiftine sıcaklık limiti 75-100°C arasındaydı. Eğer kaynatıcının sıcaklığı bu sıcaklık limitinden yüksek olursa o zaman çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemleri kullanılır. Çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemleri genellikle iki kaynatıcı ve iki yoğuşturucudan oluşur. Bu çevrimler seri ve paralel şeklinde tasarlanabilir. Seri şeklinde tasarlanan çevrimde eriyik her iki kaynatıcıdan geçiyor (şekil 3.18 ve 3.19). Sistemin paralel tasarımında, eriyiğin bir kısmı yüksek sıcaklıktaki kaynatıcıdan ve bir kısımda düşük sıcaklıktaki kaynatıcıdan geçiyor (şekil 3.20). Görüldüğü gibi seri bir çevrimde eriyik gidiş yolunda düşük sıcaklıkta olan kaynatıcıya giriyor ama seri iki çevriminde, eriyik dönüşte düşük sıcaklıkta olan kaynatıcıdan geçiyor. Bu bölümde Su-LiBr çiftile çalışan seri bir çevriminin denklemleri yazılıp ve analiz edilecektir.



Şekil 3.18. Seri 1 çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi



Şekil 3.19. Seri 2 çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi



Şekil 3.20. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu soğutma sistemi

### 3.1.3. Teorik analiz

Bu bölümde Su-LiBr eriyikile çalışan çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi seri bir (Şekil 3-18) termodinamik denklemleri yazılmıştır.

#### Çevrimin çalışma basıncının belirlenmesi

Yüksek sıcaklıklı yoğuşturucudan çıkan akışkanın (nokta 2) özelliklerini kullanarak çevrimin yüksek basıncı belirleniyor. Bu nokta için:

- 1- Soğutucu akışkan, yoğuşturucu çıkışında doymuş sıvı halinde kabul edilir.
- 2- Soğutucu akışkanın sıcaklığı yoğuşturucu çıkışında belli bir değerdir.
- 3- Sadece soğutucu akışkan (su) bu noktadan geçiyor.

Bu nedenle yoğuşturucudan çıkan akışkanın konsantrasyon, sıcaklık ve kalitesinin belli olmasıyla ,çevrimin yüksek basıncını ( $P_{yük}$ ) elde edilebilir.

$$\begin{cases} T_2 = T_{y.s.yoğ} \\ X_2 = 0 \\ x_2 = 0 \end{cases} \quad (3-24)$$

$$P_2 = P(T_2, X_2, x_2) = P_{yük} \quad (3-25)$$

Düşük sıcaklıklı yoğuşturucudan çıkan akışkanın (nokta 21) özelliklerini kullanarak çevrimin orta basıncı belirleniyor. Bu nokta içinde aynı yüksek sıcaklıklı yoğuşturucu gibi yapılıyor.

Başka bir deyişle:

$$\begin{cases} T_{21} = T_{d.s.yoğ} \\ X_{21} = 0 \\ x_{21} = 0 \end{cases} \quad (3-26)$$

$$P_{21} = P(T_{21}, X_{21}, x_{21}) = P_{orta} \quad (3-27)$$

Buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın (nokta 5) özelliklerini kullanarak çevrimin düşük basıncı belirleniyor. Bu nokta için:

- 1- Bu noktada akışkan, doymuş buhar halinde olacaktır.
- 2- Akışkanın sıcaklığı buharlaştıracıdan çıkarken belli bir değerdir.
- 3- Bu nedenle buharlaştıracıdan çıkan akışkanın, konsantrasyon, sıcaklık ve kalitesinin belli olmasıyla ,çevrimin yüksek basıncını ( $P_{dük}$ ) elde edilebilir.

$$\begin{cases} T_5 = T_{buh} \\ X_5 = 0 \\ x_5 = 1 \end{cases} \quad (3-28)$$

$$P_5 = P(T_5, X_5, x_5) = P_{düş} \quad (3-29)$$

Diğer bir deyişle:

Çalışma basınclarını elde ettikten sonra diğer noktaların basıncı aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

Çizelge3.4. Farklı noktaların basıncı çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sisteminde (seri 1)

|            | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $P_{düş}$  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $P_{orta}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $P_{yük}$  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

#### Farklı noktalarda konsantrasyon değerinin belirlenmesi

Bu çevrimde 13 ten 18e kadar olan noktaların arasında zengin eriyik akıyor, 10 dan 12yede fakir eriyik ve 6dan 9a da daha fakir bir eriyik akıyor. Eriyiklerin konsantrasyonu akışkanın durumu ve özelliklerini absorber çıkışında (nokta 7) ve kaynatıcılar çıkışında, yüksek sıcaklıklı (nokta 13) ve düşük sıcaklıklı (nokta 10) kullanarak belirliyor. Bu noktalarda eriyiğin basıncı, sıcaklığı ve kalitesi belirlidir bu yüzden konsantrasyonları bulunur. Farklı eriyiklerde şöyle yazılır:

$$\begin{cases} T_6 = T_{abs} \\ P_6 = P_{düş} \Rightarrow X_f = x(T_6, P_6, x_6) \\ x_6 = 0 \end{cases} \quad (3-30)$$

$$\begin{cases} T_{10} = T_{d.s.kay} \\ P_{10} = P_{orta} \Rightarrow X_{orta} = x(T_{10}, P_{10}, x_{10}) \\ x_{10} = 0 \end{cases} \quad (3-31)$$

$$\begin{cases} T_{13} = T_{y.s.kay} \\ P_{13} = P_{yük} \Rightarrow X_z = x(T_{13}, P_{13}, x_{13}) \\ x_{13} = 0 \end{cases} \quad (3-32)$$

#### Kütle denkliği

Burada kütle denkliği, her noktanın debisi soğutucu akışkanın debisinin oranına yazılır. Absorber ve düşük sıcaklıklı kaynatıcıda kütle korunumu yasasını yazmakla:

$$\begin{cases} f_f = f_z + 1 \\ f_z X_z = f_f X_f \end{cases} \quad (3-33)$$

$$\begin{cases} f_f = f_{orta} + (1 - y) \\ f_f X_f = f_{orta} X_{orta} \end{cases}$$

Ki onda

$$\begin{aligned} f_z &= \frac{m_z}{m_r} = \frac{m_{13}}{m_z} \\ f_f &= \frac{m_f}{m_r} = \frac{m_6}{m_5} \\ f_{orta} &= \frac{m_{orta}}{m_r} = \frac{m_{10}}{m_5} \end{aligned} \quad (3-34)$$

Belirtmelidir ki y.s.yoğuşturucunun soğutucu kütle debisinin oranı tüm soğutucu kütle debisine y ile gösterilmiştir, yani

$$y = \frac{m_1}{m_5} \quad (3-35)$$

Diğer noktalarda kısmi debi ve konsantrasyon aşadaki gibi yazılır:

$$\begin{cases} f_1 = f_2 = f_3 = y \\ f_{21} = f_{22} = 1 - y \\ f_4 = f_5 = 1 \\ f_6 = \dots = f_9 = f_f \\ f_{10} = f_{11} = f_{12} = f_{orta} \\ f_{13} = \dots = f_{18} = f_z \end{cases} \quad (3-36)$$

$$\begin{cases} X_1 = \dots = X_5 = 0 \\ X_{21} = X_{22} = 0 \\ X_6 = \dots = X_9 = X_f \\ X_{10} = X_{11} = X_{12} = X_{orta} \\ X_{13} = \dots = X_{18} = X_z \end{cases} \quad (3-37)$$

### Enerji denkliği

Enerji denkliği buharlaştırıcı, absorber, yoğuşturucu ve kaynatıcılarda aşadaki gibi yazılır :

$$\text{Buharlaştırıcı} \quad q_{buh} = h_5 - h_4 \quad (3-38)$$

$$\text{Absorber} \quad q_{abs} = f_f h_6 - (f_z h_{18} + h_5) \quad (3-39)$$

$$\text{Y S. Yoğ} \quad q_{ys.yoğ} = y(h_2 - h_1) \quad (3-40)$$

$$\text{D S. Yoğ} \quad q_{ds.yoğ} = (1 - y)(h_{21} - h_{20}) \quad (3-41)$$

$$\text{Y S. Kay} \quad Q_{ys.kay} = f_z h_{13} + y h_1 - f_{wh} h_{12} \quad (3-42)$$

$$\text{D S. Kay} \quad Q_{ds.kay} = (1 - y) h_{20} + f_{wh} h_{10} - f_f h_9 \quad (3-43)$$

Antalpi değeri kısılma vanasından geçerken sabit kalıyor, bu yüzden :

$$0 = h_3 - h_2 \quad (3-44)$$

$$0 = h_{18} - h_{17} \quad (3-45)$$

$$0 = h_{22} - h_{21} \quad (3-46)$$

Pompalarda enerji denkliği aşağıdaki gibidir:

$$-w_{Pump} = f \Delta h \quad (3-47)$$

$$v \Delta P = f \Delta h \quad (3-48)$$

Isı eşanjörlerinde, enerji korunumuna dayalı olacaktır:

$$\text{SHX2} \quad 0 = f_z (h_{13} - h_{12}) + f_{wh} (h_{11} - h_{10}) \quad (3-49)$$

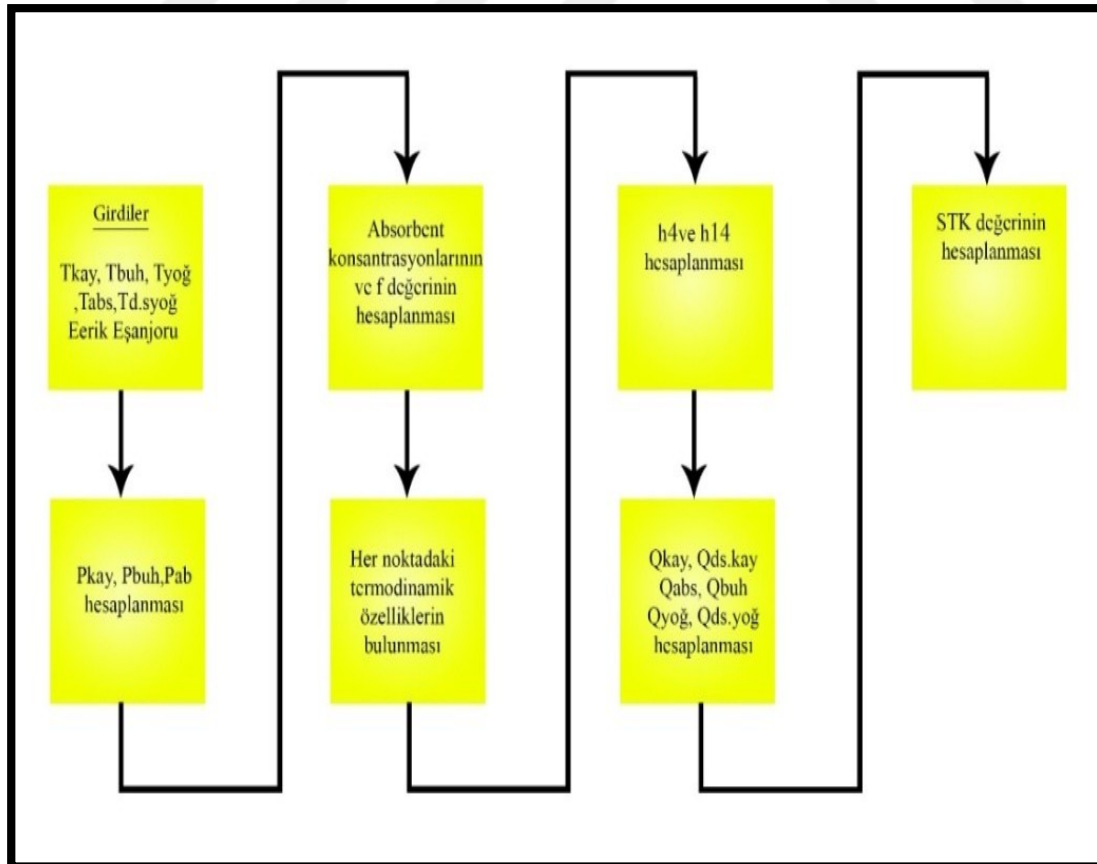
$$\text{SHX1} \quad 0 = f_z(h_{14} - h_{13}) + f_f(h_8 - h_7) \quad (3-50)$$

Soğutma tesir katsayısının bulması:

$$\text{STK} = \frac{q_{\text{buh}}}{q_{\text{YSkay}} + q_{\text{DSkay}} - q_{\text{YSkond}}}$$

### 3.1.4. Çift kademeli ABS sistemine hazırlanan paket programının doğruluğunun tespiti ve akış diyagramı

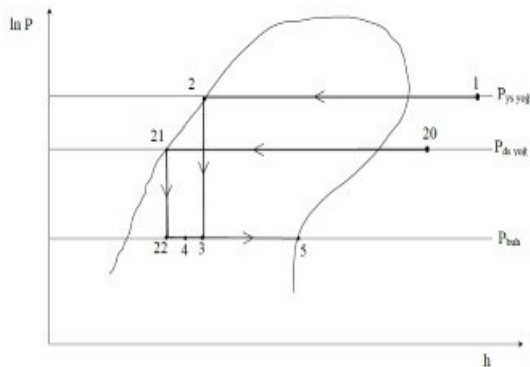
Bu kısımda Çizelge 3.5. ve Çizelge 3.6., şekil 3.18. e ve Çizelge 3.7. ve Çizelge 3.8., şekil 3.16. ve 3.17 ye göre hazırlanmıştır. Alta çizilen tablolarda her parametreden iki sütun var, her parametrenin sağ tarafındaki sütününde teorik rakamlar ve sol tarafındaki sütünde paket programıyla bulunan rakamlar yazılmıştır. Bu bölümde tanımlanan çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemlerini gereken grafikleri şekil 3.19 dan 3.27'ye kadar çizilmiş.



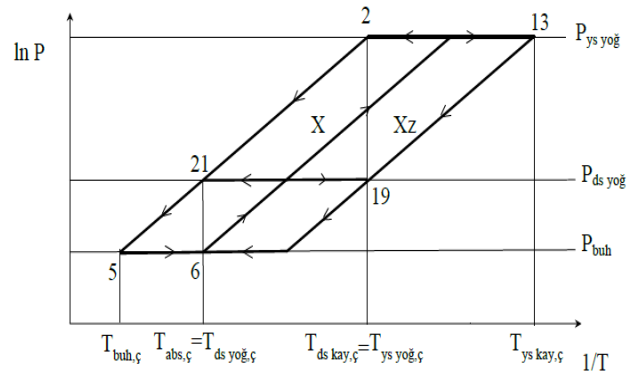
Şekil 3.21. Absorbsiyonlu çift kademeli seri tip soğutma sisteminin simülasyonu akışı

Çizelge 3.5. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu soğutma sistemi

| LiBr-H <sub>2</sub> O | T(°C)            | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik   | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------|------------------|------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                     | 130              | 31,16            | 31.18             | 2741,1               | 2742                | 1           | 1            |
| 2                     | 70               | 31,16            | 31.18             | 292,97               | 293                 | 1           | 1            |
| 3                     | 10               | 1,227            | 1.228             | 292,97               | 293                 | 1           | 1            |
| 4                     | 10               | 1,227            | 1.228             | 209.3                | 209.3               | 1           | 1            |
| 5                     | 10               | 1,227            | 1.228             | 2519,9               | 2519                | 1           | 1            |
| 6                     | 30               | 1,227            | 1.228             | 59                   | 58.79               | 0,4875      | 0.4903       |
| 7                     | 30               | 4,241            | 4.246             | 59                   | 58.79               | 0,4875      | 0.4903       |
| 8                     | 30               | 4,241            | 4.246             | 59                   | 58.79               | 0,4875      | 0.4903       |
| 9                     | 30               | 4,241            | 4.246             | 59                   | 58.79               | 0,4875      | 0.4903       |
| 10                    | 30               | 4,241            | 4.246             | 59                   | 58.79               | 0,4875      | 0.4903       |
| 11                    | 30               | 31,16            | 31.18             | 59                   | 58.79               | 0,4875      | 0.4903       |
| 12                    | 30               | 31,16            | 31.18             | 59                   | 58.8                | 0,4875      | 0.4903       |
| 13                    | 130              | 31,16            | 31.18             | 298                  | 302.2               | 0,6367      | 0.6381       |
| 14                    | 130              | 31,16            | 31.18             | 298                  | 302.2               | 0,6367      | 0.6381       |
| 15                    | 130              | 4,241            | 4.246             | 298                  | 302.2               | 0,6367      | 0.6381       |
| 16                    | 106              | 4,241            | 4.246             | 253                  | 258.4               | 0,6367      | 0.6381       |
| 17                    | 106              | 4,241            | 4.246             | 253                  | 258.4               | 0,6367      | 0.6381       |
| 18                    | 106              | 1,227            | 1.228             | 253                  | 258.4               | 0,6367      | 0.6381       |
| 19                    | 82.5             | 4,241            | 4.246             | 208                  | 214.5               | 0,6367      | 0.6381       |
| 20                    | 82.5             | 4,241            | 4.246             | 2648,475             | 2653                | 1           | 1            |
| 21                    | 30               | 4,241            | 4.246             | 125.66               | 125.7               | 1           | 1            |
| 22                    | 10               | 1,227            | 1.228             | 125.66               | 125.7               | 1           | 1            |
| q <sub>y.s.kay</sub>  | 1731,4565 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>y.s.kay</sub> | 1745 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>d.s.kay</sub>  | 1538,129 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>d.s.kay</sub> | 1555 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>y.s.yoğ</sub>  | -1224,065 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>y.s.yoğ</sub> | -1225 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>d.s.yoğ</sub>  | -1261,4075 kJ/kg |                  |                   | q <sub>d.s.yoğ</sub> | -1264 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh</sub>      | 2310 kJ/kg       |                  |                   | q <sub>buh</sub>     | 2310 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs</sub>      | -3094,698 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>abs</sub>     | -3122 kJ/kg         |             |              |
| STK                   | 1,09             |                  |                   | STK                  | 1.1                 |             |              |



Şekil 3.22. Basınç-Entalpi diyagramı



Şekil 3.23. Basınç-Sıcaklık diyagramı

Çizelge 3.6. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu soğutma sistemi

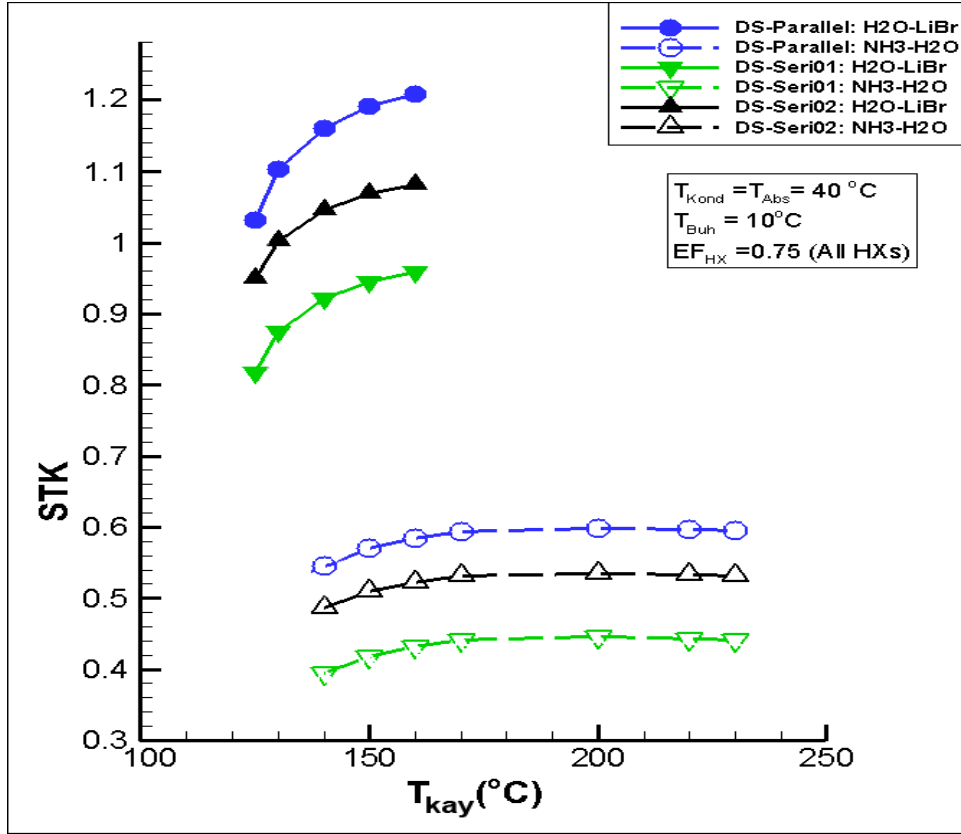
| NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O | T(°C)         | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik   | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                                 | 130           | 3311.5           | 3312              | 1676                 | 1695                | 1           | 1            |
| 2                                 | 70            | 3311.5           | 3312              | 526.3                | 545                 | 1           | 1            |
| 3                                 | 70            | 614.95           | 615.3             | 526.3                | 545                 | 1           | 1            |
| 4                                 | 10            | 614.95           | 615.3             | 423                  | 443.4               | 1           | 1            |
| 5                                 | 10            | 614.95           | 615.3             | 1453.3               | 1472                | 1           | 1            |
| 6                                 | 30            | 614.95           | 615.3             | -83                  | -85.39              | 0.6234      | 0.6234       |
| 7                                 | 30            | 1166.49          | 1167              | -83                  | -85.39              | 0.6234      | 0.6234       |
| 8                                 | 30.06         | 1166.49          | 1167              | -83                  | -84.7               | 0.6234      | 0.6234       |
| 9                                 | 30.06         | 1166.49          | 1167              | -83                  | -84.7               | 0.6234      | 0.6234       |
| 10                                | 30.06         | 1166.49          | 1167              | -83                  | -84.7               | 0.6234      | 0.6234       |
| 11                                | 30.06         | 3311.5           | 3312              | -83                  | -84.7               | 0.6234      | 0.6234       |
| 12                                | 30.16         | 3311.5           | 3312              | -83                  | -82.54              | 0.6234      | 0.6234       |
| 13                                | 130           | 3311.5           | 3312              | 345                  | 364.5               | 0.448       | 0.448        |
| 14                                | 129.4         | 3311.5           | 3312              | 345                  | 361.4               | 0.448       | 0.448        |
| 15                                | 93.8          | 1166.49          | 1167              | 345                  | 361.4               | 0.448       | 0.448        |
| 16                                | 86.22         | 1166.49          | 1167              | 230.8                | 240.1               | 0.448       | 0.448        |
| 17                                | 86.16         | 1166.49          | 1167              | 230.8                | 239.1               | 0.448       | 0.448        |
| 18                                | 68.14         | 614.95           | 615.3             | 230.8                | 239.1               | 0.448       | 0.448        |
| 19                                | 79.2          | 1166.49          | 1167              | 116.6                | 118.9               | 0.448       | 0.448        |
| 20                                | 79.2          | 1166.49          | 1167              | 1606                 | 1625                | 1           | 1            |
| 21                                | 30            | 1166.49          | 1167              | 322.9                | 341.8               | 1           | 1            |
| 22                                | 10            | 614.95           | 615.3             | 322.9                | 341.8               | 1           | 1            |
| q <sub>y.s.kay</sub>              | 1338.8 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>y.s.kay</sub> | 1368 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>d.s.kay</sub>              | 1093 kJ/kg    |                  |                   | q <sub>d.s.kay</sub> | 1073 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>y.s.yoğ</sub>              | -575 kJ/kg    |                  |                   | q <sub>y.s.yoğ</sub> | 574.8 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>d.s.yoğ</sub>              | -641.55 kJ/kg |                  |                   | q <sub>d.s.yoğ</sub> | -641.7 kJ/kg        |             |              |
| q <sub>buh</sub>                  | 1030 kJ/kg    |                  |                   | q <sub>buh</sub>     | 1029 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs</sub>                  | -2208 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>abs</sub>     | -2254 kJ/kg         |             |              |
| STK                               | 0.55          |                  |                   | STK                  | 0.551               |             |              |

