



T.C.  
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Barış KAVASOĞULLARI**

**SIVI DESİKANT NEM ALMA SİSTEMİNİN  
TASARIMI VE PERFORMANSININ  
GELİŞTİRİLMESİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE – 2016**

**T.C.  
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SIVI DESİKANT NEM ALMA SİSTEMİNİN TASARIMI  
VE PERFORMANSININ GELİŞTİRİLMESİ**

**Barış KAVASOĞULLARI**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE  
OCAK – 2016**

## TEZ ONAYI

### SIVI DESİKANT NEM ALMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE PERFORMANSININ GELİŞTİRİLMESİ

Barış KAVASOĞULLARI tarafından Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul CİHAN danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul CİHAN  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

.....

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Hasan DEMİR  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

.....

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Kerimcan ÇELEBİ  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana BTÜ, Müh. Fak.

.....

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdullah Ali GÜRTEN  
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

.....

Bu Çalışma O.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi ve TÜBİTAK Tarafından Desteklenmiştir.

BAP Proje No: OKÜBAP-2015-PT3-009

TÜBİTAK Proje No: 114M151

*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Barış KAVASOĞULLARI

## ÖZET

### SIVI DESİKANT NEM ALMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE PERFORMANSININ GELİŞTİRİLMESİ

Bariş KAVASOĞULLARI  
Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul CİHAN

Ocak 2016, 88 sayfa

Günümüzde artan yaşam standartlarına paralel olarak enerji ihtiyacımız da artmaktadır. Ülkemizde kullanılan enerjinin yüzde 75'i fosil yakıtlardan (birincil yakıtlar) karşılanmaktadır. 2005 verilerine göre ülkemizde tüketilen enerjinin yüzde 6.1'lik kısmı alan ısıtması/soğutması için kullanılmıştır. Ülkemiz bol miktarda güneş ışınımı almasından dolayı iklimlendirme için harcanan enerjinin ciddi bir oranı yaz aylarında soğutmaya harcanmaktadır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünün Türkiye için hazırladığı güneş enerjisi potansiyeli atlasında, Akdeniz bölgesi incelendiğinde, bölgenin yıllık ortalama metrekareye 1650 kWh güneş aldığı görülmektedir. Ayrıca bölgenin bağıl nem oranının yıllık yüzde 65 civarında olması nedeniyle, bölgede yaz aylarında yalnızca soğutmaya değil aynı zamanda nem almaya da ihtiyaç vardır. Bu da nem alma işlemi için ciddi bir enerji tüketimini gerektirmektedir. Nem alma işlemi mekanik sistemlerle yapılabileceği gibi sıvı nem alma sistemleriyle de yapılabilmektedir. Sıvı nem alma sisteminin kullanılmasıyla geleneksel soğutma sistemlerinde elektrik tüketiminin yüzde 25-35 arasında düşürülebileceği görülmektedir. Bu çalışmada, mekanik nem alma sistemlerinin yerine kullanılabilecek, nem alıcı olarak Lityum-Bromür-su (LiBr-su) kullanılan bir sıvı desikant nem alma sisteminin deney düzeneğinin kurulması, deneylerin yapılması ve termodinamik analizi gerçekleştirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Nem alma sistemi, sıvı desikant, sıvı desikant nem alma sistemi

## ABSTRACT

### THE DESIGN AND PERFORMANCE IMPROVEMENT OF LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM

Bariş KAVASOĞULLARI  
M.Sc., Department of Mechanical Engineering  
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ertuğrul CİHAN

January 2016, 88 pages

Nowadays, energy demand of human being is increasing in parallel to the developing life standarts. 75 percent of the energy is supported from fossil fuel (primary fuel) in our country. According to the data for 2005, 6.1 percent of the energy is consumed for space heating/cooling. The energy used for space heating directed to space cooling in the summertime due to the relatively high number of sunny days in our country. The solar energy potential atlas of Turkey published by the General Directorate of Renewable Energy showed that Mediterranean Region of our country (where the purposed study will be performed) has an annual mean insolation of 1650 kWh per square meters. Moreover, due to the 65 percent annual relative humidity average in this region, both dehumidification and cooling systems are being intensively used especially in summertime. Therefore, most of the consumed energy is utilized for the dehumidification process. Dehumidification process can be done with liquid desiccant dehumidification systems as it can be done with mechanical systems. By using liquid desiccant dehumidification systems in conventional cooling systems, electricity consumption would be reduced 25-35 percent. In this study, experimental setup, carrying out experiments and thermodynamical analysis of a liquid desiccant dehumidification system, which can be used instead of mechanical dehumidification systems and lithium-bromide-water (LiBr-water) is used as desiccant, will be performed.

**Key Words:** Dehumidification system, liquid desiccant, liquid desiccant dehumidification system

*Mustafa KAVASOĞULLARI'na...*

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul CİHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Tez'e konu olan deney düzeneği sisteminin kurulmasında ve çalıştırılmasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan DEMİR hocama ve bölümdeki çalışmalarım süresince beni destekleyen diğer bölüm hocalarıma teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen aileme ve eşim Aysel KAVASOĞULLARI'na da ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışma 114M151 no'lu TÜBİTAK projesi kapsamında yapılmış olup, proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Adı geçen kuruma teşekkür ederiz.



## İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| TEZ ONAYI  |      |
| TEZ BİLDİRİMİ  |      |
| ÖZET.....  | i    |
| ABSTRACT.....  | ii   |
| İTHAF SAYFASI.....   | iii  |
| TEŞEKKÜR.....  | iv   |
| İÇİNDEKİLER.....   | v    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....   | vii  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                   | x    |
| 1. GİRİŞ.....  | 1    |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                      | 4    |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM.....                                      | 14   |
| 3.1. Desikant Malzemeleri.....                                 | 14   |
| 3.1.1. Katı Desikantlar.....                                   | 14   |
| 3.1.2. Sıvı Desikantlar.....                                   | 15   |
| 3.2. Desikant Nem Alma Sistemleri.....                         | 16   |
| 3.2.1. Katı Desikant Nem Alma Sistemleri.....                  | 18   |
| 3.2.2. Sıvı Desikant Nem Alma Sistemleri.....                  | 20   |
| 3.3. Sıvı Desikant Nem Alma Sisteminin Modellenmesi.....       | 25   |
| 3.4. Deney Düzenliğinin Hazırlanması ve Sistemin Tasarımı..... | 26   |
| 3.4.1. Nem Alıcı (Absorber) ve Rejeneratör (Desorber).....     | 28   |
| 3.4.2. Hava Fanı.....  | 37   |
| 3.4.3. Sıvı Pompası.....                                       | 38   |
| 3.4.4. Isı Değiştiriciler.....                                 | 39   |
| 3.4.5. Otomatik Kontrol Sistemi.....                           | 41   |
| 3.5. Sistem Performansının Hesaplanması.....                   | 42   |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                   | 48   |
| 4.1. Nem Alıcı Kolonu Performans İncelemesi.....               | 48   |
| 4.2. Rejeneratör Kolonu Performans İncelemesi.....             | 52   |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                                   | 58   |
| KAYNAKLAR.....   | 59   |
| ÖZGEÇMİŞ.....  | 65   |

|            |    |
|------------|----|
| EKLER..... | 66 |
|------------|----|

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 3.1. Çeşitli soğutma sistemlerinin bazı parametreler için karşılaştırılması .. | 18 |
| Çizelge 3.2. Pleksiglas malzemenin fiziksel, ısıl ve mekanik özellikleri .....         | 29 |
| Çizelge 3.3. Literatürde çalışmalarda kullanılmış bazı dolgu malzemeleri .....         | 34 |
| Çizelge 3.4. Polikarbon dolgu malzemesinin yüzey alanı ve gözeneklilik değerleri.      | 35 |
| Çizelge 4.1. Deneye ait parametreler .....   | 48 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.1. Operatif sıcaklığa ve nem oranına bağlı ısı konfor şartları.....   | 1  |
| Şekil 1.2. Bazı şehirlerde 24 °C sıcaklığı ve %50 nem miktarını elde edebilmek için harcanan gizli ve duyulur soğutma yükü oranları ..... | 2  |
| Şekil 3.1. Döner desikant tekerleği .....   | 19 |
| Şekil 3.2. Katı desikant iklimlendirme sisteminin şematik diyagramı .....   | 20 |
| Şekil 3.3. Basit bir sıvı desikant nem alma sistemi.....  | 21 |
| Şekil 3.4. Desikant nem alma ve rejenerasyon işlemleri .....  | 21 |
| Şekil 3.5. Hibrit sıvı desikant iklimlendirme sistemi.....  | 22 |
| Şekil 3.6. Sıvı desikant nem almalı iklimlendirme sisteminin şematik diyagramı ....   | 23 |
| Şekil 3.7. Önerilen sıvı desikant nem alma sisteminin şematik gösterimi.....  | 26 |
| Şekil 3.8. Deney düzeneği ve üzerindeki sensörler.....  | 27 |
| Şekil 3.9. Birleştirilmiş pleksiglas levhalar.....  | 30 |
| Şekil 3.10. Polikarbon levhaların kesilmesi.....  | 30 |
| Şekil 3.11. Kesilmiş polikarbon levhalar .....  | 31 |
| Şekil 3.12. 30, 45 ve 60° kanal açılı 100x300x6 mm'lik levhalar .....   | 31 |
| Şekil 3.13. 30, 45 ve 60° kanal açılı 60x300x10 mm'lik levhalar .....   | 32 |
| Şekil 3.14. Birleştirilmiş polikarbon levhalar .....  | 32 |
| Şekil 3.15. Polikarbon levhaların kolon içindeki görünümü .....   | 33 |
| Şekil 3.16. Nem alıcı ve rejeneratör kolonlarında kullanılan.....<br>püskürtme nozulları.....   | 36 |
| Şekil 3.17. Nozulların dağıtıcı borulara yerleştirilmesi .....  | 36 |
| Şekil 3.18. Nozulların kolon içindeki görünümü .....  | 37 |
| Şekil 3.19. Hava fanı önden ve arkadan görünümü .....   | 38 |
| Şekil 3.20. Sıvı pompasının önden ve üstten görünümü.....   | 39 |
| Şekil 3.21. Çözeltiyi ısıtmak için kullanılan ısı değiştiricinin önden görünümü .....   | 40 |
| Şekil 3.22. Çözeltiyi soğutmak için kullanılan ısı değiştiricinin önden görünümü ...  | 40 |
| Şekil 3.23. Otomatik kontrol programının bilgisayar ekranındaki görüntüsü .....   | 41 |
| Şekil 3.24. Otomatik kontrol programı ayar menüsü.....  | 42 |
| Şekil 3.25. Nem alma ve rejenerasyon işlemlerinin psikometrik .....   | 43 |
| diyagramda gösterimi.....   | 43 |
| Şekil 4.1. T <sub>1</sub> ve T <sub>2</sub> 'nin zamanla değişimi.....  | 49 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.2. $\phi_1$ ve $\phi_2$ 'nin zamanla değişimi .....                       | 49 |
| Şekil 4.3. $\omega_1$ ve $\omega_2$ 'nin zamanla değişimi .....                   | 50 |
| Şekil 4.4. Nem alıcı kolonda nem alma veriminin zamanla değişimi.....             | 50 |
| Şekil 4.5. Nem alıcıda entalpi veriminin zamanla değişimi.....                    | 51 |
| Şekil 4.6. Nem alıcı kolonda havanın duyulur ısı oranının zamanla değişimi.....   | 52 |
| Şekil 4.7. $T_3$ ve $T_4$ 'ün zamanla değişimi.....                               | 53 |
| Şekil 4.8. $\phi_3$ ve $\phi_4$ 'ün zamanla değişimi .....                        | 53 |
| Şekil 4.9. $\omega_3$ ve $\omega_4$ 'ün zamanla değişimi .....                    | 54 |
| Şekil 4.10. Rejeneratörün nem alma veriminin zamanla değişimi.....                | 54 |
| Şekil 4.11. Rejeneratörün entalpi veriminin zamanla değişimi .....                | 55 |
| Şekil 4.12. Rejeneratörde havanın duyulur ısı oranının zamanla değişimi.....      | 56 |
| Şekil 4.13. Kütlece %43'lük LiBr çözeltisinin psikometrik diyagramda gösterimi .. | 56 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR

|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
| $c_p$         | Nem alıcıda havanın ortalama özgül ısısı                     | (kJ/kg.K) |
| $c_{p,1}$     | (1) noktasındaki havanın özgül ısısı                         | (kJ/kg.K) |
| $c_{p,2}$     | (2) noktasındaki havanın özgül ısısı                         | (kJ/kg.K) |
| $c_{p,3}$     | (3) noktasındaki havanın özgül ısısı                         | (kJ/kg.K) |
| $c_{p,4}$     | (4) noktasındaki havanın özgül ısısı                         | (kJ/kg.K) |
| $c_{p,r}$     | Rejeneratörde havanın ortalama özgül ısısı                   | (kJ/kg.K) |
| $h$           | Entalpi  | (kJ/kg)   |
| $h_1$         | (1) noktasında havanın entalpisi                             | (kJ/kg)   |
| $h_2$         | (2) noktasında havanın entalpisi                             | (kJ/kg)   |
| $h_3$         | (3) noktasında havanın entalpisi                             | (kJ/kg)   |
| $h_4$         | (4) noktasında havanın entalpisi                             | (kJ/kg)   |
| $h_g$         | Su buharının nem alıcıdaki entalpisi                         | (kJ/kg)   |
| $h_{g,r}$     | Su buharının rejeneratördeki entalpisi                       | (kJ/kg)   |
| $h_s$         | Nem alıcıda sıvı desikant sıcaklığındaki havanın entalpisi   | (kJ/kg)   |
| $h_{s,r}$     | Rejeneratörde sıvı desikant sıcaklığındaki havanın entalpisi | (kJ/kg)   |
| $h_{verim}$   | Nem alıcının entalpi verimi                                  | (-)       |
| $h_{verim,r}$ | Rejeneratörün entalpi verimi                                 | (-)       |
| $m_a$         | Kuru hava kütlesi  | (kg)      |
| $m_d$         | Doymuş havanın kütlesi                                       | (kg)      |
| $m_v$         | Havadaki su buharı kütlesi                                   | (kg)      |
| $P$           | Basınç   | (kPa)     |

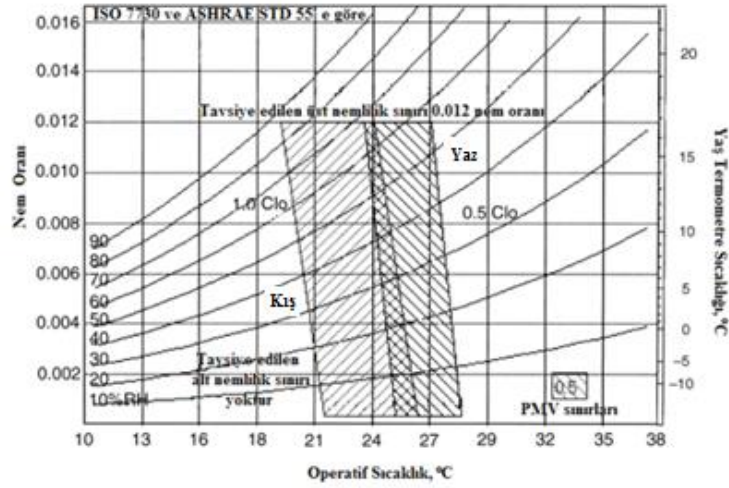
|                    |   |           |
|--------------------|---|-----------|
| $P_a$              | Kuru hava basıncı                                       | (kPa)     |
| $P_{atm}$          | Atmosfer basıncı  | (kPa)     |
| $P_d$              | Suyun doyma basıncı                                     | (kPa)     |
| $P_T$              | Havanın toplam basıncı                                  | (kPa)     |
| $P_v$              | Nemli havada su buharı kısmi basıncı                    | (kPa)     |
| $P_{w,s}$          | Sıvı desikanttaki su buharı kısmi basıncı (nem alıcı)   | (kPa)     |
| $P_{w,s,r}$        | Sıvı desikanttaki su buharı kısmi basıncı (rejeneratör) | (kPa)     |
| $P_1$              | (1) noktasında havanın basıncı                          | (kPa)     |
| $P_2$              | (2) noktasında havanın basıncı                          | (kPa)     |
| $P_3$              | (3) noktasında havanın basıncı                          | (kPa)     |
| $P_4$              | (4) noktasında havanın basıncı                          | (kPa)     |
| $R_a$              | Kuru hava için evrensel gaz sabiti                      | (J/mol.K) |
| $R_v$              | Nemli hava için evrensel gaz sabiti                     | (J/mol.K) |
| SHR                | Nem alıcıda havanın duyulur ısı oranı                   | (-)       |
| SHR <sub>r</sub>   | Rejeneratörde havanın duyulur ısı oranı                 | (-)       |
| T                  | Sıcaklık  | (°C)      |
| T <sub>1</sub>     | (1) noktasında havanın sıcaklığı                        | (°C)      |
| T <sub>2</sub>     | (2) noktasında havanın sıcaklığı                        | (°C)      |
| T <sub>3</sub>     | (3) noktasında havanın sıcaklığı                        | (°C)      |
| T <sub>4</sub>     | (4) noktasında havanın sıcaklığı                        | (°C)      |
| T <sub>ort</sub>   | Havanın nem alıcıdaki ortalama sıcaklığı                | (°C)      |
| T <sub>ort,r</sub> | Havanın rejeneratördeki ortalama sıcaklığı              | (°C)      |
| T <sub>s</sub>     | Sıvı desikantın nem alıcıya giriş sıcaklığı             | (°C)      |

|                    |  |                   |
|--------------------|--|-------------------|
| $T_{s,r}$          | Sıvı desikantın rejeneratöre giriş sıcaklığı   | (°C)              |
| $X$                | Sıvı desikant konsantrasyonu                   | (%)               |
| $X_s$              | Nem alıcıda sıvı desikantın konsantrasyonu     | (%)               |
| $X_{s,r}$          | Rejeneratörde sıvı desikantın konsantrasyonu   | (%)               |
| $V$                | Hava hacmi                                     | (m <sup>3</sup> ) |
| $\omega$           | Mutlak nem                                     | (kg/kg)           |
| $\omega_1$         | (1) noktasında havanın mutlak nemi             | (kg/kg)           |
| $\omega_2$         | (2) noktasında havanın mutlak nemi             | (kg/kg)           |
| $\omega_3$         | (3) noktasında havanın mutlak nemi             | (kg/kg)           |
| $\omega_4$         | (4) noktasında havanın mutlak nemi             | (kg/kg)           |
| $\omega_{ge}$      | Sıvı desikant eş değer nem oranı (nem alıcı)   | (kg/kg)           |
| $\omega_{ge,r}$    | Sıvı desikant eş değer nem oranı (rejeneratör) | (kg/kg)           |
| $\omega_{verim}$   | Nem alıcı nem alma verimi                      | (-)               |
| $\omega_{verim,r}$ | Rejeneratör nem alma verimi                    | (-)               |
| $\phi$             | Bağıl nem                                      | (-)               |
| $\phi_1$           | (1) noktasında havanın bağıl nemi              | (-)               |
| $\phi_2$           | (2) noktasında havanın bağıl nemi              | (-)               |
| $\phi_3$           | (3) noktasında havanın bağıl nemi              | (-)               |
| $\phi_4$           | (4) noktasında havanın bağıl nemi              | (-)               |



## 1. GİRİŞ

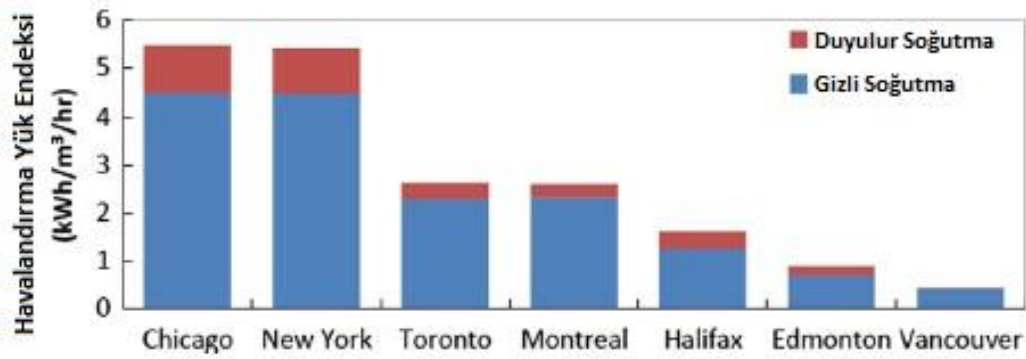
Günümüzde artan yaşam standartlarına bağlı olarak ısıtma ve soğutmaya harcanan enerji de artmaktadır. Isıtma ve soğutmaya harcanan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Artan enerji kullanımı ve fosil yakıtların çok uzak olmayan bir gelecekte tükenecek olması araştırmacıları alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir [1]. Özellikle soğutma alanında kullanılmak üzere atık ısı, güneş enerjisi ve jeotermal enerji gibi alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bunun en önemli sebeplerinden bir başkası ise Dünya 'da tüketilen enerjinin yaklaşık %15'inin (Türkiye'de %6.11, ABD'de %15 ve Çin'de %25) soğutma alanında kullanılmasıdır [2-5]. Soğutma alanında tüketilen enerjinin toplam enerji tüketimine oranı düşünüldüğünde, soğutma alanında alternatif enerji kullanımının önemi ve gerekliliği daha iyi anlaşılabilir. Bu ve buna benzer sebeplerden dolayı absorpsiyonlu soğutma sistemleri, adsorpsiyonlu soğutma sistemleri, kimyasal ısı pompaları gibi pek çok alternatif enerji kaynakları ile çalışan soğutma sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmış ve hala yapılmaktadır [6-7].



Şekil 1.1. Operatif sıcaklığa ve nem oranına bağlı ısı konfor şartları [8].

Şekil 1.1'de ASHRAE 55-2004 standartlarında yer alan ısı konforu belirleme metodlarına göre oluşturulan grafik görülmektedir. Şekle göre, yaz dönemi için konfor sıcaklığı 23.5 ile 28 °C, kış dönemi için ise 19 ile 26.5 °C olduğu görülebilmektedir. Yaz ve kış koşullarında istenilen konfor düzeyinin elde

edilebilmesinde sıcaklığın yanı sıra nem kontrolünün de önemi ortaya çıkmaktadır. Bağıl nemin fazla olduğu bölgelerde soğutma işlemi geleneksel buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri ile yapıldığında soğutmada enerjinin büyük kısmı nem oranını düşürmeye yani gizli ısının giderilmesine harcanmaktadır. Örneğin Enteria ve ark. [3] tarafından Amerika kıtasında bulunan bazı şehirlerde 24 °C sıcaklığı ve %50 nem miktarını elde edebilmek için gizli ve duyulur soğutmaya harcanan enerjiler Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Bazı şehirlerde 24 °C sıcaklığı ve %50 nem miktarını elde edebilmek için harcanan gizli ve duyulur soğutma yükü oranları

Şekilden de görülebileceği gibi istenilen iç konforun sağlanmasında gizli ısıya, duyulur ısıya oranla çok yüksek miktarlarda enerji harcanmaktadır. Konvansiyonel buhar-sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde havanın içindeki nemi buharlaştırıcıda yoğunlaştırmak için çığ noktasının altına kadar soğutmak gerekmektedir. Bu olay hem gizli ısının yani nemin giderilmesine harcanan enerjinin fazla olmasına hem de sistemin performans katsayısının (COP) düşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle gizli ısının yani nemin giderilmesinde sıcaklık kontrolünden bağımsız nem kontrolünün gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı, ortamdaki gizli ısının giderilmesinde, konvansiyonel buhar-sıkıştırımlı soğutma sistemlerine alternatif olarak, desikant nem alma sistemleri geliştirilmiştir.

Desikant nem alma sistemlerinin çalışma mantığı, havadaki su buharının soğurularak gizli ısının duyulur ısıya dönüştürülmesine dayanır. Bu şekilde, havadaki gizli ısı herhangi bir mekanik enerji harcanmadan ya da çok az miktarda enerji harcanarak duyulur ısıya çevrilmiş olur. Desikant nem alma sistemlerinin soğutma ve ısıtma

sistemleriyle beraber kullanılması durumunda (hibrit sistemler) elde edilen elektrik enerjisi tasarrufu birçok çalışmada ortaya konulmuştur. Örneğin sıvı desikant nem alma sisteminin, konvansiyonel buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemiyle beraber kullanılması durumunda, Ahmed ve ark. [9] tarafından, elektrik enerjisinden %35 oranında tasarruf yapılabileceği belirtilmiştir. Aynı şekilde, Sultan ve ark. [10] soğutma sistemlerinde desikant kullanımının ısıtmada %5, soğutmada ise %30 varan enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuşlardır.

Desikant nem alma sistemleri, katı ve sıvı desikant nem alma sistemleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu sistemlerden ilerdeki bölümlerde ayrıntılı olarak söz edilecektir.

Bu çalışmada, mekanik nem alma sistemlerinin yerine kullanılacak, sıvı desikant olarak Lityum Bromür (LiBr) sulu çözeltisi kullanılan bir sıvı desikant nem alma sistemi tasarlanarak termodinamik analizi yapılmıştır. Sistemdeki nem alma ve rejeneratör kolonlarının, nem alma verimi, entalpi verimleri ve duyulur ısı oranları gibi farklı parametreler açısından deneysel olarak performansları incelenmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sıvı desikant nem alma sistemlerindeki en büyük problem, nem alıcı ve rejeneratör kolonlarındaki kütle transferi ve ısı transferinin maksimum düzeye getirilebilmesidir. Kolonlarda gerçekleşen kütle ve ısı transferi nem alma miktarına ve verimine doğrudan etki ettiğinden araştırmacılar en çok bu problem üzerine çalışmalar yapmış ve hala yapmaktadırlar. Araştırmacılar sistemin kütle ve ısı transferi performansını iyileştirebilmek adına teorik ve deneysel modeller geliştirmişlerdir.

Sıvı desikant nem alma sistemleriyle ilgili bilinen en erken çalışmalardan biri Lof [11] tarafından yapılmıştır. Çalışmada, sıvı desikant olarak trietilen-glikol kullanılan ve güneş enerjisi ile rejenere edilen nem alma sisteminin tasarımı yapılmış ve deneysel olarak test edilmiştir. Daha sonra yapılan bir başka çalışmada Factor ve Grossman [12], güneş enerjili iklimlendirme sisteminde havadaki nemin alınması ve rejenerasyon için paket dolgu kolonu tasarlamışlardır. Çalışmada, sistemin farklı çalışma koşulları altında teorik analizini yapmışlardır. Teorik analizin geçerliliğinin araştırılabilmesi için deney aparatı oluşturulmuş ve sıvı desikant olarak sistemde monoetilen glikol ve lityum bromür çözeltileri kullanılmıştır. Ne var ki, glikol içerikli sıvıların gösterdiği olumsuzluklardan ötürü sistemde monoetilen glikol kullanıldığında tutarsız sonuçlarla karşılaşmışlardır. Buna karşın lityum bromür ile yapılan deneylerde çok iyi sonuçlar elde edildiğini ve hatta elde edilen sonuçların teorik olarak elde edilen sonuçlarla çok iyi uyum gösterdiğini belirtmişlerdir. Paket dolgu kolonunun nem alıcı ve rejeneratör olarak iyi sonuçlar verdiği ve uygun paketleme yapıldığında kolondaki basınç kaybının azaltılabileceğini ortaya koymuşlardır.

90'lı yıllarda yapılan ilk çalışmalardan birinde Patnaik ve ark. [13], 10.5 kW kapasitesindeki açık sıvı desikant sisteminin tasarımını, kurulumunu ve çalıştırılmasını gerçekleştirmişlerdir. Sistemde, nem alıcı ve rejeneratör kolonlarında havayı kurutmak ve desikant çözeltilisinin rejenere etmek için paket dolgu birimleri kullanılmıştır. Rejeneratör kolonunda, yerçekimi tepsisi ve püskürtme kulesi olmak üzere iki farklı sıvı desikant dağıtma sistemi kullanılmış ve püskürtme kulesinin diğerine göre %40-50 oranında daha fazla nem alma kapasitesi sağladığı ve %30-40

daha düşük basınç kaybına sebep olduğu tespit edilmiştir. Çalıştırılan sistemde, hem rejeneratör hem de nem alıcı kolonları için 3.5-14 kW soğutma kapasitesi elde edilmiştir. Deneylelerden elde edilen verilerle, istatistiksel yöntemler kullanılarak, nem alıcıdaki su yoğunlaşma miktarı ve rejeneratördeki su buharlaşma miktarları için, benzer açık sıvı desikant nem alma sistemlerinin performans analizinde kullanılabilir, faydalı eşitlikler bulunmuştur.

Diğer bir çalışmada, Öberg ve Goswami [14], sıvı desikant olarak trietilen glikol kullanılan bir sıvı desikant nem alma sisteminde gerçekleşen ısı ve kütle transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada nem alıcı olarak yine paket dolgu kolonu kullanmışlar ve iyi bir paketlemede ısı ve kütle transferi performanslarının iyi olduğu ve hatta kolondaki basınç kaybının az olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemiyle türetilmiş eşitliklerle deneysel sonuçların birbirine yakın olduğunu tespit etmişlerdir.

Xing [15] yüksek lisans tez çalışmasında, sıvı desikant nem alma sisteminin yapı uygulamalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada öncelikle hem gaz tarafı kontrollü (PGC) transfer katsayıları hem de yarı sonsuz transfer katsayıları kullanarak desikant-nemli hava sistemindeki ısı ve kütle transferi modellemiştir. Deneysel verilerle kıyasla oluşturulan bu modelin tekli uygulamalar için iyi, periyodik işlemler için ise kabul edilebilir düzeyde olduğunu belirlemiştir. Oluşturulan bu model iki amaç için yarar sağlamıştır: desikant biriminin performans analizi ve bir desikant biriminin tasarım ve çalışma optimizasyonu. Çalışmada, desikant-nemli hava kütle transferi veriminin iyileştirilebilmesi için sıcaklık kontrol metodu önermiştir. Daha önce tasarlanmış bir sistem modeli kullanarak, sıcaklıkların bölümlere ayrılarak kontrol edildiği bir sistem oluşturmuştur. Sistem üzerinde yaptığı simülasyonlarla, sıcaklık kontrolünün kütle transferini artırdığını göstermiştir. Aynı sistem kullanılarak, sıcaklık kontrollü paket dolgu desikant biriminin parametrik analizi gerçekleştirmiştir. Yaptığı analizde, işlem gören havanın kütle debisinin, rejenerasyon sıcaklığının ve çevrim zamanının nem alma performansına etkisini incelemiştir. Yapı uygulamalarında desikant nem alma sisteminin performans analizi için üç tane kriter öne çıkarmıştır: emme oranı, ortalama dış hava şartları ve enerji tüketimi. Örnek bir uygulamayı, bir desikant birimi Çin'in Şangay şehrinde iki kişilik

bir oda için tasarlamış ve desikant biriminin çalışma şartları için optimize etmiştir. Yapılan tasarımın, desikant nem alma sistemlerinin uygun çalışma parametreleri sağlandığında yapı uygulamalarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Başka bir çalışmada, Fumo ve Goswami [16] desikant olarak Lityum Klorür (LiCl) çözeltisi kullanılan bir nem alma sisteminde nem alıcı ve rejeneratör performansları üzerinde çalışmışlar ve sıvı-gaz teması etkileşimi için, düşük basınç kayıplı paket kolonların iyi ısı ve kütle transferi sağladığını ortaya koymuşlardır. Oluşturulan sistemde, nem alma ve rejenerasyon miktarlarının yanı sıra nem alma ve rejenerasyon verimliliğine desikant debisinin, hava nemi ve sıcaklığının ve desikant sıcaklığının etkisini Öberg ve Goswami matematik modellerinin bir varyasyonunu kullanarak incelemişlerdir. Hesaplama sonuçlarına dayanılarak sözü geçen parametrelerin rejenerasyon ve nem alma işlemleri üzerinde büyük etkisinin olduğu anlaşılmıştır.

Gandhidasan [17] ise paket dolguda oluşan havadan nem alma işleminin tasarımı için boyutsuz buhar basıncı ve sıcaklık farkı oranlarını kullanarak basit modeller oluşturmuştur. Sözü geçen oranlar kullanılarak, nemli havadan çözeltiliye yoğunlaşan su miktarını tahmin edebilmek için, bir ifade türetmiştir. Model tahminlerini literatürde bulunan deneysel verilerle karşılaştırılarak doğruluğunu araştırmıştır. Çalışmada ayrıca soğutma suyu giriş sıcaklığının ve desikant-su ısı değiştirici veriminin nem alma performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırma sonuçlarına göre, düşük soğutma suyu sıcaklığı ve yüksek ısı değiştirici veriminin nem alma performansını arttırdığını tespit etmiştir.

Mesquita [18] doktora tezi çalışmasında, izotermal ve izotermal olmayan düz plakalı sıvı desikant nem alıcılar ve rejeneratörler için sayısal modeller önermiştir. Sistemde su ve hava akımları için iki boyutlu model oluşturmuştur. Çalışmada kütle transferini en çok etkileyen su kütleli debisi ve sıcaklığı ve desikant kütleli debisi gibi parametreleri kullanılarak sistemin analizini yapmıştır. Analiz sonucunda, izotermal durum için, su sıcaklığının ve debisinin nem alıcı ve rejeneratör performansı üzerinde büyük etkisi olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada tekli kanallı bir prototip tasarlanarak 18 farklı durumda sistem performansının su kütleli debisiyle, desikant

kütlesel debisiyle ve akış biçimiyle değişimini gözlemiştir. Deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar sayısal sonuçlarla aynı şekilde değişmiş fakat deneysel hatalardan dolayı güvenilirlik seviyesini %95 olarak belirlemiştir.

Mei ve Dai [19] ise, iklimlendirme uygulamaları için sıvı desikant nem alma sisteminin teknik incelemesini yapmışlardır. Yazarlar çalışmada, başlıca desikant nem alma sistemlerinin özellikleri hakkında bilgi vermiş ve aynı zamanda sıvı desikant nem alma sistemlerinin en önemli elemanı olan rejeneratördeki teknik ve teorik ilerlemeler hakkında araştırma yapmışlardır. Bunlara ek olarak, sistem performansının optimizasyonu için deneysel ve analitik çalışmalar yapmışlardır. Son olarak sıvı desikant nem alma sistemi ile ilgili gelecekteki çalışmalardan ve uygulamalardan bahsetmişlerdir.

Mohan ve ark. [20], psikometrik denklemler ve sıvı desikant özellik verilerini kullanarak hibrit iklimlendirme-sıvı desikant nem alma sisteminde kullanılan karşıt akışlı nem alıcı ve rejeneratör kolonlarının ısı ve kütle transferi analizini yapmışlardır. Analiz sonucunda, çözelti hava kütlece oranı %0.05-3 aralığında olması şartıyla, giriş havasının daha yüksek özgül neme ve sıcaklığa sahip olması durumunda nem alıcı (absorber) kolonunda alınan nem miktarı arttığını gözlemlemişlerdir. Yazarlar aynı çözelti-hava oranı aralıklarında, rejeneratör kolonuna giren havanın sıcaklığı artırılıp özgül nem miktarı düşürüldüğünde rejeneratöre edilen çözelti miktarının arttığını gözlemlemişlerdir. Çalışmada ayrıca çözelti debisinin düşük tutulması sebebiyle çözelti sıcaklığının nem alma ve rejenerasyon miktarına etkisinin ihmal edilebilecek kadar az olduğunu tespit etmişlerdir.

Junyi [21] doktora tezi çalışmasında , sıvı desikant soğutma sisteminin incelemesini yapmıştır. Çalışmada, katı ve sıvı desikant soğutma sistemlerini araştırmış ve enerji tasarrufu uygulamaları için hibrit sıvı desikant soğutma sistemleri ve sıvı desikant ısı pompası sistemleri tanıtmıştır. Çalışmada bunlara ek olarak, sistemde oluşan olumsuz durumları giderilmesi üzerinde de araştırmalar yapmıştır. Örneğin reaktörde (nem alıcı-absorber) hava akımında oluşan çözelti damlacıklarının taşınma problemi için yeni reaktör tasarımı geliştirmiştir. Geliştirdiği tasarımda nem alma işleminde

mikrofiber malzeme kullanılarak kılcal etki yaratmıştır. Yeni reaktörün desikant olarak Lityum Klorür kullanılarak deneysel analizi yapmıştır. Yaptığı analiz sonucunda yeni tasarlanan reaktörle çözelti damlacıklarının taşınması probleminin çözülebildiğini tespit etmiştir. Yazar çalışmada, reaktörün kütle ve ısı transferi performansının belirlenebilmesi için iki boyutlu matematik model geliştirmiştir. Oluşturduğu denklemleri, çapraz akışlı reaktörde çözelti ile hava arasında gerçekleşen ısı ve kütle transferi işlemlerinin tanımlanmasında kullanmıştır. Entalpi ve nem alma verimliliği için ortalama mutlak farkı sırasıyla %12.3 ve %9.4 olarak tespit etmiştir. Doğrulama, hesaplanan değerlerle deneysel verilen uyumlu olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, nem alıcının (absorber) performansının optimize edilmesi için nem alma çalışmasındaki simülasyon sonuçlarını temel alarak sistemin parametrik analizini yapmıştır. Analiz parametreleri, çözelti ile hava arasındaki temas alanı, çözeltinin ve havanın giriş özellikleri ve kütleli debi olarak belirlenmiştir. Yaptığı analiz sonucunda, temas alanının, çözeltinin kütleli debisinin, giriş havasının bağıl neminin ve hava giriş sıcaklığının artırılması nem alma etkisini iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Öte yandan, yüksek çözelti giriş sıcaklığının nem alma miktarını düşürdüğünü belirlemiştir. Her yüksek performans nem alma işleminde çözelti konsantrasyonunun ve hava akış miktarının bir kritik noktası olduğunu tespit etmiştir. Bu sebeple, bu iki parametre için optimum değerleri diğer başlangıç koşulları bilinerek tespit edilmiştir.

Jain ve ark. [22] tarafından bir başka çalışmada sıvı desikant nem alma sisteminin Lityum Klorür (LiCl) ve Kalsiyum Klorür ( $\text{CaCl}_2$ ) olmak üzere iki farklı desikant çözeltisi için deneysel analizi yapılmıştır. Sistemin bu iki çözelti için performans parametreleri, özgül nem değişimi ve nem alma verimliliği giriş hava koşulları, kızgın su sıcaklığı ve çözelti konsantrasyonu parametreleri değiştirilerek incelenmiştir. Hesaplamalar sonucunda,  $\text{CaCl}_2$  için, özgül nemdeki değişim 0.6-1.77 g/kg, nem alma verimi 0.25-0.44 ve rejeneratör verimi 0.07-0.8 aralıklarında bulunurken, LiCl için özgül nemdeki değişim 3.67-5.86 g/kg ve nem alma verimi 0.36-0.45 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar göz önüne alınarak önerilen bu sistemde desikant çözeltisi olarak LiCl kullanılmasının daha uygun olduğu ortaya konulmuştur.



Diğer bir çalışmada, Mohan ve ark. [23], sıvı desikant nem alma sisteminde kullanılan nem alma (absorber) ve rejeneratör kolonlarının konvansiyonel iklimlendirme cihazlarına entegre edilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada nem alıcıya giren havanın kuru termometre sıcaklığının, iklimlendiricili bir odanunki gibi, 8-16 °C aralığında ve bağıl nemi %75-95 aralığında olduğu kabul edilmiştir. Benzer şekilde, rejeneratör kolonuna giren havanın yaş termometre sıcaklığının, yoğuşturucu çıkış havasındaki gibi, 40-60 °C aralığında, özgül nemi ise 15-20 g/kg olduğu kabul edilmiştir. Besleme havasından yoğuşturucu havasına nem transferinin, kapasitesi 0.8 soğutma tonu (TR-Ton of refrigeration; yaklaşık 2.81 kW) olan iklimlendirici için 0.28-0.6 g/s olduğu tespit edilmiştir. Dahası besleme havası nem alma işlemi sırasında gözle görülür biçimde ısınmakta ki bu da iklimlendirilen alanın düşük nemde kalabilmesine imkan sağlamaktadır.

Salariyan ve ark. [24] yaptıkları sayısal çalışmada kolon yüksekliğinin artmasıyla nem alma miktarının arttığını ortaya koymuşlardır. Çalışmada, MATLAB yazılımı yardımıyla sayısal modeller geliştirilmiş ve bu modellerin kabul edilebilirliği deneysel verilerle ispatlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, nem alma miktarının nem alma kolonuna giren havanın ve desikant çözeltisinin kütleli debisinin artmasıyla arttığını fakat giriş havasının sıcaklığının artmasıyla azaldığını göstermiştir.

Liu ve ark. [25] ise sıklıkla sıvı desikant olarak kullanılan iki tane farklı çözeltinin kütle transferini karşılaştırmışlardır. Çalışmada, LiBr (Lityum Bromür) ve LiCl (Lityum Klorür) sulu çözeltileri seçilmiş, aynı çözelti sıcaklıkları ve yüzey buhar basınçları için sistemin analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda aynı desikant kütleli debilerinde LiCl çözeltisinin nem alma performansının daha iyi olduğu tespit edilmiş fakat rejenerasyon performansında iki çözeltinin birbirine denk olduğu, kimi zamanlarda LiBr çözeltisinin az bir miktar daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Aynı hacimsel debilerde ise nem alma performansında iki çözeltinin gene birbirine denk olduğu fakat kimi durumlarda LiCl çözeltisinin az bir miktar öne geçtiği, rejenerasyon performansında ise LiBr çözeltisinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Her iki çözelti için de sistemin soğutma performans katsayısının (COP) aynı olduğu görülmüştür. LiCl çözeltisinin nem alma performansının daha iyi olmasının yanı sıra maliyetinin de LiBr çözeltisinden %18 daha az olduğu belirtilmiştir.

Mohammad ve ark. [26], sıvı desikant nem alma sistemlerindeki güncel araştırmaları ve geliştirme çalışmalarını incelemişlerdir. Çalışmada, ilk olarak sıvı desikantların çalışma prensiplerinden ve hibrit sıvı desikant sistemlerinin sınıflandırılmasından bahsedilmiştir. Daha sonra çalışmaya sıvı desikant nem alma sistemleri dahil edilmiştir. Son olarak, doğrudan ve dolaylı evaporatif soğutma sistemleriyle çalışan hibrit sıvı desikant sistemleri tartışılmıştır.

Zhang ve ark. [27] içten soğutmalı sıvı desikant nem alma sisteminin deneysel analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada nem alıcı, paslanmaz çelik kullanılarak tasarlanmış ve desikant olarak sulu lityum bromür (LiBr) çözeltisi kullanılarak farklı çalışma koşulları için deney sonuçları analiz edilmiştir. Sistemde, nem alma miktarı, nem alma verimi ve hacim kütle transfer katsayısı performans kriterleri olarak belirlenmiştir. Giriş parametrelerinin sözü geçen performans kriterlerine etkisi incelenmiştir. Oluşturulan sayısal modeller deneysel verilerle iyi bir şekilde uyumuştur. Bu sayısal modeller daha sonra düşük rejenerasyon sıcaklığının gerçekleştirilebildiği içten ısıtmalı/soğutmalı hava kontrol sisteminin performansını belirlemede kullanılmıştır. Sözü geçen içten ısıtmalı/soğutmalı bu sistem ısı pompasının atık ısısı kullanılarak çalıştırılmış ve sistemin performans katsayısının (COP) 4.2-6.5 aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Chen ve ark. [28], desikant olarak LiCl (Lityum Klorür) çözeltisi kullanılan bir sıvı desikant nem alma sistemi ile birlikte çalışan iklimlendirme sistemini araştırmışlardır. Sistemde, çözeltiyi rejenere etmek için yoğuşturucudan atılan ısıyı kullanmışlardır. Fakat bu yöntemin nemli iklimlendirme veya yüksek gizli ısı durumlarında, çözeltinin rejenere edilmesinde yetersiz kalması sebebiyle bu sistem için bağımsız sıcaklık ve nem kontrolünü önermişlerdir. Sistem, NTU-Le (transfer birimi sayısı ve Lewis faktörü) metodu ile matematiksel olarak modellenmiş ve elde edilen teorik sonuçlar oluşturulan deney düzeneğinden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda Çin'in Nanjing şehrinde tipik iç şartlarda, bu sistemde LiCl-su çözelti derişiminin kütlece %25.4-26.9 ve çözelti sıcaklığının 17-19 °C aralıklarında olması tavsiye edilmiştir. Ayrıca sonuçlarda elde edilen bulgular, duyulur ısı yükünün gizli ısı yüküne oranının sistem performansı üzerinde büyük bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Sistemin enerji verimi, gizli ısı yükünün baskın

olduğu durumlarda, çözeltiliyi rejenere etmek için gerekli ısının artması sebebiyle, azalmaktadır. Sistemin COP (performans katsayısı) değerinin farklı iklimlendirme yükü şartlarında basit sıvı desikant ısı pompası sistemine göre %13.6-116.1 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Çözeltinin rejenere edilmesinde soğutma sistemindeki yoğuşturucuda ortaya çıkan atık ısının kullanıldığı bir başka sistemin She ve ark. [29] tarafından termodinamik analizi yapılmıştır. Çalışmada sistemin kütle ve ısı transferi performansları açısından, NTU-Le ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizi yapılmış, yoğuşma sıcaklığının, sıvı desikant konsantrasyonunun, ortam hava sıcaklığının ve ortam bağıl nem miktarının sistem performansına etkileri araştırılmıştır. Sistemde çok kuru hava elde edilebilmesinin yanı sıra geleneksel soğutma sistemlerine kıyasla önerilen bu sistemin COP değerleri sıcak hava kullanılması durumunda %18.8, ortam havasının kullanılması durumunda ise %16.3 daha yüksek olmaktadır.

Bassuoni [30], adyabatik çapraz akışlı bir sıvı desikant nem alma sisteminin çıkış parametrelerinin performans analizi sonuçlarını analitik modellerle sunmuştur. Modellenen sistemde, sıvı desikant olarak kalsiyum klorür ( $\text{CaCl}_2$ ) kullanılmış ve analitik modeller EES programı yardımıyla çözümlenmiştir. Analitik çözümlerle nem alma miktarında, güvenilir deneysel sonuçlarla arasında en yüksek %+6.63 ve %-5.65 sapma olmak üzere iyi sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen yöntem, nem alma performansının hızlı bir tahmininde kullanılabilir. Nem alıcının çıkış parametreleri, hava sıcaklığı ve nemi, desikant sıcaklığı ve konsantrasyonu ve havadan desikanta debi parametrelerinin etkisi altında hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, sıcak nemli havanın ve desikant konsantrasyonunun nem alıcı performansı üzerinde en büyük etkiye sahip olduklarını göstermiştir. Nem alma miktarı, hava giriş sıcaklığı ve desikant sıcaklığı arttıkça azaldığı, yine nem alma miktarının, hava-çözelti kütle oranının, desikant giriş konsantrasyonunun ve giriş hava nem oranının artmasıyla arttığı tespit edilmiştir.

Yin ve ark. [31] ise sıvı desikant nem alma sistemlerindeki güncel ilerlemeleri bir araya getirmişlerdir. Çalışmada, ısı ve kütle transferi modelleri, sıvı desikant nem alma ve rejenerasyon performansı hesapları ve sıvı desikant nem alma

sistemlerindeki en önemli bileşenler olan nem alıcıda ve rejeneratördeki teknolojik gelişmeleri incelemişlerdir. Aynı zamanda, güneş enerjisi kullanılan bir çok desikant soğutma sistemi rapor edilmiş ve sıvı desikant nem alma sistemindeki bazı yeni sistemler tanıtılmıştır.

Luo ve ark. [32], sıvı desikant nem alma sisteminde, nem alıcıya (absorber) giren havanın hızının ve nem oranının ve sıvı desikantın konsantrasyonunun sistem performansına etkisi tarafından araştırmışlardır. Çalışmada desikant olarak sulu Lityum Klorür çözeltisi kullanılmış ve nem alıcı kolonuna giren havanın hızının nem alma miktarına büyük bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Nem alma kolonuna giren havanın hızının artması halinde, hava-sıvı desikant etkileşme süresinin azaldığı bunu sonucunda nem alma miktarının azaldığı belirlenmiştir.

Yin ve ark. [33] ise çok kuru hava istenen endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir, sıkıştırılmış havanın basınçlı sıvı desikant (LiCl) kullanılarak kurutulması için bir sistem önermişlerdir. Önerilen sistemde yapılan kütle transferi ve termodinamik analizler sonucunda 0.3 MPa basınç altında, çıkış havasının nem oranı 1.4 g/kg değerine ulaşmış ve sistemin elektrik tüketimi 6.17 kJ/g olmuştur ki bu değer geleneksel soğutma nem alma sistemine göre %10.1 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada nem alma hızının ve nem alma veriminin aynı basınç değerinde çözeltinin kütleli debisi arttıkça arttığı, giriş havasının kütleli debisi arttığında ise nem alma hızının artıp nem alma veriminin azaldığı ve çözelti konsantrasyonu arttığında yine nem alma hızının ve nem alma veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Analiz sonucu bulunan sonuçlar deneysel verilerle doğrulanmıştır.

Mohan ve ark. [34], sıvı desikant (LiBr) - buhar sıkıştırımlı hibrit klima sistemi deneysel olarak incelemişlerdir. Oluşturulan sistemde nem alma sisteminde kullanılan absorber kolonu klima sisteminin buharlaştırıcı çıkışına, desorber kolonu ise yoğuşturucu çıkışına yerleştirilip yoğuşturucuda atılan ısının kullanılması amaçlanmıştır. Bu şekilde birleştirilen iki sistem oda tipi kalorimetre içine yerleştirilerek çok düşük çözelti debileri için test edilmiştir. Yapılan deney sonuçları oda sıcaklığındaki artışın hem işlem havasından alınan nem miktarını hem de rejeneratöre olan sıvı desikant miktarını düşürdüğünü göstermiştir. Buna karşın, odanın

özgül nem miktarındaki artışın, sıvı desikant debisi absorberdeki hava debi değerinin %0.2-%1.6 'sı olması durumunda bu iki parametreyi arttırdığı görülmüştür.

Son olarak Liu ve ark. [35], ısıl olarak iletken plastikten yapılmış içten soğutmalı/ısıtmalı sıvı desikant nem alıcı/rejeneratörün deneysel analizini gerçekleştirmişlerdir. İçten soğutmalı nem alıcı için deney odası inşa edilmiş ve farklı çalışma koşulları için, lityum bromür (LiBr) çözeltisi kullanılarak, deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Giriş parametrelerine bağlı olarak, sistemin nem alma miktarı, nem alma/rejenerasyon verimi ve hacimsel kütle transfer katsayısı analiz edilmiştir. Literatürdeki içten soğutmalı metal nem alıcı sistemlerle kıyaslandığında, bu sistemin mukayese edilebilir kütle ve ısı transfer performansı gösterdiği belirlenmiştir. Buna ek olarak deneysel sonuçların yardımıyla, sıvı desikant kullanılan bu nem alma sistemi için sayısal model geliştirilmiş ve doğrulanmıştır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde katı ve sıvı desikant nem alma sistemlerinde kullanılan desikant malzemelerinden, katı ve sıvı desikant nem alma sistemlerinden söz edilecektir. Ayrıca önerilen sıvı desikant nem alma sistemi tanıtılacak, nem alma ve rejenerasyon miktarları ve verimleri için matematiksel ifadeler verilecektir.