Çizelge 3.7. Çift kademeli seri absorbsiyonlu soğutma sistemleri,sol trafta

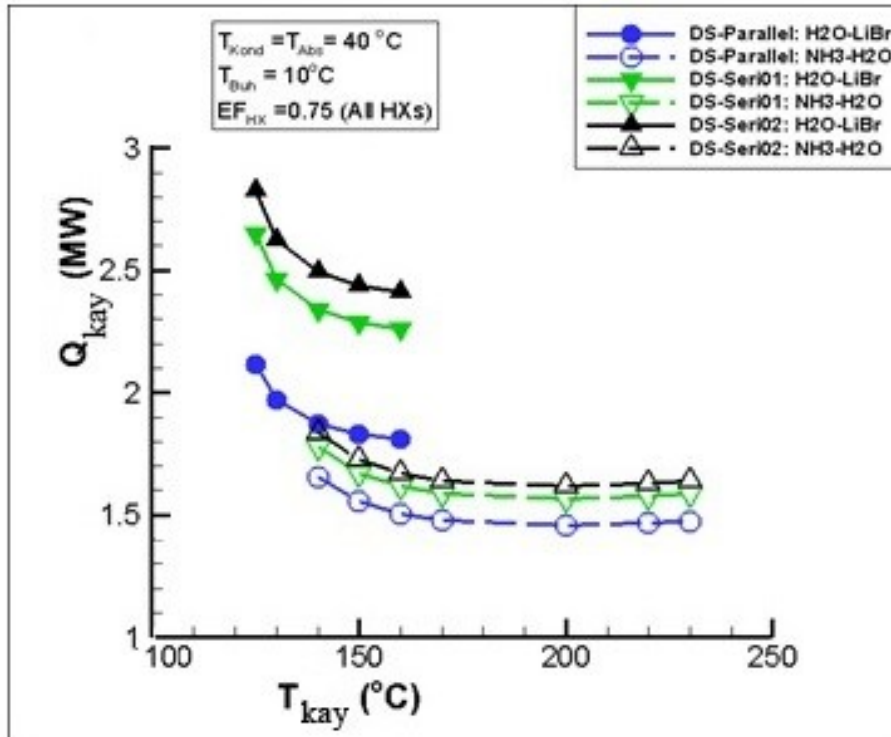
| LiBr-<br>H <sub>2</sub> O | T(°C) | P(kpa)        | h(kj/kg) | h(kj/kg) | x     | x            | T(°C) | P(kpa)               | P(kpa) | h(kj/kg)       | x     | X Teorik     | x     |
|---------------------------|-------|---------------|----------|----------|-------|--------------|-------|----------------------|--------|----------------|-------|--------------|-------|
| 1                         | 130   | 31.16         | 31.18    | 2741.1   | 2742  | 1            | 130   | 70.11                | 70.12  | 2739.23        | 1     | 1            | 1     |
| 2                         | 70    | 31.16         | 31.18    | 292.97   | 293   | 1            | 90    | 70.11                | 70.12  | 376.94         | 1     | 1            | 1     |
| 3                         | 10    | 1.227         | 1.228    | 292.97   | 293   | 1            | 10    | 1.227                | 1.228  | 376.94         | 1     | 1            | 1     |
| 4                         | 10    | 1.227         | 1.228    | 175.32   | 176.4 | 1            | 10    | 1.227                | 1.228  | 217.18         | 1     | 1            | 1     |
| 5                         | 10    | 1.227         | 1.228    | 2519.9   | 2519  | 1            | 10    | 1.227                | 1.228  | 2519.9         | 1     | 1            | 1     |
| 6                         | 30    | 1.227         | 1.228    | 59       | 58.79 | 0.49         | 30    | 1.227                | 1.228  | 59             | 0.49  | 0.490        | 0.490 |
| 7                         | 30    | 4.241         | 4.246    | 59       | 58.79 | 0.49         | 30    | 70.11                | 70.12  | 59             | 0.49  | 0.490        | 0.490 |
| 8                         | 30    | 4.241         | 4.246    | 59       | 58.8  | 0.49         | 30.06 | 70.11                | 70.12  | 59             | 0.49  | 0.490        | 0.490 |
| 9                         | 70    | 4.241         | 4.246    | 165      | 167.1 | 0.584        | 30.16 | 70.11                | 70.12  | 59             | 0.584 | 0.490        | 0.490 |
| 10                        | 70    | 31.16         | 31.18    | 165      | 167.1 | 0.584        | 130   | 70.11                | 70.12  | 280            | 0.584 | 0.543        | 0.543 |
| 11                        | 70    | 31.16         | 31.18    | 165      | 167.1 | 0.584        | 129.9 | 70.11                | 70.12  | 280            | 0.584 | 0.543        | 0.543 |
| 12                        | 130   | 31.16         | 31.18    | 298      | 302.2 | 0.638        | 129.9 | 4.241                | 4.246  | 280            | 0.638 | 0.543        | 0.543 |
| 13                        | 130   | 31.16         | 31.18    | 298      | 302.2 | 0.638        | 90    | 4.241                | 4.246  | 246.5          | 0.638 | 0.671        | 0.671 |
| 14                        | 130   | 31.16         | 31.18    | 298      | 302.2 | 0.638        | 89.9  | 4.241                | 4.246  | 246.5          | 0.638 | 0.671        | 0.671 |
| 15                        | 130   | 1.227         | 1.228    | 298      | 302.2 | 0.638        | 89.9  | 1.227                | 1.228  | 246.5          | 0.638 | 0.671        | 0.671 |
| 16                        | 70    | 4.241         | 4.246    | 2630     | 2631  | 1            | 90    | 4.241                | 4.246  | 2663.1         | 1     | 1            | 1     |
| 17                        | 30    | 4.241         | 4.246    | 125.66   | 125.7 | 1            | 30    | 4.241                | 4.246  | 125.66         | 1     | 1            | 1     |
| 18                        | 10    | 1.227         | 1.228    | 125.66   | 125.7 | 1            | 10    | 1.227                | 1.228  | 125.66         | 1     | 1            | 1     |
| q <sub>s,soğ</sub>        |       | 1222 kj/kg    |          |          |       | 1229 kj/kg   |       | q <sub>s,kay</sub>   |        | 1712.5 kj/kg   |       | 1714 kj/kg   |       |
| q <sub>s,kay</sub>        |       | 2175.35 kj/kg |          |          |       | 2184 kj/kg   |       | q <sub>d,s,kay</sub> |        | 1425 kj/kg     |       | 1429 kj/kg   |       |
| q <sub>s,yoğ</sub>        |       | -742.03 kj/kg |          |          |       | -742.5 kj/kg |       | q <sub>s,yoğ</sub>   |        | -860.4 kj/kg   |       | -862.1 kj/kg |       |
| q <sub>s,yoğ</sub>        |       | -1745.3 kj/kg |          |          |       | -1746 kj/kg  |       | q <sub>d,s,yoğ</sub> |        | -1613.25 kj/kg |       | -1615 kj/kg  |       |
| q <sub>h</sub>            |       | 2343 kj/kg    |          |          |       | 2342 kj/kg   |       | q <sub>h</sub>       |        | 2302.7 kj/kg   |       | 2302 kj/kg   |       |
| q <sub>abs</sub>          |       | -3253.5 kj/kg |          |          |       | -3267 kj/kg  |       | q <sub>abs</sub>     |        | -2966.2 kj/kg  |       | -2968 kj/kg  |       |
| STK                       |       | 0.88          |          |          |       | 0.877        |       | STK                  |        | 1.01           |       | 1.009        |       |

Çizelge 3.8. Çift kademeli seri absorbsiyonlu soğutma sistemleri, sol trafta seri 1 sağ trafta  
Seri 2

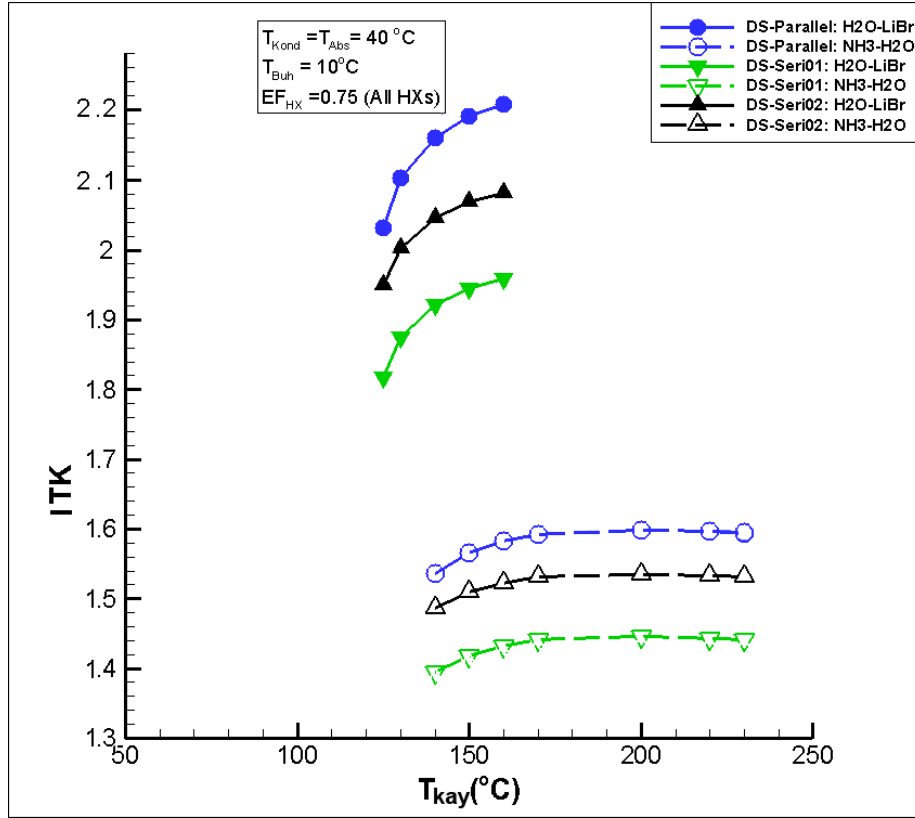
| NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O | T(°C) | P(kpa)        | P(kpa) | h(kj/kg) | h(kj/kg) | X            | X      | T(°C) | P(kpa)                   | P(kpa) | h(kj/kg)      | h(kj/kg) | X Teorik     | X program |
|-----------------------------------|-------|---------------|--------|----------|----------|--------------|--------|-------|--------------------------|--------|---------------|----------|--------------|-----------|
| 1                                 | 140   | 4141          | 4141   | 1682     | 1701     | 1            | 1      | 140   | 5116                     | 5116   | 1654          | 1673     | 1            | 1         |
| 2                                 | 80    | 4141          | 4141   | 581      | 600.3    | 1            | 1      | 90    | 5116                     | 5116   | 639.1         | 658.6    | 1            | 1         |
| 3                                 | 10    | 615.3         | 615.3  | 581      | 600.3    | 1            | 1      | 10    | 615.3                    | 615.3  | 639.1         | 658.6    | 1            | 1         |
| 4                                 | 10    | 615.3         | 615.3  | 486.3    | 505      | 1            | 1      | 10    | 615.3                    | 615.3  | 481           | 501.4    | 1            | 1         |
| 5                                 | 10    | 615.3         | 615.3  | 1453.3   | 1472     | 1            | 1      | 10    | 615.3                    | 615.3  | 1453.3        | 1472     | 1            | 1         |
| 6                                 | 40    | 615.3         | 615.3  | -55.2    | -57.15   | 0.5439       | 0.5439 | 30    | 615.3                    | 615.3  | -83           | -85.39   | 0.6234       | 0.6234    |
| 7                                 | 40    | 1555          | 1555   | -55.2    | -57.15   | 0.5439       | 0.5439 | 30    | 5116                     | 5116   | -83           | -85.39   | 0.6234       | 0.6234    |
| 8                                 | 40.1  | 1555          | 1555   | -55.2    | -55.97   | 0.5439       | 0.5439 | 30    | 5116                     | 5116   | -83           | -81.82   | 0.6234       | 0.6234    |
| 9                                 | 40.1  | 1555          | 1555   | -55.2    | -55.97   | 0.5439       | 0.5439 | 30    | 5116                     | 5116   | -83           | -81.82   | 0.6234       | 0.6234    |
| 10                                | 80    | 1555          | 1555   | 105      | 124.1    | 0.5439       | 0.5439 | 30    | 5116                     | 5116   | -83           | -81.82   | 0.6234       | 0.6234    |
| 11                                | 80    | 4141          | 4141   | 105      | 124.1    | 0.5439       | 0.5439 | 30    | 5116                     | 5116   | -83           | -81.82   | 0.6234       | 0.6234    |
| 12                                | 80.06 | 4141          | 4141   | 105      | 125.7    | 0.5439       | 0.5439 | 30    | 5116                     | 5116   | -83           | -81.82   | 0.6234       | 0.6234    |
| 13                                | 140   | 4141          | 4141   | 395      | 417.5    | 0.4662       | 0.4662 | 140   | 5116                     | 5116   | 411           | 430.7    | 0.5343       | 0.5343    |
| 14                                | 139.7 | 4141          | 4141   | 395      | 415.8    | 0.4662       | 0.4662 | 140   | 5116                     | 5116   | 411           | 430.7    | 0.5343       | 0.5343    |
| 15                                | 139.7 | 4141          | 4141   | 395      | 415.8    | 0.4662       | 0.4662 | 85.35 | 1167                     | 1167   | 411           | 430.7    | 0.5343       | 0.5343    |
| 16                                | 139.7 | 4141          | 4141   | 395      | 415.8    | 0.4662       | 0.4662 | 90    | 1167                     | 1167   | 173           | 175.1    | 0.393        | 0.393     |
| 17                                | 139.4 | 4141          | 4141   | 395      | 414.4    | 0.4662       | 0.4662 | 88.75 | 1167                     | 1167   | 173           | 169.3    | 0.393        | 0.393     |
| 18                                | 76.73 | 615.3         | 615.3  | 395      | 414.4    | 0.4662       | 0.4662 | 71.51 | 615.3                    | 615.3  | 173           | 169.3    | 0.393        | 0.393     |
| 19                                | 80    | 1555          | 1555   | 1592     | 1612     | 1            | 1      | 90    | 1167                     | 1167   | 1676.88       | 1697     | 1            | 1         |
| 20                                | 40    | 1555          | 1555   | 371.7    | 390.6    | 1            | 1      | 30    | 1167                     | 1167   | 322.9         | 341.8    | 1            | 1         |
| 21                                | 10    | 615.3         | 615.3  | 371.7    | 390.6    | 1            | 1      | 10    | 615.3                    | 615.3  | 322.9         | 341.8    | 1            | 1         |
| Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub>          |       | 2564 kj/kg    |        |          |          | 2574 kj/kg   |        |       | Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub> |        | 1937 kj/kg    |          | 1976 kj/kg   |           |
| Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub>          |       | 1777 kj/kg    |        |          |          | 1915 kj/kg   |        |       | Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub> |        | 239 kj/kg     |          | 267.7 kj/kg  |           |
| Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub>          |       | -600.37 kj/kg |        |          |          | -600.4 kj/kg |        |       | Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub> |        | -511.25 kj/kg |          | -511.3 kj/kg |           |
| Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub>          |       | -554.87 kj/kg |        |          |          | -555.2 kj/kg |        |       | Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub> |        | -671.57 kj/kg |          | -672.1 kj/kg |           |
| Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub>          |       | 967 kj/kg     |        |          |          | 967.1 kj/kg  |        |       | Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub> |        | 972.3 kj/kg   |          | 970.7 kj/kg  |           |
| Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub>          |       | -4155 kj/kg   |        |          |          | -4300 kj/kg  |        |       | Q <sub>1-2-3-4-5-6</sub> |        | -1973 kj/kg   |          | -1974 kj/kg  |           |
| STK                               |       | 0.25          |        |          |          | 0.248        |        |       | STK                      |        | 0.58          |          | 0.57         |           |



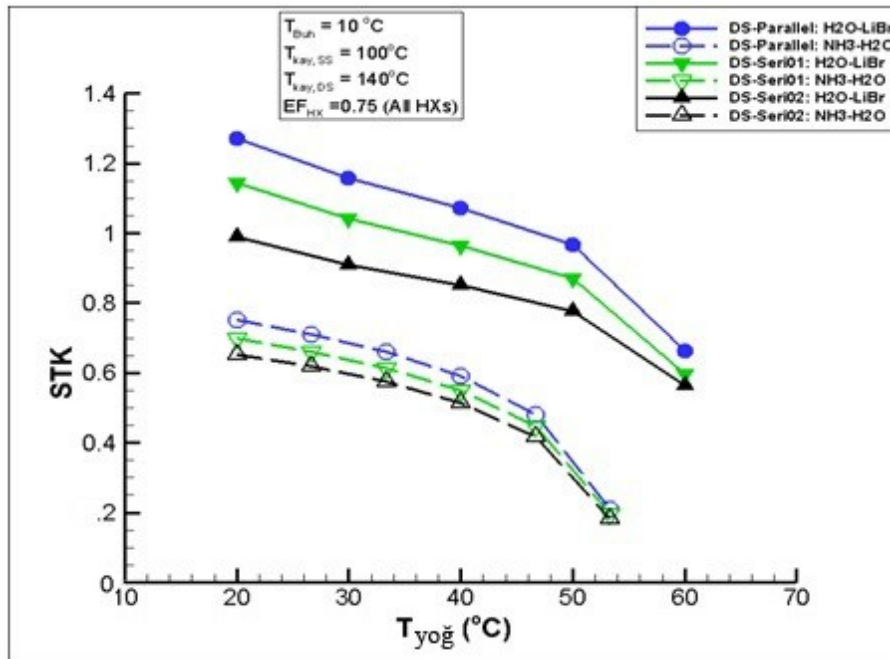
Şekil 3.24. Çift kademeli (DS) sistemlerin kaynatıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması



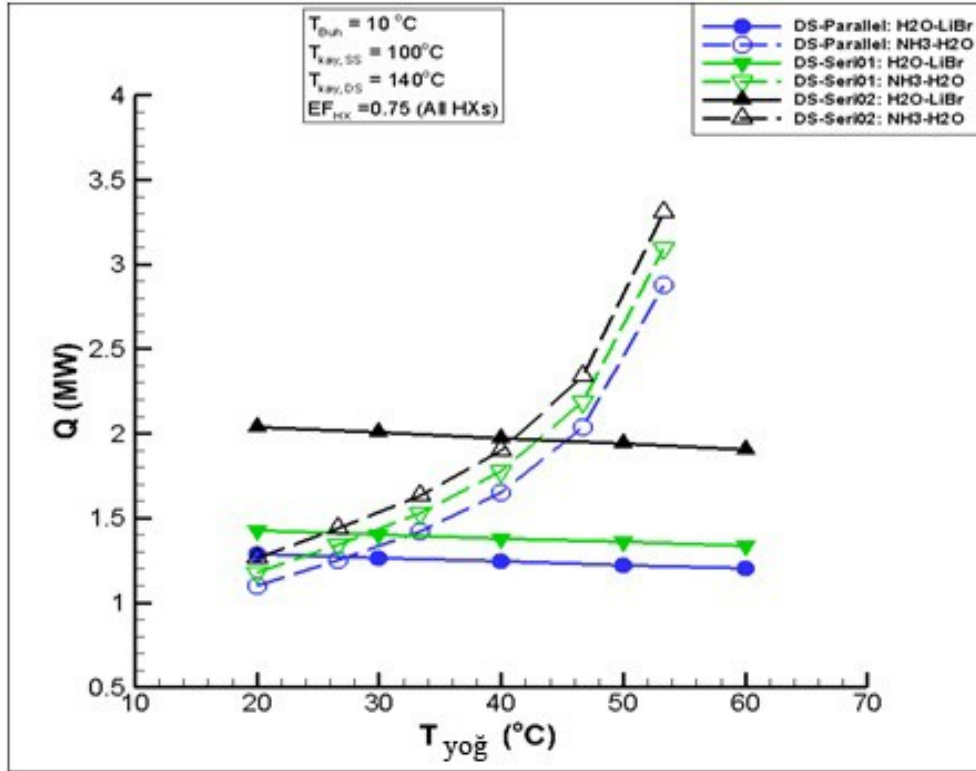
Şekil 3.25. Çift kademeli sistemlerin kaynatıcı sıcaklığı ve  $Q$  karşılaştırması



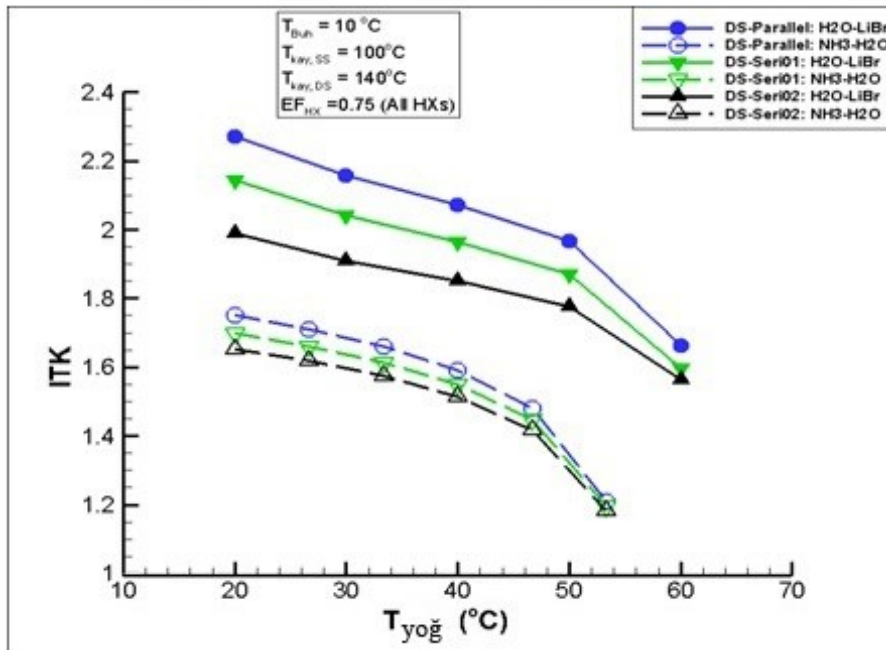
Şekil 3.26. Çift kademeli sistemlerin kaynatıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