#### 3.1. Desikant Malzemeleri

Desikantlar higroskopik maddeler olup havadaki su buharını buhar basıncı farkından dolayı çekebilmektedirler. Desikant maddeler fiziksel özelliklerine göre (katı veya sıvı), doğal veya sentetik olmalarına göre, su buharını çekme şekillerine göre (fiziksel veya kimyasal) vs. gibi bir çok şekilde gruplandırılabilirler. En çok kullanılan gruplandırma şekli, desikantın fiziksel özelliği yani katı veya sıvı olmasıdır. Nem alma ve iklimlendirme uygulamalarında sıklıkla kullanılan bazı katı ve sıvı desikantların özelliklerine ilerdeki bölümlerde değinilmiştir.

Nem alma sistemlerinde kullanılan desikantların sistemin performansı üzerinde çok önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu sebeple bu sistemlerde kullanılacak doğru desikantın seçimi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken bazı hususlar vardır. Bunlardan en önemlileri; seçilen desikantın nem alma kapasitesi, fiyatı, bulunabilirliği, kullanılacak sisteme uygunluğu, düşük sıcaklıklarda rejener edilebilmesi, zehirsiz olması, en önemlisi ise düşük yüzey buhar basıncına sahip olmasıdır.

##### 3.1.1. Katı Desikantlar

Pratik uygulamalarda sıklıkla kullanılan bazı katı desikant maddelerin genel özellikleri ise şu şekildedir;

- Silikajeller ( $\text{SiO}_2$ ): Pratikte en çok kullanılan katı desikantlardan biri olup laboratuvar ortamında üretilmektedir. 1 gramının yüzey alanı 200-700  $\text{m}^2$  arasında değişmektedir. Kendi ağırlığının yaklaşık %40'ı kadar su buharı adsorbe

edebilir [36]. Özellikle yüksek buhar basınçlarında suyu adsorbe etme yeteneği çok yüksektir. 200 °C'nin üstündeki uygulamalar için uygun değildir [37].

- Aktif alümina: Alüminyum oksit'in gözenekli şeklidir. Genellikle alüminyum hidratin dehidrasyonu ile elde edilir. 1 gramının yüzey alanı 150-500 m<sup>2</sup> arasında değişmektedir [37].
- Zeolitler: Sentetik ve doğal olmak üzere ikiye ayrılırlar. Sentetik zeolitlerin çalışma performansları doğal zeolitlere göre daha iyidir. Yüksek sıcaklıklara (500 °C'e kadar) dayanıklı maddelerdir [37].
- Kalsiyum klorür (CaCl<sub>2</sub>): Katı şekilde katı desikant uygulamalarında, sulu çözeltisi ise sıvı desikant uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [37].

### 3.1.2. Sıvı Desikantlar

Pratikte sıvı desikant olarak bazı metal tuzları çözeltileri (LiBr, LiCl, CaCl<sub>2</sub>, vs.) ve glikoller (triötilen glikol ve propilen glikol) yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal tuzları güçlü desikantlar olup su buharı absorbe etme yetenekleri oldukça yüksektir. Örneğin LiBr çözeltisinin nemli havayı %6 bağıl nem seviyesine kadar, LiCl çözeltisinin ise %11 bağıl nem seviyesine kadar kurutabileceği belirtilmiştir [38]. Yüksek nem alma yeteneklerine karşın metal tuzlarının kullanıldığı sistemlerde korozyon büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bunun önüne geçebilmek için sistemdeki oksijen seviyesi düşük tutulmalı ve korozyon önleyici maddeler kullanılmalıdır. Bazı sıvı desikantların diğer özellikleri ise aşağıda verilmiştir;

- Lityum klorür (LiCl): Lityum klorür çözeltisi düşük buhar basıncına ve yüksek kararlılığa sahip olması nedeniyle kullanılması avantajlı olan bir sıvı desikanttır [19]. Fiyatının diğer sıvı desikantlara göre yüksek olması kullanımının sınırlanmasında önemli bir sebeptir.
- Lityum bromür (LiBr): Lityum klorür ile beraber açık absorpsiyonlu iklimlendirme sistemlerinde en fazla kullanılan absorbenttir. Fiyat ve yüzey buhar basıncı açısından lityum klorür ile kalsiyum klorür arasında kalan bir desikanttır [19]. Rejenerasyon performansının lityum klorür çözeltisine göre çok az miktar daha yüksek olduğu fakat nem alma performansının lityum klorürden çok az miktar düşük olduğu tespit edilmiştir [3].

- Kalsiyum klorür ( $\text{CaCl}_2$ ): Kalsiyum klorür fiyat ve bulunabilirlik açısından en uygun desikantlardan biri olmasına karşın aynı sıcaklıkta yüzey buhar basıncının diğer sıvı desikantlara göre yüksek olması desikantın sistemde kullanımını dezavantajlı hale getirmektedir. Lityum klorür ve kalsiyum klorür çözeltileri düşük viskoziteye ve suda yüksek çözünürlüğe sahip olmaları sebebiyle geniş bir sıcaklık aralığında suda katılaşmamaktadırlar. Bu da sözü geçen desikantların sistemdeki verimlilikleri açısından önemli bir parametredir [39].
- Trietilen Glikol (TEG): Organik bir desikant olup desikant nem alma sistemlerinde kullanılan en eski desikanttır. Çok düşük yüzey buhar basıncına sahip olmasından dolayı uçucu olması ve yüksek viskoziteye sahip olması sistemdeki kullanımını zorlaştırmaktadır [19].

Al-Farayedhi ve ark. [40], nem alma sisteminde kullanılacak optimum sıvı desikantın seçilmesinde göz önünde bulundurulması gereken bazı hususları aşağıdaki gibi listelemişlerdir:

- Desikantın düşük buhar basıncına sahip olması,
- geniş bir konsantrasyon aralığında çözeltinin kararlı olması,
- korozif olmaması ve kimyasal olarak kararlı olması,
- düşük viskoziteye sahip olması,
- sudaki çözünürlüğünün yüksek olması,
- düşük rejenerasyon sıcaklığına sahip olması,
- zehirsiz ve çevreye zararsız olması ve
- fiyatının düşük olmasıdır.

### 3.2. Desikant Nem Alma Sistemleri

Daha önce de bahsedildiği gibi artan konfor şartlarına bağlı olarak iklimlendirmeye harcanan enerji miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle sıcak ve nemli Akdeniz ikliminde özellikle yaz aylarında ortamın soğutulmasına harcanan enerji en yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Konvansiyonel buhar-sıkıştırımlı iklimlendirme sistemlerinde havadaki nem buharlaştırıcıda çığ noktasının altına kadar soğutulmuş giderilmektedir. Bu işlem hem sistemin harcadığı elektrik enerjisini artırmakta hem de çevreye zararlı olabilecek sera gazları kullanımını artırmaktadır. Bu sebeple nem



kontrolünde konvansiyonel buhar-sıkıştırırmalı iklimlendirme sistemlerine alternatif olabilecek ve bu sistemlere göre bir çok avantajı bulunan desikant nem alma sistemleri geliştirilmiştir. Desikant nem alma sistemleri özellikle yüklü gizli ısı ve düşük nem uygulamalarında konvansiyonel buhar-sıkıştırırmalı soğutma sistemlerine oranla yüksek enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Desikant nem alma sistemlerinde, havadaki nem, nem alıcıdaki desikant maddesiyle alınır. Nemi alınmış havanın daha sonra istenilen konfor seviyesine kadar sıcaklığı düşürülür. Nemli hale gelen desikant maddesi ise güneş enerjisi, atık ısı vb. kaynaklardan yararlanılarak ısıtılır ve içerisindeki nemi dış ortama bırakması sağlanır (rejenerasyon) [41]. Bu şekilde çok az miktarda enerji kullanılarak havadaki gizli ısı, yani nem, giderilmiş olur. Desikant nem alma sistemlerinin konvansiyonel buhar sıkıştırırmalı iklimlendirme sistemlerine göre diğer avantajları şu şekilde belirtilmiştir [41]:

- Düşük duyulur ısı, yüksek gizli ısı koşullarında daha düşük nem alma maliyeti sağlanır.
- Nemi alınmış hava ile daha yüksek iç konfor seviyesi elde edilir.
- Desikant nem alma sistemleri ile hava nemi ve sıcaklığı birbirinden bağımsız kontrol edilir. Bu şekilde daha iyi nem kontrolü sağlanır.
- Daha iyi nem kontrolü ile nemden dolayı bina yapı malzemelerinde, insan sağlığına da zararlı, rutubet, küf ve çürüme gibi nedenlerden dolayı oluşabilecek hasarların önüne geçilir.
- Desikant nem alma sistemleri düşük enerji tüketimi sağlayarak fosil yakıtların kullanımını azaltır.
- Desikant nem alma sistemlerinin evaporatif soğutma sistemleri ile beraber kullanılması durumunda kloroflorokarbonların (CFC) kullanımı tamamen giderilir. Konvansiyonel buhar-sıkıştırırmalı iklimlendirme sistemleri ile kullanılması durumunda ise CFC kullanımı azaltılacaktır. (CFC'ler ozon delme potansiyeli yüksek olan gazlar olup çoğu çeşidi bir çok ülkede yasaklanmıştır).
- Desikant nem alma sistemleri bir filtre gibi çalışarak havadaki kirletici elemanların temizlenmesine yardımcı olur. İç hava kalitesini artırırlar.

Desikant nem alma sistemlerinin diğer soğutma sistemlerine göre avantajları ve dezavantajları çizelge 3.1'de de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çeşitli soğutma sistemlerinin bazı parametreler için karşılaştırılması [42]

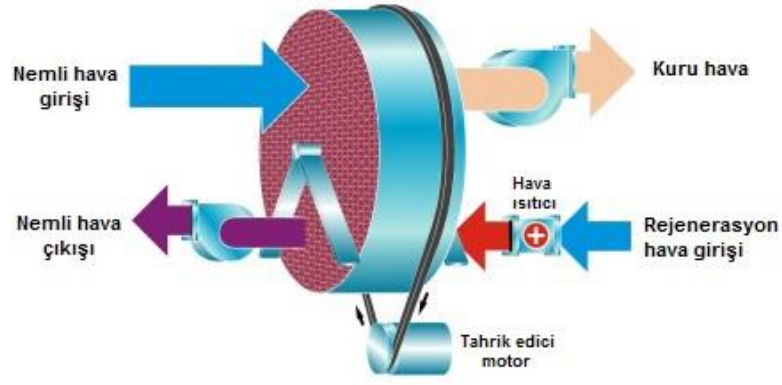
| <i>Parametre</i>            | <i>Mekanik Buhar Sıkıştırılmı Soğutma</i> | <i>Evaporatif Soğutma</i> | <i>Desikant Nem Almalı Soğutma</i> |
|-----------------------------|---|---------------------------|------------------------------------|
| <b>Çalışma maliyeti</b>     | Yüksek                                    | Düşük                     | Düşük                              |
| <b>Enerji kaynağı</b>       | Elektrik, doğal gaz vs.                   | Düşük ölçekli ısı         | Düşük ölçekli ısı                  |
| <b>Gizli ısı kontrolü</b>   | Ortalama                                  | Düşük                     | Yüksek                             |
| <b>Duyulur ısı kontrolü</b> | Yüksek                                    | Yüksek                    | Yüksek                             |
| <b>İç hava kalitesi</b>     | Ortalama                                  | Yüksek                    | Çok yüksek                         |
| <b>Sistem kurulumu</b>      | Ortalama                                  | Ortalama                  | Biraz karmaşık                     |
| <b>Sera gazı salınımı</b>   | Yüksek                                    | Düşük                     | Düşük                              |
| <b>Piyasada kullanımı</b>   | Çok yüksek                                | Sınırlı                   | Sınırlı                            |
| <b>Soğutucu akışkan</b>     | CFC ve türevleri                          | Su                        | Su                                 |

Desikant nem alma sistemlerinin konvansiyonel nem alma sistemlerine göre bir çok avantajının bulunmasına karşın bu tip sistemlerin kullanılması her durum için uygun değildir. Bu tip sistemlerin, nem kontrol ihtiyacı olması, gizli ısının duyulur ısıya oranla yüksek olması vb. durumlarda kullanılması fayda getirecektir [41].

Desikant nem alma sistemleri, hastaneler, süpermarketler, oteller ve moteller, bakımevleri, restoranlar vb. olmak üzere birçok binaya ve yerleşkeye uygulanabilir. Desikant nem alma sistemi havayı etkili bir şekilde kurutarak havanın içindeki mikroorganizmaların, nemden dolayı yapıda oluşabilecek küfün, mantarın önüne geçer. Bu sebeple özellikle hijyenik olması gereken hastane, süpermarket vb. gibi binalarda kullanımının artması öngörülmektedir [41].

### 3.2.1. Katı Desikant Nem Alma Sistemleri

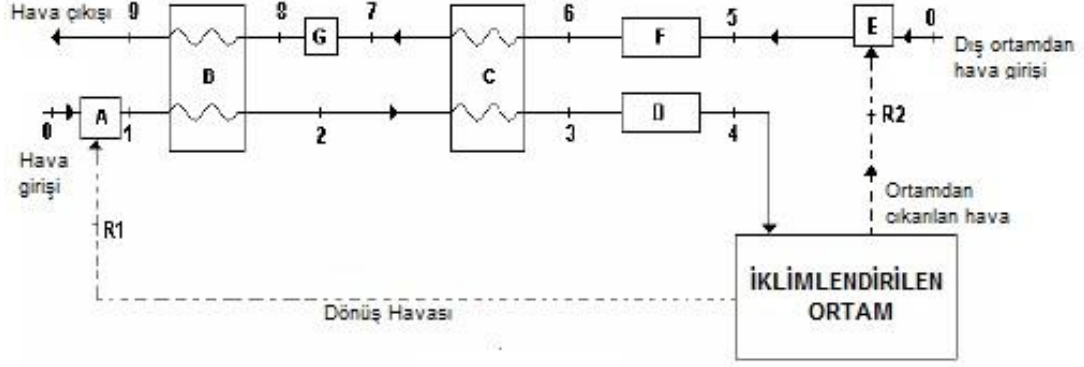
Katı desikant nem alma sistemlerinde desikant olarak, önceki bölümlerde sözü geçen, silikajel, aktif alümina, zeolitler gibi katı desikant malzemeleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde yaygın olarak desikant tekerleği kullanılmaktadır. Desikant tekerleği sisteminde ince yapılı desikant tanecikleri arı kovani şeklinde tekerlek boyunca yayılmıştır. Tekerlek nem alma ve rejenerasyon olmak üzere iki kısma ayrılır. Nem alma kısmından nemi alınacak hava, rejenerasyon kısmından ise desikantı rejenere edecek (yeniden aktifleştirecek) hava akımı sağlanır. Tipik desikant tekerleği Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Döner desikant tekerleği [43]

Şekilden de anlaşılacağı gibi desikant tekerleği nemi alınacak hava akımı ve rejenerasyon hava akımı olmak üzere iki karşıt hava akımı arasında yavaşça ve sürekli olarak dönmektedir. Nemi alınacak havanın içerisinde desikant bulunan oluklardan geçmesiyle desikant malzemesi hava içerisindeki nemi absorbe eder. Desikantın nemi absorbe etmesiyle desikant malzemesi doymuş hale gelir ve yüzey buhar basıncı artar. Daha sonra tekerleğin rejenerasyon hava akımına doğru dönmesiyle, desikant sıcak rejenerasyon hava akımı ile ısıtılır ve içerisindeki nemi hava akımına bırakır. Rejenerasyon işleminden sonra sıcak desikant tekerleği tekrar nemi alınacak hava akımına doğru döner ve bu hava akımının küçük bir kısmı desikantı tekrar soğutur. İçerisindeki nemi havaya bırakmış olan desikant tekrar kullanıma hazır olur [44].

Şekil 3.2’de nem alıcı olarak desikant tekerleğinin kullanıldığı tipik bir evaporatif soğutmalı iklimlendirme sistemi görülmektedir. Bu sistemde, dış ortam havası öncelikle iç ortamdaki atılan hava ile karıştırılıp nem alıcıya gönderilmektedir. Nem alıcıda havanın içindeki gizli ısı duyulur ısıya dönüştürülmektedir.

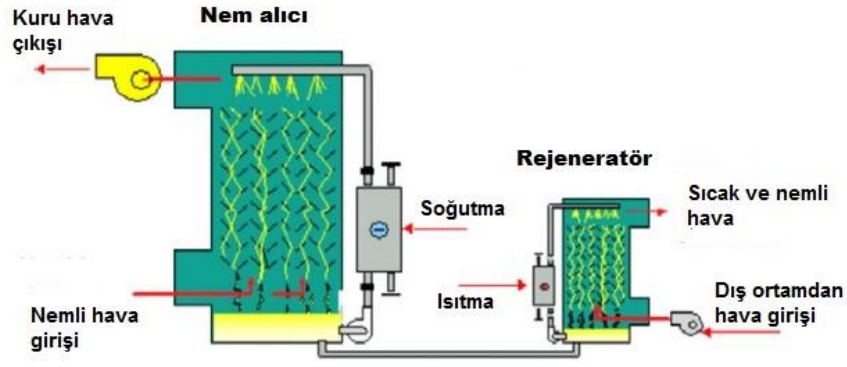


Şekil 3.2. Katı desikant iklimlendirme sisteminin şematik diyagramı [44]

Şekil 3.2’de A; nemi alınacak havanın karışma ve fan bölgesini, B; döner desikant tekerleğini, C; enerji geri kazanım tekerleğini, D; direkt evaporatif soğutucuyu, E; rejenerasyon hava akımı için karıştırıcıyı ve fanı, F; direkt evaporatif soğutucuyu ve G; rejenerasyon işlemi için ısı kaynağını temsil etmektedir. Öncelikle nemi alınacak hava iç ortamdaki dönüş havası ile karıştırılarak (A) nem alıcıya gönderilir (B). Nemi alınan hava enerji geri kazanım tekerleğinde (C) ve direkt evaporatif soğutucuda (D) soğutularak istenilen konfor düzeyine getirilir ve iklimlendirilen ortama verilir (0-1-2-3-4 nem alma işlemi). Rejenerasyon hava akımı da dış ortam havası ile iç ortamdaki havanın karıştırılmasından elde edilmektedir (E). Daha sonra gene evaporatif soğutucudan (F) ve enerji geri kazanım tekerleğinden (C) geçerek ısı kaynağına gelir ve hızlıca ısıtılır. Isınan hava nem alıcıdan geçirilerek desikant rejenerasyonu edilir (5-6-7-8-9, rejenerasyon işlemi) [44].

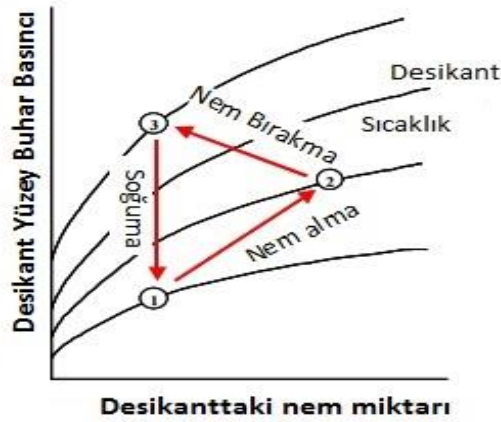
### 3.2.2. Sıvı Desikant Nem Alma Sistemleri

Sıvı desikant nem alma sistemlerinde, desikant maddesi olarak lityum klorür, lityum bromür, kalsiyum klorür gibi katı tuzların sulu çözeltilerinin yanı sıra trietilen glikol gibi sıvı desikantlar kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, nem alıcı ve rejeneratör ana elemanlardır. Bunların haricinde ısı eşanjörleri, sıvı pompaları, hava fanları vb. yardımcı elemanlar olarak gösterilebilir.



Şekil 3.3. Basit bir sıvı desikant nem alma sistemi [45]

Şekil 3.3'te nem alıcıdan, rejeneratörden, ısı eşanjörlerinden, sıvı pompalarından ve hava fanlarından oluşan basit bir sıvı desikant nem alma sistemi gösterilmiştir. Nem alıcıya derişik durumda gelen çözelti havadan bir miktar nem alarak seyreltik hale gelir. Seyreltik çözelti, rejenere edilmek üzere, ısı değiştiricide ısıtılarak rejeneratöre gönderilir. Rejeneratörde dış ortamdan alınan hava kullanılarak çözeltinin içindeki nemi bırakması sağlanır. Nem alıcıya tekrar gelmeden önce ısınmış derişik çözelti diğer bir ısı değiştiriciden geçirilerek soğutulur ve tekrar kullanıma hazır hale getirilir. Sistemde nem alınmasındaki temel etken, çözelti ile hava arasındaki yüzey buhar basıncı farkıdır. Sıvı desikantlarda nem alma ve tutma işlemi absorpsiyon olarak tanımlanır ve genelde absorpsiyon işlemi esnasında desikantta kimyasal değişim gözlenir [46]. Sıvı desikantın nem alma ve rejenerasyon işlemleri şekil 3.4'te gösterilmiştir.

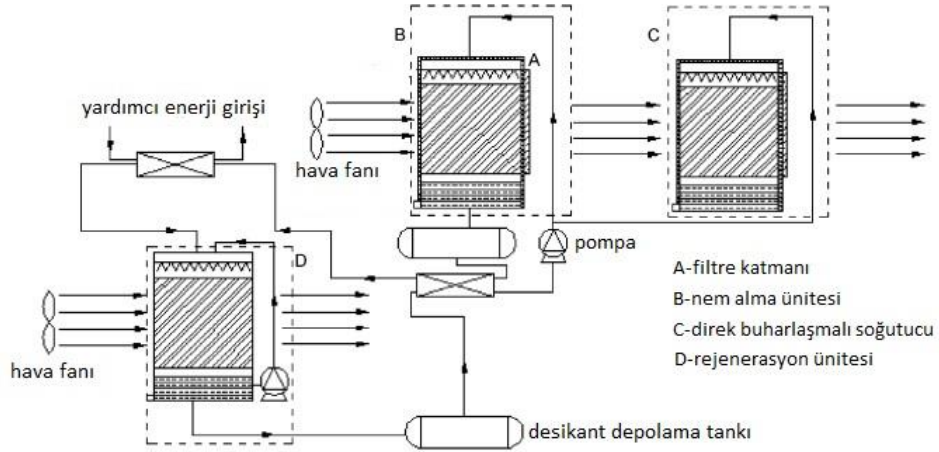


Şekil 3.4. Desikant nem alma ve rejenerasyon işlemleri [47]

Desikant (1) numaralı noktada soğuk ve kuru olduğundan yüzey buhar basıncı düşüktür. Nem alma işleminin sonucunda ısınan ve nem miktarı artan desikantın yüzey buhar basıncı da yükselir. Desikantın yüzey buhar basıncı hava ile aynı olduğu anda desikant artık nem alamaz ve hava ile dengeye ulaşır (2). Rejenerasyon işleminde desikant içerisindeki nemi bırakır ve daha sonra soğutulur tekrar kullanıma hazır hale getirilir (3-1).

Sıvı desikant nem alma sistemlerinde, yukarıda söz edildiği gibi, çözelti rejenere edilirken bir miktar ısıya ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan bu ısı enerjisi elektrikle karşılanabileceği gibi çeşitli atık ısı kaynaklarından, güneş enerjisinden vs. karşılanabilmektedir. Çözelti rejenere edilirken atık ısı veya güneş enerjisi gibi kaynaklar kullanıldığında sistemin verimi oldukça artmaktadır.

Sıvı desikant nem alma sistemleri, katı desikant nem alma sistemleri gibi, ısıtma, soğutma ve havalandırma gibi iklimlendirme uygulamalarıyla birlikte kullanılabilir. Bu tip sistemlere hibrit iklimlendirme sistemleri adı verilmektedir. Bazı uygulama örnekleri aşağıda verilmiştir.

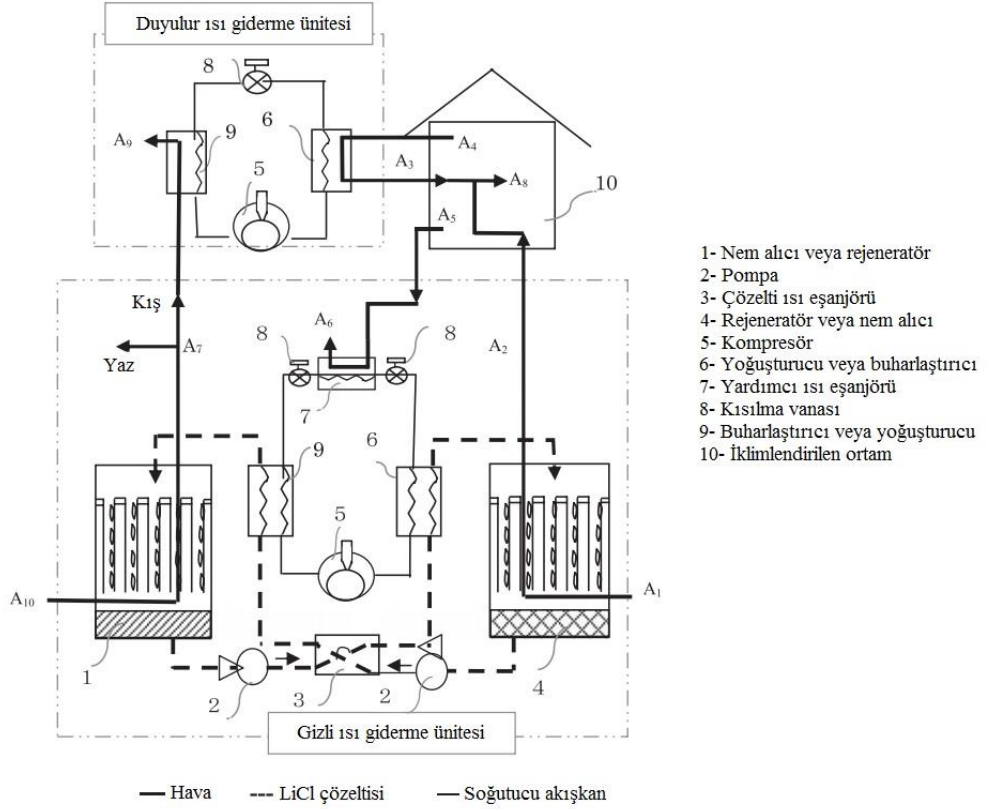


Şekil 3.5. Hibrit sıvı desikant iklimlendirme sistemi [19]

Şekil 3.5'te direk buharlaşmalı (evaporatif) soğutma sistemi ile beraber kullanılan bir sıvı desikant nem alma sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Sistem, nem alma ünitesi (B), rejenerasyon ünitesi (D), duyulur ısı kontrol ünitesi (C) ve sıvı desikant depolama ünitesi olmak üzere dört temel kısımdan oluşmaktadır. Nem alma ünitesi,

iklimlendirilecek ortamdan alınan havanın nemini alır. Rejenerasyon ünitesi ise nem aldıktan sonra seyreltik hale gelen sıvı desikantı tekrar kullanılabilmesi için kabul edilebilir bir konsantrasyon seviyesine getirir (desikantın ilk konsantrasyonuna yakın). Sıvı desikant depolama ünitesi ise derişik desikant çözeltisini depolayarak enerji depolamasını gerçekleştirir. Duyulur ısı kontrol ünitesi ise nemi yani gizli ısıyı alınmış işlem havasının duyulur ısını gidererek istenilen konfor sıcaklığına getirir. (A) harfiyle ifade edilen filtre katmanı nemi alınan havanın içerisine karışabilecek desikant damlacıklarını filtreleme görevini yapar [19].