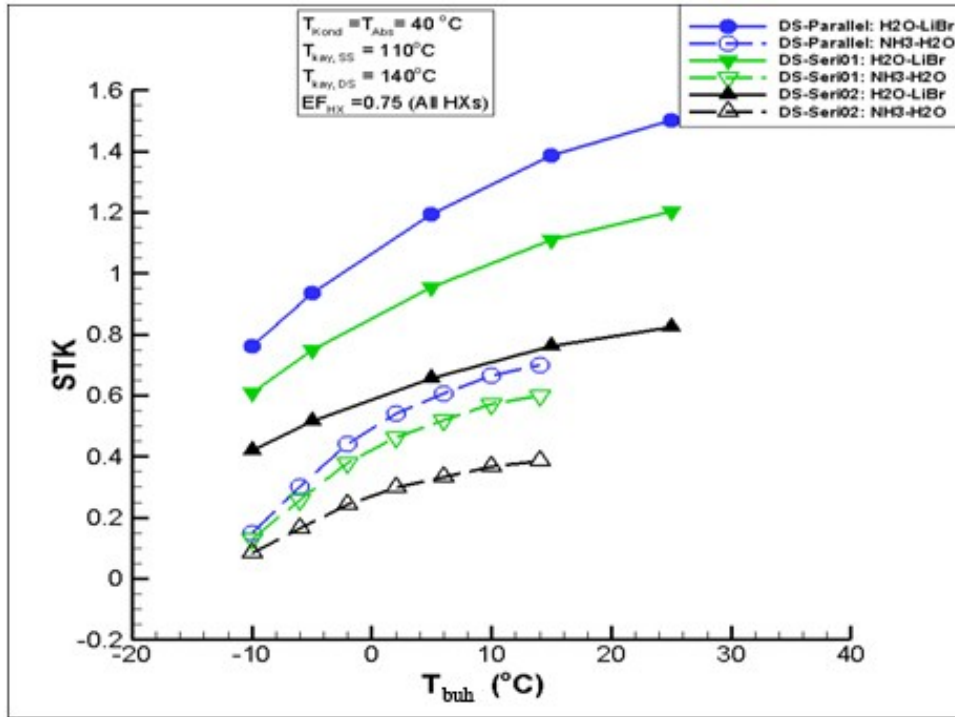
Şekil 3.27. Çift kademeli sistemlerin yoğuşturucu sıcaklığı ve STK karşılaştırması



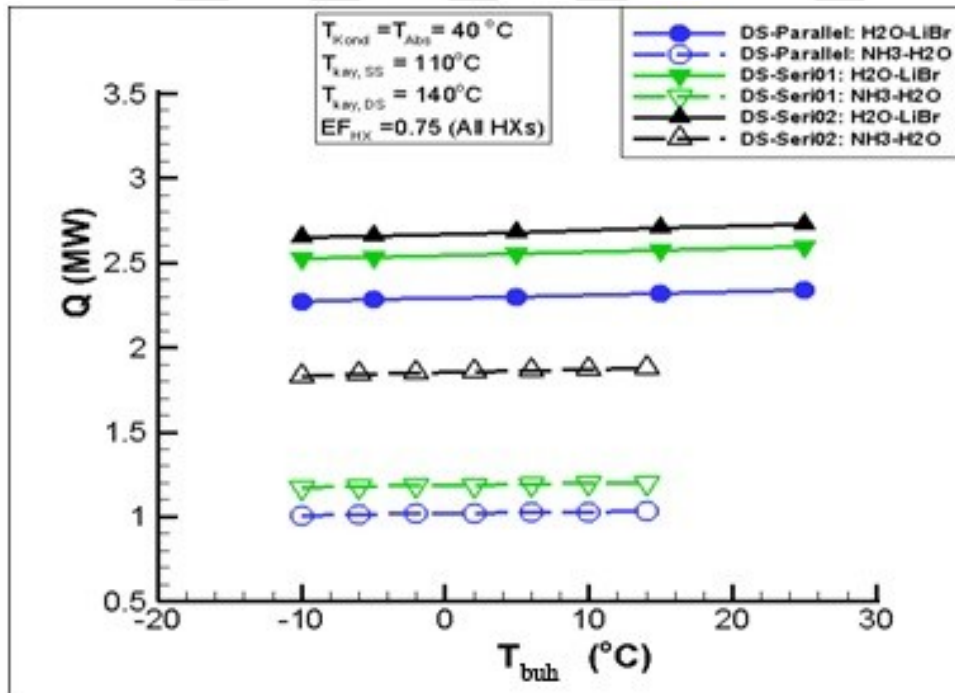
Şekil 3.28. Çift kademeli sistemlerin yoğuşturucu sıcaklığı ve  $Q$  karşılaştırması



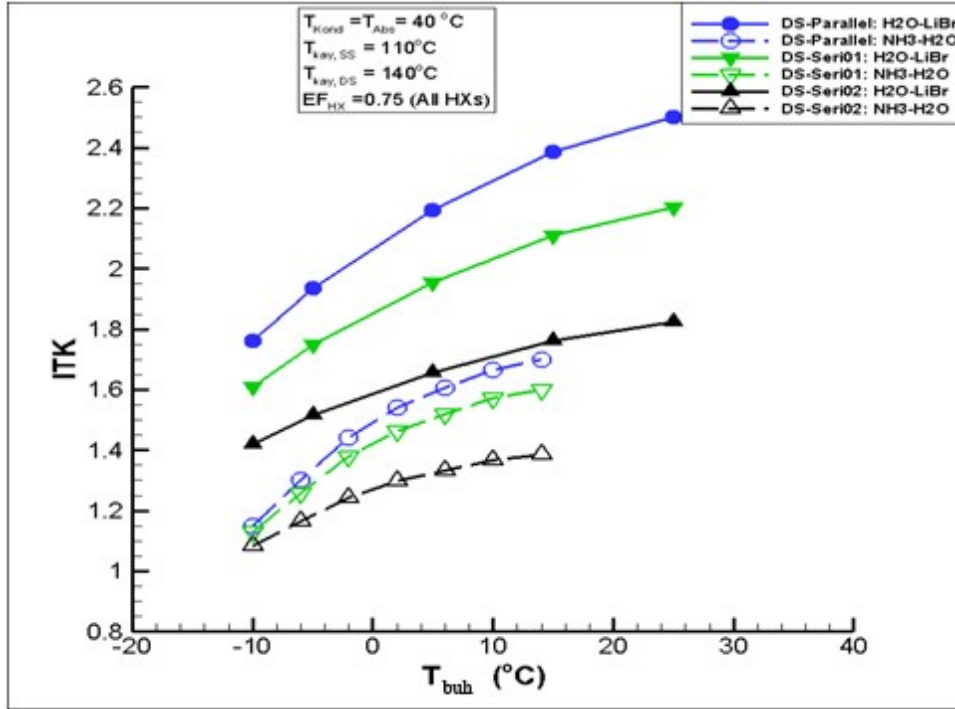
Şekil 3.29. Çift kademeli sistemlerin yoğuşturucu sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



Şekil 3.30. Çift kademeli sistemlerin buharlaştırıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması



Şekil 3.31. Çift kademeli sistemlerin buharlaştırıcı sıcaklığı ve  $Q$  karşılaştırması



Şekil 3.32. Çift kademeli sistemlerin bularlaştırıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması

Çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde yukarıdaki grafiklerde görüldüğü gibi tek kademelilere göre yüksek sıcaklıklara çıkabilir. bu sistemlerde H<sub>2</sub>O-LiBr eriyiği, NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O eriyiğine göre daha verimlidir. 3 tane farklı çift kademeli sistem araştırıldı ve sonuçlara göre paralel sistemin verimi hepsinden yüksek oldu. Şekil 3.24'ye göre H<sub>2</sub>O-LiBr eriyiğin çift kademeli sistemde 160 C dan sonra kristalizasyon tehlikesi var ama amonyak-Su eriyiği daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilir.

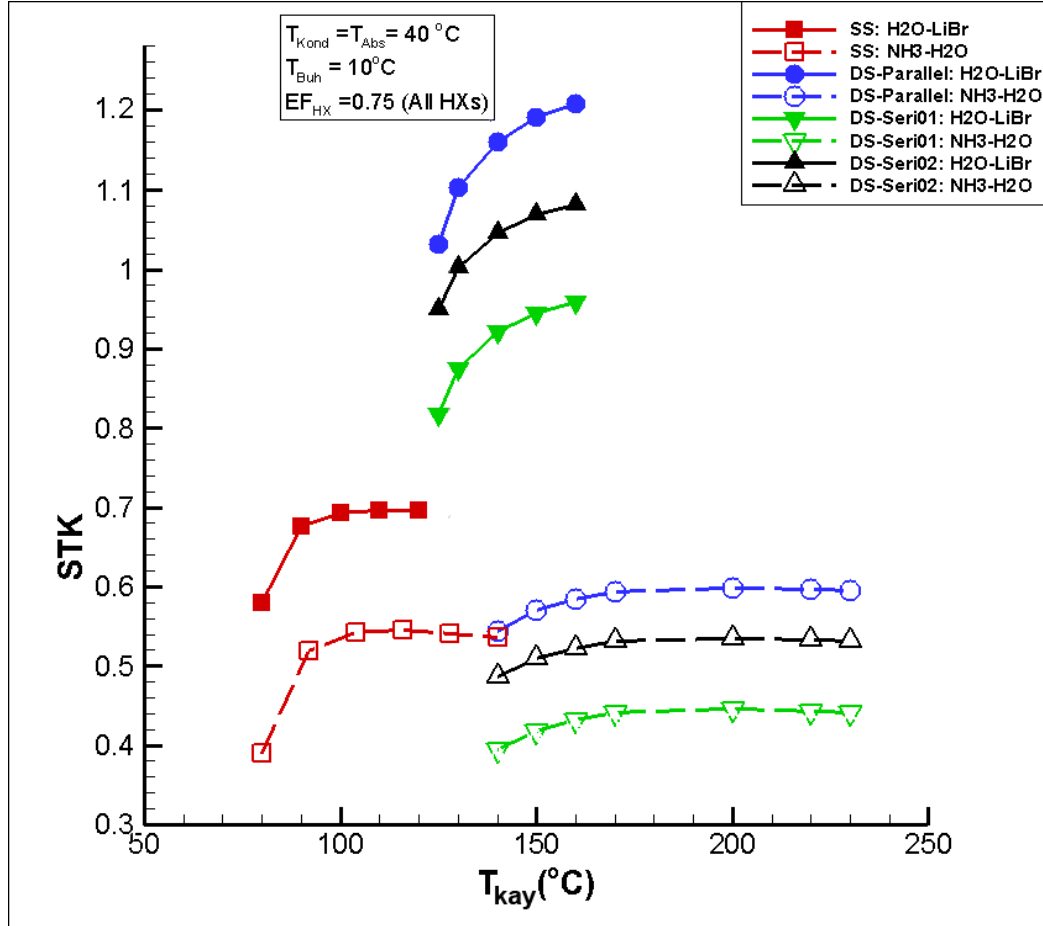
### 3.1.5. Tek ve çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin STK karşılaştırması

Şekil 3.7 de tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi eriyik eşanjörle beraber, çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemile karşılaştırılmıştır. (Şekil 3.33)

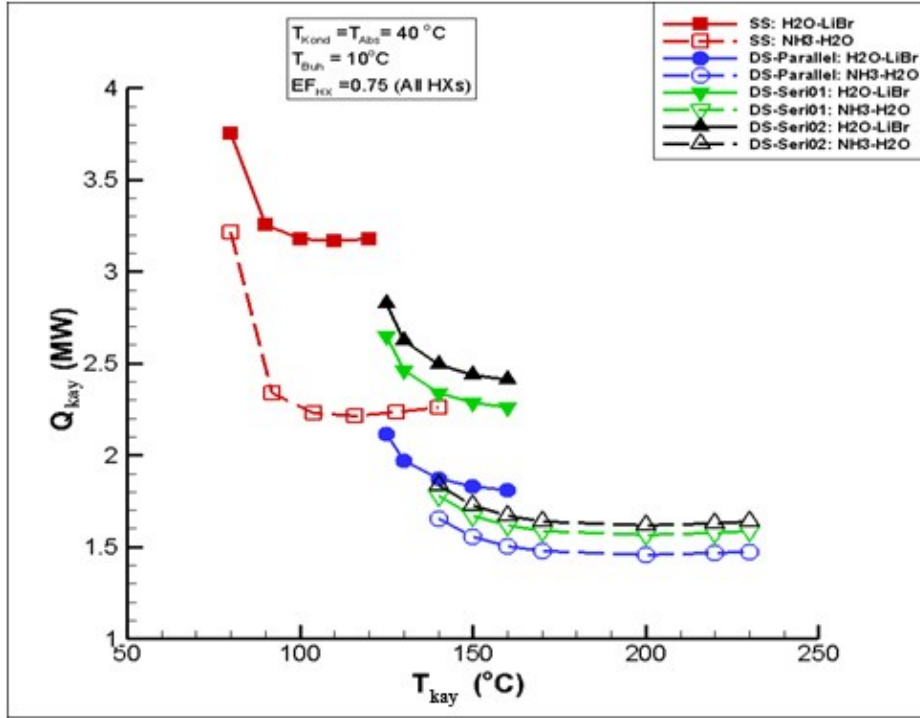
Bu şekilde görüldüğü gibi çevrimin çift kademeli olması ile soğutma tesir katsayısı artmıştır.

- Buna ilaveten çalışma termal limiti de yükselmiştir. Bu şekilde olan noktalar aşağıdaki gibidir:

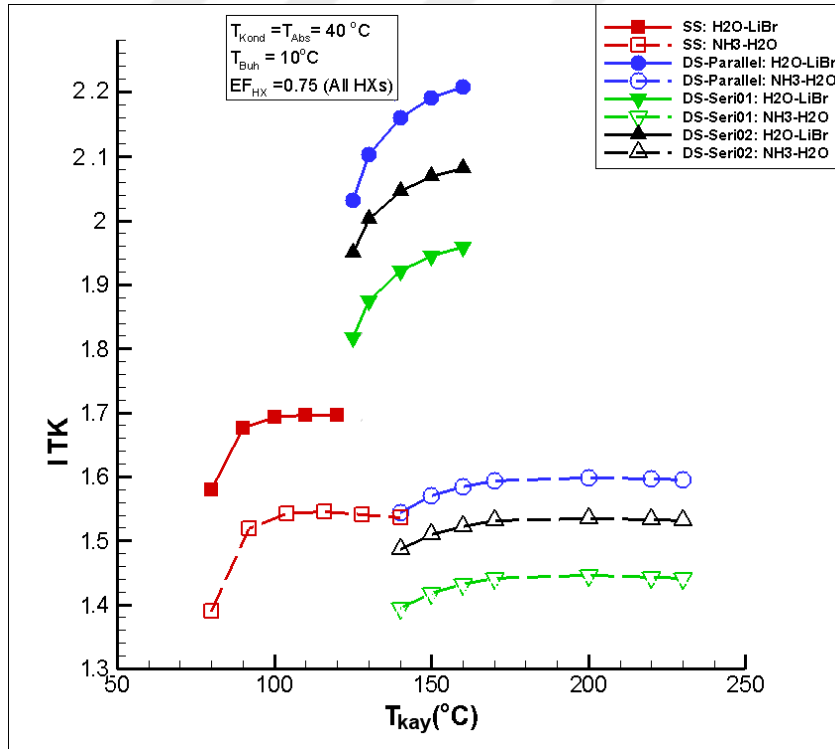
- Su-LiBr eriyiği konusunda STK artışı yaklaşık 0.35 olur ki bu değer çok iyidir. Ayrıca sistemin çift kademeli olması ile termal limiti yaklaşık 45°C artıyor.
- Amonyak-Su eriyiği konusunda STK artışı yaklaşık 0.2 olur ki bu değer Su-LiBr eriyiğın karşısında azdır ama yine iyi bir ilerleme sayılır. Ayrıca sistemin çift kademeli olması ile yaklaşık 60°C artıyor.



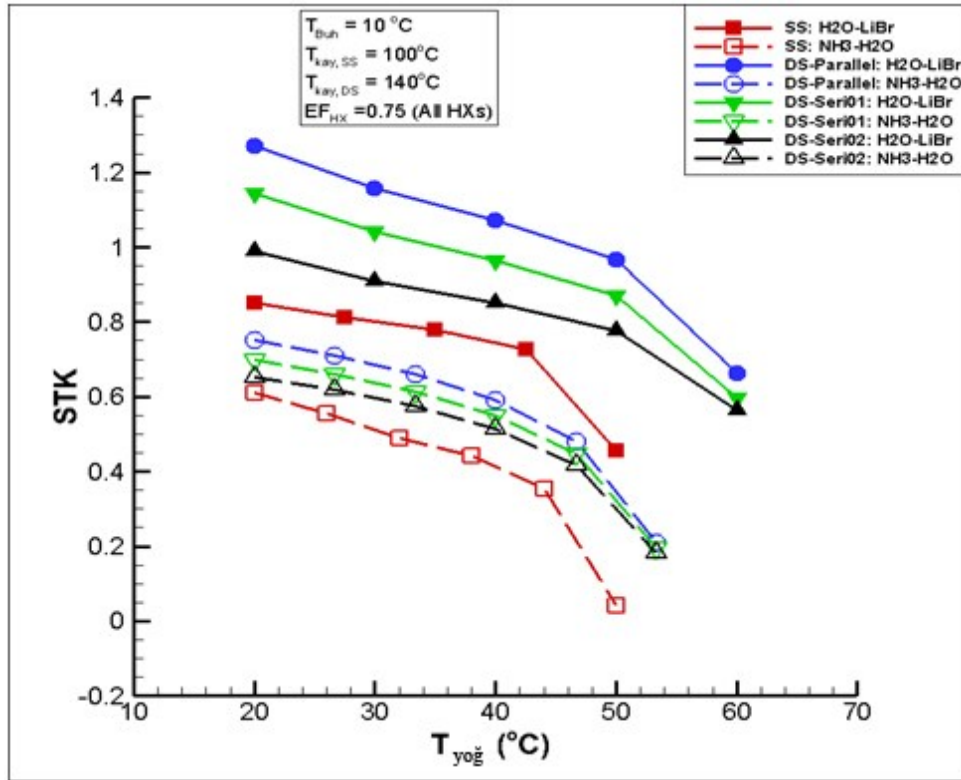
Şekil 3.33. Tek ve çift kademeli sistemin kaynatıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması



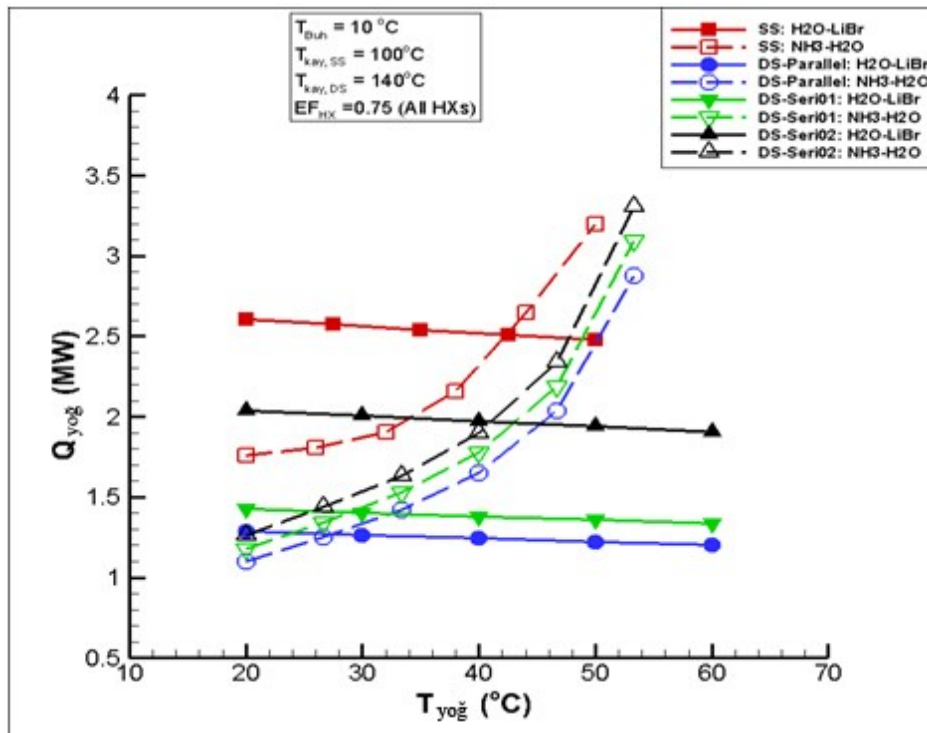
Şekil 3.34. Tek ve çift kademeli sistemin kaynatıcı sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması



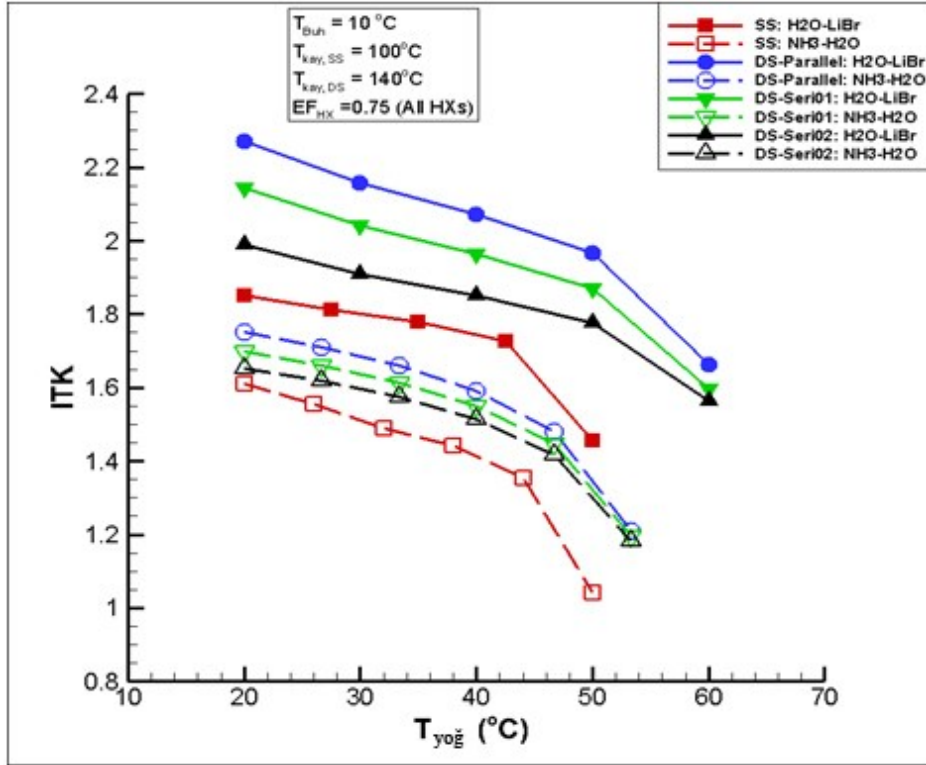
Şekil 3.35. Tek ve çift kademeli sistemin kaynatıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



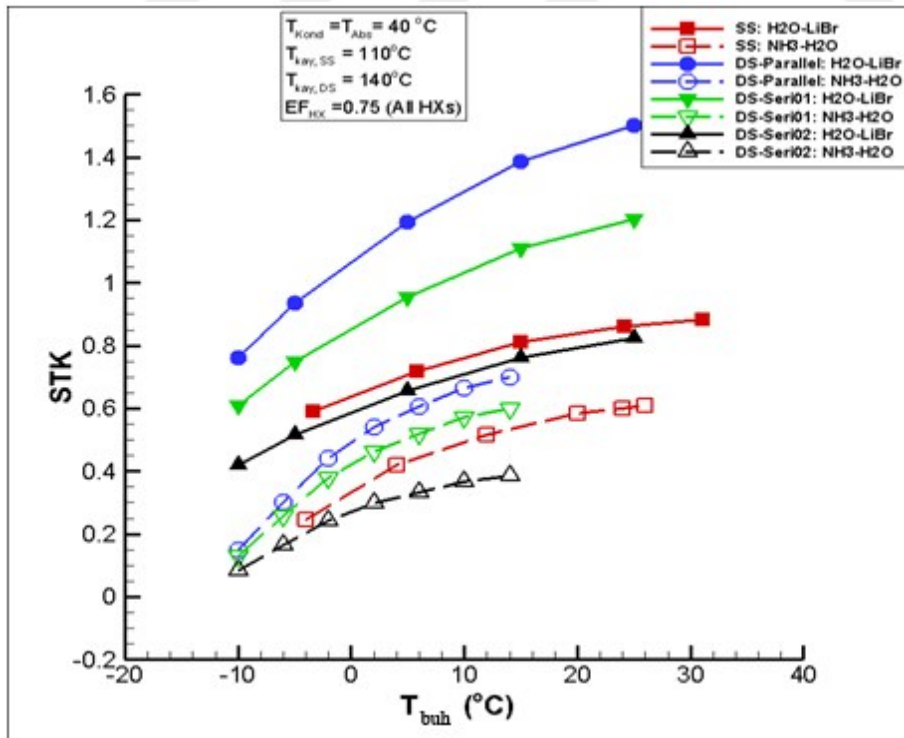
Şekil 3.36. Tek ve çift kademeli sistemin yoğuşturucu sıcaklığı ve STK karşılaştırması



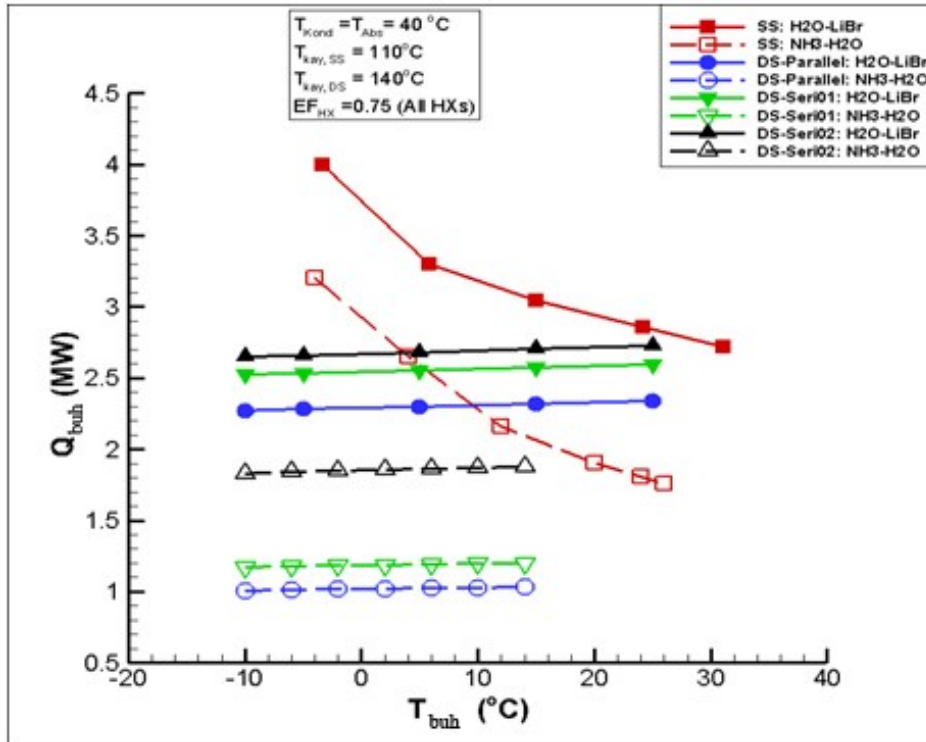
Şekil 3.37. Tek ve çift kademeli sistemin yoğuşturucu sıcaklığı ve Q karşılaştırması



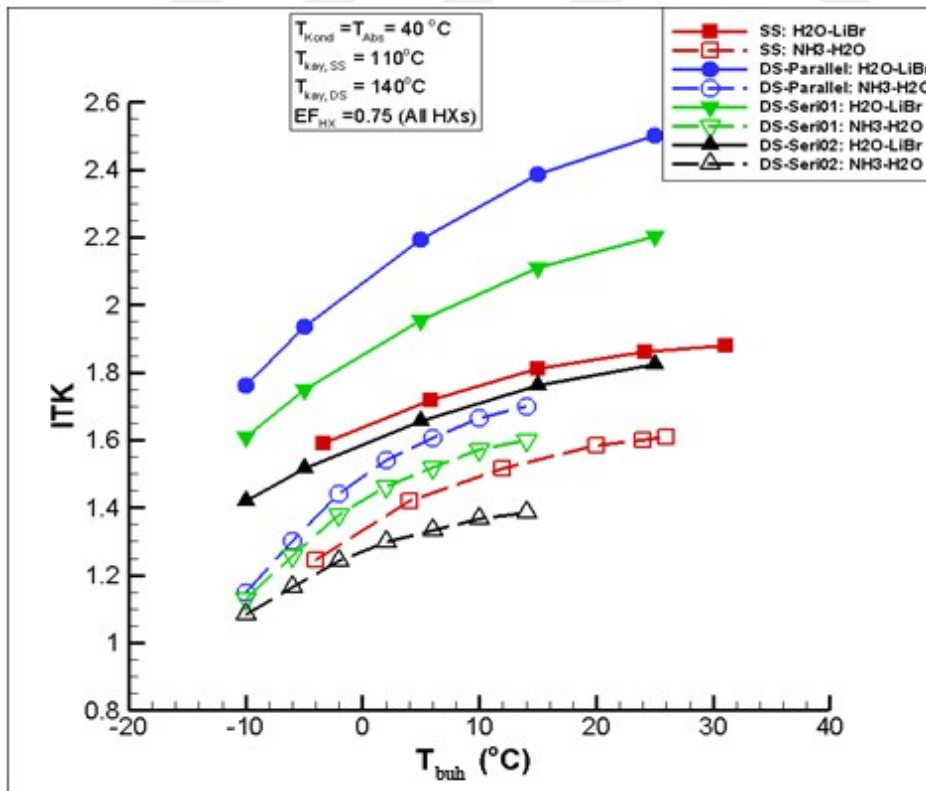
Şekil 3.38. Tek ve çift kademeli sistemin yoğuşturucu sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



Şekil 3.39. Tek ve çift kademeli sistemin buharlaştırıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması



Şekil 3.40. Tek ve çift kademeli sistemin buharlaştırıcı sıcaklığı ve Q karşılaştırması



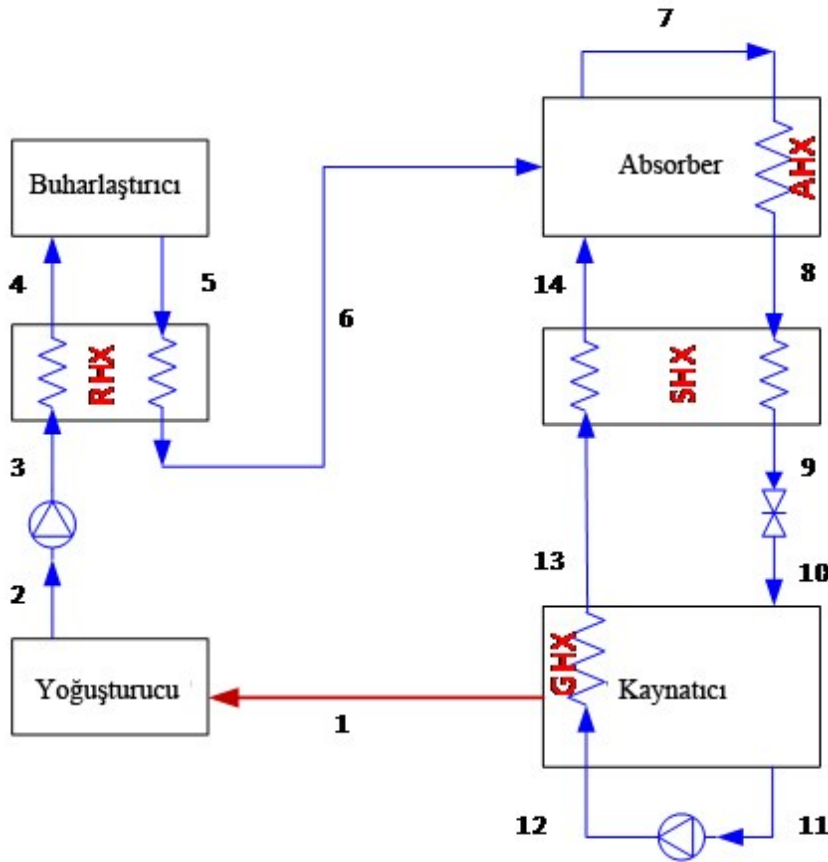
Şekil 3.41. Tek ve çift kademeli sistemin buharlaştırıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması

## 4. ABSORBSİYONLU ISI YÜKSELTİCİLERİ

Bu bölümde tek ve çift kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticileri incelenecektir ve onlara hakim olan denklemler yazılacaktır. Sonunda farklı çevrimlerin ısıtma tesir katsayıları karşılaştırılacaktır.

### 4.1. Tek Kademeli Isı Yükselticisi

Bu bölüm de şekil 4.1 de gösterilen absorbsiyonlu ısı yükselticisi incelenecektir. Bölüm 3.1 deki bu çevrimde farklı çevrimlere dönüşebilir.



Şekil 4.1. Tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticisi

#### 4.1.1. Teori

Bu bölümde şekil 4-1 olan çevrimin termodinamik denklemleri yazılmıştır. Diğer çevrimlerdedenklemler aynıdır.

##### Çevrimin çalışma basıncının belirlenmesi

Çevrimin düşük basıncı yoğuşturucunun çıkış noktasından (nokta 2) çıkan akışkanın özellikleri ile belirleniyor. Bu nokta için :

1. Yoğuşturucudan çıkan soğutucu doymuş sıvı olması kabul edilir.
2. Yoğuşturucudan çıkan soğutucu belirli bir sıcaklığı var örnek olarak 40°C
3. Bir tek soğutucu bu noktadan geçiyor ve konsantrasyon değeri sıfır alınır.

Bu nedenle akışkanın sıcaklığı , konsantrasyonu ve kalitesi belli olduğu zaman çevrimin düşük basıncı (  $P_{düş}$  ) elde edilir.

$$\begin{cases} T_2 = T_{yoğ} \\ X_2 = 0 \\ x_2 = 0 \end{cases} \quad (4-1)$$

$$P_2 = P(T_2, X_2, x_2) = P_{düş} \quad (4-2)$$

Çevrimin yüksek çalışma basıncı buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın ( nokta 5 ) özellikleri ile belirleniyor.

- 1- Bu noktada akışkan doymuş buhar halindedir.
- 2- Buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın belirli bir sıcaklığı var örnek olarak 80°C

Bu nedenle akışkanın sıcaklığı , konsantrasyonu ve kalitesi belli olduğu zaman çevrimin yüksek basıncı (  $P_{yük}$  ) elde edilir.

$$\begin{cases} T_5 = T_{buh} \\ X_5 = 0 \\ x_5 = 1 \end{cases} \quad (4-3)$$

$$P_5 = P(T_5, X_5, x_5) = P_{yük} \quad (4-4)$$

Çizelge 4.1. Tek kademeli absorpsiyonlu ısı yükselticisinde farklı noktaların basıncı

|           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| $P_{düş}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| $P_{yük}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |

#### Zengin ve fakir eriyikin konsantrasyon değerinin bulması

Zengin ve fakir eriyikin konsantrasyonu absorberden çıkan akımın ( nokta 7 ) ve kaynatıcıdan çıkan akımın ( nokta 11 ) durumuna göre belirlenebiliyor. Bu noktalarda, eriyiğin sıcaklığı, basıncı ve kalitesi belirlidir, bu nedenle konsantrasyonun belirtebiliriz.

$$\begin{cases} T_7 = T_{abs} \\ P_7 = P_{yük} \Rightarrow X_f = X(T_7, P_7, x_7) \\ x_7 = 0 \end{cases} \quad (4-5)$$

$$\begin{cases} T_{11} = T_{kay} \\ P_{11} = P_{düş} \Rightarrow X_z = x(T_{11}, P_{11}, x_{11}) \\ x_{11} = 0 \end{cases} \quad (4-6)$$

#### Kütle denkliği

Burada kütle denklemi her noktanın debi oranı soğutucu debisine yazılır . Kaynatıcı ve absorberde kütle korunumu yasasını yazarsak :

$$\begin{cases} f_f = f_z + 1 \\ f_z X_z = f_f X_f \end{cases} \quad (4-7)$$

Ki bunda  $f_z = m_z/m_r$  ,  $f_f = m_f/m_r$  sırası ile zengin ve fakir eriyiğin kütle debisinin oranı soğutucu kütle debisine yazılmıştır.

### Enerji dengesi

Enerji dengesi yoğuşturucuda ve buharlaştırıcıda aşağıdaki gibi olacaktır :

$$\text{Buharlaştırıcı} \quad q_{buh} = h_5 - h_4 \quad (4-8)$$

$$\text{Yoğuşturucu} \quad q_{yoğ} = h_2 - h_1 \quad (4-9)$$

Absorber ve kaynatıcıda da enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılır :

$$\text{Absorber} \quad q_{abs} = (f_f h_7 + f_f h_8) - (f_f h_7 + f_z h_{14} + h_6) \quad (4-10)$$

$$\text{Kaynatıcı} \quad q_{kay} = f_z h_{12} + h_1 - f_f h_{10} \quad (4-11)$$

Antalpi değeri kısılma vanasında hiç değişmiyor ve sabit kalıyor.

$$0 = h_{10} - h_9 \quad (4-12)$$

Pompalarda enerji dengesi böyle yazılır :

$$-w_{Pump} = v\Delta P = f\Delta h \quad (4-13)$$

Isı eşanjörlerinde enerji korunumu dengesi:

$$\text{RHX} \quad 0 = (h_4 - h_3) + (h_6 - h_5) \quad (4-14)$$

$$\text{SHX} \quad 0 = (h_{14} - h_{13}) + (h_9 - h_8) \quad (4-15)$$

#### Farklı noktalarda özelliklerin belirlenmesi

$$\text{Water-LiBr:} \quad \begin{cases} X_7 = \dots = X_{10} = X_f \\ X_{11} = \dots = X_{14} = X_z \\ X_1 = \dots = X_6 = 0 \end{cases} \quad (4-16)$$

Akışkanın kalitesiyle ilgili bir kaç özel noktada şu ön görüler yapılmıştır :

$$x_7 = 0, \quad x_{11} = 0, \quad x_2 = 0, \quad x_5 = 1 \quad (4-17)$$

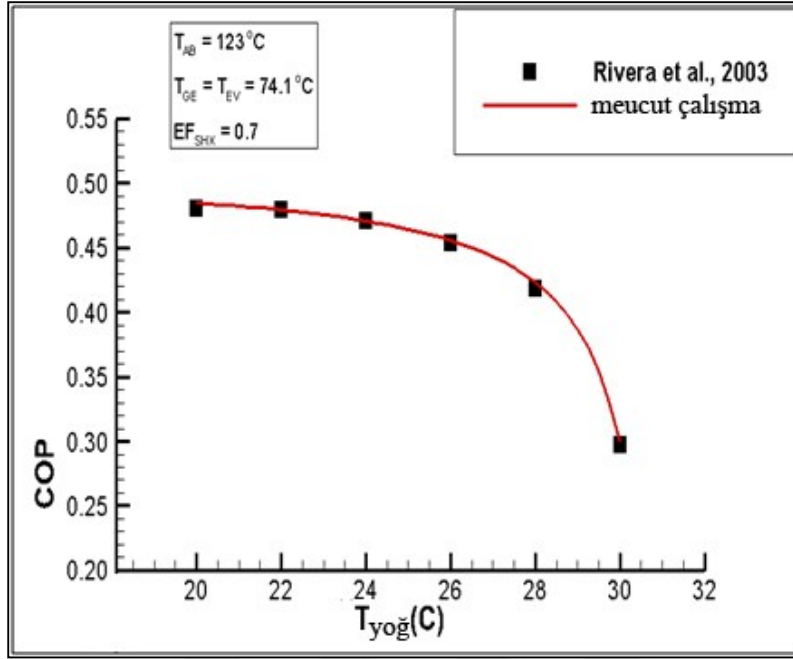
Isıtma tesir katsayısının bulması:

$$\text{ITK} = \frac{Q_{\text{abs}}}{Q_{\text{buh}} + Q_{\text{kay}}}$$

#### Tek kademeli AIY sisteminin paket programının doğrulama tesbiti ve grafikleri

Bölüm 4.1.1 denklemlerine göre, her akışkana paket programda kod yazılmıştır ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. Sonuçların doğru olmasını belirletmek için doğrulama kodu yazılmıştır. Kodun sonuçları, referans sonuçları ile W.Rivera ve diğerleri, 2003 [21] karşılaştırılmıştır ve karşılaştırma grafiği Şekil 4.2’de sunulmuştur. Ayrıca teorik olarak yapılan rakamsal sonuçlar paket programının sonuçlarıyla tablo halinde Çizelge 4.2 ve 4.3’de karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi sonuçlar birbirlerine oldukça yakındır. Bu durum hazırlanan bilgisayar programının, system analizini doğru bir şekilde yaptığının kanıtıdır. Alta çizilen tablolarda her parametreden iki sütun var, her parametrenin sağ

trafındaki sütünde teorik rakamlar ve sol tarafındaki sütünde paket programıyla bulunan rakamlar yazılmıştır. Bu bölümde tanımlanan tek kademeli absorpsiyonlu ısı yükselticisi sistemlerinin gereken grafikleri Şekil 4.5 ten 4.10'a kadar çizilmiş.



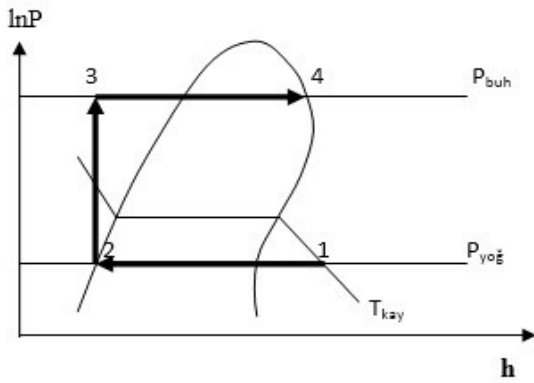
Şekil 4.2. AIY sisteminin ITK sı yoğuşturucu sıcaklığına göre [21]

Çizelge 4.2. Tek kademeli AIY sistemi ( sol tarafta teorik ve sağ tarafta paket program sonuçları)

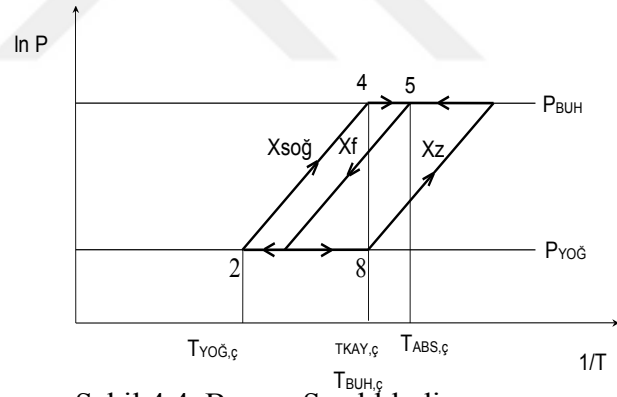
| LiBr-H <sub>2</sub> O | T(°C)           | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                     | 80              | 3,36             | 3.363             | 2643,6             | 2649.91             | 1           | 1            |
| 2                     | 26              | 3,36             | 3.363             | 108,95             | 108.94              | 1           | 1            |
| 3                     | 26              | 47,36            | 47.37             | 108,95             | 108.94              | 1           | 1            |
| 4                     | 80              | 47,36            | 47.37             | 2643,8             | 2643.07             | 1           | 1            |
| 5                     | 130             | 47,36            | 47.37             | 288                | 287.74              | 0,594       | 0.5934       |
| 6                     | 130             | 47,36            | 47.37             | 288                | 287.74              | 0,594       | 0.5934       |
| 7                     | 130             | 3,36             | 3.363             | 288                | 287.74              | 0,594       | 0.5934       |
| 8                     | 80              | 3,36             | 3.363             | 217                | 217.80              | 0,65        | 0.6507       |
| 9                     | 80              | 47,36            | 47.37             | 217                | 217.80              | 0,65        | 0.6507       |
| 10                    | 80              | 47,36            | 47.37             | 217                | 217.80              | 0,65        | 0.6507       |
| q <sub>kay</sub>      | 1602,503 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>kay</sub>   | 1638 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>yoğ</sub>      | -2534,65 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>yoğ</sub>   | -2541 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh</sub>      | 2534,85 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>buh</sub>   | 2534 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs</sub>      | -1602,703 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs</sub>   | -1638 kJ/kg         |             |              |
| ITK                   | 0,387           |                  |                   | ITK                | 0.39                |             |              |

Çizelge 4.3. Tek kademeli AIY sistemi (sol tarafta teorik ve sağ tarafta paket program ile yapılan rakamlar yazılmış)

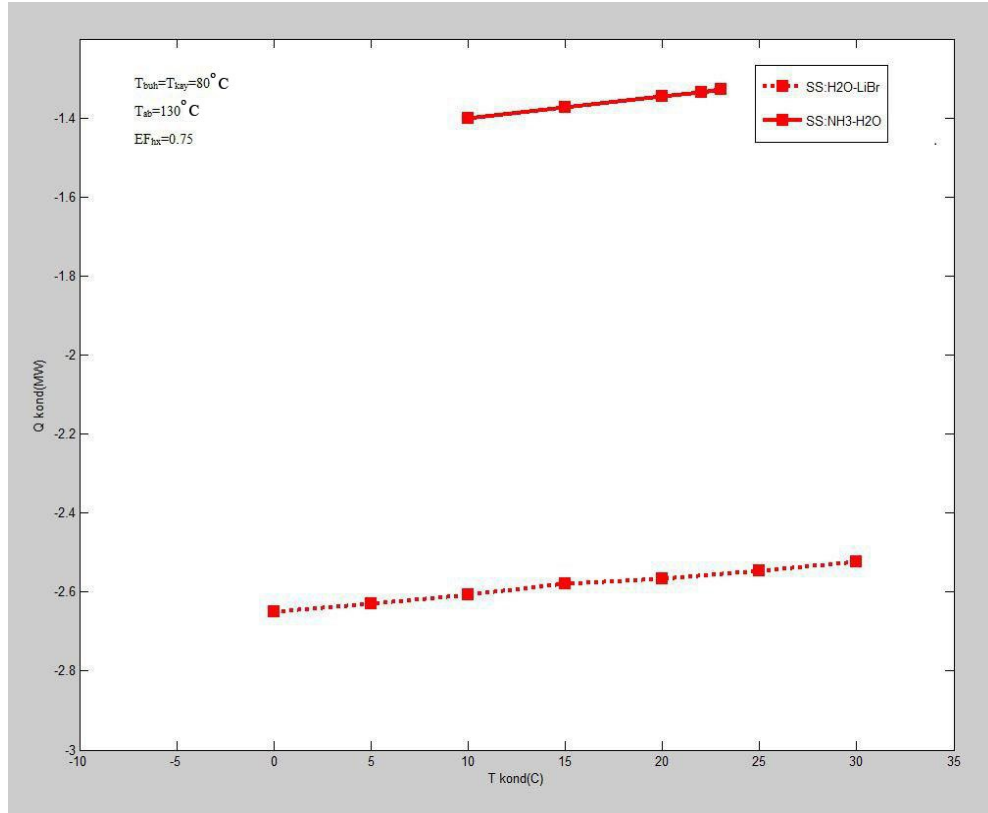
| NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O | T(°C)         | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                                 | 80            | 857.12           | 857.8             | 1623.1             | 1639.13             | 1           | 1            |
| 2                                 | 20            | 857,12           | 857.8             | 274.9              | 293.78              | 1           | 1            |
| 3                                 | 20            | 4140             | 4141              | 274.9              | 293.78              | 1           | 1            |
| 4                                 | 80            | 4140             | 4141              | 1455               | 1474.42             | 1           | 1            |
| 5                                 | 130           | 4140             | 4141              | 352                | 372.52              | 0.51        | 0.5138       |
| 6                                 | 130           | 4140             | 4141              | 352                | 372.52              | 0.51        | 0.5138       |
| 7                                 | 130           | 4140             | 4141              | 352                | 372.52              | 0.51        | 0.5138       |
| 8                                 | 80            | 857.12           | 857.8             | 112.3              | 131.72              | 0.38        | 0.3809       |
| 9                                 | 80            | 4140             | 4141              | 112.3              | 131.72              | 0.38        | 0.3809       |
| 10                                | 80            | 4140             | 4141              | 112.3              | 131.72              | 0.38        | 0.3809       |
| q <sub>kay</sub>                  | 370 kJ/kg     |                  |                   | q <sub>kay</sub>   | 400 kJ/kg           |             |              |
| q <sub>yoğ</sub>                  | -1348 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>yoğ</sub>   | -1345 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh</sub>                  | 1180 kJ/kg    |                  |                   | q <sub>buh</sub>   | 1179 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs</sub>                  | -201.72 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs</sub>   | -226.5 kJ/kg        |             |              |
| ITK                               | 0.13          |                  |                   | ITK                | 0.14                |             |              |