Sıvı desikant nem almalı iklimlendirme sistemi hem yazın soğutma amaçlı hem de kışın ısıtma amaçlı kullanılabilir. Buna örnek sistem ise şekil 3.6'da gösterilmiştir:



Şekil 3.6. Sıvı desikant nem almalı iklimlendirme sisteminin şematik diyagramı [48]

Sistem temel olarak, duyulur ısı giderme ünitesi ve gizli ısı giderme ünitesi (nem alma ünitesi) olmak üzere iki ana bölüme ayrılmıştır. Duyulur ısı giderme ünitesi ile A<sub>4</sub> ile ifade edilen iklimlendirilen ortamdan dönüş yapan havanın, buhar sıkıştırma ısı pompası kullanılarak, duyulur ısı kontrol edilir. Yaz iklim

koşulunda, gizli ısı giderme ünitesinde, (1) numaralı kısım rejeneratör (2) numaralı kısım ise nem alıcı olarak kullanılmaktadır. Gizli ısı giderme ünitesiyle ise, sıvı desikant nem alma sistemi kullanılarak,  $A_1$  ile ifade edilen sisteme giren havanın gizli ısı kontrol edilir.  $A_{10}$  ile ifade edilen hava girişi ile hem çözelti rejenera edilir hem de buhar sıkıştırımalı soğutma sisteminde (9) numaralı yoğuşturucunun soğutulması gerçekleştirilir. Kış iklim koşullarında ise aynı işlemler için (1) numaralı kısım nem alıcı (2) numaralı kısım ise rejeneratör olarak kullanılmaktadır. Yaz koşullarında soğutma işlemi için (6) ve (9) numaralı elemanlar sırasıyla buharlaştırıcı ve yoğuşturucu iken kış koşullarında ise sırasıyla yoğuşturucu ve buharlaştırıcı olarak kullanılmaktadır.

Yukardaki sistemlere benzer sistemler dahil olmak üzere sıvı desikant nem alma sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bunun sebebi ise sıvı desikant nem alma sistemlerinin konvansiyonel iklimlendirme sistemlerine ve katı desikant nem alma sistemlerine göre ciddi avantajlarının bulunmasıdır. Sıvı desikant nem alma sistemlerinin sözü geçen sistemlere göre bazı önemli avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Daha önce de bahsedildiği gibi sıvı desikant nem alma sistemlerinin düşük sıcaklıkta, 50-80 °C aralığında, rejenerasyonu mümkündür. Bu sebeple rejenerasyon işlemi için atık ısı, güneş enerjisi vb. kaynaklar kullanılabilir [45].
- Sistemde kullanılan sıvı desikant çözeltileri havadaki mantar, bakteri, virüs gibi insan sağlığına zararlı organik kirlerin ve havadaki inorganik kirlerin yok edilmesine yardımcı olurlar [3]. İç hava kalitesini önemli derecede iyileştirirler.
- Sistemin imalatında plastik ve türevleri kullanılabilir. Bu şekilde hem korozyon problemi önemli derecede önlenmiş olur hem de sistemin ağırlığı ve maliyeti düşürülür.

Sıvı desikant nem alma sistemlerinin yukardaki avantajlarının yanı sıra kullanımını sınırlayan bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Sıvı desikant nem alma sistemleri bağıl nemin düşük olduğu iklim koşullarında iyi performans gösterememektedir.



- Sıvı desikant nem alma sistemlerinin en önemli dezavantajı ise tuz taşınımı tehlikesidir. Nem alıcı kolondan geçen havanın hızı fazla olduğunda sıvı desikant damlacıkları havaya karışabilmektedir. Bu durum hem sistemde sıvı desikant kaybına yol açmakta hem de tuzlu havanın solunması insan sağlığına zararlı olabilmektedir [21].

### 3.3. Sıvı Desikant Nem Alma Sisteminin Modellenmesi

Sıvı desikant nem alma sistemi, daha önce bahsedildiği gibi, iki ana elemandan ve diğer yardımcı elemanlardan oluşmaktadır. Sistemin ana parçaları olan nem alıcı ve rejeneratörün tasarımı sistem performansı açısından büyük önem taşımaktadır.

Nem alıcılar ve rejeneratörler, sıvı desikant nem alma sistemlerinde, kütle ve ısı transferinin aynı anda gerçekleştiği karmaşık yapılardır. Isı transferinin oluşumundaki etken sıvı desikant ile nemi alınan havanın arasındaki sıcaklık farkı iken, kütle transferindeki etken ise hava ile sıvı desikant arasındaki yüzey buhar basıncı farkıdır. Nem alma ve rejenerasyon işlemi kütle ve ısı transferini içerdiğinden nem alıcı ve ayrıca rejeneratör tasarımındaki en önemli parametreler ısı ve kütle transferidir. Kütle transferi için en çok kullanılan üç tane teori vardır. Bunlar film, penetrasyon ve yüzey yenileme teorileri olup nem alıcılar için en çok kullanılan film teorisidir [49].

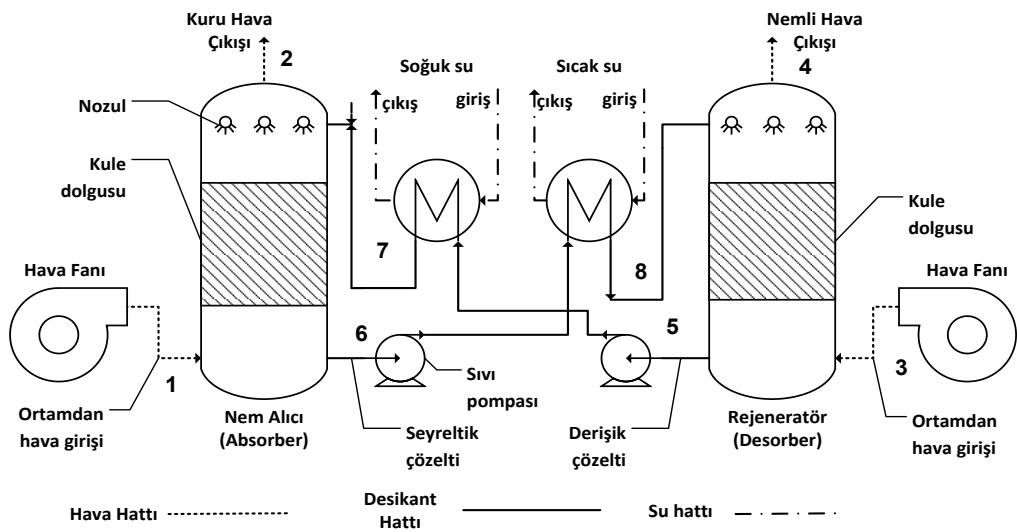
Nem alıcı ve rejeneratör kolonlarının tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli parametreler, ısı ve kütle transferi için büyük bir yüzey alanı sağlanması ve hava basıncı düşüşünün olabildiğince az olmasıdır. Bu sebeple üç tip kolon geliştirilmiştir [46].

- *Püskürtme Kulesi*: Püskürtme kulesinde desikant, özel tasarlanmış nozulların yardımıyla, büyük yüzey alanı yaratılabilmesi için, küçük damlacıklara ayrılır. Püskürtme kuleleri basit yapıda ve düşük maliyetlidir. Bu tip kolonlarda hava basıncı düşüşü azdır. Fakat nem alma işleminde verimleri yüksek değildir. Diğer dezavantajları ise, havaya tuz taşınım riskinin fazla olması ve sıvı desikantın basınç kaybının fazla olmasıdır [46].

- *Paketlenmiş Dolgu Kulesi:* Bu tip kolonlar hava-desikant temasını arttırmak için büyük yüzey alanı içerirler. Yüksek yüzey alanına, uzun temas zamanına ve yüksek verime sahiptirler. Bu tip kulelerde, rastgele dolgular ve biçimlendirilmiş dolgular olmak üzere iki tip dolgu kullanılır. Rastgele dolgular iyi yüzey alanına sahip olmalarına rağmen ıslanmaları için desikant debisinin fazla olması gereklidir. Rastgele dolguların bir diğer dezavantajı ise kolondaki hava basınç düşüşünün genellikle fazla olmasıdır [12-13]. Son zamanlarda çapraz akışlı ve karşıt akışlı kolonlarda biçimlendirilmiş dolgular kullanılmaktadır. Fakat bu tip sistemlerde kolon içinde soğutma yapılamayacağı için hibrit sistemlerde çözelti genellikle ön soğutma işlemine tabi tutulmaktadır [46].
- *Islak Duvar Kolonu:* Islak duvar kolonu desikant çözeltisinin yerçekimi kuvveti etkisiyle aktığı dikey bir boru veya levhadır. Hava kolonun içine girerek ince bir film halinde akan sıvı desikanta temas eder. Bu kolonların en önemli avantajları ucuz, düşük basınç kaybı ve birim hacimde yüksek temas alanına sahip olmalarıdır [46]. Dezavantajı ise büyük kulelerin tüm yüzeyinde ince film tabakasının elde edilmesindeki zorluktur [50].

### 3.4. Deneysel Düzeninin Hazırlanması ve Sistemin Tasarımı

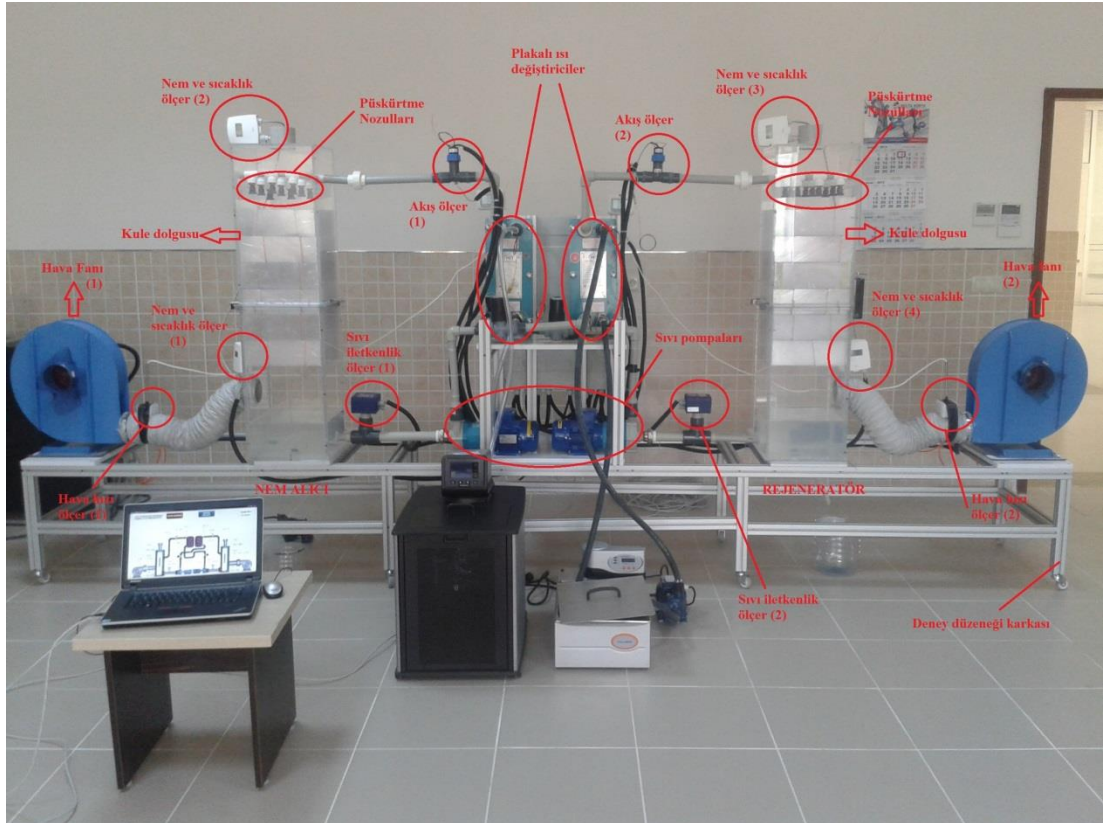
Çalışmada önerilen sıvı desikant nem alma sistemi şematik olarak şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Önerilen sıvı desikant nem alma sisteminin şematik gösterimi

Şekilde de görülebileceği gibi deney düzeneği için hazırlanan sistem iki adet hava fanından, iki adet sıvı pompasından, iki adet plakalı ısı değiştiriciden, nem alıcıdan ve rejeneratörden oluşmaktadır. Nem alıcıya bağlı olan salyangoz hava fanı ortamdan bir miktar hava alarak basıncını ve hızını arttırmakta ve nemi alınmak üzere nem alıcıya göndermektedir (1). Havanın nemi alındıktan sonra seyreltik duruma gelen desikant çözeltisi sıvı pompası (6) yardımıyla basıncı ve hızı artırılarak rejeneratöre gönderilmektedir. Seyreltik desikant çözeltisi rejeneratöre girmeden önce plakalı ısı değiştiricide sıcak su ile ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır (8). Rejeneratöre bağlı hava fanı yardımıyla ortamdan alınan hava ile (3) rejeneratörde desikant çözeltisindeki nem alınmaktadır. Daha sonra sıcak ve derişik olan çözelti sıvı pompası yardımıyla (5) ısı değiştiriciye gönderilmektedir. Isı değiştiricide çözelti, soğuk suyla, bir miktar soğutulduktan sonra (7) nem alıcı kolona gönderilerek çevrim tamamlanmaktadır.

Deney düzeneği sisteminde performansın belirlenebilmesi için bazı noktalara sıcaklık, nem, akış ölçer ve hız sensörleri yerleştirilmiştir. Deney düzeneği ve üzerindeki sensörlerin yerleri şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Deney düzeneği ve üzerindeki sensörler

Şekilde görülen (1) ve (2) numaralı nem ve sıcaklık ölçerler, sırasıyla nem alıcıya giren ve nem alıcıdan çıkan işlem havasının sıcaklık ve nem değerlerini ölçmektedir. Diğer (3) ve (4) numaralı nem ve sıcaklık ölçerler ise sırasıyla rejeneratörden çıkan ve rejeneratöre giren ortam havasının nem ve sıcaklık değerlerini ölçmektedir. Nem alıcıya ve rejeneratöre giren çözeltinin debileri ise sırasıyla (1) ve (2) numaralı akış ölçerlerle ölçülmektedir. Nem alıcıdan çıkan seyreltik çözeltinin iletkenliği ve sıcaklığı (1) numaralı sıvı iletkenli ölçer ile, rejeneratörden çıkan derişik çözeltinin iletkenliği ve sıcaklığı ise (2) numaralı sıvı iletkenlik ölçer ile ölçülmektedir. Nem alıcıya ve rejeneratöre giren havanın hızları ise fan bağlantı borusuna takılan (1) ve (2) numaralı hava hızı ölçerler ile ölçülmektedir.

Deney düzeneğinde nem alıcı ve rejeneratör imal edilmiş, hava fanı, sıvı pompaları, ısı değiştiricileri ve sistemde kullanılan sensörler dışardan temin edilmiştir. Sistemde kullanılan elemanların özelliklerine ise aşağıdaki bölümlerde yer verilmiştir. Ayrıca deney düzeneğinin üzerine yerleştirildiği karkas, üç boyutlu modellenerek, sigma profiller kullanılarak imal ettirilmiştir (Karkasın üç boyutlu modeli için bkz. EK-1).

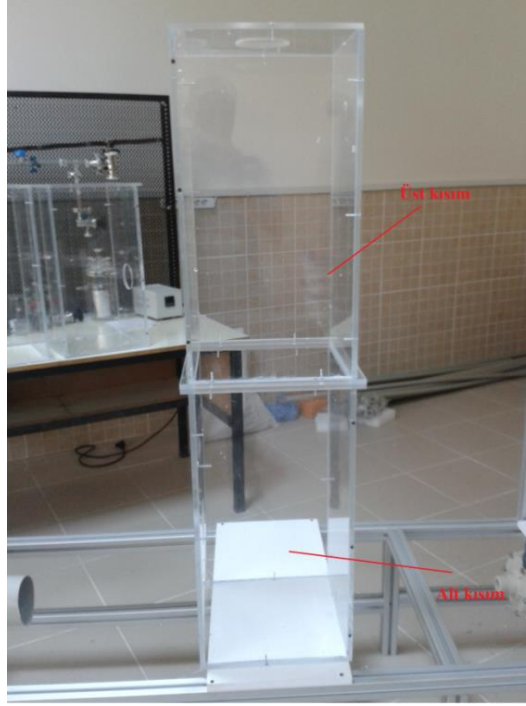
#### **3.4.1. Nem Alıcı (Absorber) ve Rejeneratör (Desorber)**

Deney düzeneğinde kullanılan nem alıcı ve rejeneratör kolonları, 10 mm kalınlığında şeffaf pleksiglas levhaların kloroform yapıştırıcısıyla birleştirilmesiyle imal edilmiştir. Kolonlarda pleksiglas malzemenin kullanılma sebebi, pleksiglasın dayanımının iyi olması, cam kadar saydam olması, birçok korozif malzemeye karşı dayanımının olması ve kolayca işlenebilmesidir. Pleksiglas malzemenin bazı fiziksel, ısı ve mekanik özellikleri çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Nem alıcı ve rejeneratör kolonları paketlenmiş dolgu kulesi tipindeki kolona örnektir.

Çizelge 3.2. Pleksiglas malzemenin fiziksel, ısıl ve mekanik özellikleri [51]

| Teknik Özellikler       |                               | Değer                  | Ölçüm Metodu  |            |         |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------|------------|---------|
|                         |                               |                        | DIN           | ASTM       | ISO     |
| <b>Fiziksel Özellik</b> | Özgül ağırlık                 | 1.19 g/cm <sup>3</sup> | 53479         | D 792      | R 1183  |
| <b>Isıl Özellik</b>     | Isı iletkenliği               | 0.19 W/mK              | 52612         | C 177      | 306     |
|                         | Lineer ısı genleşme katsayısı | 0.07 mm/m°C            | 53752-A       |            |         |
| <b>Mekanik Özellik</b>  | Çekme Dayanımı                | 72 MPa                 | 53455         | D 638      | R 527   |
|                         | Kopma anında uzama            | 4.5 %                  | 53455         | D 638      | R 527   |
|                         | Darbe Dayanımı                | 15 kJ/m <sup>2</sup>   |               |            | 179/1fu |
|                         | Yük altında sapma sıcaklığı   | 100 °C                 | JIS K 7207(A) | ISO 75-2/A | D648    |

Nem alma ve rejeneratör kolonları iki kısımdan (alt ve üst) imal edilmiş olup her kısım, 4 adet 30x60x1cm'lik ve bir adet 30x30x1cm'lik pleksiglas levhanın dikdörtgenler prizması oluşturacak şekilde birbirine yapıştırılması ile oluşturulmuştur. Boru bağlantılarının yapılabilmesi için pleksiglas levhaların bazı yerlerine delik açılmıştır. Birleştirilmiş pleksiglas levhalar şekil 3.9'da gösterilmiştir. Levhaların bu şekilde birleştirilmesi sonucu 30x120x30cm boyutlarında nem alma ve rejeneratör kolonları elde edilmiştir.



Şekil 3.9. Birleştirilmiş pleksiglas levhalar

Kolonlarda dolgu malzemesi olarak 6 mm ve 10 mm kalınlığında polikarbon levhalar kullanılmıştır. Kullanılan 6 mm ve 10 mm'lik polikarbon levhalar, 2x6 m boyutlarında temin edilmiş olup, 6 mm'lik levhalar 100x300x6 mm boyutlarında, 10 mm'lik levhalar ise 60x300x10 mm boyutlarında, 30, 45 ve 60°lik kanal açıları oluşturulacak şekilde kesilmiştir. Polikarbon levhaların kesilme işlemi ve kesilmiş polikarbon levhalar sırasıyla şekil 3.10 ve şekil 3.11'de gösterilmiştir.

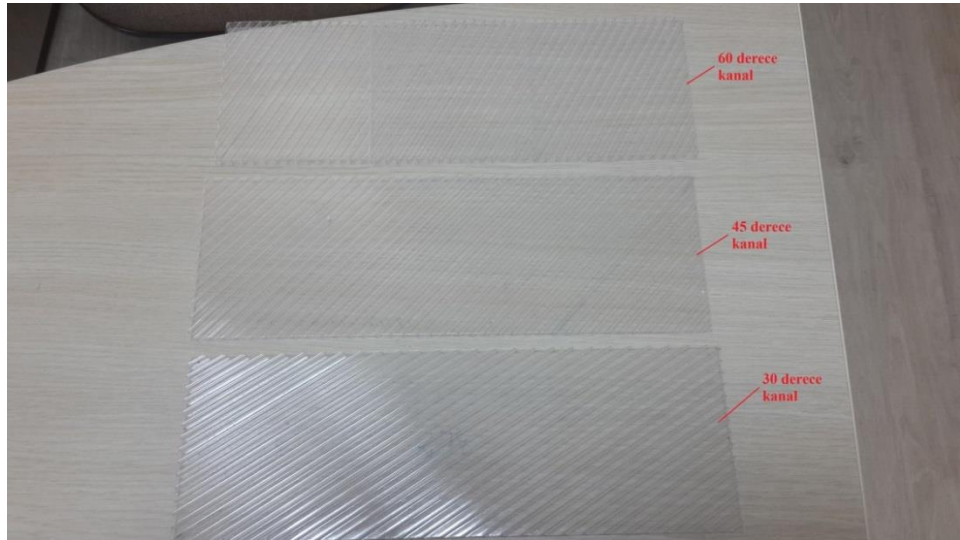


Şekil 3.10. Polikarbon levhaların kesilmesi



Şekil 3.11. Kesilmiş polikarbon levhalar

Kesilen 100x300x6 mm ve 60x300x10 mm boyutlarındaki 30, 45 ve 60°'lik levhalar ise sırasıyla şekil 3.12'de ve şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.12. 30, 45 ve 60° kanal açılı 100x300x6 mm'lik levhalar



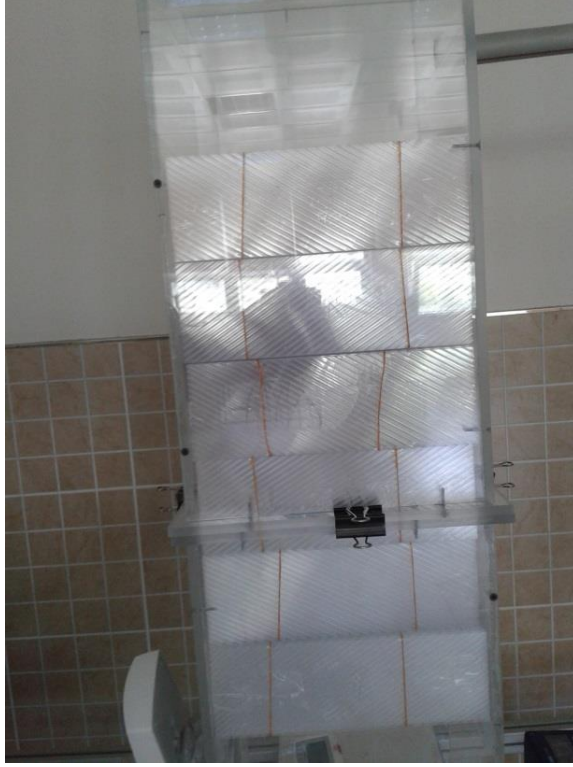
Şekil 3.13. 30, 45 ve 60° kanal açılı 60x300x10 mm'lik levhalar

Yukardaki şekillerde gösterildiği gibi kesilen polikarbon levhalar kolonlara sığdırılabilmesi için 30x30 cm boyutlarında şekil 3.14'teki gibi birleştirilmiştir. Birleştirilmiş polikarbon levhaların kolonların içindeki görüntüsü ise şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Birleştirilmiş polikarbon levhalar





Şekil 3.15. Polikarbon levhaların kolon içindeki görünümü

Birleştirilen polikarbon levhalar kolona, şekil 3.15'te görülebildiği gibi, kanallar birbirine denk gelecek şekilde, çapraz biçimde yerleştirilmiştir. Bunun yapılmasındaki amaç, sıvı desikant ile havanın temas yüzeyinin ve temas süresinin arttırılmasıdır.

Kulede kullanılan dolgu malzemesi biçimlendirilmiş dolgu malzemesine örnektir. Polikarbon dolgu malzemesi, daha önce sıvı desikant nem alma sistemlerinde kule dolgusu olarak kullanılmadığından çalışma bu yönden özgün nitelik taşımaktadır. Kulede dolgu olarak kullanılan malzemelerin nem alma performansına etkisi çok büyüktür. Basınç düşüşünün az olması, ısı ve kütle transferi yüzey alanının fazla olması kullanılan dolgu malzemesinde aranan önemli özelliklerdendir. Literatürde araştırmalarda kullanılan bazı biçimlendirilmiş ve rastgele dolgu malzemelerinin yüzey alanı ve gözeneklilik açısından karşılaştırılması çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Önerilen sistemde kullanılan polikarbon levhaların yüzey alanı ve gözeneklilik değerlerine ise çizelge 3.4'te yer verilmiştir.