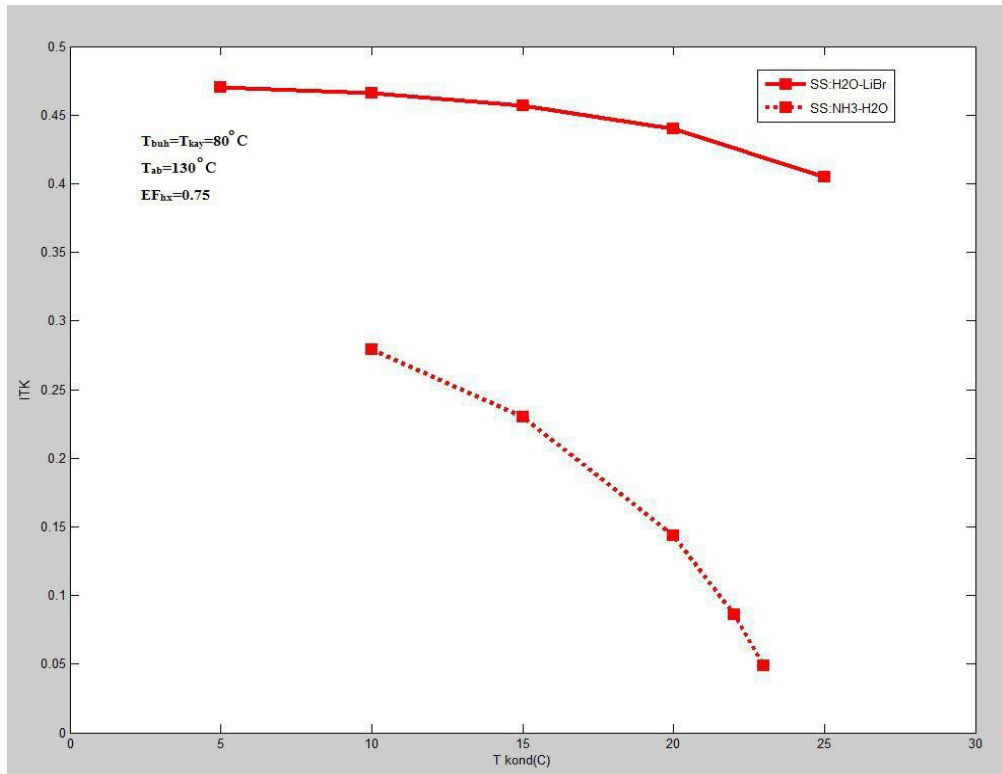
Şekil 4.3. Basınç-Entalpi diyagramı



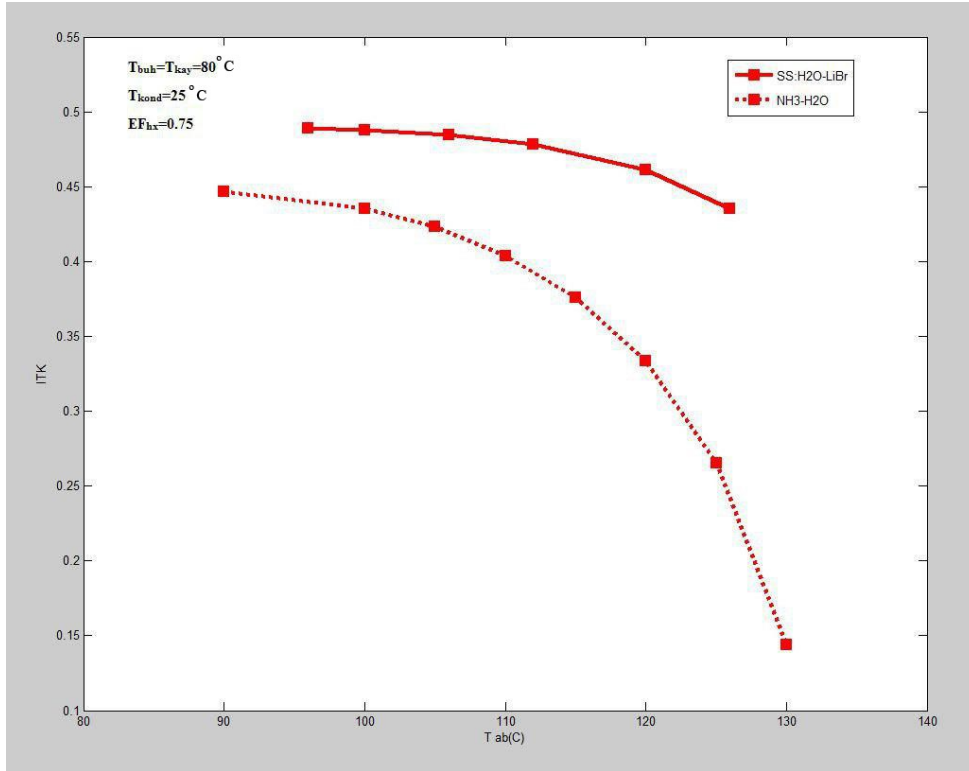
Şekil 4.4. Basınç-Sıcaklık diyagramı



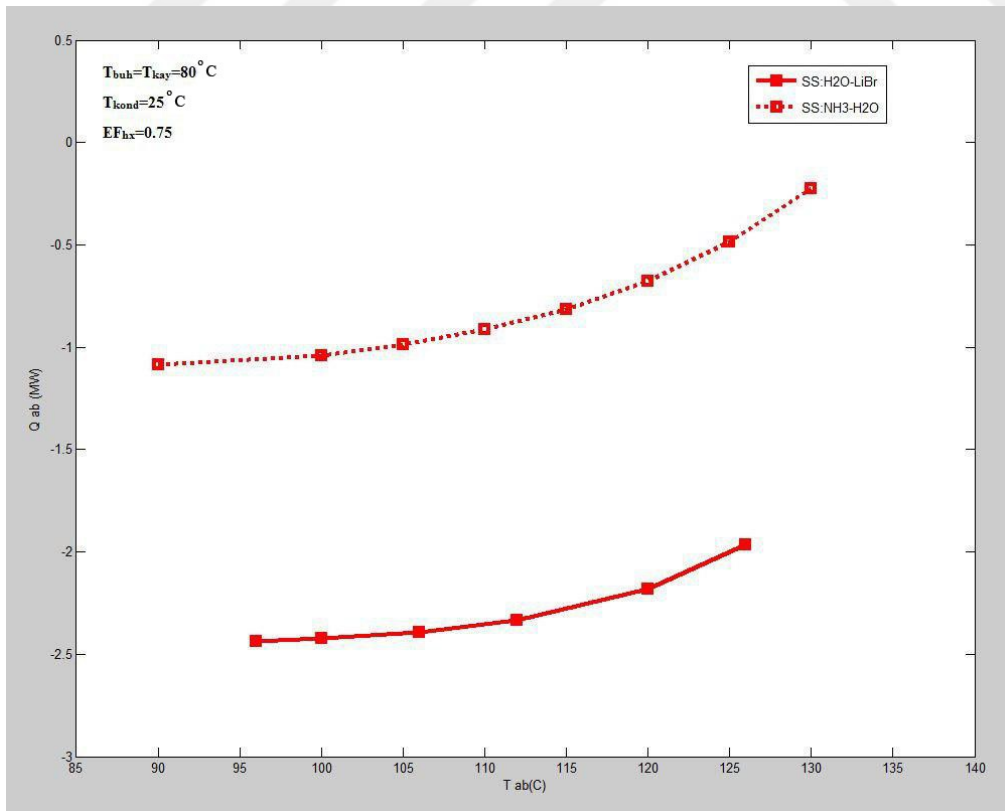
Şekil 4.5. Tek kademeli AIY sisteminde yoğunlaştırucu sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması



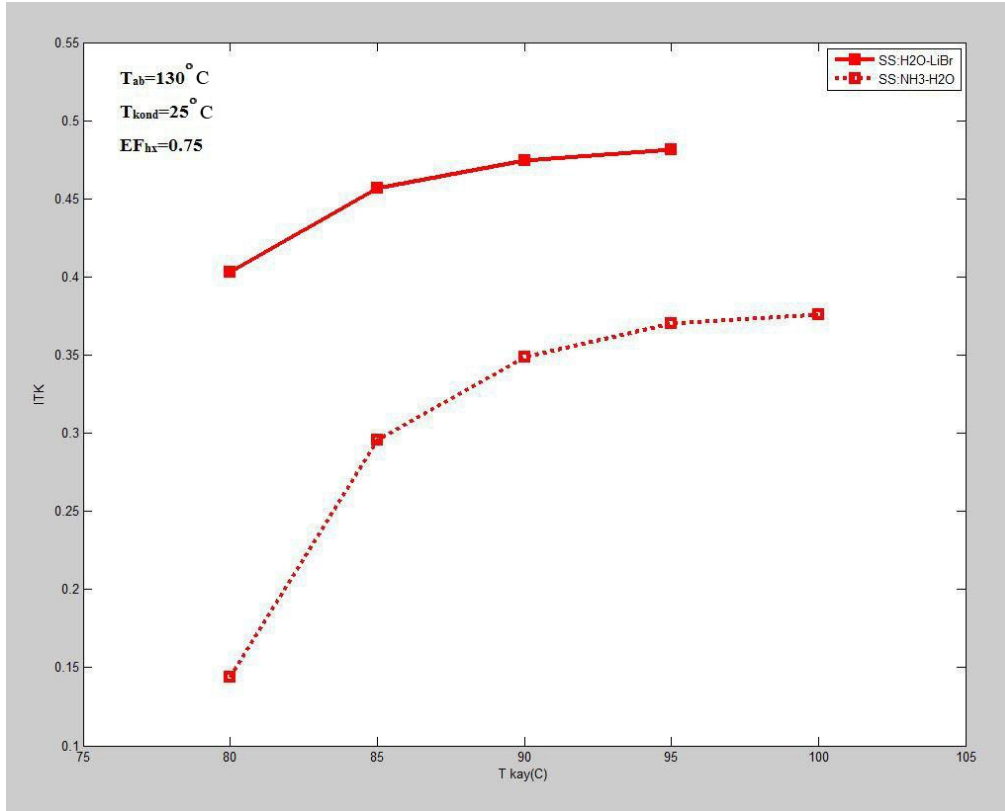
Şekil 4.6. Tek kademeli AIY sisteminde yoğunlaştırucu sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



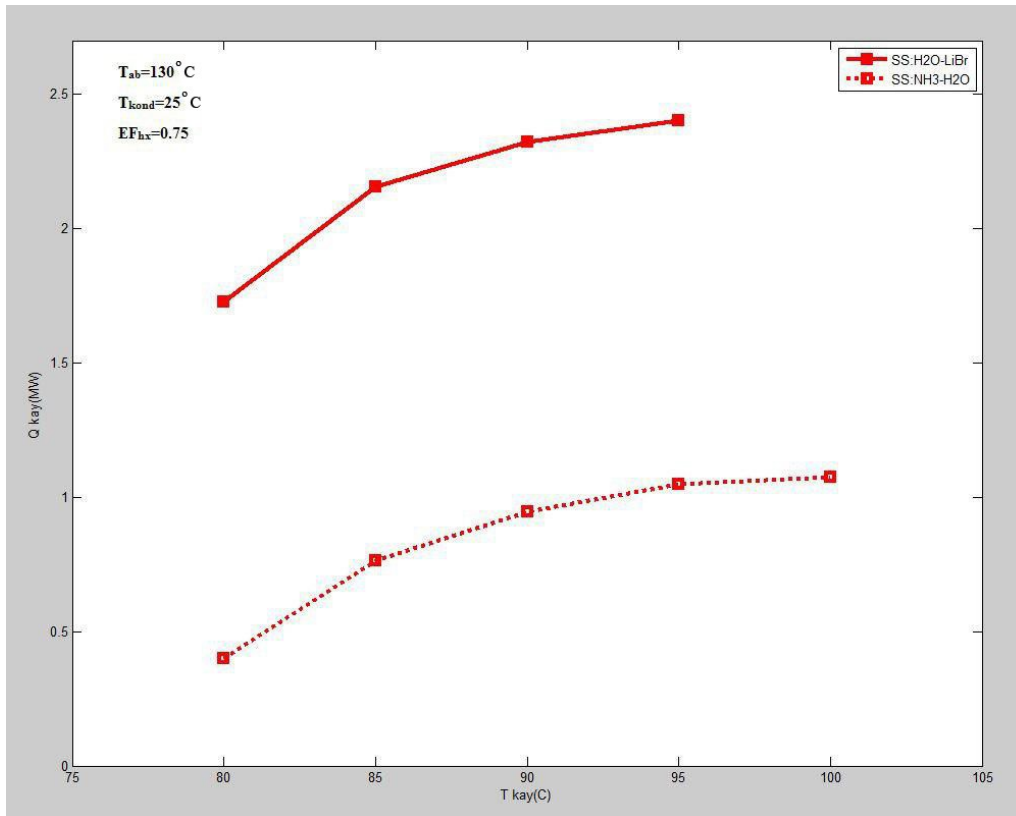
Şekil 4.7. Tek kademeli AIY sisteminde absorber sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



Şekil 4.8. Tek kademeli AIY sisteminde absorber sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması



Şekil 4.9. Tek kademeli AIY sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



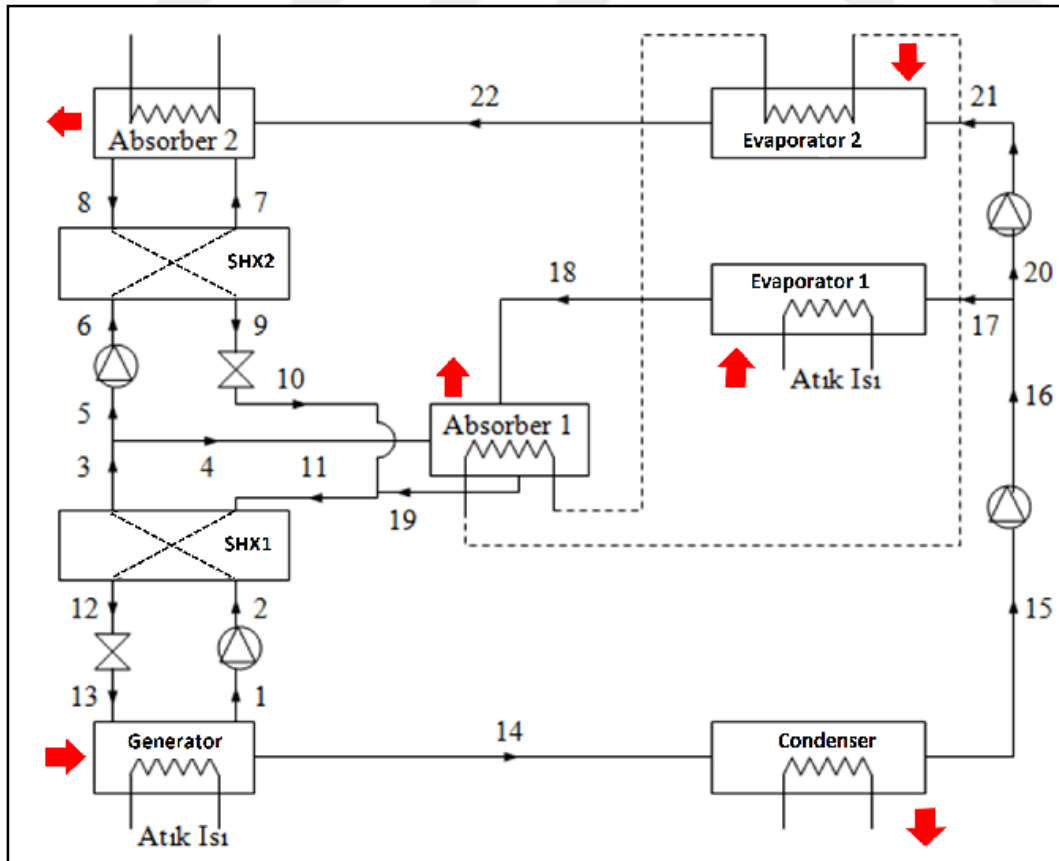
Şekil 4.10. Tek kademeli AIY sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması

Grafiklerde olan önemli noktalar aşağıda verilmiştir:

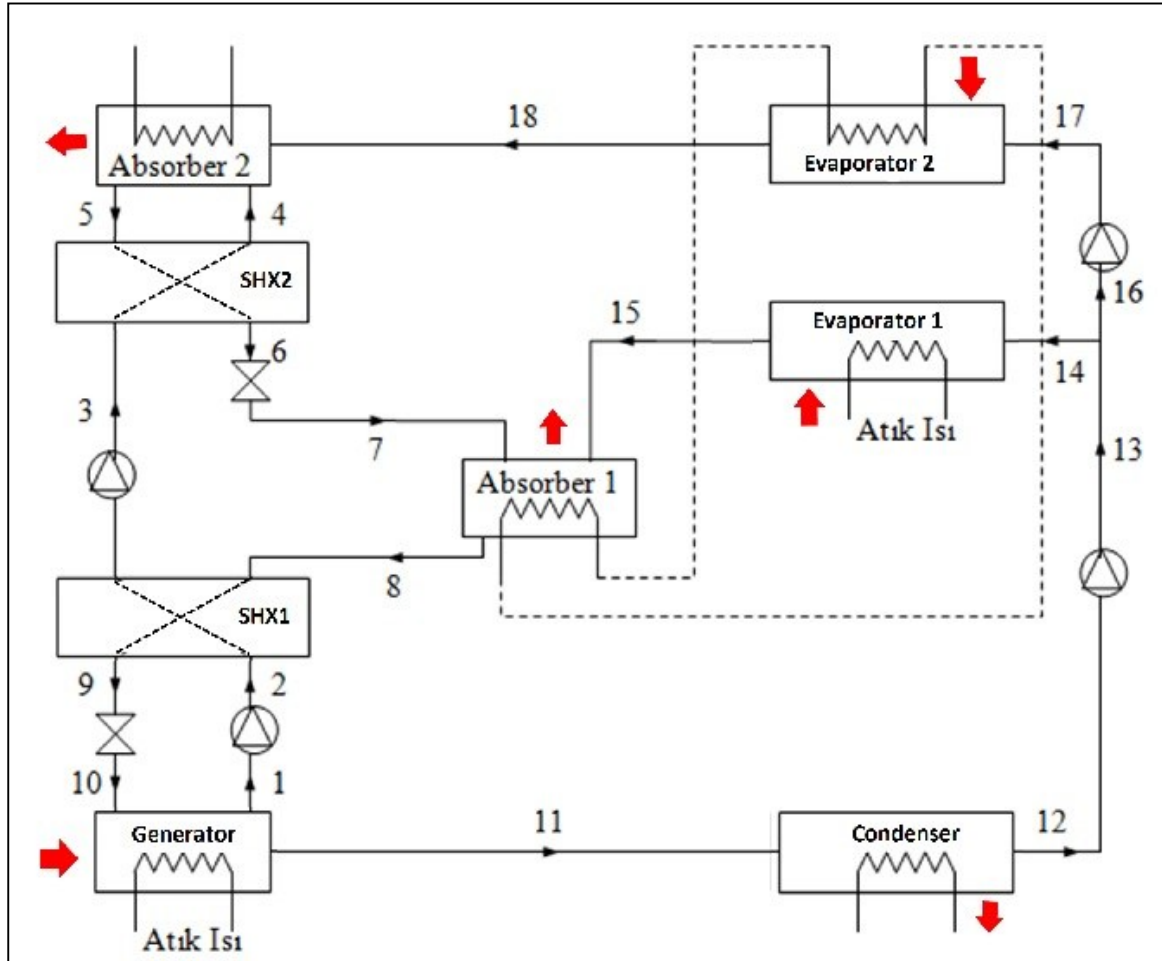
1.  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  erylği  $\text{H}_2\text{O-LiBr}$  erylğine göre termal çalışma sıcaklık aralığı daha fazladır.
2.  $\text{H}_2\text{O-LiBr}$  erylğinde tek kademeli sistemde kaynatıcı sıcaklığını  $100^\circ\text{C}$  üstüne kristalizasyon nedeniyle çıkamaz.
3.  $\text{H}_2\text{O-LiBr}$  erylğinin ısıtma tesir katsayısı kendi termal çalışma sıcaklık aralığında  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  ya göre daha yüksektir.

#### 4.2. Çift Kademeli Absorbsiyonlu Isı Yükselticisi Sistemleri

Şekil 4.11. ve 4.12’da çift kademeli absorbsiyonlu ısı yükseltici sistemi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi çift kademeli absorbsiyonlu ısı yükseltici sisteminde bir buharlaştırıcı ve bir absorber Tek kademeli sisteme göre bu sisteme eklenmiştir. Buharlaştırıcı yüksek basınçta ve absorber düşük basınçta çalışıyor.



Şekil 4.11. Çift kademeli paralel absorbsiyonlu ısı yükseltici sistemi [6]



Şekil 4.12. Çift kademeli seri absorpsiyonlu ısı yükseltici sistemi [6]

#### 4.2.1. Teori

Bu bölümde çift kademeli absorpsiyonlu ısı yükseltici sistemlerinin termodinamik analizleri yazılmıştır. Analizler  $H_2O$ -LiBr eriyen çalışan çevrime hazırlanmıştır.