Çizelge 3.3. Literatürde çalışmalarda kullanılmış bazı dolgu malzemeleri

| <i>Kaynak</i>                 | <i>Dolgu Malzemesi</i>               |  |                         |
|-------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|
|                               | <i>Tip</i>                           | <i>Yüzey Alanı<br/>(m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)</i> | <i>Gözeneklilik (%)</i> |
| <b>Chung ve ark. [52]</b>     | 5/8" poly-PP                         | 341  | 86                      |
|                               | Fleksi halkaları                     |  |                         |
|                               | Seramik Berl yatak kovanları         | 465  | 62                      |
|                               | Biçimlendirilmiş kağıt               | 410  | 70                      |
|                               | PVC                                  | 223  | 80                      |
| <b>Gualito ve ark. [53]</b>   | Flexipac 2 (metalik)                 | 233  | 95                      |
|                               | Flexeramic 28 (seramik)              | 282  | 70                      |
|                               | Flexeramic 48 (seramik)              | 158  | 74                      |
|                               | Flexeramic 88 (seramik)              | 102  | 85                      |
|                               | PP Mellapak 250Y                     | 250  | 92                      |
| <b>Olujic ve Behrens [54]</b> | Mellapakplus 752Y                    | 500  | 97,5                    |
|                               | Katapak-SP 12                        | 342  | 70                      |
| <b>Potnis ve Lenz [55]</b>    | Rastgele-PP Tripack                  | 279  | 90                      |
|                               | Biçimlendirilmiş Munters CELDEK      |  |                         |
| <b>Zurigat ve ark. [56]</b>   | Biçimlendirilmiş tahta plakaları     | 77   |                         |
|                               | Biçimlendirilmiş alüminyum plakaları | 77   |                         |

Çizelge 3.4. Polikarbon dolgu malzemesinin yüzey alanı ve gözeneklilik değerleri

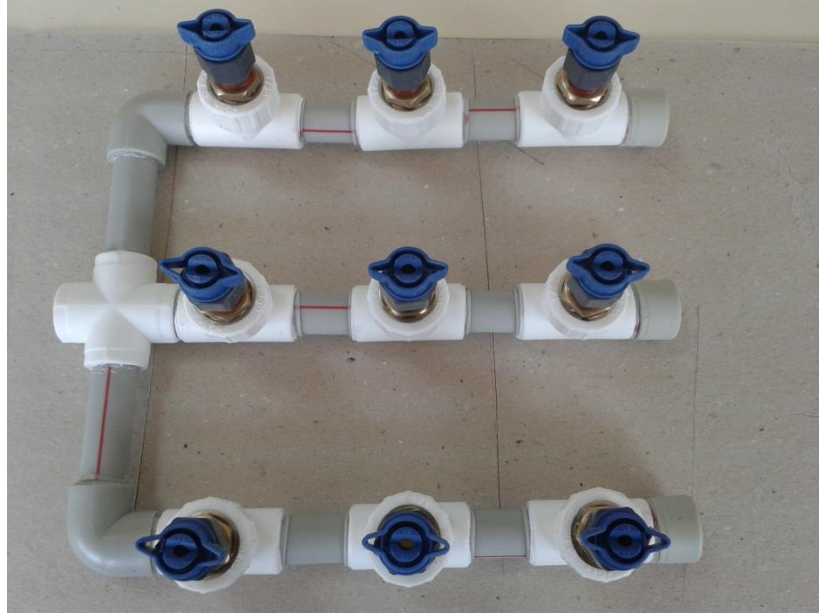
| Özellik  | Polikarbon dolgu malzemeleri |      |      |                      |      |      |
|--|------------------------------|------|------|----------------------|------|------|
|  | 10mm Polikarbon Levha        |      |      | 6mm Polikarbon Levha |      |      |
|  | 30°                          | 45°  | 60°  | 30°                  | 45°  | 60°  |
| Yüzey Alanı  | 371                          | 372  | 365  | 646                  | 647  | 649  |
|  | 369                          | 370  | 371  | 628                  | 650  | 648  |
|  | 370                          | 371  | 371  | 637                  | 653  | 646  |
| Ortalama Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) | 370                          | 371  | 369  | 637                  | 650  | 648  |
| Yüzey Alanı Standart Sapması                           | 1                            | 1    | 3    | 9                    | 3    | 2    |
| Gözeneklilik (%)                                       | 90                           | 86,8 | 86,8 | 88,9                 | 89   | 89,3 |
|  | 88,6                         | 87,8 | 88,1 | 86,3                 | 89,4 | 88,3 |
|  | 88                           | 88,2 | 88   | 87,6                 | 89,7 | 88,2 |
| Ortalama Gözeneklilik                                  | 88,9                         | 87,6 | 87,6 | 87,6                 | 89,4 | 88,6 |
| Gözeneklilik Standart Sapması                          | 1,1                          | 0,7  | 0,7  | 1,3                  | 0,4  | 0,6  |

Çizelge 3.4’te görülen önerilen sistemde kullanılan polikarbon levhanın yüzey alanı ve gözeneklilik değerleri 30°, 45° ve 60° kanal açısı oluşturacak şekilde kesilen malzemelerin boyutları ölçülerek belirlenmiştir. Polikarbon levhalar elle kesildiği için kesilen levhaların boyutları birbiriyle birebir aynı olmayabilmektedir. Bu sebeple rastgele seçilen üç tane aynı kalınlığa ve kanal açısına sahip levhanın ayrı ayrı boyutları ölçülmüş ve yüzey alanı ve gözeneklilik değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin ortalaması bulunmuş ve standart sapması hesaplanmıştır. Hesaplanan standart sapmaların kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Belirlenen ortalama yüzey alanlarına göre 6 mm’lik levhaların 10 mm’lik levhalara ve çizelge 3.3’teki literatürdeki çalışmalarda kullanılan diğer dolgu malzemelerine kıyasla daha iyi yüzey alanına sahip oldukları tespit edilmiştir.

Kolonda hem iyi bir desikant akışı, hem de dolgu malzemesinin iyi ıslanmasını sağlamak amacıyla nem alıcı ve rejeneratör kolonlarında dokuz adet nozul kullanılmıştır. Kullanılan nozullar, nozulların dağıtıcı boruları yerleştirilmesi ve nozulların kolonların içindeki görünümü sırasıyla şekil 3.16’da, şekil 3.17’de ve şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Nem alıcı ve rejeneratör kolonlarında kullanılan püskürtme nozulları



Şekil 3.17. Nozulların dağıtıcı borulara yerleştirilmesi



Şekil 3.18. Nozulların kolon içindeki görünümü

### 3.4.2. Hava Fanı

Deney düzeneğinde nem alıcı ve rejeneratör kolonlarına giren havanın hızını ve basıncını arttırmak için sistemde iki adet özdeş “BVN” marka, “ORB 2M-2T” model salyangoz hava fanı kullanılmıştır (Hava fanı teknik özellikleri için bkz. EK-2). Kullanılan hava fanı nominal güçte (0,75 kW) saatte 1000 m<sup>3</sup> hava sağlayabilmektedir. Hava fanı değişken frekanslarda kullanılarak hava hızının nem alma miktarına ve nem alma verimine etkisi incelenebilmektedir. Hava fanı önden ve arkadan şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Hava fanı önden ve arkadan görünümü

### 3.4.3. Sıvı Pompası

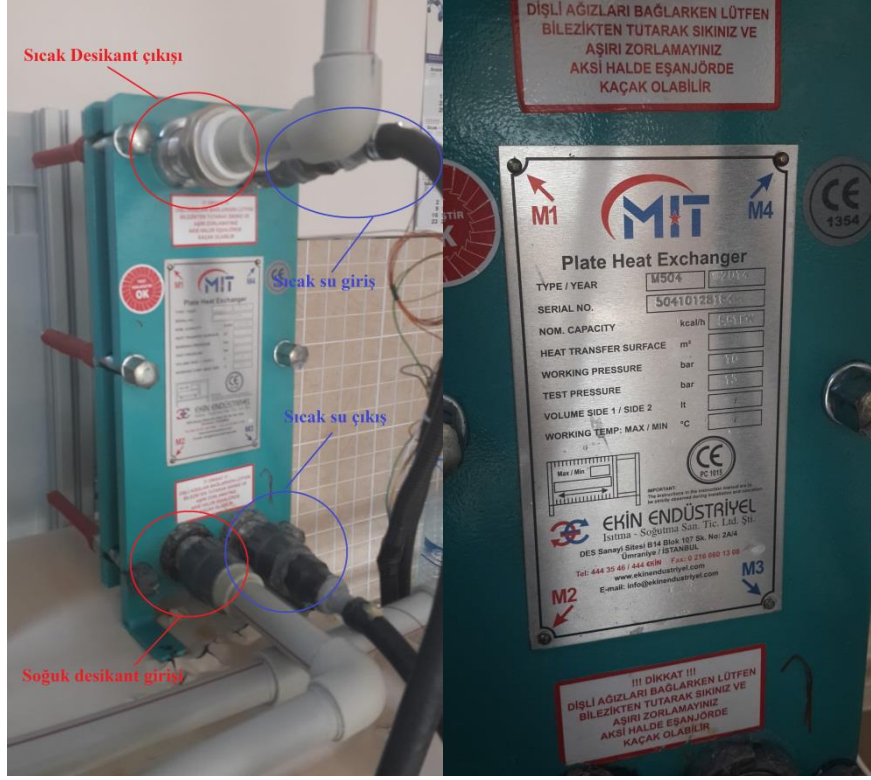
Sistemde nem alma işleminden sonra seyreltik hale gelen çözeltiyi rejeneratöre ve rejeneratörde derişik hale getirilen çözeltiyi tekrar nem alıcıya göndermek için iki adet özdeş “ARGAL” marka, “P 06.10” model sıvı pompası kullanılmıştır (Sıvı pompası teknik özellikleri için bkz. EK-3). Sıvı pompasının da, hava fanında olduğu gibi, frekansı değiştirilerek nem alıcıya ve rejeneratöre giren çözeltinin debisi değiştirilebilmektedir. Sistemde kullanılan sıvı pompası şekil 3.20’de gösterilmiştir.



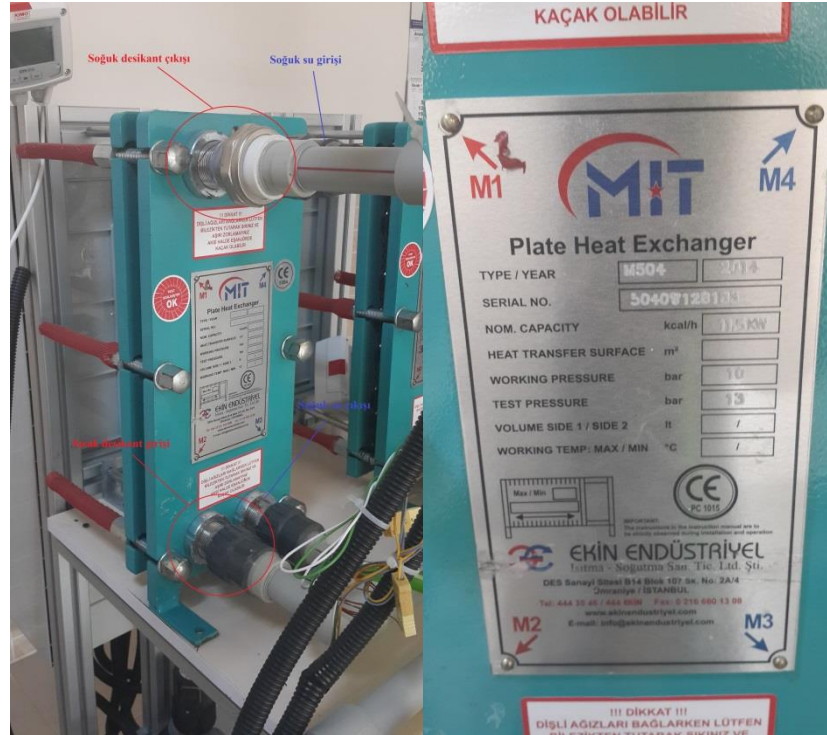
Şekil 3.20. Sıvı pompasının önden ve üstten görünümü

#### 3.4.4. Isı Değiştiriciler

Sistemde seyreltik çözeltiyi ısıtmak ve derişik çözeltiyi soğutmak için iki adet farklı yüzey alanına sahip “MIT” marka plakalı tip ısı değiştirici kullanılmıştır (Isı değiştirici teknik özellikleri için bkz. EK-4 ve EK-5). Kullanılan ısı değiştiriciler şekil 3.21’de ve şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Çözeltiyi ısıtmak için kullanılan ısı değiştiricinin önden görünümü



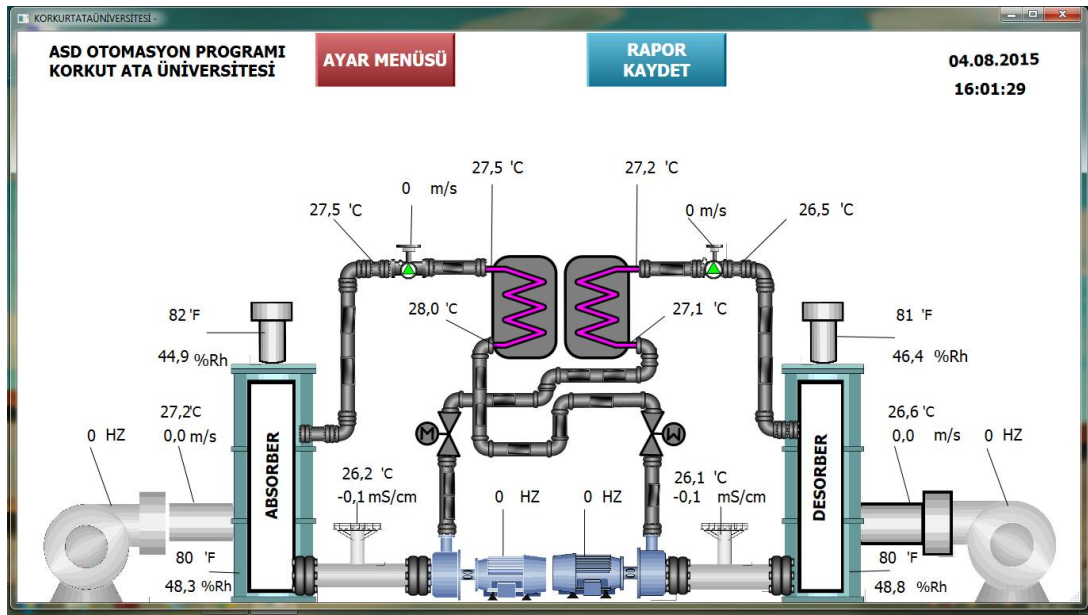
Şekil 3.22. Çözeltiyi soğutmak için kullanılan ısı değiştiricinin önden görünümü



Şekillerde de görülebileceği gibi ısıtma işlemi için 5.51 kW kapasiteli ısı değiştirici, soğutma işlemi için ise 11.5 kW kapasiteli ısı değiştirici tercih edilmiştir. Isıtma işleminde sıcak su, elektrikli su ısıtıcıları kullanılarak temin edilmiştir. Soğutmada ise soğuk su, şebeke suyundan sağlanmıştır.

### 3.4.5. Otomatik Kontrol Sistemi

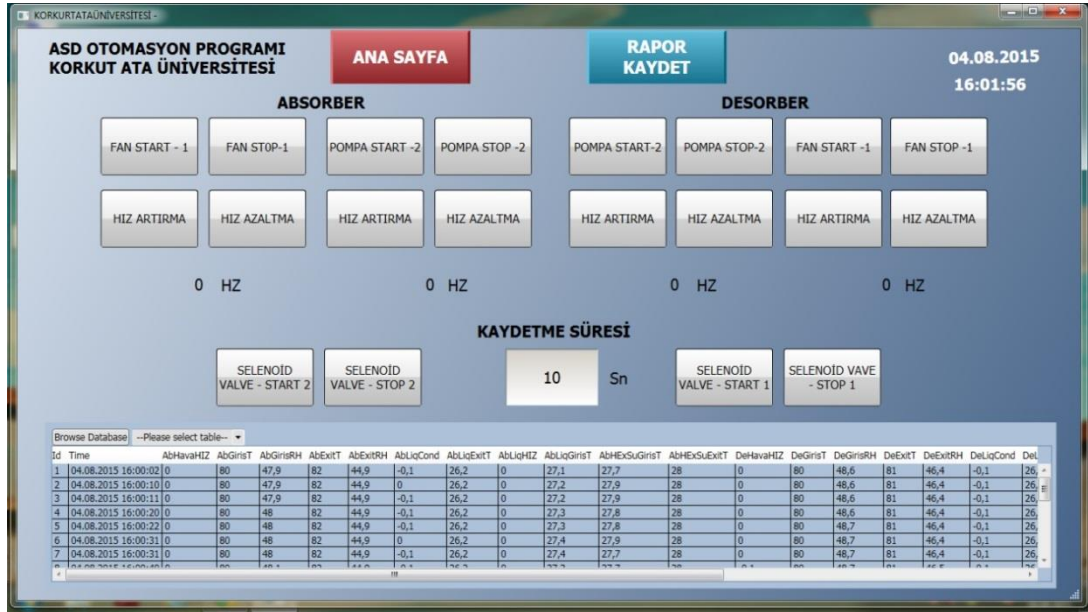
Önerilen sıvı desikant nem alma sistemi “SCADA” otomatik kontrol programı ile kontrol edilmiştir. Program sayesinde bilgisayar üzerinden deneyde kullanılan hava fanının ve sıvı pompasının çalışma frekansları değiştirilerek, farklı hava ve sıvı desikant debilerinde sistem performansının gözlemlenmesi mümkün olabilmektedir. Programın ekran görüntüsü şekil 3.23’te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Otomatik kontrol programının bilgisayar ekranındaki görüntüsü

Şekilde de görülebildiği gibi programa tanıtılan nem, sıcaklık, hız ve frekans ölçerler yardımıyla program ekranında, havanın nem alıcıya ve rejeneratöre giriş bağıl nemi ve sıcaklığı, desikantın sıcaklığı ve debisi, hava fanının ve sıvı pompalarının o anki çalışma frekansı okunabilmektedir. Üst kısımdaki “RAPOR KAYDET” düğmesi ile programın belli aralıklarla sistemden aldığı ölçülen değerler bilgisayara kaydedilebilmektedir. Üst kısımdaki “AYAR MENÜSÜ” düğmesi ile

hava fanının ve pompanın çalışma frekansı değiştirilebilmektedir. Ayar menüsü ekranı ise şekil 3.24’te gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Otomatik kontrol programı ayar menüsü

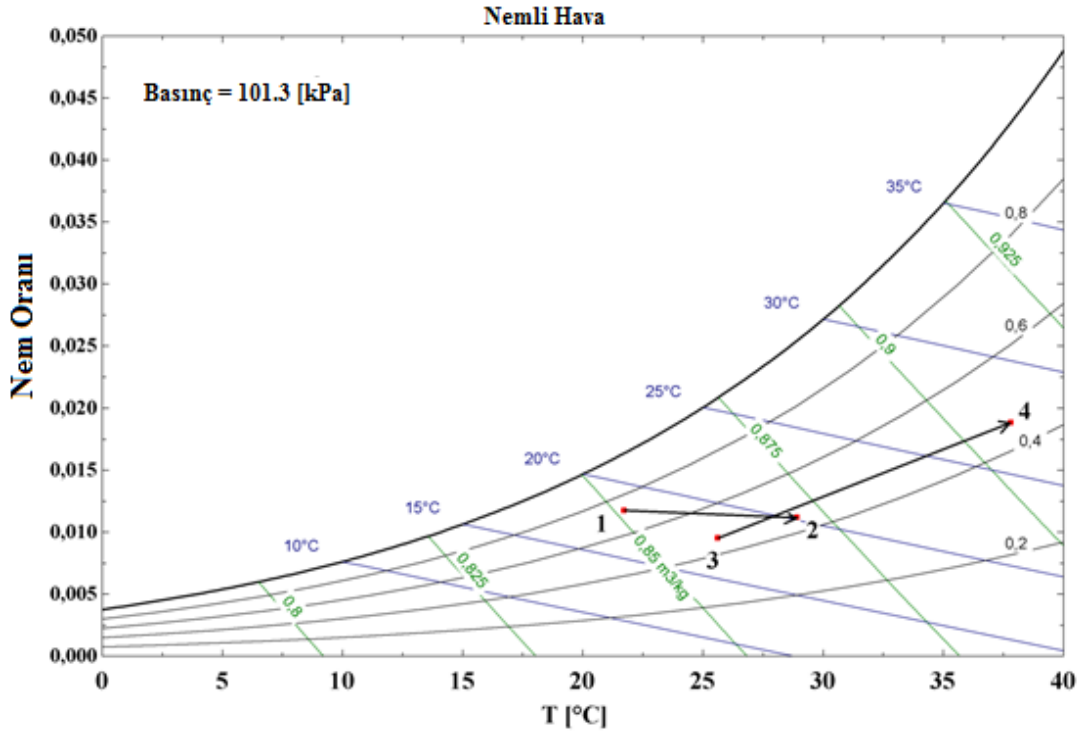
Şekil 3.24’te görülen ayar menüsü ile nem alıcı (absorber) ve rejeneratör (desorber) tarafındaki hava fanının ve sıvı pompasının açılıp kapatılması ve çalışma frekansının değiştirilebilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca “kaydetme süresi” kısmından sistemin kaydetme zaman aralıkları ayarlanabilmektedir.

### 3.5. Sistem Performansının Hesaplanması

Nem alma sistemlerinin performansında en önemli kriterler nem alma verimi ve nemli havadan alınan gizli ısı miktarıdır. Bu nedenle bu bölümde nem alma verimi ve nemli havadan alınan gizli ısı miktarıyla ilgili eşitliklere yer verilecektir. Hesaplamalar ise EES yazılımı yardımıyla yapılacaktır [57].

Sistemde gerçekleşen nem alma ve rejenerasyon işlemleri şekil 4.1’deki psikometrik diyagramda gösterilmiştir. Diyagramda, yatay eksen hava sıcaklığını dikey eksen ise nem oranını göstermektedir. (1) ve (2) noktaları arasında nem alma işlemi (3) ve (4) noktaları arasında ise rejenerasyon işlemi gerçekleşmiştir. Bu sebeple (1) noktası

nem alma kolonu girişini, (2) noktası nem alma kolonu çıkışını, (3) noktası rejeneratör girişini ve (4) noktası rejeneratör çıkışını göstermektedir.



Şekil 3.25. Nem alma ve rejenerasyon işlemlerinin psikometrik diyagramda gösterimi

Nemli havanın toplam basıncı eşitlik 3.1 ile tarif edilecektir.

$$P_T = P_v + P_a \quad (3.1)$$

Nemli havada su buharının kısmi basıncı genellikle “buhar basıncı” diye nitelenir. Bu basınç, su buharının atmosferik hava sıcaklığı ve hacminde tek başına olması durumunda sahip olacağı basıncı göstermektedir.

Mutlak nem, birim kuru hava kütesinde bulunan su buharı kütesi olarak tanımlanabilir. Havanın mutlak nemi eşitlik 3.2 ile gösterilmiştir.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (3.2)$$

Mutlak nem, eşitlik 3.3 ile de hesaplanabilir:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} \quad (3.3)$$

Havanın toplam basıncı  $P_T$  olarak kabul edilip eşitlik 3.3'te, eşitlik 3.1 de kullanılarak yerine yazılırsa eşitlik 3.4 elde edilebilir:

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_T - P_v} \quad (3.4)$$

Bağıl nem ise havanın su buharı halinde tuttuğu nemin, bulunduğu sıcaklık ve basınç koşullarında tutabildiği en yüksek su miktarına oranı olarak tanımlanabilir. Belirli bir sıcaklık ve basınçta bulunan doymuş havadaki su buharının kısmi basıncı  $P_v$ 'nin, aynı sıcaklıktaki suyun doyma basıncı olan  $P_d$  ile değiştirilmesi ile hesaplanabilecektir. Bağıl nem, eşitlik 3.5 ile ifade edilmiştir.

$$\phi = \frac{m_v}{m_d} = \frac{P_v V / R_v T}{P_d V / R_v T} = \frac{P_v}{P_d} \quad (3.5)$$

25 °C sıcaklıkta ve 100 kPa basınçta doymuş havadaki buhar basıncı yani  $P_v$ , 3.1698 kPa olarak belirlenmiştir.  $P_v$  değeri sıfıra eşit olursa hava, “kuru hava” olarak adlandırılır.  $P_v$  değeri 3.1698 kPa değerinden küçük olur ise hava, “doymamış hava” olarak adlandırılmaktadır.