##### Çevrimin çalışma basınçlarının belirlemesi

Çevrimin düşük basıncı, yoğuşturucudan çıkan akışkanın termodinamik özelliklerinden bulunuyor. Bu nokta (15) için şu ön görüler yazılır:

- Soğutucu akışkan yoğuşturucudan çıkan noktada doymuş sıvı halinde olmalıdır.
- Soğutucu akışkanın sıcaklığı bu noktada belli bir miktar olmalıdır.

- Sadece soğutucu akışkan ( burda su ) bu noktadan geçecektir.

$$\begin{cases} T_{15} = T_{yoğ} \\ X_{15} = 0 \\ x_{15} = 0 \end{cases} \quad (4-18)$$

$$P_2 = P(T_2, X_2, x_2) = P_{düş} \quad (4-19)$$

Çevrimin orta basıncı, buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın termodinamik özelliklerinden bulunuyor. Bu nokta (18) için şu ön görüler yazılır:

- akışkanın buharlaştırıcıdan ( 1 ) çıkan noktada doymuş buhar halinde olmalıdır.
- akışkanın sıcaklığı bu noktada belli bir miktar olmalıdır.

$$\begin{cases} T_{18} = T_{buh1} \\ X_{18} = 0 \\ x_{18} = 1 \end{cases} \quad (4-20)$$

$$P_{18} = P(T_{18}, X_{18}, x_{18}) = P_{orta} \quad (4-21)$$

Çevrimin yüksek basıncı, buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın termodinamik özelliklerinden bulunuyor. Bu nokta ( 22 ) için şu ön görüler yazılır:

- akışkanın buharlaştırıcıdan ( 2 ) çıkan noktada doymuş buhar halinde olmalıdır.
- akışkanın sıcaklığı bu noktada belli bir miktar olmalıdır.

$$\begin{cases} T_{22} = T_{buh2} \\ X_{22} = 0 \\ x_{22} = 1 \end{cases} \quad (4-22)$$

$$P_{22} = P(T_{22}, X_{22}, x_{22}) = P_{yük} \quad (4-23)$$

### Farklı noktalarda konsantrasyon değerinin bulması

Çift kademeli çevrimlerde üç farklı konsantrasyon değeri bulunur.

1- Kaynatıcı çıkışı ( zengin ) 2- Absorber 1 ( fakir ) 3- Absorber 2 ( orta )

$$\begin{cases} T_{19} = T_{Ab1} \\ P_{19} = P_{düş} \Rightarrow X_f = X(T_{19}, P_{19}) \\ x_{19} = 0 \end{cases} \quad (4-24)$$

$$\begin{cases} T_8 = T_{Ab2} \\ P_8 = P_{orta} \Rightarrow X_o = X(T_8, P_8) \\ x_8 = 0 \end{cases} \quad (4-25)$$

$$\begin{cases} T_1 = T_{kay} \\ P_1 = P_{yük} \Rightarrow X_z = X(T_1, P_1) \\ x_1 = 0 \end{cases} \quad (4-26)$$

### Kütle dengesi

$$\begin{cases} f_f + f_{orta} = f_z + 1 \\ f_f X_f + f_{orta} X_{orta} = f_z x_z \\ f_f X_f = [f_f - (1 - y)] X_{orta} \end{cases} \quad (4-27)$$

Bu denklemlerde:

$$\begin{aligned} f_z &= \frac{m_z}{m_r} = \frac{m_1}{m_{14}} \\ f_f &= \frac{m_f}{m_r} = \frac{m_{19}}{m_{14}} \\ f_{orta} &= \frac{m_o}{m_r} = \frac{m_8}{m_1} \end{aligned} \quad (4-28)$$

### Enerji dengesi

$$\text{Buharlaştırıcı 1} \quad q_{buh1} = f_{18}h_{18} - f_{17}h_{17} \quad (4-29)$$

$$\text{Absorber} \quad q_{Ab1} = f_{19}h_{19} - f_{18}h_{18} - f_4h_4 \quad (4-30)$$

$$\text{Buharlaştırıcı 2} \quad q_{buh2} = f_{22}h_{22} - f_{21}h_{21} \quad (4-31)$$

$$\text{yoğuşturucu} \quad q_{yoğ} = h_{14} - h_{15} \quad (4-32)$$

$$\text{kaynaticı} \quad q_{Kay} = f_{14}h_{14} + f_1h_1 - f_{13}h_{13} \quad (4-33)$$

$$\text{Absorber 2} \quad q_{Ab2} = f_8h_8 - f_{22}h_{22} - f_7h_7 \quad (4-34)$$

Isıtma tesir katsayısının bulması:

$$ITK = \frac{Q_{abs2}}{Q_{buh1} + Q_{kay} + Q_{buh2} - Q_{abs1}}$$

#### **4.2.2. Çift kademeli AIY sisteminde paket programına doğrulama tesbiti ve graikler**

Paket programının doğrulama tesbiti için şekil 4.9 ve 4.10'na tablolar çizilmiştir. Bu tablolarda her iki eriyik ( H<sub>2</sub>O-LiBr ve NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O ) çevrimlerde kullanılmıştır. Tablolarda her özellik ikişer ikişer yazılmıştır, sağ sütünde yazılanlar paket programında ve sol sütünde yazılanlar teorik bulunan değerlerdir. Bu karşılaştırmada görüldüğü gibi değerler bir birine çok yakın çıkmıştır. Çift kademeli AIY sistemlerinin farklı noktalarında çalışma sonuçları aşağıda olan grafiklerde sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu ısı yüselticisi ( LiBr-H<sub>2</sub>O )

| LiBr-H <sub>2</sub> O | T(°C)         | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------|---------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                     | 80            | 2.339            | 2.339             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 2                     | 80            | 47.37            | 47.37             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 3                     | 80            | 47.37            | 47.37             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 4                     | 80            | 47.37            | 47.37             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 5                     | 80            | 47.37            | 47.37             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 6                     | 80            | 82.58            | 82.58             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 7                     | 80            | 82.58            | 82.58             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 8                     | 135           | 82.58            | 82.58             | 290.7              | 290.4               | 54.41       | 54.41        |
| 9                     | 135           | 82.58            | 82.58             | 290.7              | 290.4               | 54.41       | 54.41        |
| 10                    | 135           | 47.37            | 47.37             | 290.7              | 290.4               | 54.41       | 54.41        |
| 11                    | 122.5         | 47.37            | 47.37             | 264.5              | 264.1               | 54.41       | 54.41        |
| 12                    | 122.5         | 47.37            | 47.37             | 264.5              | 264.1               | 54.41       | 54.41        |
| 13                    | 122.5         | 2.339            | 2.339             | 264.5              | 264.1               | 54.41       | 54.41        |
| 14                    | 80            | 2.339            | 2.339             | 2647               | 2650                | 0           | 0            |
| 15                    | 20            | 2.339            | 2.339             | 85.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 16                    | 20            | 47.37            | 47.37             | 85.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 17                    | 20            | 47.37            | 47.37             | 85.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 18                    | 80            | 47.37            | 47.37             | 2643.8             | 2643                | 0           | 0            |
| 19                    | 94.37         | 47.37            | 47.37             | 213                | 213.2               | 41.48       | 41.48        |
| 20                    | 20            | 47.37            | 47.37             | 85.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 21                    | 20            | 82.58            | 82.58             | 85.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 22                    | 94.37         | 82.58            | 82.58             | 2667               | 2667                | 0           | 0            |
| q <sub>kay</sub>      | 2303.4 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>kay</sub>   | 2309 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>yoğ</sub>      | -2563 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>yoğ</sub>   | -2566 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh1</sub>     | 1279.97 kJ/kg |                  |                   | q <sub>buh1</sub>  | 1280 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>buh2</sub>     | 1291.5 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>buh2</sub>  | 1291 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs1</sub>     | -1232.9 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs1</sub>  | -1232 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>abs2</sub>     | -1080 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>abs2</sub>  | -1081 kJ/kg         |             |              |
| ITK                   | 0.297         |                  |                   | ITK                | 0.296               |             |              |

Çizelge 4.5. Çift kademeli paralel absorpsiyonlu ısı yüselticisi ( NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O )

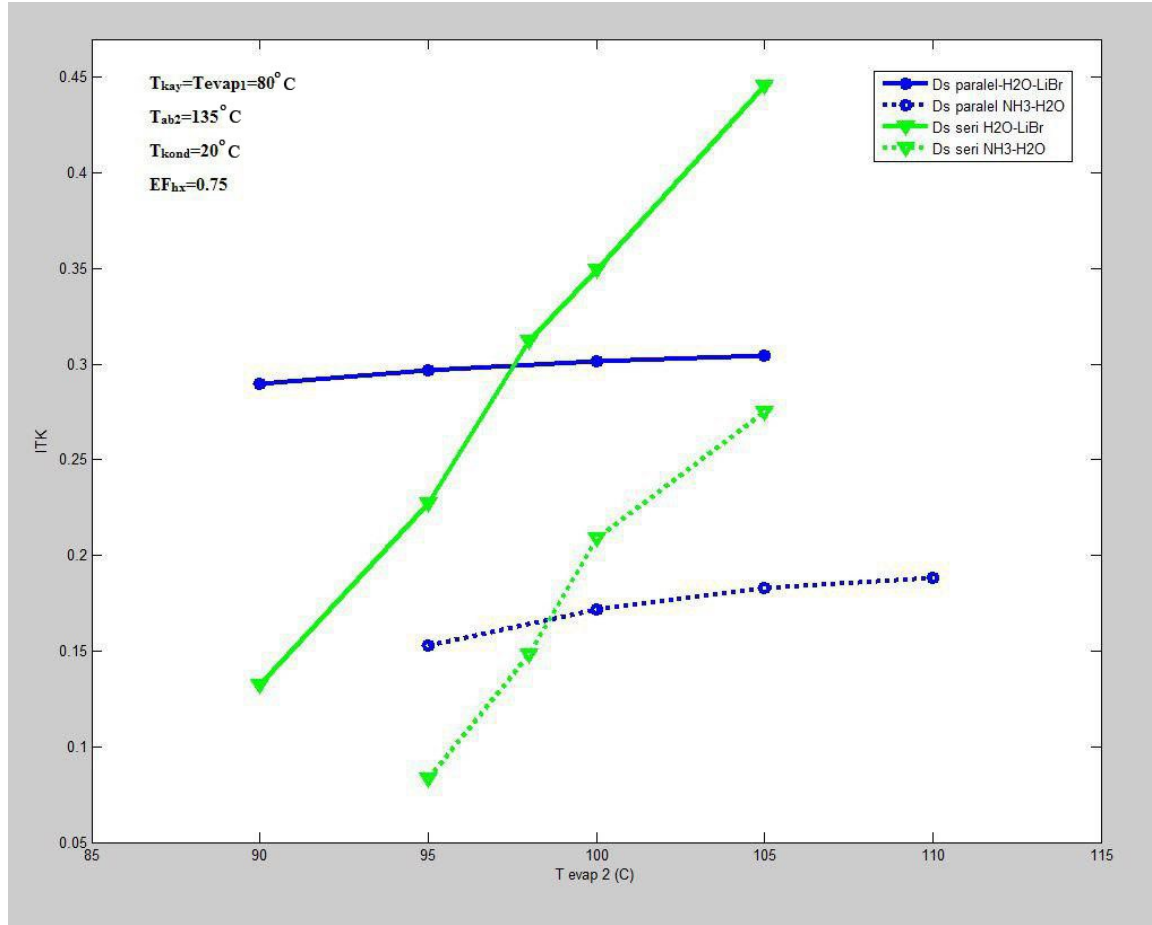
| NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O | T(°C)        | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------------------|--------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                                 | 80           | 857.12           | 857.8             | 112.3              | 131.7               | 0.38        | 0.3809       |
| 2                                 | 80           | 4140             | 4141              | 112.3              | 131.7               | 0.38        | 0.3809       |
| 3                                 | 80           | 4140             | 4141              | 112.3              | 133.7               | 0.38        | 0.3809       |
| 4                                 | 80           | 4140             | 4141              | 112.3              | 133.7               | 0.38        | 0.3809       |
| 5                                 | 80           | 4140             | 4141              | 112.3              | 133.7               | 0.38        | 0.3809       |
| 6                                 | 80           | 6764             | 6764              | 112.3              | 133.7               | 0.38        | 0.3809       |
| 7                                 | 80           | 6764             | 6764              | 112.3              | 135.3               | 0.38        | 0.3809       |
| 8                                 | 140          | 6764             | 6764              | 455                | 474.8               | 0.64        | 0.6434       |
| 9                                 | 139.8        | 6764             | 6764              | 455                | 473.9               | 0.64        | 0.6434       |
| 10                                | 139.8        | 4140             | 4141              | 455                | 473.9               | 0.64        | 0.6434       |
| 11                                | 109.9        | 4140             | 4141              | 370                | 389.3               | 0.65        | 0.6581       |
| 12                                | 109.9        | 4140             | 4141              | 370                | 388.2               | 0.65        | 0.6581       |
| 13                                | 109.9        | 857.12           | 857.8             | 370                | 388.2               | 0.65        | 0.6581       |
| 14                                | 80           | 857.12           | 857.8             | 1623               | 1639                | 1           | 1            |
| 15                                | 20           | 857.12           | 857.8             | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 16                                | 20           | 4140             | 4141              | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 17                                | 20           | 4140             | 4141              | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 18                                | 80           | 4140             | 4141              | 1455               | 1474                | 1           | 1            |
| 19                                | 104          | 4140             | 4141              | 275.7              | 294.6               | 0.67        | 0.6746       |
| 20                                | 20           | 4140             | 4141              | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 21                                | 20           | 6764             | 6764              | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 22                                | 104          | 6764             | 6764              | 1405               | 1425                | 1           | 1            |
| q <sub>kay</sub>                  | 920.66 kJ/kg |                  |                   | q <sub>kay</sub>   | 934.8 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>yoğ</sub>                  | -1348 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>yoğ</sub>   | -1345 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh1</sub>                 | 590.1 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>buh1</sub>  | 590.3 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh2</sub>                 | 565.1 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>buh2</sub>  | 565.4 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>abs1</sub>                 | -498.1 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs1</sub>  | -500.8 kJ/kg        |             |              |
| q <sub>abs2</sub>                 | -239.6 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs2</sub>  | -244.3 kJ/kg        |             |              |
| ITK                               | 0.151        |                  |                   | ITK                | 0.153               |             |              |

Çizelge 4.6. Çift kademeli seri absorpsiyonlu ısı yüselticisi ( LiBr-H<sub>2</sub>O )

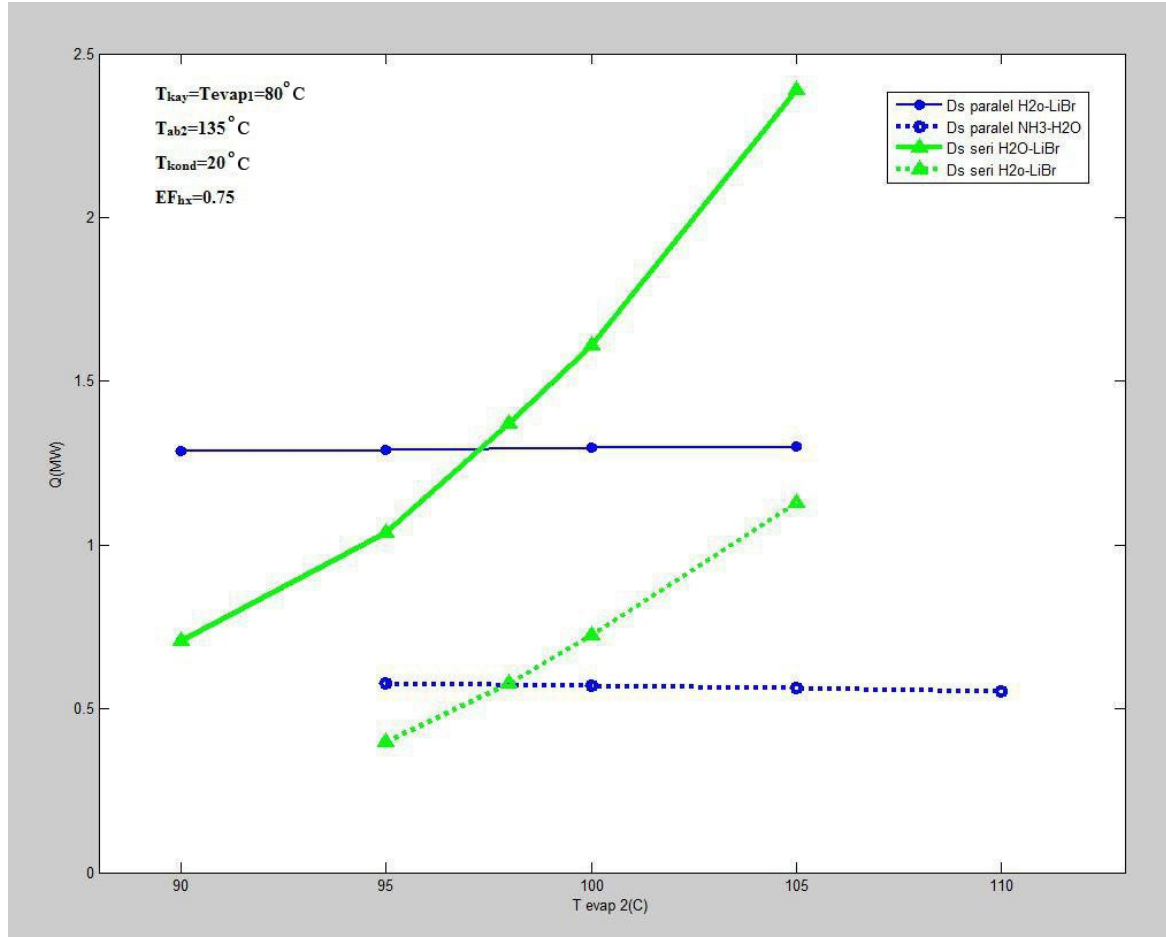
| LiBr - H <sub>2</sub> O | T(°C)         | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-------------------------|---------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                       | 80            | 2.339            | 2.339             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 2                       | 80            | 47.37            | 47.37             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 3                       | 80            | 91.91            | 91.91             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 4                       | 80            | 91.91            | 91.91             | 235.6              | 235.9               | 68.27       | 68.27        |
| 5                       | 135           | 91.91            | 91.91             | 290.7              | 290.2               | 52.87       | 52.87        |
| 6                       | 135           | 91.91            | 91.91             | 290.7              | 290.2               | 52.87       | 52.87        |
| 7                       | 135           | 47.37            | 47.37             | 290.7              | 290.2               | 52.87       | 52.87        |
| 8                       | 97.29         | 47.37            | 47.37             | 217                | 216.7               | 43.14       | 43.14        |
| 9                       | 97.29         | 47.37            | 47.37             | 217                | 216.7               | 43.14       | 43.14        |
| 10                      | 97.29         | 2.339            | 2.339             | 217                | 216.7               | 43.14       | 43.14        |
| 11                      | 80            | 2.339            | 2.339             | 2647               | 2650                | 0           | 0            |
| 12                      | 20            | 2.339            | 2.339             | 83.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 13                      | 20            | 47.37            | 47.37             | 83.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 14                      | 20            | 47.37            | 47.37             | 83.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 15                      | 80            | 47.37            | 47.37             | 2643.8             | 2643                | 0           | 0            |
| 16                      | 20            | 47.37            | 47.37             | 83.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 17                      | 20            | 91.91            | 91.91             | 83.86              | 83.84               | 0           | 0            |
| 18                      | 97.29         | 91.91            | 91.91             | 2670.8             | 2671                | 0           | 0            |
| q <sub>kay</sub>        | 2462 kJ/kg    |                  |                   | q <sub>kay</sub>   | 2466 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>yoğ</sub>        | -2563 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>yoğ</sub>   | -2566 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh1</sub>       | 1279.97 kJ/kg |                  |                   | q <sub>buh1</sub>  | 1280 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>buh2</sub>       | 1293.47 kJ/kg |                  |                   | q <sub>buh2</sub>  | 1294 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs1</sub>       | -1376.8 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs1</sub>  | -1376 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>abs2</sub>       | -1095.5 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs2</sub>  | -1097 kJ/kg         |             |              |
| ITK                     | 0.29          |                  |                   | ITK                | 0.293               |             |              |

Çizelge 4.7. Çift kademeli seri absorpsiyonlu ısı yüselticisi ( NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O )

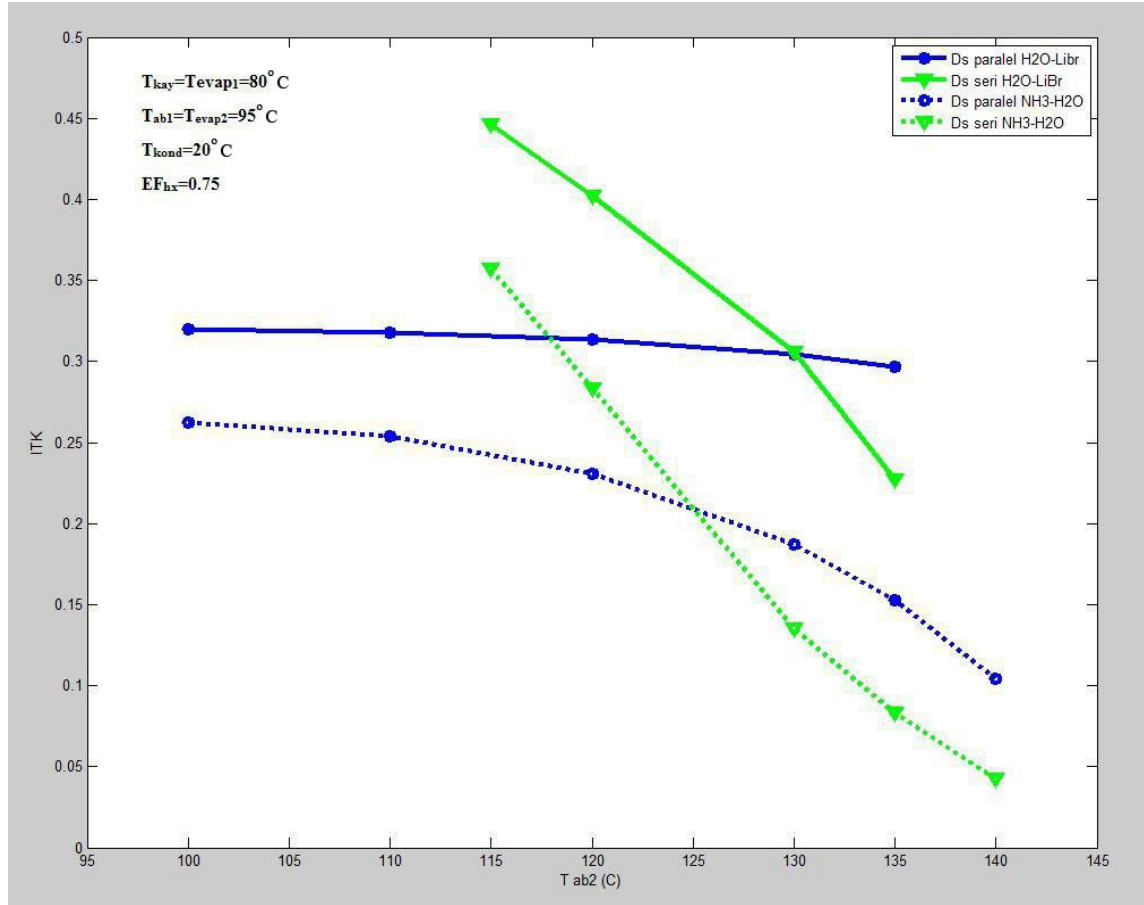
| NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O | T( C)        | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------------------|--------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                                 | 80           | 857.12           | 857.8             | 112.3              | 131.7               | 0.38        | 0.3809       |
| 2                                 | 80           | 4140             | 4141              | 112.3              | 131.7               | 0.38        | 0.3809       |
| 3                                 | 80           | 6007             | 6009              | 112.3              | 134.8               | 0.38        | 0.3809       |
| 4                                 | 80           | 6007             | 6009              | 112.3              | 134.8               | 0.38        | 0.3809       |
| 5                                 | 135          | 6007             | 6009              | 416.2              | 435.9               | 0.62        | 0.6218       |
| 6                                 | 120.5        | 6007             | 6009              | 416.2              | 435.9               | 0.62        | 0.6218       |
| 7                                 | 120.5        | 4140             | 4141              | 416.2              | 435.9               | 0.62        | 0.6218       |
| 8                                 | 97.95        | 4140             | 4141              | 272.8              | 292.7               | 0.72        | 0.7277       |
| 9                                 | 97.69        | 4140             | 4141              | 272.8              | 291.3               | 0.72        | 0.7277       |
| 10                                | 97.69        | 857.12           | 857.8             | 272.8              | 291.3               | 0.72        | 0.7277       |
| 11                                | 80           | 857.12           | 857.8             | 1623.1             | 1639                | 1           | 1            |
| 12                                | 20           | 857.12           | 857.8             | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 13                                | 20           | 4140             | 4141              | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 14                                | 20           | 4140             | 4141              | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 15                                | 80           | 4140             | 4141              | 1455               | 1474                | 1           | 1            |
| 16                                | 20           | 4140             | 4141              | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 17                                | 20           | 6007             | 6009              | 274.9              | 293.8               | 1           | 1            |
| 18                                | 97.95        | 6007             | 6009              | 1423               | 1442                | 1           | 1            |
| q.kay                             | 1233 kJ/kg   |                  |                   | q.kay              | 1223 kJ/kg          |             |              |
| q.yoğ                             | -1348 kJ/kg  |                  |                   | q.yoğ              | -1345 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh1</sub>                 | 590.1 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>buh1</sub>  | 590.3 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh2</sub>                 | 574.1 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>buh2</sub>  | 574.1 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>abs1</sub>                 | -767.5 kJ/kg |                  |                   | q <sub>abs1</sub>  | -774.9 kJ/kg        |             |              |
| q <sub>abs2</sub>                 | -281 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>abs2</sub>  | -266.6 kJ/kg        |             |              |
| ITK                               | 0.15         |                  |                   | ITK                | 0.147               |             |              |