Sistemde nem alma kolonunun nem alma verimi eşitlik 3.6 ile tarif edilmiştir [58]:

$$\omega_{verim} = 100 * \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1 - \omega_{ge}} \quad (3.6)$$

Denklemdaki  $\omega_{ge}$  ifadesi eşitlik 3.4'ten yola çıkılarak eşitlik 3.7 ile hesaplanacaktır [58]:

$$\omega_{ge} = 0.622 \frac{P_{w,s}}{P_{atm} - P_{w,s}} \quad (3.7)$$

$P_{w,s}$  ifadesi hem sıcaklığın hem de konsantrasyonun bir fonksiyonu olup EES programından hazır olarak alınmıştır. Bu sebeple  $P_{w,s}$  ifadesi eşitlik 3.8'deki gibi gösterilebilir:

$$P_{w,s} = P (T = T_s, X = X_s) \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.6'daki  $\omega_1$  ve  $\omega_2$  ifadeleri havanın sıcaklığının, bağıl neminin ve basıncının bir fonksiyonu olup EES programından alınmıştır.  $\omega_1$  ve  $\omega_2$  ifadeleri sırasıyla eşitlik 3.9 ve eşitlik 3.10'da gösterilmiştir:

$$\omega_1 = \omega(T = T_1, \phi = \phi_1, P = P_1) \quad (3.9)$$

$$\omega_2 = \omega(T = T_2, \phi = \phi_2, P = P_2) \quad (3.10)$$

Sistemdeki nem alma kolonunun entalpi verimi ise eşitlik 3.11 ile tarif edilmiştir:

$$h_{verim} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_s} \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.11'deki  $h_s$  değeri,  $T_s$  sıcaklığındaki doymuş havanın entalpisi olup EES programı yardımıyla bulunmuştur.  $h_s$  değeri eşitlik 3.12'de gösterilmiştir.

$$h_s = h(T = T_s, \phi = 1, P = P_{atm}) \quad (3.12)$$

Nem alıcı kolonundaki havanın duyulur ısı oranı ise eşitlik 3.13 ile hesaplanacaktır:

$$SHR = c_p * \frac{T_2 - T_1}{h_2 - h_1} = \frac{c_p(T_2 - T_1)}{c_p(T_2 - T_1) + h_g(\omega_2 - \omega_1)} \quad (3.13)$$

Eşitlik 3.13'deki  $c_p$  değeri ise eşitlik 3.14 ile tanımlanmıştır.

$$c_p = \frac{c_{p,1} + c_{p,2}}{2} \quad (3.14)$$

Eşitlik 3.13'teki  $h_g$  değeri ise eşitlik 3.15 ile tarif edilmiştir.

$$h_g = 2500.9 + 1.82 * T_{ort} \quad (3.15)$$

Eşitlik 3.15'teki  $T_{ort}$  değeri ise eşitlik 3.16 ile hesaplanacaktır:

$$T_{ort} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (3.16)$$

Rejeneratör kolonunun nem alma verimi eşitlik 3.17 ile hesaplanacaktır:

$$\omega_{verim,r} = 100 * \frac{\omega_3 - \omega_4}{\omega_3 - \omega_{ge,r}} \quad (3.17)$$

Nem alma kolonunda olduğu gibi burada da  $\omega_3$  ve  $\omega_4$  değerleri EES programı yardımıyla hesaplanmıştır.  $\omega_3$  ve  $\omega_4$  değerleri sırasıyla eşitlik 3.18'de ve eşitlik 3.19'da gösterilmiştir.

$$\omega_3 = \omega(T = T_3, \phi = \phi_3, P = P_3) \quad (3.18)$$

$$\omega_4 = \omega(T = T_4, \phi = \phi_4, P = P_4) \quad (3.19)$$

$\omega_{ge,r}$  ifadesi ise yine eşitlik 3.4'ten yola çıkılarak eşitlik 3.20 ile hesaplanacaktır:

$$\omega_{ge,r} = 0.622 \frac{P_{w,s,r}}{P_{atm} - P_{w,s,r}} \quad (3.20)$$

$P_{w,s,r}$  ifadesi desikant sıcaklığının ve desikant konsantrasyonunun fonksiyonu olup EES yazılımı yardımıyla hesaplanmıştır.  $P_{w,s,r}$  ifadesi eşitlik 3.21'de gösterilmiştir.

$$P_{w,s,r} = P ( T = T_{s,r}, X = X_{s,r} ) \quad (3.21)$$

Rejeneratörün entalpi verimi ise eşitlik 3.22 ile tarif edilmiştir:

$$h_{verim,r} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{s,r}} \quad (3.22)$$

Eşitlik 3.12’de olduğu gibi eşitlik 3.22’de  $h_{s,r}$  değeri doymuş havanın rejeneratörde sıvı desikantın giriş sıcaklığındaki ( $T_{s,r}$ ) entalpisi olup eşitlik 3.23 ile tarif edilmiştir.

$$h_{s,r} = h(T = T_{s,r}, \phi = 1, P = P_{atm}) \quad (3.23)$$

Hem eşitlik 3.12’de hem de eşitlik 3.23’de doymuş hava olduğundan dolayı bağıl nem değeri,  $\phi$ , “1” olarak alınmıştır.

Rejeneratördeki havanın duyulur ısı oranı ise eşitlik 3.24 ile hesaplanacaktır:

$$SHR_r = c_{p,r} * \frac{T_4 - T_3}{h_4 - h_3} = \frac{c_{p,r}(T_4 - T_3)}{c_{p,r}(T_4 - T_3) + h_{g,r}(\omega_4 - \omega_3)} \quad (3.24)$$

Eşitlik 3.24’deki  $c_{p,r}$  değeri eşitlik 3.25 ile tarif edilmiştir:

$$c_{p,r} = \frac{c_{p,3} + c_{p,4}}{2} \quad (3.25)$$

Eşitlik 3.24’teki  $h_{g,r}$  değeri ise eşitlik 3.26 ile tanımlanabilir:

$$h_{g,r} = 2500.9 + 1.82 * T_{ort,r} \quad (3.26)$$

Eşitlik 3.26’daki  $T_{ort,r}$  değeri eşitlik 3.27 ile hesaplanabilir:

$$T_{ort,r} = \frac{T_3 + T_4}{2} \quad (3.27)$$

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarımı yapılan sıvı desikant nem alma sisteminin performansının araştırılabilmesi için sistemde deney yapılmıştır. Deneyde, sıvı desikant olarak konsantrasyonu kütlece %43 olan LiBr çözeltisi (sulu çözeltisinin denge diyagramı için bkz. EK-6) kullanılmıştır. Nem alıcı (absorber) ve rejeneratör (desorber) kolonlarında dolgu yüksekliği 60 cm olacak şekilde 30° açılı 100x300x6 mm'lik polikarbon levhalar kullanılmış, nem alıcı ve rejeneratör kolonlarının performansları ayrı ayrı incelenmiştir. İnceleme sonucunda elde edilen bulgular grafiklerle ilerleyen bölümlerde irdelenmiştir. Deneye ait diğer parametreler ise çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

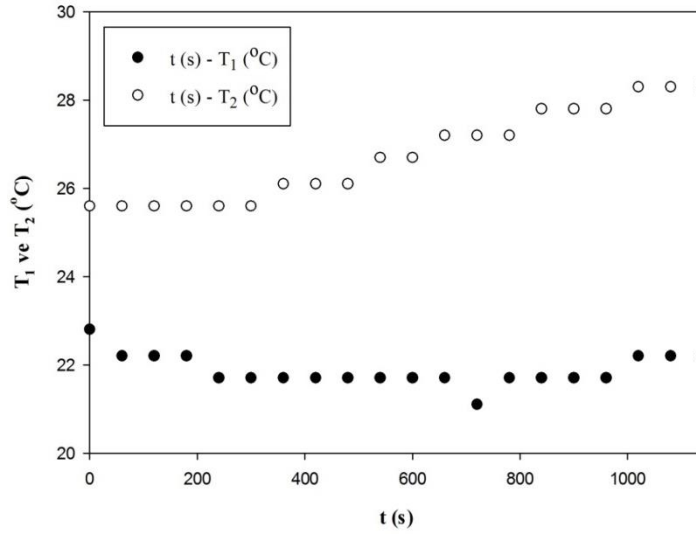
Çizelge 4.1. Deneye ait parametreler

| <i>Parametre adı</i>                           | <i>Ölçülen/Belirlenen Değer</i>          |
|--|--|
| Sıvı desikant                                  | Kütlece %43 LiBr Çözeltisi               |
| Kule dolgu malzemesi                           | 30°'lik 100x300x6 mm Polikarbon Levhalar |
| Dolgu yüksekliği                               | 60 cm                                    |
| Ortalama hava hızı (nem alıcı)                 | 4.6 m/s                                  |
| Ortalama hava hızı (rejeneratör)               | 4.6 m/s                                  |
| Ortalama hava kütleli debisi                   | 0.12779 kg/s                             |
| Ortalama desikant kütleli debisi               | 1.97911 kg/s                             |
| Hava fanı dönme frekansı                       | 20 Hz                                    |
| Sıvı pompası dönme frekansı                    | 20 Hz                                    |
| Soğutma suyu ortalama giriş/çıkış sıcaklıkları | 22.8/32.2 °C                             |
| Isıtma suyu ortalama giriş/çıkış sıcaklıkları  | 59.1/50.2 °C                             |
| Ortalama çözelti sıcaklığı (nem alıcı)         | 31.2 °C                                  |
| Ortalama çözelti sıcaklığı (rejeneratör)       | 45.8 °C                                  |

##### 4.1. Nem Alıcı Kolonu Performans İncelemesi

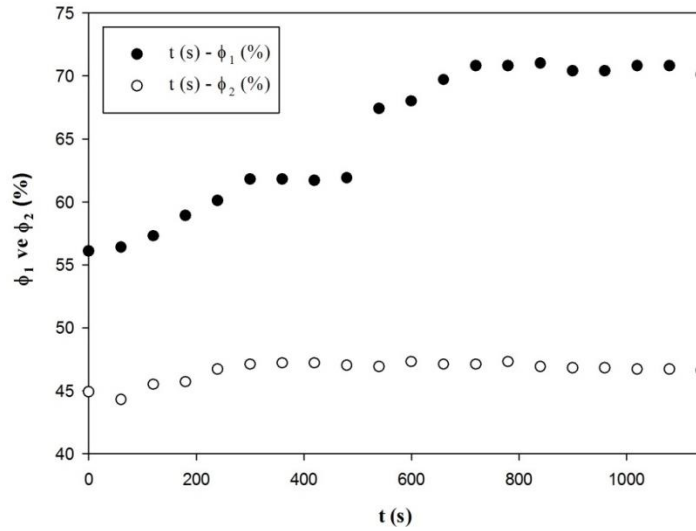
Şekil 4.1'de nem alıcıya giren ve çıkan havanın sıcaklığının zamanla değişim grafiği gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi yapılan deney boyunca hava çıkış sıcaklığı, zamanla artarken hava giriş sıcaklığı, zamanla bir miktar düşüp sonra artmaktadır. LiBr katısının suda çözünürken ortama ısı vermesi sebebiyle hava çıkış sıcaklığı bir miktar artmaktadır. Hava giriş sıcaklığında ise sistem dengeye ulaşıncaya kadar bir miktar dalgalanma olmuş, daha sonra küçük değişikliklerle dengeye ulaşmıştır.





Şekil 4.1.  $T_1$  ve  $T_2$ 'nin zamanla değişimi

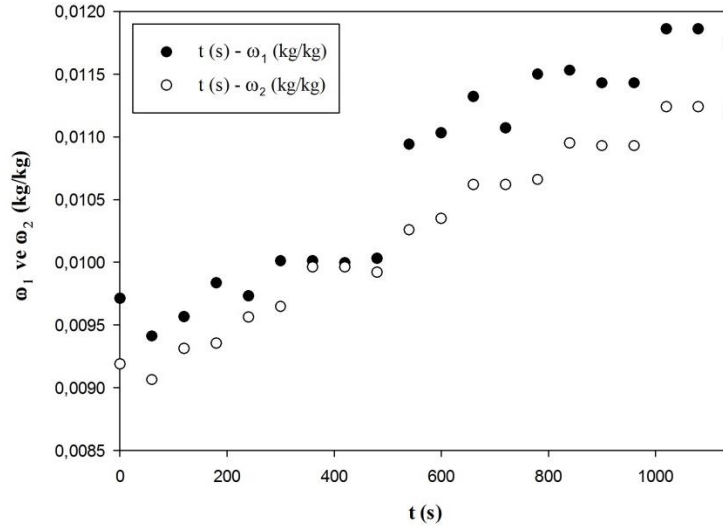
Şekil 4.2'de ise havanın nem alıcı kolona girişteki bağıl nemi ile çıkıştaki bağıl neminin zamanla değişim grafiği gösterilmiştir. Deney başlangıcında giriş ve çıkış havasının bağıl nemi, sistem dengeye ulaşınca kadar bir miktar değişmiştir. Deney başladıktan 800 saniye kadar sonra sistem dengeye ulaştığında havanın girişteki bağıl nemi %70 civarında iken çıkıştaki bağıl nemi, kolondaki nem alma işlemi sonucunda %45 seviyelerine düşürülmüştür.



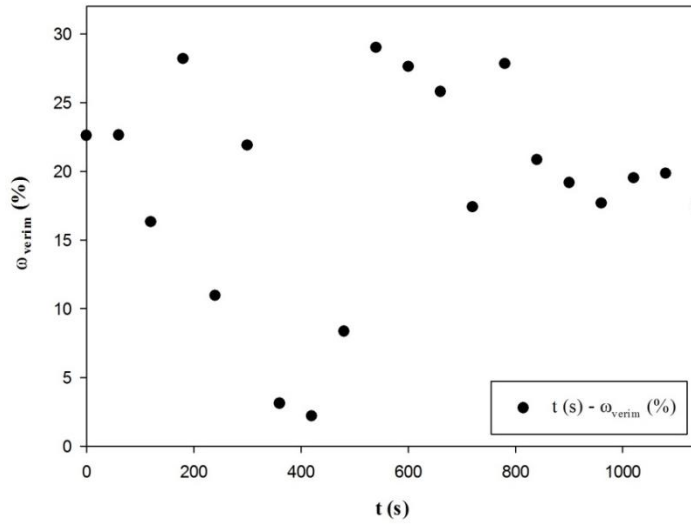
Şekil 4.2.  $\phi_1$  ve  $\phi_2$ 'nin zamanla değişimi

Şekil 4.3'te nem alıcıya giren ve çıkan havanın mutlak nem miktarının zamanla değişimi grafikte gösterilmiştir. Mutlak nem, sıcaklığa, basınca ve bağıl nem

miktarına bağlı olduğundan sistem dengeye ulaşınca kadar sözü geçen parametrelerin artmasıyla hem giriş hem de çıkış havası için mutlak nem miktarı artmıştır. Deneyin başlangıcında sistem dengede olmadığından giriş ve çıkış havası için mutlak nem değerleri birbirine yakın seyretmiş daha sonra sistemin dengeye ulaşmasıyla aralarındaki fark belirginleşmeye başlamıştır.



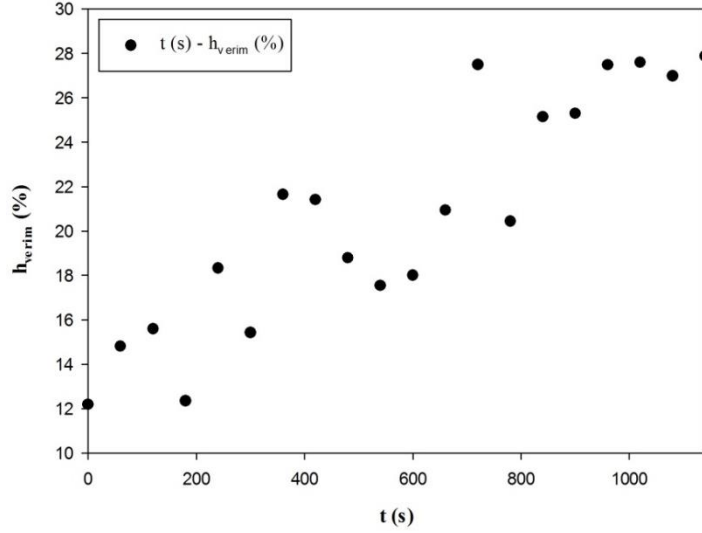
Şekil 4.3.  $\omega_1$  ve  $\omega_2$ 'nin zamanla değişimi



Şekil 4.4. Nem alıcı kolonda nem alma veriminin zamanla değişimi

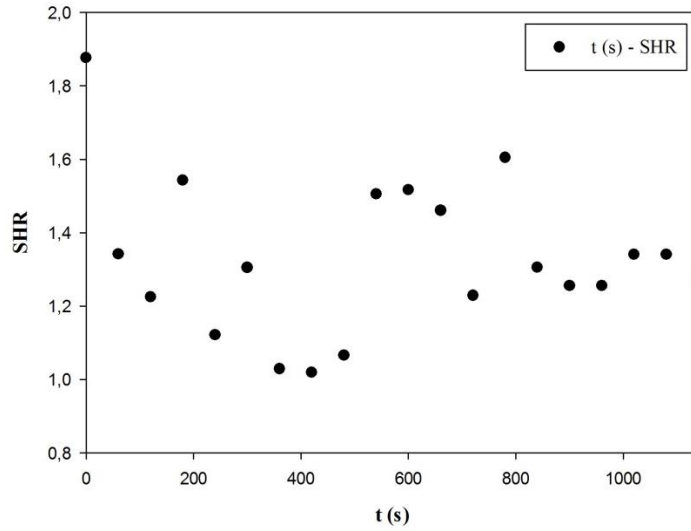
Bir diğer şekilde ise, şekil 4.4, nem alıcı kolonun nem alma veriminin zamanla değişimi gösterilmiştir. Nem alma verimi eşitlik 3.6 ile hesaplandığından giriş ve çıkış havasının mutlak nem miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Şekil 4.3 ile şekil 4.4

beraber incelendiğinde mutlak nem miktarlarının giriş ve çıkış havası için birbirine yakın olduğu yerlerde nem alma verimi düşmektedir. Sistem dengeye ulaşıncaya kadar belirli aralıklarda mutlak nem miktarları birbirine yakın seyrettiğinden bu aralıklarda nem alma verimi düşük olmuştur. Sistem dengeye ulaştıktan sonra (800-1000 saniye sonra) nem alma verimi de diğer parametreler gibi dengeye ulaşmış ve küçük dalgalanmalarla %15-20 arasında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Nem alıcıda entalpi veriminin zamanla değişimi

Nem alıcı kolonun, eşitlik 3.11 ile tarif edilen, entalpi veriminin zamanla değişimi grafiği ise şekil 4.5’de gösterilmiştir. Entalpi verimi, diğer parametrelerde olduğu gibi, ilk başlarda kararsız olarak seyretmiş daha sonra %26-28 aralığında küçük değişimlerle dengeye ulaşmıştır.



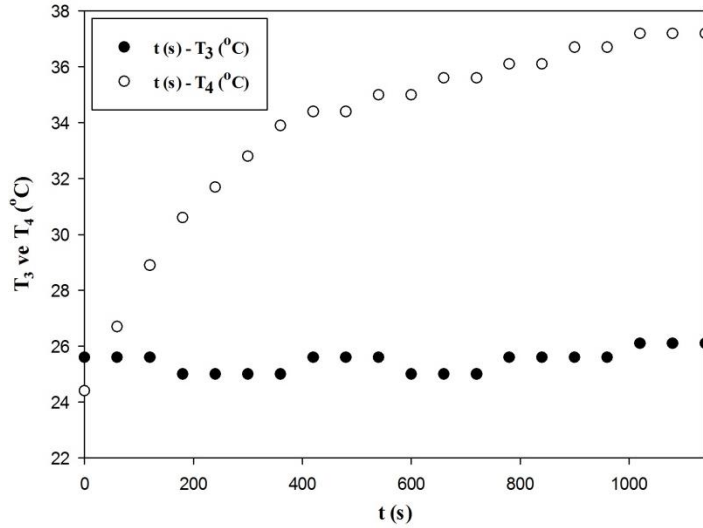
Şekil 4.6. Nem alıcı kolonda havanın duyulur ısı oranının zamanla değişimi

Şekil 4.6’da nem alıcı kolonda duyulur ısı oranının zamanla değişim grafiği gösterilmiştir. Duyulur ısı oranı 0 ile 1 arasında bir değer alması gerekirken nem alıcı kolonda, sistem dengeye ulaştığında, 1.2-1.3 arasında seyretmiştir. Buna neden olarak LiBr katısının suda çözünürken ortama ısı vermesi, bu sebeple çıkış havasının çözültiden bir miktar ısı alması gösterilebilir. Rejenere edildikten sonra soğutulmak üzere ısı değiştiricisine gönderilen sıvı desikantın, ısı değiştiricide daha düşük sıcaklıklara soğutulabilmesiyle bu durumun önüne geçilebilecektir.

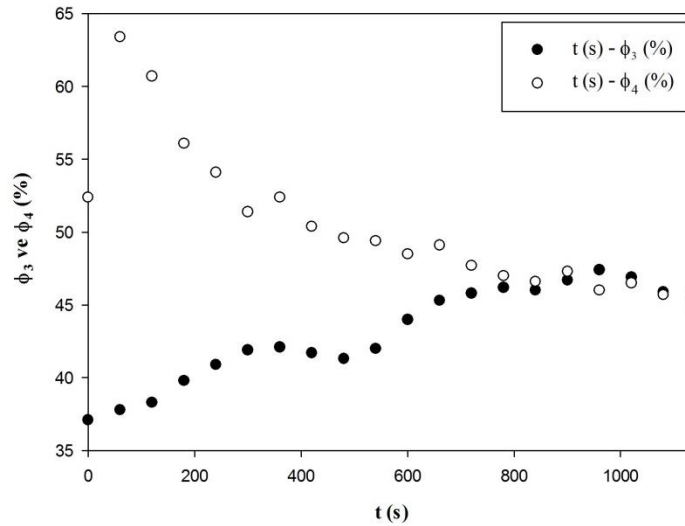
#### 4.2. Rejeneratör Kolonu Performans İncelemesi

Yapılan deney sonucunda rejeneratör kolonu için belirlenen performans parametreleri aşağıdaki şekillerde grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.7’de rejeneratör kolonuna giren ve çıkan havanın sıcaklığının zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekilde görülebildiği gibi ortamdan alınan havanın  $T_3$  giriş sıcaklığında beklenildiği gibi önemli bir değişiklik olmamaktadır. Fakat  $T_4$  sıcaklığı havanın, rejeneratöre girmeden önce ısı değiştiricide ısıtılan sıvı desikant çözültisiyle temas etmesi sonucu, sistem dengeye ulaştığında  $T_3$  değerinden yaklaşık  $12\text{ }^\circ\text{C}$  yüksek olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.7. T<sub>3</sub> ve T<sub>4</sub>'ün zamanla değişimi

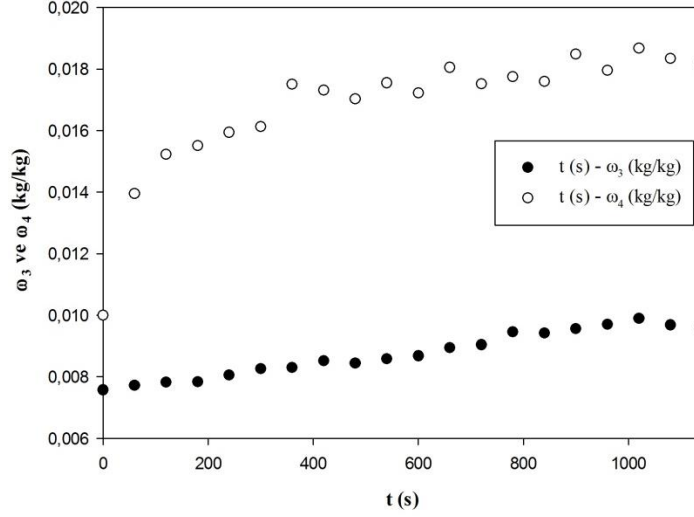


Şekil 4.8. φ<sub>3</sub> ve φ<sub>4</sub>'ün zamanla değişimi

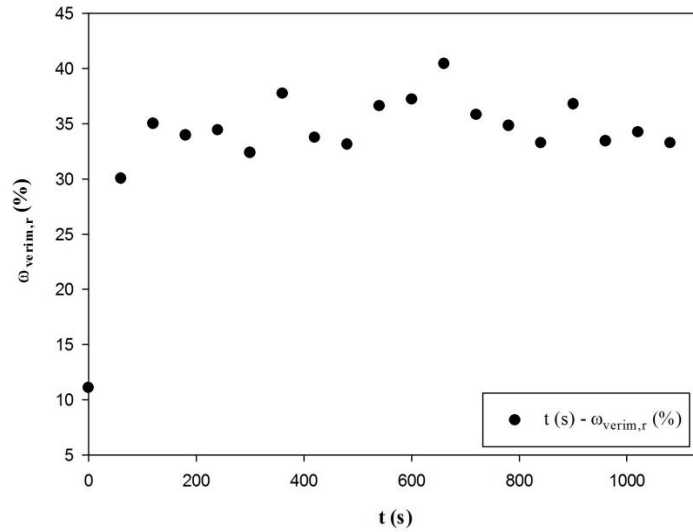
Rejeneratöre giren ve çıkan havanın bağıl neminin zamanla değişimi grafiği şekil 4.8'de gösterilmiştir. İki parametre arasında deneyin başlangıcında büyük bir fark olmasına karşın sistem kararlı hale geldiğinde, φ<sub>3</sub> ve φ<sub>4</sub> birbirlerine çok yakın değerler almışlardır.

Şekil 4.9'da ise rejeneratöre giren ve çıkan havanın mutlak neminin zamanla değişimi gösterilmiştir. Giriş havası mutlak neminde, ω<sub>3</sub>, sıcaklık, basınç ve bağıl nem miktarı değişmediğinden beklenildiği gibi, sistem kararlı hale geldikten sonra, çok büyük bir değişiklik olmamıştır. Buna karşın sıcak desikant çözeltisiyle temas ederek çözülden bir miktar su buharı olarak çıkan havanın mutlak nemi giriş

havasına göre yüksek olmuştur. Rejeneratöre giren havanın mutlak nem değeri yaklaşık 0.009 kg/kg iken, rejeneratörden çıkan havanın mutlak nem değeri ise yaklaşık 0.018 kg/kg olarak hesaplanmıştır.