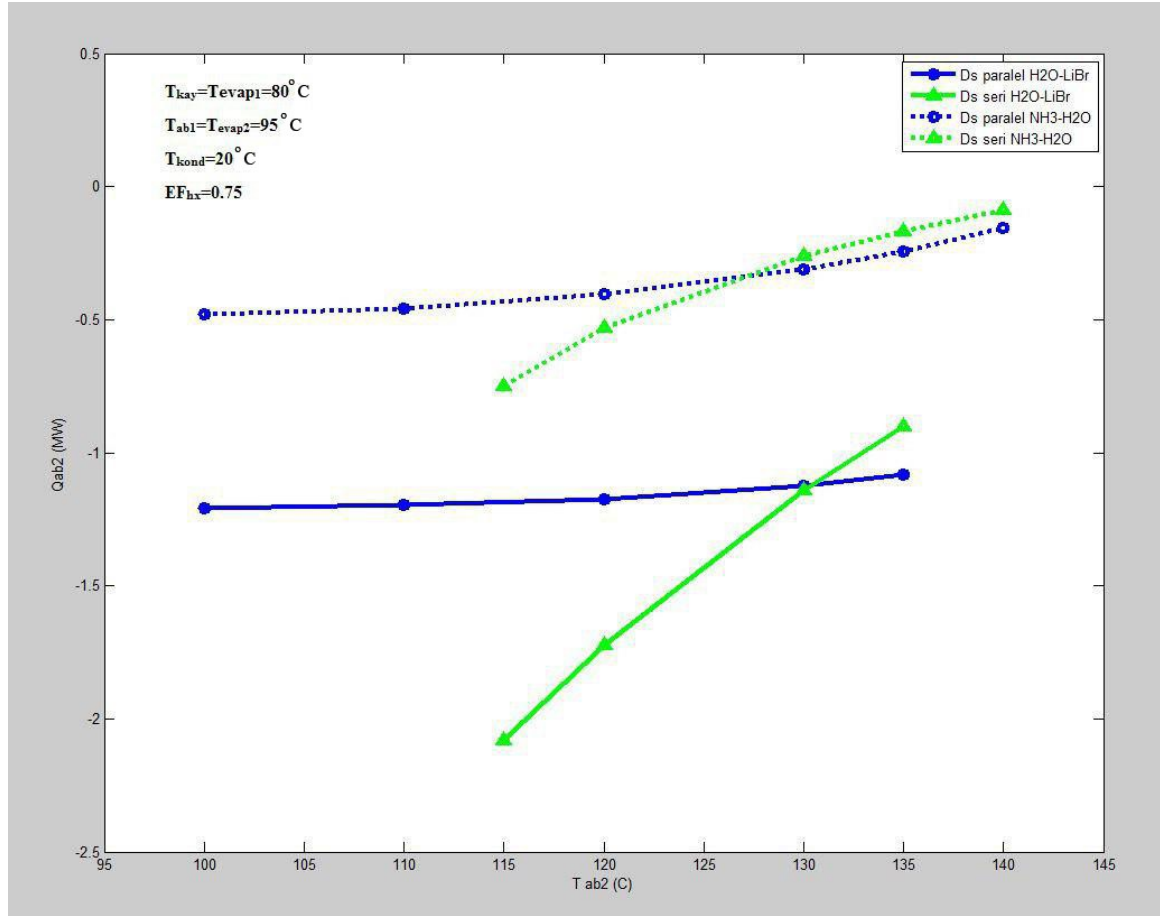
Şekil 4.13. Çift kademeli AIY sisteminde evaporatör2 sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



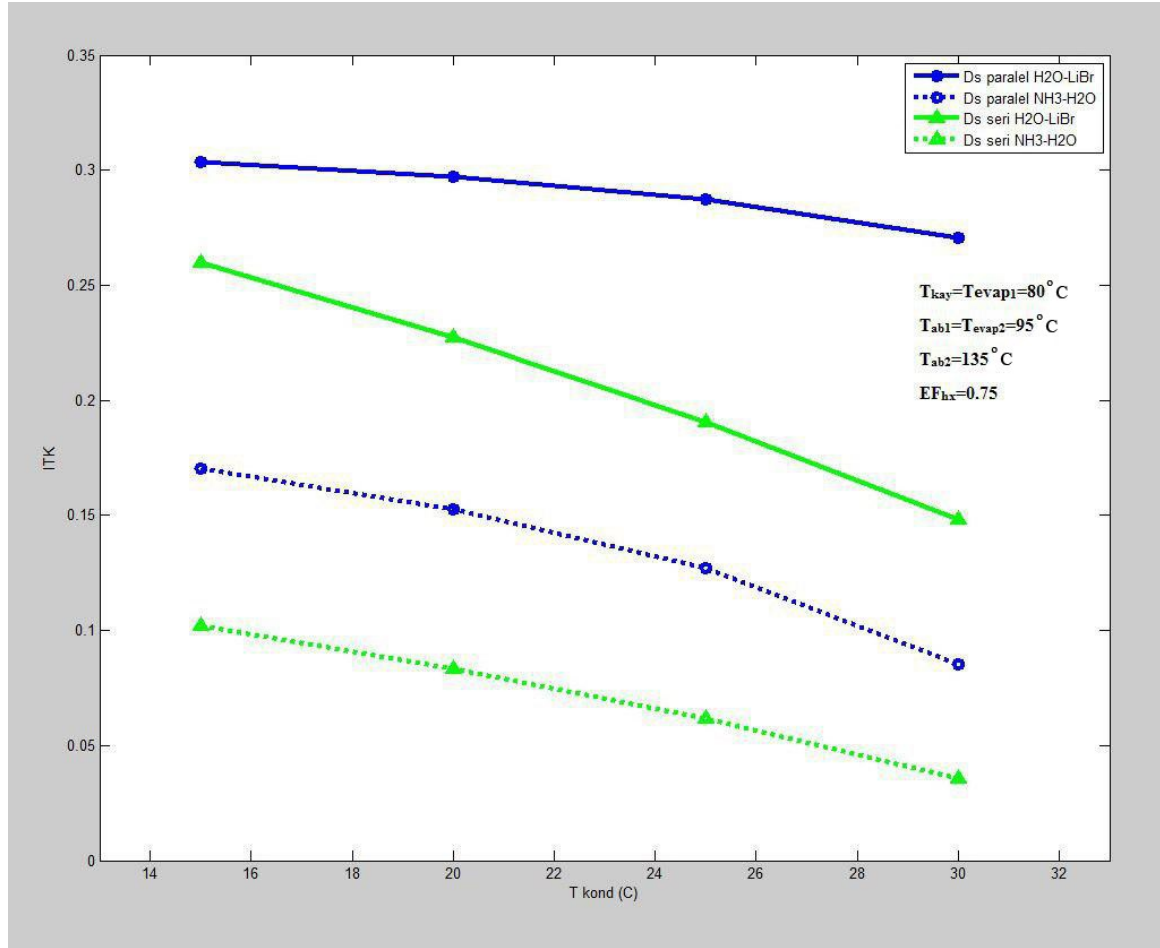
Şekil 4.14. Çift kademeli AIY sisteminde evaporatör2 sıcaklığı ve ısı transferi kaşılaştırması



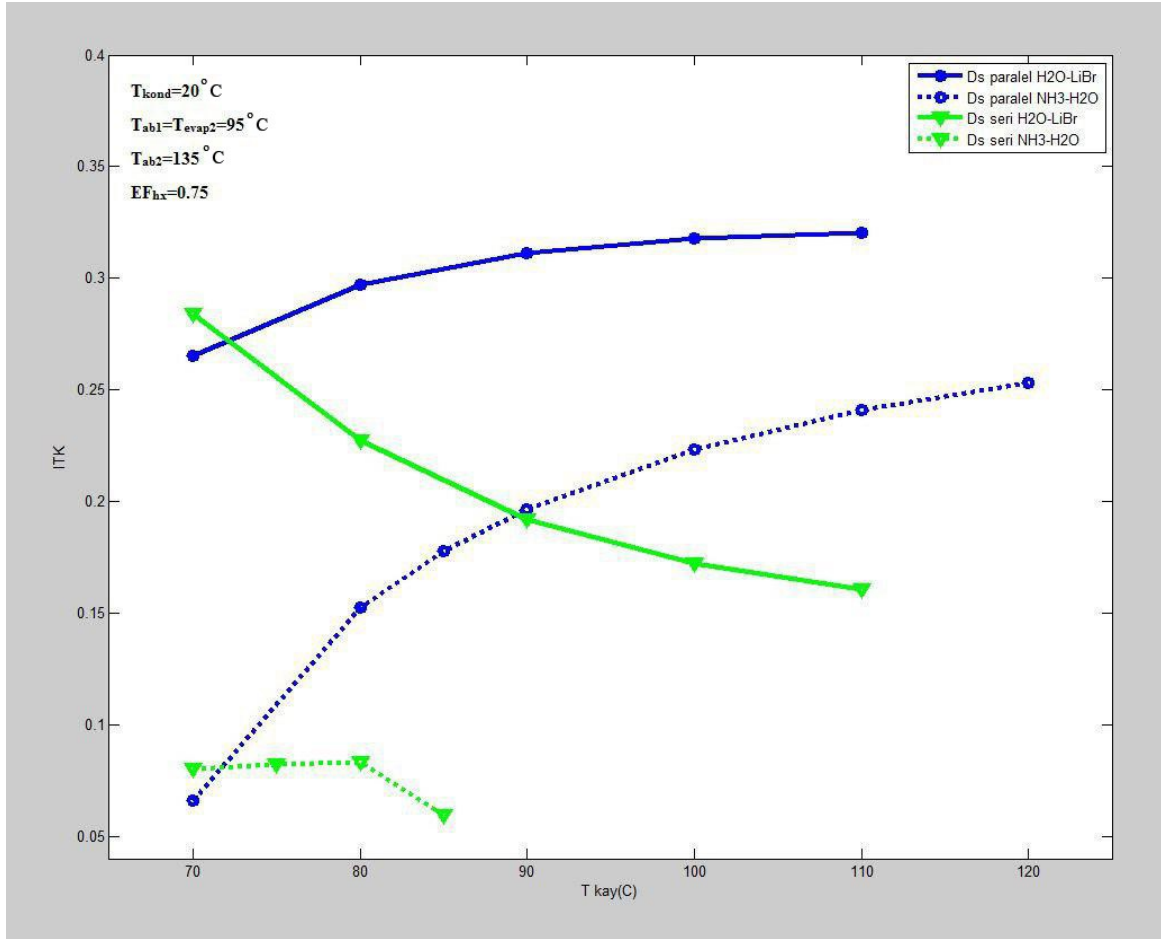
Şekil 4.15. Çift kademeli AIY sisteminde absorber2 sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



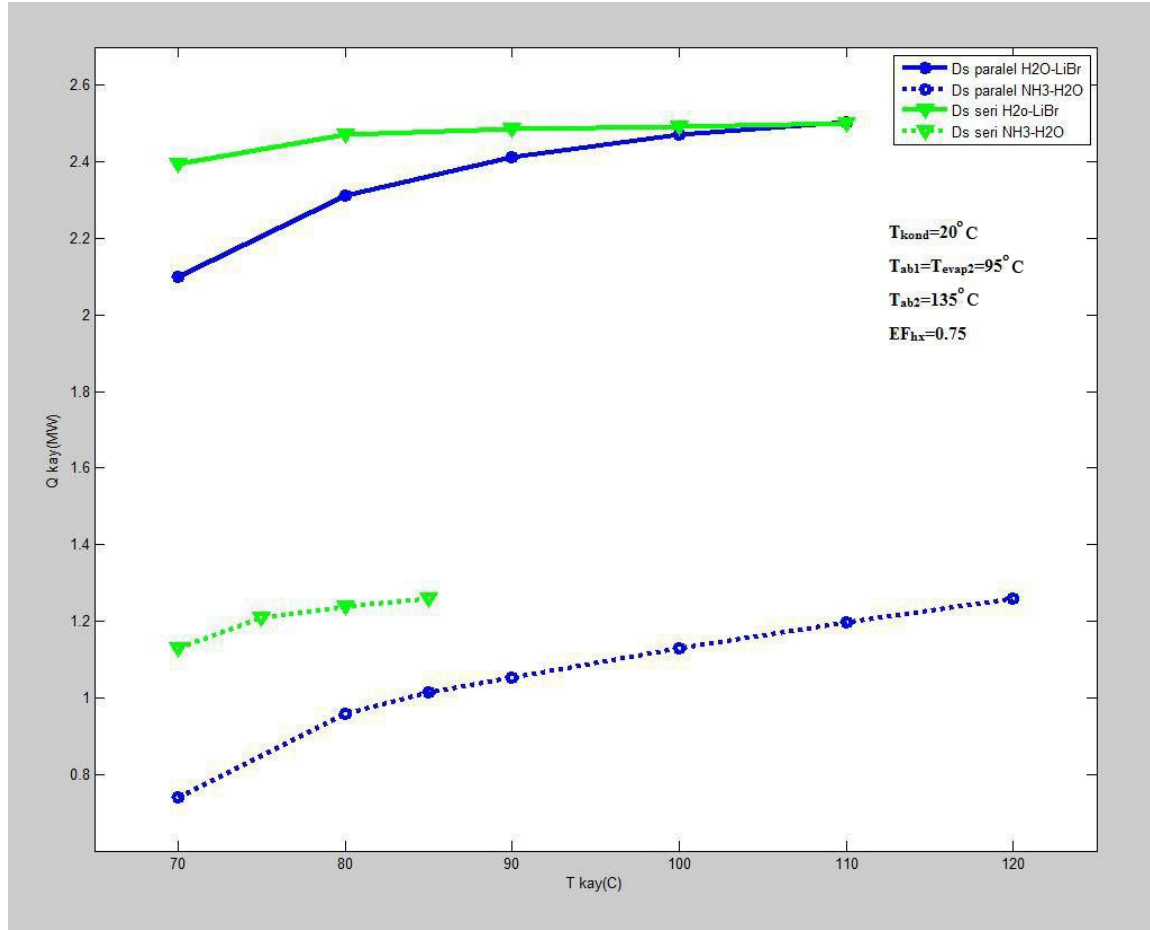
Şekil 4.16. Çift kademeli AIY sisteminde absorber2 sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması



Şekil 4.17. Çift kademeli AIY sisteminde kondanser sıcaklığı ve ITK karşılaştırması



Şekil 4.18. Çift kademeli AIY sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ITK kaşılaştırması



Şekil 4.19. Çift kademeli AIY sisteminde kaynatıcı sıcaklığı ve ısı transferi karşılaştırması

Grafiklerde görüldüğü gibi çift kademeli sistemlerde aynı tek kademeli sistemler gibi  $\text{H}_2\text{O-LiBr}$  eriyiği,  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  eriyiğine göre daha verimlidir. Şekil 4.18'ya göre  $\text{H}_2\text{O-LiBr}$  eriyiğinin çalışan çift kademeli AIY sisteminin kaynatıcı sıcaklığı kristalizasyon nedeniyle  $110^{\circ}\text{C}$  üstüne çıkamaz. Çift kademeli AIY sistemini tek kademelilerle karşılaştırdığımızda, tek kademelilerin verimi çift kademelilerden yüksektir ama çift kademeliler, tek kademeliye göre yüksek sıcaklıkta çalışabilirler.

## 5. TEK KADEMELİ ABSORBSİYONLU ISI YÜKSELTİCİSİ TAKVİYELİ ÇİFT KADEMELİ ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİNİN ANALİZİ

Bu bölümde tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticisi takviyeli çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sisteminin incelemesi yapılacaktır. Önceki bölümlerde bu sistemlerle ayrıca tanıştık. Azıcık dikkatle anlaşıyor ki bu sistemler birbirile kombine olabilir, bu yüzden farklı ve yüksek sıcaklık limitlerini tek ve çift kademeli sistemlere göre elde edilebilir. Şekil 5.1’de kombine sistemi gösterilmiştir.

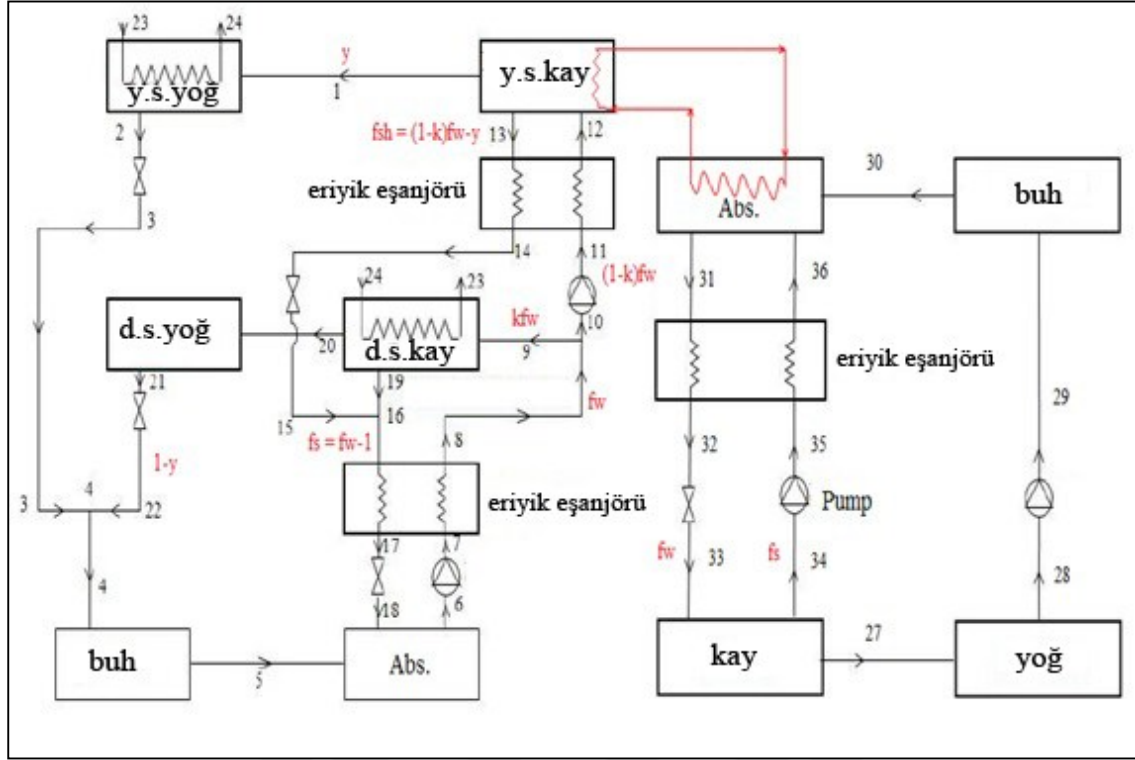
### 5.1. Teori

Bu sistem çift kademeli paralel absorbsiyonlu soğutma sistemi ve tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticisinden oluşup. Kombine sistemin, analizini yazmak için her parçanın denklemi ayrıca yazılmalıdır buna ilaveten çift kademeli absorbsiyonlu soğutma makinesinin yüksek sıcaklıklı kaynatıcısının sıcaklığı, AIY’sinin sıcaklığı ile eşit sıcaklıkta olması ön görülmektedir. Enerji korunum denklemine göre, AIY’sinin absorber çıkış sıcaklığı, çift kademeli ABS sisteminin kaynatıcı giriş sıcaklığı ile eşit olmalıdır, bu nedenle nokta 1’in debisi öyle uygulanmalıdır ki enerji korunum denklemi kurulsun.

$$Q_{AB,AIY} = f_f h_{31} - f_z h_{36} - h_{30} \quad (5.1)$$

$$Q_{Y.s.kay,ABS} = \dot{m} \{ f_{zh} h_{13} + y h_1 - (1 - k) f_{fh} h_{12} \} \quad (5.2)$$

$$Q_{Y.s.kay,ABS} = Q_{AB,AIY} \Rightarrow \dot{m} = \frac{f_f h_{31} - f_z h_{36} - h_{30}}{f_{zh} h_{13} + y h_1 - (1 - k) f_{fh} h_{12}} \quad (5.3)$$



Şekil 5.1. ABS sisteminin AIY'si sistemi ile kombinesi [20]

ABS sisteminin AIY'si sistemi ile kombinesi iki amaç için sunulmuştur:

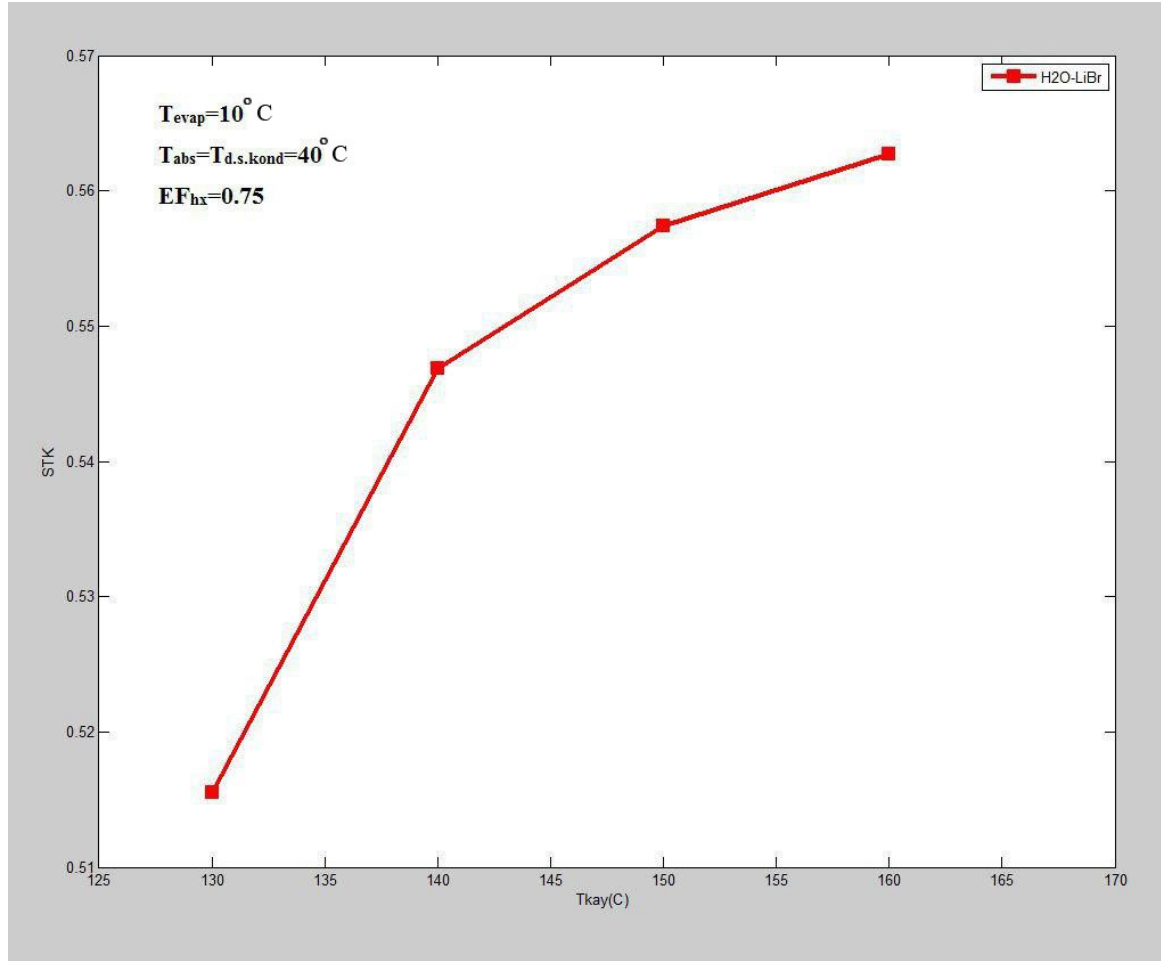
1. Sistemin soğutma tesir katsayısının incelemesi.
2. Sistemin çalışma sıcaklık limitinin incelemesi.