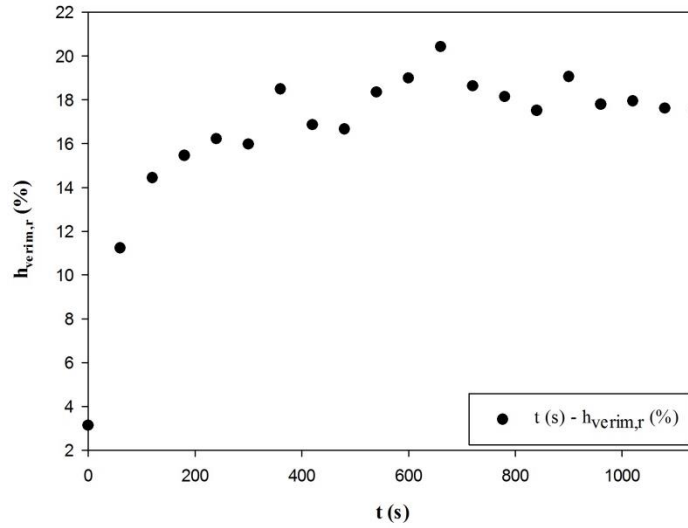


Şekil 4.9.  $\omega_3$  ve  $\omega_4$ 'ün zamanla değişimi



Şekil 4.10. Rejeneratörün nem alma veriminin zamanla değişimi

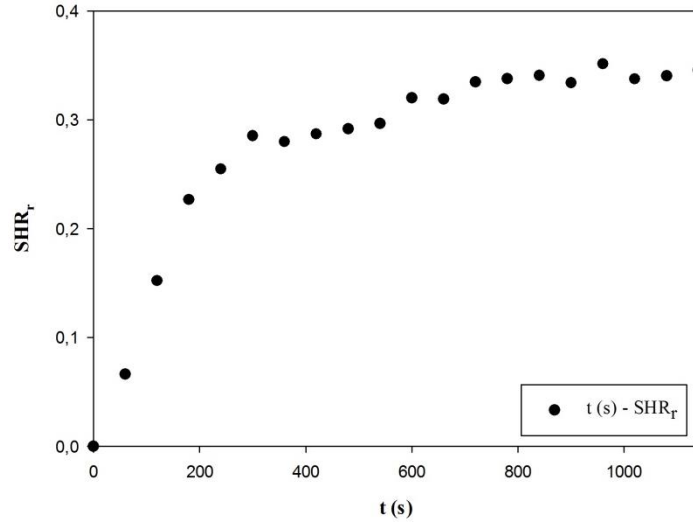
Şekil 4.10'da ise rejeneratörün nem alma veriminin zamanla değişim grafiği gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi sistem karalı hale geldiğinde (yaklaşık 900 saniye sonra) rejeneratörün nem alma verimi %35 civarında bulunmuştur. Nem alıcı kolonla karşılaştırıldığında, rejeneratörün nem alma performansının biraz daha iyi olduğu görülebilmektedir.



Şekil 4.11. Rejeneratörün entalpi veriminin zamanla değişimi

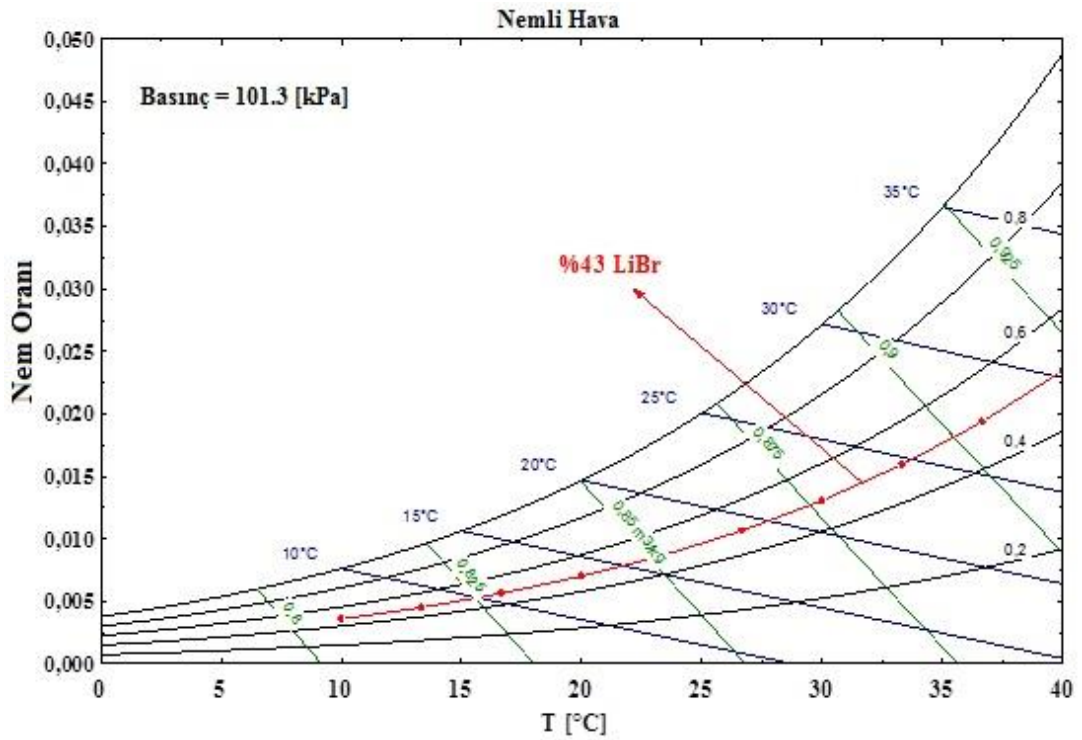
Rejeneratörün entalpi veriminin zamanla değişim grafiği ise şekil 4.11’de gösterilmiştir. Rejeneratörün entalpi verimi eşitlik 3.22 ile hesaplanıp, çıkan havanın entalpisi ( $h_4$ ) ve havanın sıvı desikant çözeltisi sıcaklığındaki entalpisi ( $h_{s,r}$ ), giren havanın entalpısından büyük olduğundan entalpi verimi pozitif değerler almıştır. Bu sebeple sözü geçen  $h_4$  ve  $h_{s,r}$  değerleri arttığında entalpi verimi de artacaktır. Sıvı desikantın rejeneratöre girmeden önce ısı değiştiricide daha yüksek sıcaklıklara çıkarılması yani daha yüksek sıcaklıklarda rejenere edilmesi  $h_4$  ve  $h_{s,r}$  değerlerini arttıracaktır. Bu deney için entalpi verimi değeri sistem dengeye ulaştığında yaklaşık %18 bulunmuştur.

Şekil 4.12’de rejeneratördeki havanın duyulur ısı oranının zamanla değişimi gösterilmiştir. Duyulur ısı oranı, duyulur ısının toplam ısıya (duyulur + gizli ısı) oranı şeklinde tarif edilmektedir. Sıvı desikant çözeltisinin rejeneratöre girdiğinde nemli ve sıcak olması ve havanın bu sıvı desikanttan su buharı ve ısı alması havanın gizli ısını arttırmaktadır. Bu sebeple duyulur ısı oranı rejeneratör için bu deneyde düşük değerler almış, sistemin kararlı hale gelmesiyle yaklaşık 0.35 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.12. Rejeneratörde havanın duyulur ısı oranının zamanla değişimi

EES yazılımı yardımıyla çizilen Kütlece %43'lük LiBr çözeltilisinin psikometrik diyagram üzerinde gösterimi ise şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Kütlece %43'lük LiBr çözeltilisinin psikometrik diyagramda gösterimi

Şekilde yatay eksen sıvı desikantın sıcaklığını, dikey eksen ise nem oranını (mutlak nem) göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi konsantrasyonu kütlece %43



olan LiBr çözeltilisinin sıcaklığı düşükçe nem oranı (mutlak nemi) düşecek ve nem alma kapasitesi artacaktır. Bu sebeple çözelti rejeneratörde rejenere edildikten sonra soğutma işlemi için geldiği ısı değiştiricide olabildiğince (çözeltinin yapısına zarar vermeden) düşük sıcaklıklara soğutulmalıdır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir sıvı desikant nem alma sisteminin tasarımı yapıp nem alma verimi, entalpi verimi ve duyulur ısı oranı parametrelerine göre performansı analiz edilmiştir. Performans analizindeki parametreler nem alıcı kolonu ve rejeneratör kolonu için ayrı ayrı hesaplanmış ve sistemle ilgili aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Nem alıcı kolonda, sistem kararlı hale geldiğinde, nem alma verimi ve entalpi verimi değerleri sırasıyla %16 ve %28 dolaylarında bulunmuş olup literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, bu değerlerin daha düşük oldukları tespit edilmiştir.
2. Rejeneratör kolonunda ise nem alma verimi değerinin, nem alıcı kolona göre biraz daha iyi olduğu fakat entalpi veriminin ise biraz daha düşük olduğu tespit edilmiş, nem alma verimi ve entalpi verimi sırasıyla %35 ve %18 dolaylarında bulunmuştur.
3. Nem alıcı kolonundaki havanın duyulur ısı oranı ise, lityum bromür katısının suda çözünmesi ekzotermik (ısı açığa çıkaran) bir reaksiyon olmasından ötürü, çözeltinin havadan su buharı alınca ısınıp temas ettiği havanın sıcaklığını arttırmamasından ötürü yüksek bulunmuştur. Havanın duyulur ısı oranı, duyulur ısının toplam ısıya oranı (duyulur ısı + gizli ısı) şeklinde tanımlandığından sistemde, bir başka deyişle, nemi alınan havanın gizli ısısı azalmış fakat nem alma işlemi sırasında havanın sıvı desikantla temas etmesi sonucunda sıcaklığı arttığından duyulur ısısı artmıştır.
4. Rejeneratör kolonunda ise hava, yüksek sıcaklıktaki sıvı desikanttan hem bir miktar nem hem de ısı almıştır. Bu sebeple havanın gizli ısısı yükselmiş ve duyulur ısı oranı 0.35 dolaylarında bulunmuştur.

Bu sonuçlar, sistemin biraz daha geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Nem alma sistemlerinde, sistem performansına bir çok parametre etki etmektedir. Tasarlanan sistemde kolonlarda sıvı desikant-hava temas alanını arttırmak, çözeltiyi nem alıcıya girmeden önce daha düşük sıcaklıklara soğutmak, kolonlardaki hava hızını ve sıvı desikant debisini optimum seviyeye getirmek, sistem performansını arttıracaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Agyenim, F., Knight, I., Rhodes, M., Design and experimental testing of the performance of an outdoor LiBr/H<sub>2</sub>O solar thermal absorption cooling system with a cold store, *Solar Energy*, 84, 735-744, 2010.
- [2] Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık İstatistik Kurumu, “Sektörel Enerji Tüketimi İstatistikleri, 2005” Erişim Adresi: [http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb\\_id=11&ust\\_id=3](http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=11&ust_id=3) Erişim Tarihi: 03.07.2015.
- [3] Enteria, N., Yoshino, H., Mochida, A., Review of the advances in open-cycle absorption air-conditioning systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 265-289, 2013.
- [4] Jain, S., Tripathi, S., Das, R., S., Experimental performance of a liquid desiccant dehumidification system under tropical climates, *Energy Conversion and Management*, 52, 2461-2466, 2011.
- [5] Yin, Y., Qian, J., Zhang, X., Recent advancements in liquid desiccant dehumidification technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 38-52, 2014.
- [6] Xu, M., Duan, Y., Xin, F., Huai, X., Li, X., Design of an isopropanol-acetone-hydrogen chemical heat pump with exothermic reactors in series, *Applied Thermal Engineering*, 71, 445-449, 2014.
- [7] Zhai, X., Q., Wang, R., Z., A review for absorption and adsorption solar cooling systems in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1523-1531, 2009.
- [8] Pesaran, A., A., A review of desiccant dehumidification technology, *Proceedings of Electric Dehumidification: Energy Efficient Humidity Control for Commercial and Institutional Buildings Conference*, New Orleans-Louisiana, 2-3 Haziran 1993.
- [9] Ahmed, S., Y., Gandhidasan, P., Al-Farayedhi, A., A., Thermodynamic analysis of liquid desiccants, *Solar Energy*, 62, 11-18, 1998.
- [10] Sultan, M., El-Sharkawy, I., I., Miyazaki, T., Saha, B., B., Koyama, S., An overview of solid desiccant dehumidification and air conditioning systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 16-29, 2015.

- [11] Lof, G., O., G., Cooling with solar energy, Congress on solar energy, 171-189, Tucson-Arizona, 1955.
- [12] Factor, H., M., Grossman, G., A., Packed bed dehumidifier/regenerator for solar air conditioning with liquid desiccants, *Solar Energy*, 24, 541-550, 1980.
- [13] Patnaik, S., Lenz, T., G., Lof, G., O., G., Performance studies for an experimental solar open-cycle liquid desiccant air dehumidification system, *Solar Energy*, 44, 123-135, 1990.
- [14] Öberg, V., Goswami, D., Y., A Review of Liquid Desiccant Cooling, *Advances in Solar Energy*, 12, 431-470, 1998.
- [15] Xing, H., H., Desiccant dehumidification analysis, Massachusetts Institute of Technology, MSc.Thesis, Boston, 139, 2000.
- [16] Fumo, N., Goswami, D., Y., Study of an aqueous lithium chloride desiccant system: air dehumidification and desiccant regeneration, *Solar Energy*, 72, 351-361, 2002.
- [17] Gandhidasan, P., A simplified model for air dehumidification with liquid desiccant, *Solar Energy*, 76, 409-416, 2004.
- [18] Mesquita, L., C., D., S., Analysis of a flat-plate, liquid desiccant, dehumidifier and regenerator, Department of Mechanical and Materials Engineering, PhD. Thesis, Queen's University, Ontario, 176, 2007.
- [19] Mei, L., Dai, Y., J., A technical review on use of liquid desiccant dehumidification for air-conditioning application, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 662-689, 2008.
- [20] Mohan, B., S., Maiya, M., P., Tiwari, S., Performance characterisation of liquid desiccant columns for a hybrid air-conditioner, *Applied Thermal Engineering*, 28, 1342- 1355, 2008.
- [21] Junyi, T., Investigation of a novel liquid desiccant cooling system, Department of Mechanical Engineering at the University of Hong Kong, Doktora Tezi, Hong Kong, 143, 2009.
- [22] Jain, S., Tripathi, S., Das, S., Experimental performance of a liquid desiccant dehumidification system under tropical climates, *Energy Conversion and Management*, 52, 2461-2466, 2011.

- [23] Mohan, B., S., Tiwari, S., Maiya, M., P., Parametric studies on coupled columns of liquid desiccant-vapor compression hybrid air conditioning system, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 0, 1-10, 2011.
- [24] Salarian, H., Ghadamian, H., Assadi, M., K., Ataei, A., An experimental and modelling study of a dehumidification tower, *International Journal of the Physical Sciences*, 6, 2852-2860, 2011.
- [25] Liu, X., H., Yi, X., Q., Jiang, Y., Mass transfer performance comparison of two commonly used liquid desiccants: LiBr and LiCl aqueous solutions, *Energy Conversion and Management*, 52, 180-190, 2011.
- [26] Mohammad, A., T., Mat, S., B., Sulaiman, M., Y., Sopian, K., Al-abidi, A., A., Historical review of liquid desiccant evaporation cooling technology, *Energy and Buildings*, 67, 22-33, 2013.
- [27] Zhang, T., Liu, X., Jiang, J., Chang, X., Jiang, Y., Experimental analysis of an internally-cooled liquid desiccant dehumidifier, *Building and Environment*, 63, 1-10, 2013.
- [28] Chen, Y., Yin, Y., Zhang, X., Performance analysis of a hybrid air-conditioning system dehumidified by liquid desiccant with low temperature and low concentration, *Energy and Buildings*, 77, 91-102, 2014.
- [29] She, X., Yin, Y., Zhang, X., Thermodynamic analysis of a novel energy-efficient refrigeration system subcooled by liquid desiccant dehumidification and evaporation, *Energy Conversion and Management*, 78, 286-296, 2014.
- [30] Bassuoni, M., M., A simple analytical method to estimate all exit parameters of a cross-flow air dehumidifier using liquid desiccant, *Cairo University, Journal of Advanced Research*, 5, 175-182, 2014.
- [31] Yin, Y., Qian, J., Zhang, X., Recent advancements in liquid desiccant dehumidification technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 38-52, 2014.
- [32] Luo, Y., Yang, H., Lu, L., Liquid desiccant dehumidifier: Development of a new performance predication model based on CFD, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 69, 408-416, 2014.
- [33] Yin, Y., Zheng, B., Yang, C., Zhang, X., A purposed compressed air drying method using pressurized liquid desiccant and experimental verification, *Applied Energy*, 141, 80-89, 2015.

- [34] Mohan, B., S., Tiwari, S., Maiya, M., P., Experimental investigations on performance of liquid desiccant-vapor compression hybrid air conditioner, *Applied Thermal Engineering*, 77, 153-162, 2015.
- [35] Liu, J., Zhang, T., Liu, X., Jiang, H., Experimental analysis of an internally-cooled/heated liquid desiccant dehumidifier/regenerator made of thermally conductive plastic, *Energy and Buildings*, 99, 75-86, 2015.
- [36] Alarko-Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş., “Teknik Bülten, Ocak 2007, Sayı 19” Erişim Adresi: [http://www.alarko-carrier.com.tr/EBulten/TekBulten/images\\_19/e\\_TekBulten19\\_print.pdf](http://www.alarko-carrier.com.tr/EBulten/TekBulten/images_19/e_TekBulten19_print.pdf) Erişim Tarihi: 14.09.2015.
- [37] Srivastava, N., C., Eames, I., W., A review of adsorbents and adsorbates in solid–vapour adsorption heat pump systems, *Applied Thermal Engineering*, 18, 707-714, 1998.
- [38] Lowenstein, A., Review of liquid desiccant technology for HVAC applications, *HVAC&R Research*, 14, 819-839, 2008.
- [39] Ertas, A., Anderson, E., E., Kiris, I., Properties of a new liquid desiccant solution-Lithium chloride and calcium chloride mixture, *Solar Energy*, 49, 205-212, 1992.
- [40] Al-Farayedhi, A., A., Gandhidasan, P., Antar, M., A., Abdul Gaffar, M., S., Experimental study of an aqueous desiccant mixture system: air dehumidification and desiccant regeneration, *Journal of Power and Energy*, 219, 669-680, 2005.
- [41] “Desiccant Cooling: State-of-the-Art Assesment” Erişim adresi: [http://web.ornl.gov/sci/ees/etsd/btrc/eere\\_research\\_reports/thermally\\_activated\\_technologies/desiccant\\_systems/performance\\_evaluations/nrel\\_tp\\_254\\_4147/nrel\\_tp\\_254\\_4147.pdf](http://web.ornl.gov/sci/ees/etsd/btrc/eere_research_reports/thermally_activated_technologies/desiccant_systems/performance_evaluations/nrel_tp_254_4147/nrel_tp_254_4147.pdf) Erişim Tarihi: 19.09.2015.
- [42] Rafique, M., M., Gandhidasan, P., Rehman, S., Al-Hadhrami, L., M., A review on desiccant based evaporative cooling systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 145-159, 2015.
- [43] Kara, O., Design of air-conditioning system with dehumidification, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, MSc. Thesis, Adana, 94, 2009.

- [44] Camargo, J., R., Godoy Jr., E., Ebinuma, C., D., An evaporative and desiccant cooling system for air conditioning in humid climates, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 27, 3, 243-247, 2005.
- [45] Mohammad, A., T., Mat, S., B., Sulaiman, M., Y., Sopian, K., Al-abidi, A., A., Survey of hybrid liquid desiccant air conditioning systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 186-200, 2013.
- [46] Jain, S., Bansal, P., K., Performance analysis of liquid desiccant dehumidification systems, *International Journal of Refrigeration*, 30, 861-872, 2007.
- [47] Nayak, S., M., Experimental and theoretical investigation of integrated engine generator – liquid desiccant system, Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, PhD. Thesis, College Park, 344, 2005.
- [48] Li, Z., Chaobin, D., Eiji, H., Performance analysis of a no-frost hybrid air conditioning system with integrated liquid desiccant dehumidification, *International Journal of Refrigeration*, 33, 116-124, 2010.
- [49] Luo, Y., Yang, H., Lu, L., Qi, R., A review of the mathematical models for predicting the heat and mass transfer process in the liquid desiccant dehumidifier, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 587-599, 2014.
- [50] Jain, S., Dhar, P., L., Kaushik, S., C., Experimental studies on the dehumidifier and regenerator of a liquid desiccant cooling system, *Applied Thermal Engineering*, 20, 253-267, 2000.
- [51] “Çekme Pleksi “Pleksiglas” Levhalar”, Erişim Adresi: <http://www.kupreklam.com.tr/endustriyel-levhalar/cekme-pleksi-pleksiglas-levhalar.html> Erişim Tarihi: 15.10.2015.
- [52] Chung, T.-W., Ghosh, T., K., Hines, A., L., Comparison between random and structured packings for dehumidification of air by lithium chloride solutions in a packed column and their heat and mass transfer correlations, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 35, 192-198, 1996.
- [53] Gualito, J., J., Cerino, F., J., Cardenas, J., C., Rocha, J., A., Design method for distillation columns filled with metallic, ceramic, or plastic structured packings, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 36, 1747-1757, 1997.

- [54] Behrens, M., Olujic, Z., Jansens, P., J., Combining Reaction with Distillation: Hydrodynamic and mass transfer performance of modular catalytic structured packings, *Chemical Engineering Research and Design*, 84, 5, 381-389, 2006.
- [55] Potnis, S., V., Lenz, T., G., Dimensionless mass-transfer correlations for packed-bed-liquid-desiccant contactors, *Industrial and Engineering Chemistry Reserach*, 35, 4185-4193, 1996.
- [56] Zurigat, Y., H., Abu-Arabi, M., K., Abdul-Wahab, S., A., Air dehumidification by triethylene glycol in a packed column, *Energy Conversion and Management*, 45, 141-155, 2004.
- [57] Klein, S., A., *Engineering Equation Solver, Academic Version 9.901, F-Chart Software*, 2015.
- [58] Koronaki, I., P., Christodoulaki, R., I., Papaefthimiou, V., D., Rogdakis, E., D., Thermodynamic analysis of a counter flow adiabatic dehumidifier with different liquid desiccant materials, *Applied Thermal Engineering*, 50, 361-373, 2013.
- [59] *ASHRAE Handbook: Fundamentals*, chapter 20, 2005.



## ÖZGEÇMİŞ

1. **Adı Soyadı** : Barış KAVASOĞULLARI

2. **Doğum Tarihi** : 22.01.1988

3. **Ünvanı** : Araştırma Görevlisi

4. **Öğrenim Durumu** :

| Derece | Bölüm/Program       | Okul/Üniversite                | Bitirme Yılı |
|--------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| Lise   | Fen Bilimleri       | Antakya Necmi Asfuroğlu Lisesi | 2006         |
| Lisans | Makine Mühendisliği | Çukurova Üniversitesi          | 2012         |

5. **Akademik Ünvanlar**:

| Görevi              | Bölümü              | Kurumu                           | Yıl    |
|---------------------|---------------------|----------------------------------|--------|
| Araştırma Görevlisi | Makine Mühendisliği | Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi | 2014 – |

6. **İş Tecrübesi**

| Görev Ünvanı    | Görev Yeri | Yıl        |
|-----------------|------------|------------|
| Ar-ge Mühendisi | Temsa A.Ş. | 2012 –2014 |

7. **Yayımlar**

8. **Yazılan uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler:**

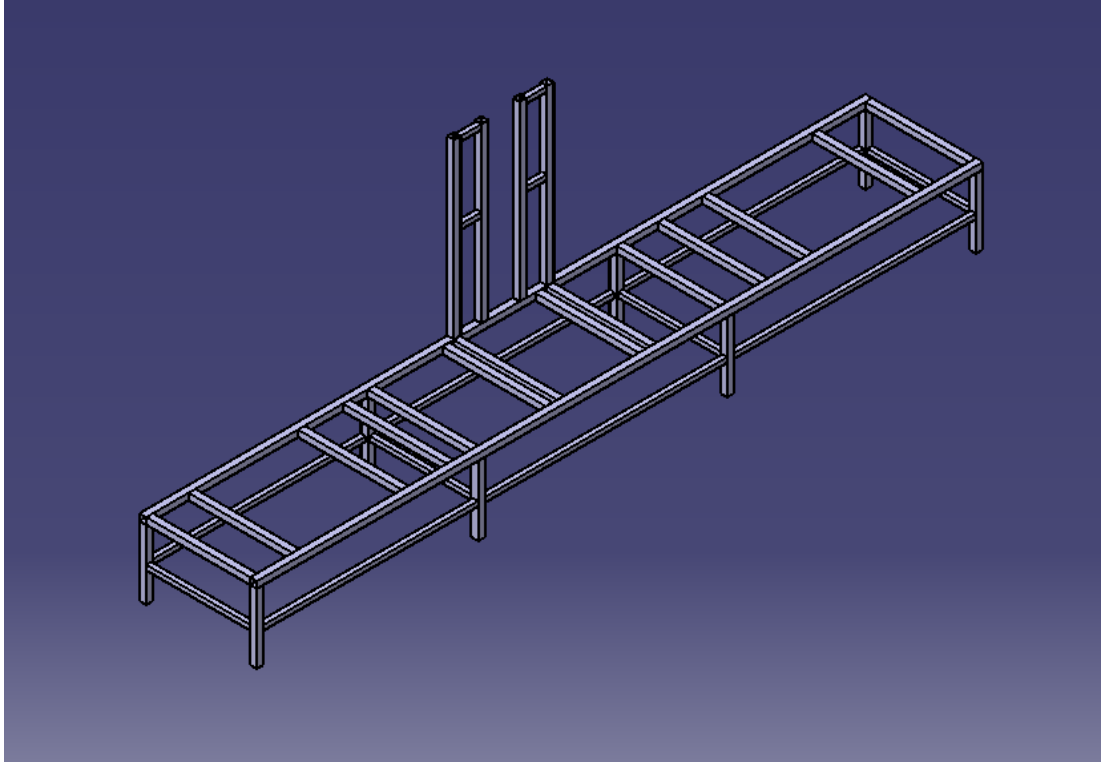
9. **Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:**

10. **Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:**

- B., Kavasogullari, E., Cihan, Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile Birlikte Çalışan Buhar Sıkıştırılmalı Bir Soğutma Çevriminin Ekserji Analizi, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 8-11 Nisan 2015, İzmir, 1745-1764.
- B., Kavasogullari, E., Cihan, Organik Rankine Çevrimi ile çalışan buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminin termodinamik analizi, İKSES'14 2. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu Ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, 23-25 Ekim 2014, Balıkesir, 196-211.