## 5.2. Kombine Sistemin Paket Programının Doğrulama Tesibiti ve Grafikleri

Bu sistemde paket programının doğrulama tesbiti tablo ( 5.1 ) çizilmiştir. Bu tablonun sol tarafındaki sütünde teorik ve sağ tarafında sütünde paket programı ile bulunan rakamlar karşılaştırmak için yazılmıştır. Görüldüğü gibi karşılaştırmada sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır.

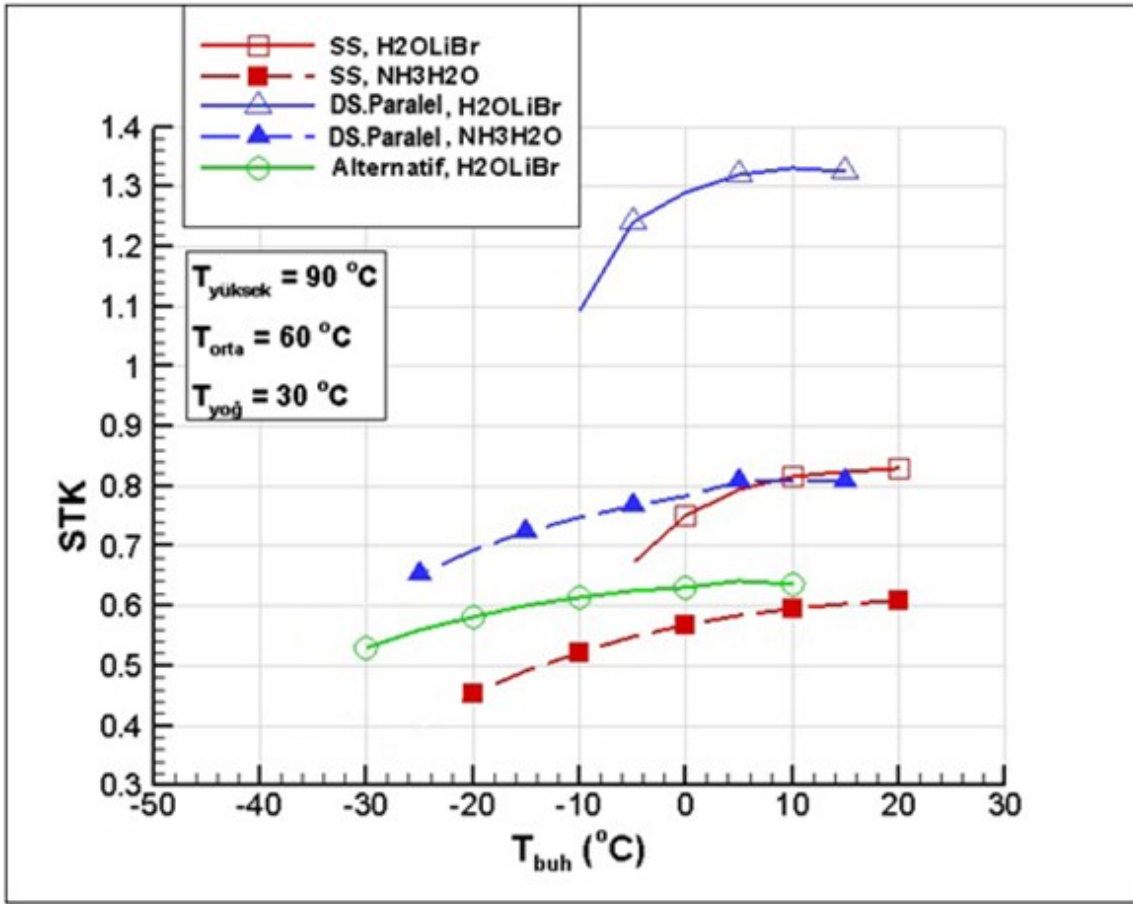
Çizelge 5.1. Absorbsiyonlu ısı yükselticisi tahrikli çift kademeli absorbsiyonlu soğutma sistemi

| LiBr-H <sub>2</sub> O                               | T(°C)        | P(kPa)<br>Teorik | P(kPa)<br>Program | h(kJ/kg)<br>Teorik   | h(kJ/kg)<br>Program | X<br>Teorik | X<br>Program |
|-----------------------------------------------------|--------------|------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1                                                   | 130          | 47.36            | 47.37             | 2741.1               | 2741                | 0           | 0            |
| 2                                                   | 80           | 47.36            | 47.37             | 334.9                | 334.9               | 0           | 0            |
| 3                                                   | 10           | 1.227            | 1.228             | 334.9                | 334.9               | 0           | 0            |
| 4                                                   | 10           | 1.227            | 1.228             | 251.17               | 251.2               | 0           | 0            |
| 5                                                   | 10           | 1.227            | 1.228             | 2519.9               | 2519                | 0           | 0            |
| 6                                                   | 40           | 1.227            | 1.228             | 93.5                 | 93.34               | 0.5491      | 0.5491       |
| 7                                                   | 40           | 7.375            | 7.381             | 93.5                 | 93.34               | 0.5491      | 0.5491       |
| 8                                                   | 74.29        | 7.375            | 7.381             | 165                  | 164.4               | 0.5491      | 0.5491       |
| 9                                                   | 74.29        | 7.375            | 7.381             | 165                  | 164.4               | 0.5491      | 0.5491       |
| 10                                                  | 74.29        | 7.375            | 7.381             | 165                  | 164.4               | 0.5491      | 0.5491       |
| 11                                                  | 74.29        | 47.36            | 47.37             | 165                  | 164.4               | 0.5491      | 0.5491       |
| 12                                                  | 81.79        | 47.36            | 47.37             | 182                  | 182.5               | 0.5491      | 0.5491       |
| 13                                                  | 130          | 47.36            | 47.37             | 288                  | 287.7               | 0.5934      | 0.5934       |
| 14                                                  | 120          | 47.36            | 47.37             | 268                  | 268.2               | 0.5934      | 0.5934       |
| 15                                                  | 120          | 7.375            | 7.381             | 268                  | 268.2               | 0.5934      | 0.5934       |
| 16                                                  | 100          | 7.375            | 7.381             | 229                  | 229.2               | 0.5934      | 0.5934       |
| 17                                                  | 60.62        | 7.375            | 7.381             | 151.7                | 152.4               | 0.5934      | 0.5934       |
| 18                                                  | 60.62        | 1.227            | 1.228             | 151.7                | 152.4               | 0.5934      | 0.5934       |
| 19                                                  | 80           | 7.375            | 7.381             | 190                  | 190.2               | 0.5934      | 0.5934       |
| 20                                                  | 80           | 7.375            | 7.381             | 2648.6               | 2649                | 0           | 0            |
| 21                                                  | 40           | 7.375            | 7.381             | 167.45               | 167.5               | 0           | 0            |
| 22                                                  | 10           | 1.227            | 1.228             | 167.45               | 167.5               | 0           | 0            |
| 27                                                  | 100          | 7.375            | 7.381             | 2682,6               | 2687                | 0           | 0            |
| 28                                                  | 40           | 7.375            | 7.381             | 167.45               | 167.5               | 0           | 0            |
| 29                                                  | 40           | 101.3            | 101.3             | 167.45               | 167.5               | 0           | 0            |
| 30                                                  | 100          | 101.3            | 101.3             | 2676                 | 2676                | 0           | 0            |
| 31                                                  | 130          | 101.3            | 101.3             | 283                  | 282.2               | 0.4893      | 0.4893       |
| 32                                                  | 122.6        | 101.3            | 101.3             | 262.2                | 265.5               | 0.4893      | 0.4893       |
| 33                                                  | 122.6        | 7.375            | 7.381             | 262.2                | 265.5               | 0.4893      | 0.4893       |
| 34                                                  | 100          | 7.375            | 7.381             | 259                  | 259.5               | 0.6623      | 0.6623       |
| 35                                                  | 100          | 101.3            | 101.3             | 259                  | 259.5               | 0.6623      | 0.6623       |
| 36                                                  | 112.9        | 101.3            | 101.3             | 281                  | 282.1               | 0.6623      | 0.6623       |
| Tek kademeli absorbsiyonlu ısı yuselticisi          |              |                  |                   |                      |                     |             |              |
| q <sub>kay</sub>                                    | 2394.5 kJ/kg |                  |                   | q <sub>kay</sub>     | 2405 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>yoğ</sub>                                    | -2520 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>yoğ</sub>     | -2520 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh</sub>                                    | 2508 kJ/kg   |                  |                   | q <sub>buh</sub>     | 2508 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs</sub>                                    | -2387 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>abs</sub>     | -2393 kJ/kg         |             |              |
| Çift kademeli paralel absorbsiyonlu soğutma sistemi |              |                  |                   |                      |                     |             |              |
| q <sub>y.s.kay</sub>                                | 1933.2 kJ/kg |                  |                   | q <sub>y.s.kay</sub> | 1932 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>d.s.kay</sub>                                | 1396.8 kJ/kg |                  |                   | q <sub>d.s.kay</sub> | 1402 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>y.s.yoğ</sub>                                | -1203 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>y.s.yoğ</sub> | -1203 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>d.s.yoğ</sub>                                | -1240 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>d.s.yoğ</sub> | -1241 kJ/kg         |             |              |
| q <sub>buh</sub>                                    | 2268.7 kJ/kg |                  |                   | q <sub>buh</sub>     | 2268 kJ/kg          |             |              |
| q <sub>abs</sub>                                    | -3148 kJ/kg  |                  |                   | q <sub>abs</sub>     | -3158 kJ/kg         |             |              |
| STK                                                 | 0.5161       |                  |                   | STK                  | 0.5155              |             |              |



Şekil 5.2. Kombine sistemin kaynatıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması

Sistemlerin STK değerleri küçük çıkmış gibi gözükmemektedir. Ama şu unutulmamalıdır ki Isı yükselticisinden gelen ısı enerjisinden çok yüksek verimle soğutma elde edilmiştir (şekil 5.3). Isı yükselticisinin ITK değerinin örnek olarak 0,39 çıktığı çizelge 4.2’de, sistemin STK değeri 0,515 çıkmıştır. Bu örnekte, Çift Kademeli Paralel Absorbsiyonlu Soğutma sisteminin STK sı 1,1 çıkmıştır. Dolayısı ile Isı Yükselticisinin verimi artırılabilirse sistemin STK değeri de yükselecektir. Her ne kadar, yatırım ve işletme maliyetlerini hesaplamımıza katmadan kesin veriler elde edemesekte, Isı yükselticisi sisteminin verimini artırarak (örnek olarak Çift absorber kullanımı) veya soğutma sisteminin verimini artırarak (örnek olarak fazladan eşanjör konulması veya eriyikler geri döndürülmesi) Absorbsiyon Isı Yükselticisi tahrikli Çift Kademeli Absorbsiyonlu Soğutma Sistemini yatırım yapılabilir bir sistem haline getirebiliriz.



Şekil 5.3. Kombine sistemin buharlaştırıcı sıcaklığı ve STK karşılaştırması ( H<sub>2</sub>O-LiBr )

Şöyle düşünelim bir sanayide 90°C atık ısı vardır.burda amaç atık ısı ile soğutma yapmaktır. Şekil 5.3'te grafik üzerinde tek kademeli, çift kademeli ve kombine sistemin soğutma tesir katsayılarının karşılaştırma sonucu verilmiştir. Görüldüğü gibi diğer sistemlerin soğutma tesir katsayıları kombine sisteme göre yüksektir ama kombine sistem da fazla soğutma üretmektedir. Grafike göre çift kademeli palalel absorbsiyonlu sistemin STK'si diğer sistemlerden fazladır ama kombine sistemi kadar soğutma üretmiyor.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada absorbsiyonlu soğutma sistemi ve absorbsiyonlu ısı yükseltici sisteminin tek kademeli ve çift kademeli çevrimleri araştırılıp ve incelenmiştir. Bu araştırmada her çevrim için iki eriyik  $H_2O-LiBr$  ve  $NH_3-H_2O$  düşünüldü ve özet olarak sonuçlar şu şekildedir:

1. Atık ısıların değerlendirilmesinde ön plana çıkan ABS sistemlerinden tek kademeli olanlar, atık ısı kaynak sıcaklığı belli bir değerden sonra ne kadar artarsa artsın STK değerlerinde bir artış olamamaktadır. Sıcaklık seviyesi arttığında ise çift kademeli ABS sistemleri kullanılarak tek kademeliye göre daha yüksek performans elde etmek mümkündür. Sanayide atık kaynak sıcaklığı genellikle düşük veya orta seviyede (genellikle  $90^{\circ}C$  civarında) olduğundan dolayı da daha performanslı olan çift kademeli sistemlerin kullanılmaması söz konusudur. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için bu çalışma, kombine alternatif sistemler suna bilecek ve düşük sıcaklıklı atık ısı kaynağından tahrikli bir AIY sistem kullanmak suretiyle yüksek sıcaklıklı kızgın su elde etmek ve bu kızgın su ile çift kademeli ABS sistemini kullanarak hem tek kademeliye olan mecburiyeti ortadan kaldırmak hem de verilen birim enerji başına daha fazla soğutma yapabilme avantajını sunabilecektir.
2. Tüm soğutma ve ısı yükseltici absorbsiyonlu sistemlerde  $H_2O-LiBr$  eriyiğinin verimi  $NH_3-H_2O$  eriyiğine göre yüksektir ama onun karşısında  $NH_3-H_2O$  eriyiğinin çalışma sıcaklık limiti  $H_2O-LiBr$ 'e göre yüksektir.
3. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde, çift kademeli çevrimlerin verimi tek kademeli çevrimlere göre yüksektir ama dikkata alınmalıdır ki her sistemin çalışma sıcaklık limiti birbirinden farklıdır.
4. Tüm absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde, buharlaştırıcıda belli bir sıcaklık aralığında, sıcaklık artışı ile soğutma tesir katsayısıda yükseliyor ama yoğunlaştırıcıda düşüyor.
5. Tüm absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde, kaynatıcıda sıcaklık artışı ile ısı transferinin değeri bu kısımda düşüyor.

6. Absorbsiyonlu ısı yükseltici sisteminde, tek kademeli çevrimlerin verimi çift kademeli çift kademeli çevrimlere göre yüksektir ama yapılan sıcaklık farkı bu çevrimlerde çift kademeli çevrimlere göre azdır.
7. Çift kademeli paralel absorbsiyonlu ısı yükselticisinin sıcaklığı artıkcı seri tipinden verimi daha yüksek oluyor.
8. Çift kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticilerinde, kondanser sıcaklığını yükseltince, sistemin ısıtma tesir katsayısının değeri düşüyor ama aynı durumu karnatıcı ve ya evaporatorda uyguladığımızda ITK değeri artıyor.
9. Tek kademeli absorbsiyonlu ısı yükselticilerinde yoğunlaştırıcı ve absorberin sıcaklığını yükseltince ısıtma tesir katsayısı ve ısı transferinin değeri yükseliyor
10. Son bölümde Önerilen absorbsiyonlu kombine soğutma sistemi fazla soğutma yapmak için, tek kademeli ve çift kademeli sistemlere göre önerilmektedir ama verimi tek ve çift kademeli çevrime göre azdır.
11. kombine sistemde yüksek sıcaklıklı kaynatıcının sıcaklığı artıkcı, soğutma tesir katsayısının değeri de yükseliyor.

Aşağıdaki konular bu projenin devamı için önerilmektedir:

1. Başka eriyiklerin farklı çevrimlerde verimlerinin incelenmesi.
2. Absorbsiyonlu sistemlerin ve buhar sıkıştırıcı sistemlerin kombinesi, farklı çevrimlerle araştırma ve incelemesi.
3. Çevrimlerin simülasyonu ASPEN PLUS programında ve sonuçlarının karşılaştırması.

## KAYNAKLAR

1. Karamangil, M., Coskun, S., Kaynakli, O., and 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.
2. Riffat, S., Afonso, C., Oliveira, A., and Reay, D. (1997). Natural refrigerants for refrigeration and air-conditioning systems. *Applied Thermal Engineering*, 17, 33-42.
3. Dincer I. and Kanoglu, M. (2011). Refrigeration systems and applications. *International Journal of Refrigeration*, 27, 22-30.
4. Kühn, A. (2013). Thermally driven heat pumps for heating and cooling. *Universitätsverlag der TU, Berlin*.
5. Srihirin, P., Aphornratana, S., and S. Chungpaibulpatana. (2011). A review of absorption refrigeration technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5, 343-372.
6. Horuz I., and Kurt, B. (2010). Absorption heat transformers and an industrial application. *Renewable Energy*, 35, 2175-2181.
7. Sözen A., and Özalp, M. (2013). Performance improvement of absorption refrigeration system using triple-pressure-level. *Applied Thermal Engineering*, 23, 1577-1593.
8. Abu-Ein, S. Q., Fayyad, S. M., Momani, W., and Al-Bousoul, M. (2009). Performance analysis of solar powered absorption refrigeration system. *Heat and Mass Transfer*, 46, 137-145.
9. Kaynakli O., and Kilic, M. (2007). Theoretical study on the effect of operating conditions on performance of absorption refrigeration system. *Energy Conversion and Management*, 48, 599-607.
10. Şencan, A. (2007). Performance of ammonia–water refrigeration systems using artificial neural networks. *Renewable Energy*, 32, 314-328.
11. Horuz I., and Callander, T. (2004). Experimental investigation of a vapor absorption refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 27, 10-16.
12. Chen, J. (1995). Optimal choice of the performance parameters of an absorption heat transformer. *Heat Recovery Systems and CHP*, 15, 249-256.

13. Chen, J. (1997). Thermodynamic analysis of the performance of a solar absorption heat transformer at maximum coefficient of performance. *International Journal of Energy Research*, 21, 975-984.
14. Bhardwaj, P., Kaushik, S., and Jain, S. (2003). Finite time optimisation of an irreversible vapour-absorption heat transformer system. *International Journal of Ambient Energy*, 24, 207-219.
15. Kurem, E., and Horuz, I. (2001). A comparison between ammonia-water and water-lithium bromide solutions in absorption heat transformers. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 28, 427-438.
16. Rivera, W., Best, R., Hernández, J., Heard, C. L., and Holland, F. A. (1994). Thermodynamic study of advanced absorption heat transformers—I. Single and two stage configurations with heat exchangers. *Heat Recovery Systems and CHP*, 14, 173-183.
17. Rivera, W., Best, R., Hernández, J., Heard, C. L., and Holland, F. A. (1994). Thermodynamic study of advanced absorption heat transformers—II. Double absorption configurations. *Heat Recovery Systems and CHP*, 14, 185-193.
18. Ji, J., and Ishida, M. (1999). Behavior of a two-stage absorption heat transformer combining latent and sensible heat exchange modes. *Applied Energy*, 62, 267-281.
19. Donnellan, P., Byrne, E., and Cronin, K. (2013). Internal energy and exergy recovery in high temperature application absorption heat transformers. *Applied Thermal Engineering*, 56, 1-10.
20. Horuz, İ. (2013). Absorpsiyonlu ısı yükselticisi takviyeli çift kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemleri. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 11,3-15.
21. Rivera, W., Cerezo, J., Rivero, R., Cervantes, J., and Best, R. (2003). Single stage and double absorption heat transformers used to recover energy in a distillation column of butane and pentane. *International Journal of Energy Research*, 27, 1279-1292.
22. Donnellan, P., Byrne (2015). Recycling waste heat energy using vapour absorption heat transformers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1290–1304.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MORADI, Kousha  
 Uyuğu : İRAN  
 Doğum tarih ve yeri : 07.06.1989, Tabriz  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 00 90 5344164247  
 e-mail : kousha.moradi@gazi.edu.tr  
 kousha.m68@gmail.com



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                          | Mezuniyet tarihi |
|---------------|----------------------------------------|------------------|
| Yüksek Lisans | Gazi Üniversitesi/Makina Mühendisliği  | Devam ediyor     |
| Lisans        | Azad Üniversitesi/ Makina Mühendisliği | 2011             |
| Lise          | Tabriz Taleghani Meslek Lisesi         | 2005             |

### İş Deneyimi

| Yıl  | Yer                | Görev             |
|------|--------------------|-------------------|
| 2010 | İran Fulad firması | Kontrol Mühendisi |
| 2016 | Mishov Trading     | Müdür yardımcısı  |

### Yabancı Dil

İngilizce, Türkçe, Farsça

### Yayınlar

-

### Hobiler

Müzik, Bilgisayar oyunları, Borsa



*GAZİ GELECEKTİR..*