## EKLER

### EK-1: DENEY DÜZENEĞİ KARKASI



## EK-2: HAVA FANI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

### RADYAL FANLAR



## ORB

### ORTA BASINÇLI RADYAL FAN

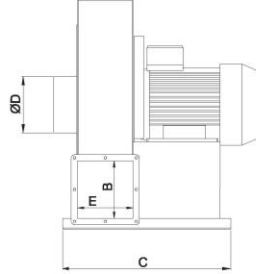
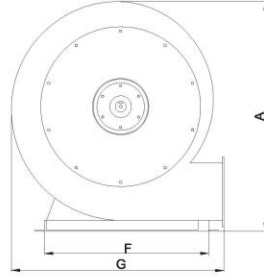
Orta ve yüksek statik basınçlarda yüksek performans sağlarlar.

Q : 950 - 4.000 m<sup>3</sup>/h

Pt : 130 - 725 mms

Direk akuple motor. (Monofaze & Trifaze)

### Teknik Resim



#### MALZEME

: Gövdesi; Elektrostatik toz boyalı DKP sacdan imal edilmiştir.  
Radyal fan, geriye eğimli kanat yapısı ile DKP sacdan üretilmiştir.

#### YALITIM SINIFI STANDART

: Class F  
: EN 60335-1, EN 60335-2-80

#### HIZ KONTROLÜ

: Opsiyonel kontrol cihazıyla sağlanabilir.

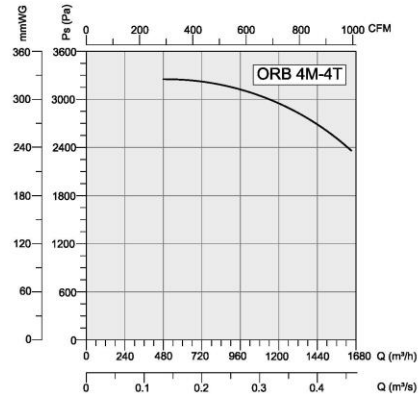
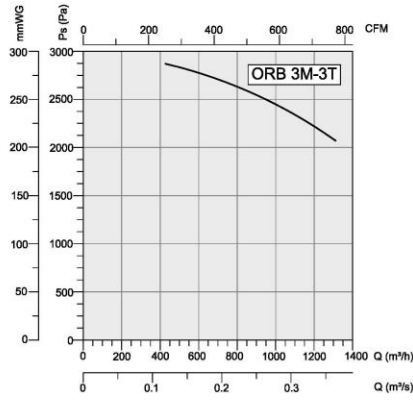
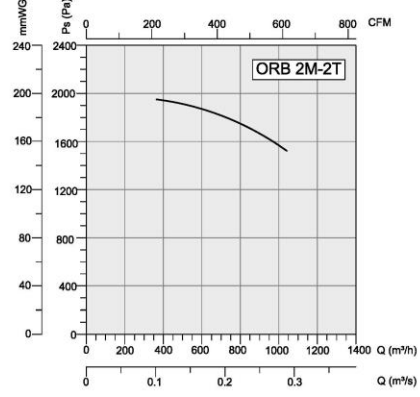
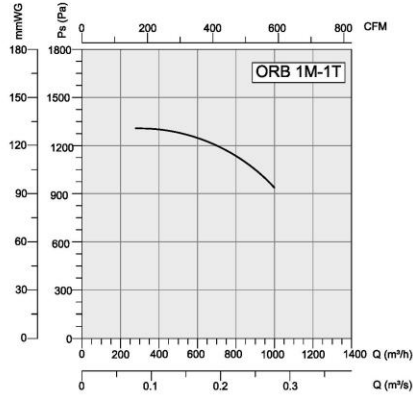
#### KULLANIM ALANLARI

: Mermer tozu, ince talaş, granit, plastik testere tozunun, tahta ve metal talaşları gibi ince tanecikli malzemelerin naklinde ve orta basınç hava akımına ihtiyaç duyulan her alanda kullanılabilirler.

| TİP   | A   | B   | C   | D   | E   | F   | G   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ORB 1 | 430 | 95  | 340 | 120 | 100 | 320 | 380 |
| ORB 2 | 500 | 95  | 340 | 120 | 100 | 370 | 380 |
| ORB 3 | 560 | 95  | 340 | 120 | 100 | 390 | 400 |
| ORB 4 | 590 | 110 | 420 | 150 | 120 | 450 | 600 |
| ORB 5 | 650 | 110 | 440 | 150 | 120 | 450 | 600 |
| ORB 6 | 670 | 140 | 520 | 150 | 150 | 450 | 700 |
| ORB 7 | 760 | 140 | 550 | 150 | 150 | 510 | 750 |
| ORB 8 | 810 | 140 | 600 | 150 | 150 | 630 | 800 |
| ORB 9 | 830 | 140 | 640 | 180 | 150 | 630 | 850 |

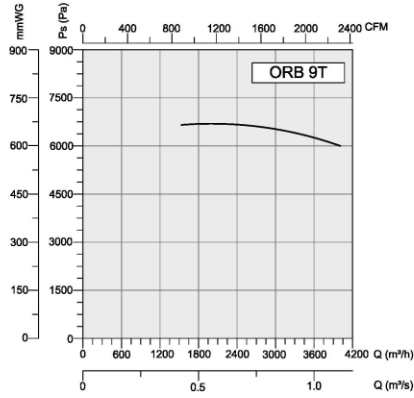
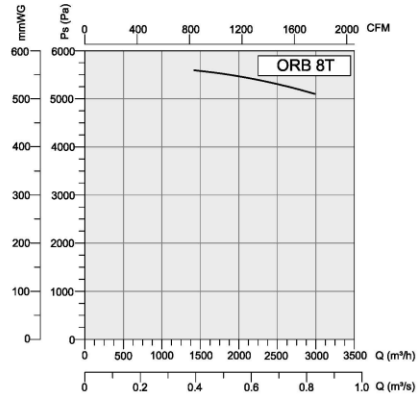
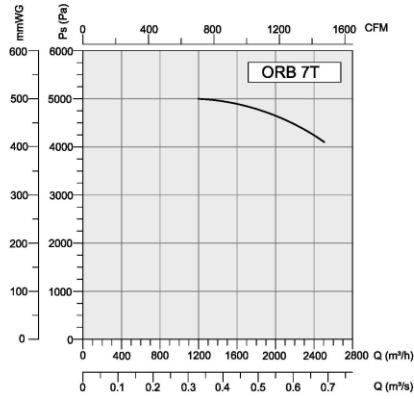
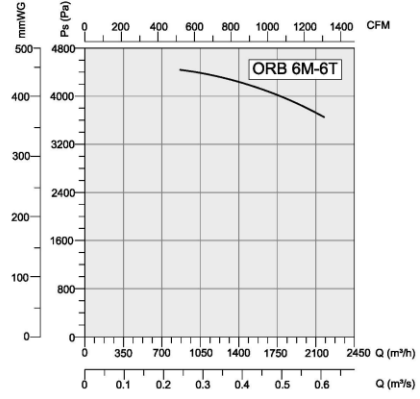
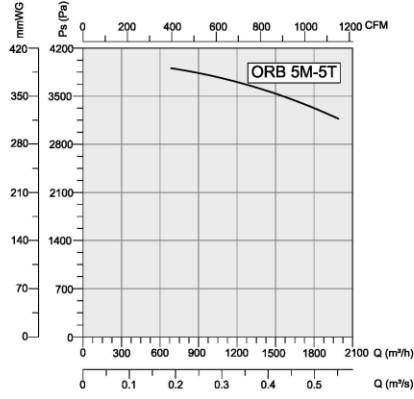
Ölçüler mm cinsindedir.

## Teknik Özellikler & Ölçüler



| TİP       | VOLTAJ  | FREKANS | GÜÇ  | DEVİR | DEBİ | STATİK BASINÇ | AĞIRLIK |
|-----------|---------|---------|------|-------|------|---------------|---------|
|           | V       | Hz      | KW   | d/d   | m³/h | Pa            | kg      |
| ORB 1M-1T | 230/380 | 50      | 0.37 | 2800  | 950  | 1300          | 20      |
| ORB 2M-2T | 230/380 | 50      | 0.75 | 2800  | 1000 | 2000          | 28      |
| ORB 3M-3T | 230/380 | 50      | 1.1  | 2800  | 1300 | 3000          | 42      |
| ORB 4M-4T | 230/380 | 50      | 1.5  | 2800  | 1600 | 3500          | 47      |
| ORB 5M-5T | 230/380 | 50      | 2.2  | 2800  | 1900 | 4000          | 58      |
| ORB 6M-6T | 230/380 | 50      | 3    | 2800  | 2200 | 4500          | 60      |
| OBR 7T    | 380     | 50      | 4    | 2800  | 2500 | 5000          | 67      |
| OBR 8T    | 380     | 50      | 5.5  | 2800  | 3000 | 6000          | 106     |
| OBR 9T    | 380     | 50      | 7.5  | 2800  | 4000 | 7250          | 134     |

## RADYAL FANLAR

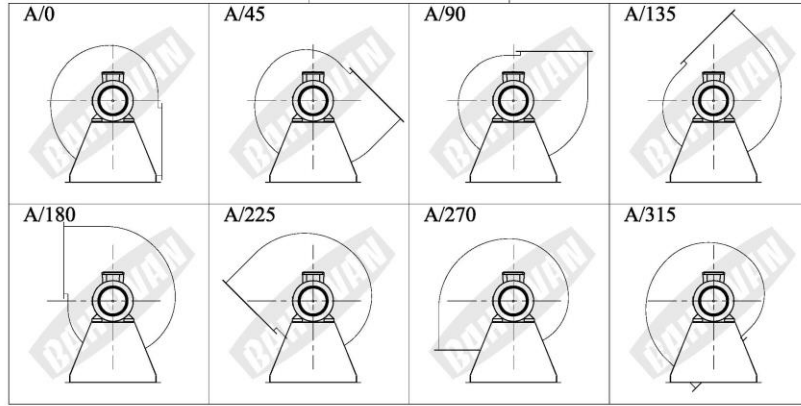
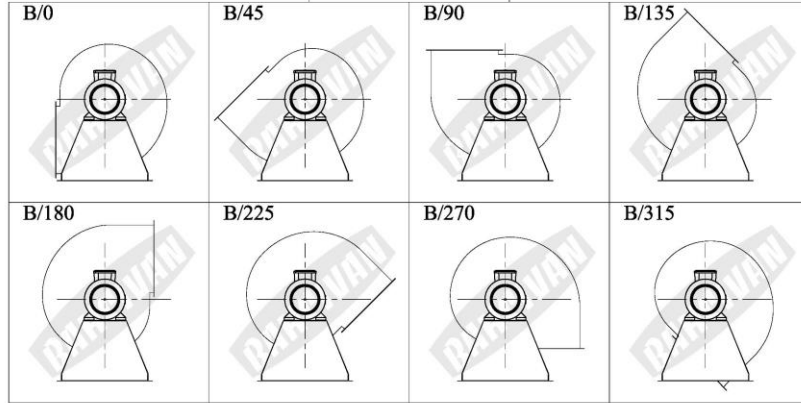


### Aksesuarlar



BSC-F

## FAN EMİŞ-ATIŞ YÖNLERİ

SOL YÖN  
ASAĞ YÖN  
B

### EK-3: SIVI POMPASI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

**50HZ**

# ARGAL

CHEMICAL PUMPS

*Route range*



**ZMR**  
mechanical sealed

**TMR**  
magnetic driven

*centrifugal pumps  
in thermoplastic materials*

## 2 **ARGAL** Route TMR - ZMR

In this catalog Argal proposes the range of ROUTE pumps, inclusive of magnetical driven serie named **TMR** embedding innovative patented technology, and traditional mechanical sealed serie named **ZMR**.

**ARGAL** with these series, offers more than competitors a complete solutions to pump almost all the chemical liquids: aggressive, clean or with solid in suspension included lightly abrasives.

The advantages of these series are

- simple and innovative constructions
- suitability to transfer chemicals in industrial applications
- minimised maintenance
- no need of specialized after sales service centers
- affordable purchase price and low operative cost.

To improve existing technology our R&D department developed and patented a solution called "two axial directions self alignment system" that controls the movement of the impeller through additional magnetic field.

**ARGAL** exploited this innovative idea to its best eliminating almost all frictions (both front and rear) except the attrition of rotation; In absence of hydraulic flow the magnetic field of this new system pulls the impeller in a central neutral position: the tolerance to dry running of the pump with the **'R'** self lubricating guide system is therefore guaranteed.



Argal operates with ISO 9001:2000 Quality System certified by SQS-Iqnet.



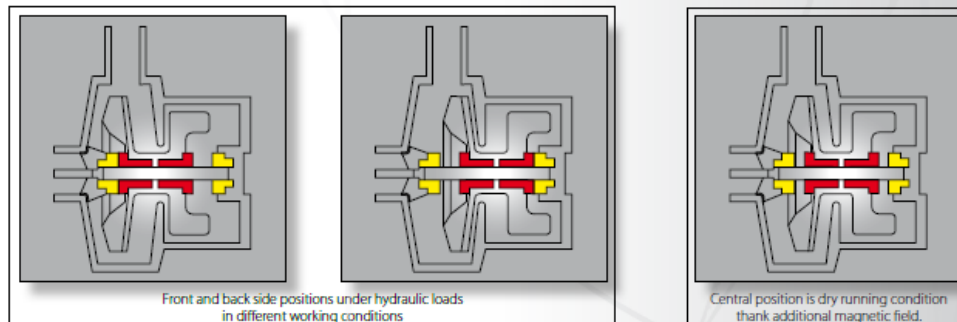
Magnetic driven pump G3 size in reinforced polypropylene (WR).

### PATENTED SYSTEM: THE PRINCIPLE OF TWO AXIAL DIRECTIONS SELF-ALIGNMENT SYSTEM

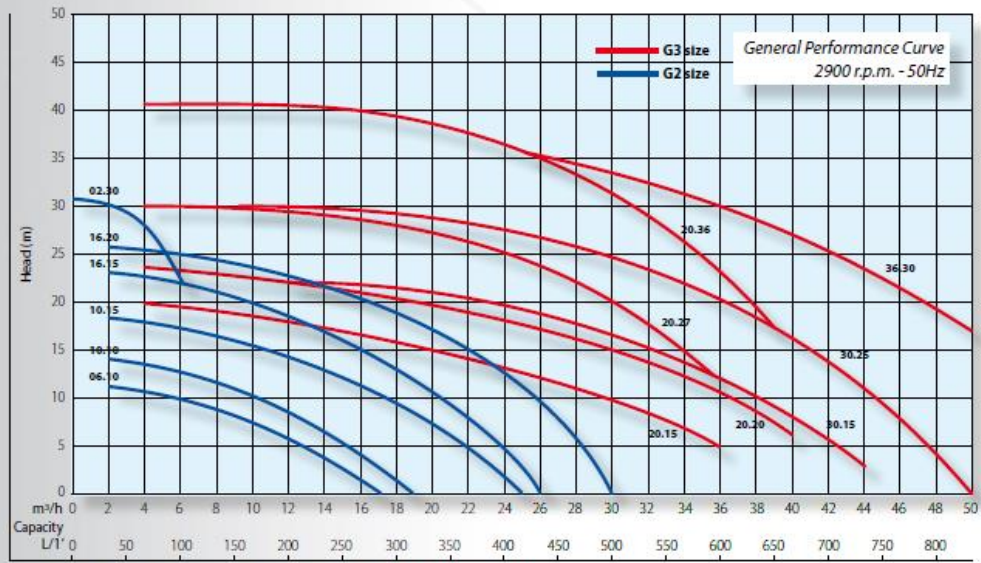
The impeller subjected to different hydraulic load is free to move axially.

Two rings which are limit devices of its excursion fix the work-space it engages during the standard operation. In case of anomalies due to pressure loss as dry running, the extra magnetic field (always active) contrasting the axial pushes, calls back the impeller in the neutral position.

This distinctive automatism precisely prevents the contact with the rings (limiting devices) and consequently avoids frictions and heat increase. The shape of the magnets and the orientation of the fields are the key that shows the desired action.







NOTES: All curves are referred to: water at 20°C - viscosity 1 °E - specific gravity 1 kg/dm<sup>3</sup>



View of Route range pumps in different materials and constructions.

**Labels in this catalog**

|                   |  |                |  |
|-------------------|--|----------------|--|
| <b>GFR/PP</b>     | Glass fibre reinforced Polypropylene (30%)                   | <b>EPDM</b>    | Ethylene-Propylene rubber                                  |
| <b>CFF/E-CTFE</b> | Ethylene-Chloro Trifluoro Ethylene carbon fibre filled (20%) | <b>BSP - m</b> | BSP parallel threaded male connect. (according to ISO 7/1) |
| <b>CARB. H.D.</b> | Carbon high density  | <b>NPT - m</b> | Threaded male NPT connections                              |
| <b>SiC</b>        | Silicon Carbide  | <b>ND</b>      | Nominal diameter   |
| <b>CER</b>        | Alumina ceramic at 99,7%                                     | <b>ISO</b>     | Ref. Flange ISO 2084 - NP10                                |
| <b>GFR/PTFE</b>   | Glass fibre reinforced PTFE                                  | <b>ANSI</b>    | Ref. Flange ANSI B 16.5 - Flat Face                        |
| <b>FKM</b>        | Fluorine elastomer   | <b>IEC</b>     | According to I.E.C. motors                                 |
| <b>FFKM</b>       | Perfluorelastomer  | <b>NEMA</b>    | According to U.S. motors                                   |

**MAIN FEATURES OF SEAL-LESS MAGNETICAL DRIVEN “TMR”**

**HERMETIC PUMPS**

The magnetical driven pumps are defined “hermetic” because of the exclusion of any rotating component of seal. The only necessity of seal between the volute casing and the back casing is guaranteed from a static gasket: O-ring type.

**FOR ALL CHEMICALS**

You can practically pump all the chemicals at low and medium temperatures with all the bodies in GFR-PP (glass fibre reinforced polypropylene) or CFF-E-CTFE (Etylene- Chloro TrifluoroEtylene carbon fibre filled).

• **LOADED FLUIDS, LIGHTLY ABRASIVE**

The different internal configurations of the materials allow to pump both clean fluids and mediums with solids in suspensions or moderately abrasive

• **HEAVY FLUIDS**

Strong magnetic coupling made up of rare-earth materials (Neodimium Iron Boron) and “N” (standard), “P” (powered) or “S” (strong-powered) versions allow to pump, also at maximum flow, liquids with 1.05 – 1.35 – 1.8 specific gravity respectively.

**DRY RUNNING OPERATION**

Dry running conditions with guide bushings in Carbon HD is guaranteed without damages thanks to the “two axial directions self-alignment” system (models 20.36 - 36.30 excluded). The conformation of the industrial plant, the fluid presence or absence in the pump body and its nature, affect the lenght of the dry running phase without damages or anomalous wear. All these details are listed in special time tables in the pumps manual.

**POSSIBLE ROTATION OF VOLUTE CASING**

Various shifts of the volute casing can be obtained thanks to rotation. The joint of the outlet connection of the pump with the tube of the plant is made easier.

**CENTRIFUGAL IMPELLER PROPERLY BALANCED**

Thanks to particular hydraulic and structural changes, the impeller is effectively balanced in order to reduce the assistance for maintenance. The separability of the bladed part from the one containing all magnets with driving and axial control, a significant amount of money is saved in case of impeller substitution (only G3 size).

**VARIOUS TYPOLOGIES OF CONNECTIONS**

Connections with BSP cylindrical thread or NPT; flanges ISO, ANSI, JIS.

**INDEPENDENT MOTOR APPLICATION**

The motor can be installed and removed easily without dismantling or opening the volute casing. Standard motors are IEC or NEMA.

**VOLUTE CASING DRAINING**

Draining connection is arranged and it is available upon request.

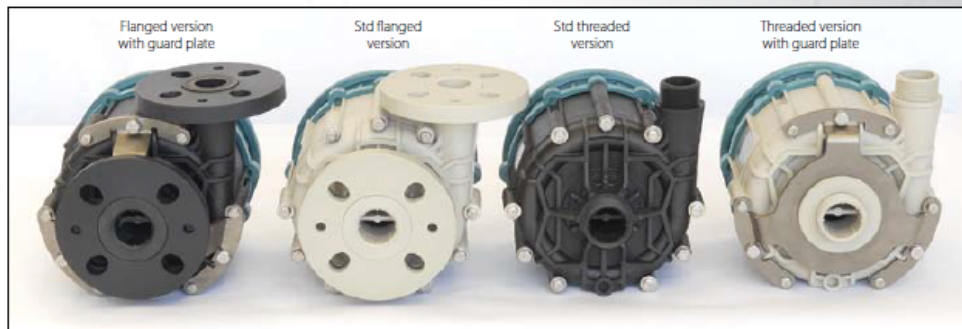
**GUARD PLATE**

A stainless steel guard plate is designed and fitted onto all models in order to protect the front casing from accidental mechanical shocks of various nature (e.g.: starts up with vacuum in inlet piping with possible piping excursions due to elastic brackets or thermal elongation). The guard plate is optional for G2 size of pumps.

**BASE AVAILABILITY**

The base for anchorage of the pump is in stainless steel with ground terminals in chemical-resistant thermoplastic materials. It is supplied upon request.

**PREPARATIONS OF G2 SIZE**



**THE MATERIALS**

table 1

| VERSION | REINFORCED POLYMERS | MIN. TEMP.   | MAX TEMP.     | ENVIRONMENT TEMP.   |
|---------|---------------------|--------------|---------------|---------------------|
| WR      | GFR/PP              | -5°C (23°F)  | 80°C (176°F)  | 0÷40°C (14÷104°F)   |
| GF      | CFF/E-CTFE          | -20°C (-4°F) | 100°C (212°F) | -20÷40°C (-4÷104°F) |
| GX*     | CFF/E-CTFE          | -20°C (-4°F) | 100°C (212°F) | -20÷40°C (-4÷104°F) |

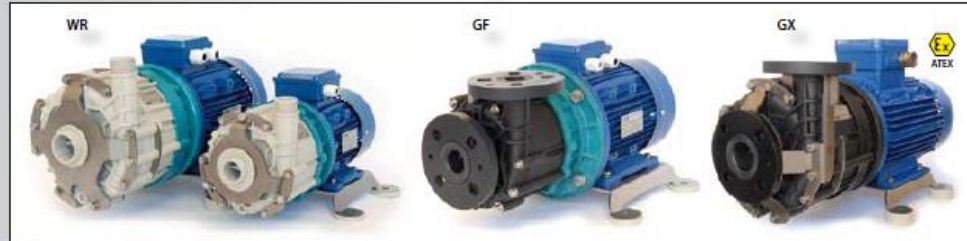
Note: Maximum inlet pressure: 1,5 bar - (\*) Compliant to ATEX 94/9/EC regulations

**THE CONSTRUCTIONS**

table 2

| TMR (G2 - G3 sizes)  | WR      | GF           | GX*          |
|----------------------|---------|--------------|--------------|
| Volute casing        | GFR/PP  | CFF/E-CTFE   | CFF/E-CTFE   |
| Rear casing          |         |              |              |
| Centrifugal impeller |         |              |              |
| OR gasket            | FKM (1) | FKM (1); (2) | FKM (1); (2) |

Upon request: (1) EPDM - (2) FFKM - (\*) Compliant to ATEX 94/9/EC regulations



**GUIDE SYSTEMS**

table 3

| TMR (G2 - G3 sizes) | R1        | X1  | N1       | R2        | X2  | N2       | R2        | N2       |
|---------------------|-----------|-----|----------|-----------|-----|----------|-----------|----------|
| Guide bushing       | Carbon HD | SiC | GFR/PTFE | Carbon HD | SiC | GFR/PTFE | Carbon HD | GFR/PTFE |
| Thrust bush         |           | CER |          |           | SiC |          |           | SiC      |
| Shaft               |           | CER |          |           | SiC |          |           | SiC      |

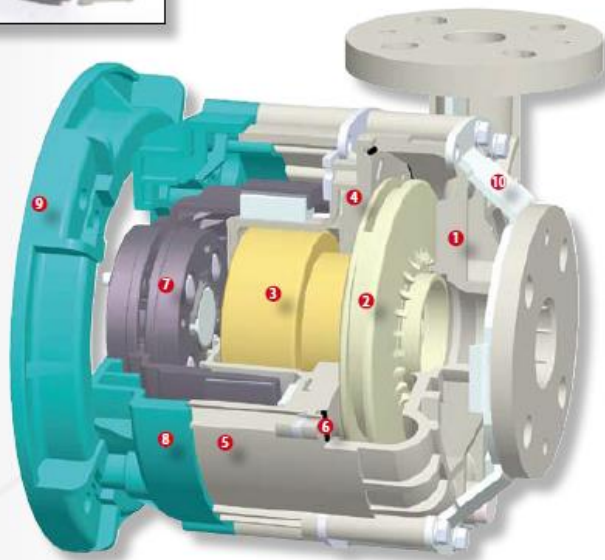


11 - R2 guide system (G2 size)

12 - X1 guide system (G3 size)

**TMR - SECTION VIEW (G3 size)**

- 1 - Volute casing
- 2 - Centrifugal impeller (covered type)
- 3 - Centrifugal impeller (magnetic part)
- 4 - Central disk
- 5 - Rear casing
- 6 - OR gasket
- 7 - Drive magnet assembly
- 8 - Bracket
- 9 - Motor adapter
- 10 - Guard plate



**MAIN FEATURES OF MECHANICAL SEALED "ZMR"**

**VARIOUS TYPES OF MECHANICAL SEALS FOR ALL CHEMICALS**

Different types of mechanical seals are available, single lubricated by pumped liquid or with flushing systems with liquid from the outside. Thanks to bodies in GFR-PP (glass fibre-reinforced polypropylene) or in CFF-E-CTFE (Etylene-ChloroTrifluoroEtylene carbon fibre filled) all chemicals at low and medium temperatures can be pumped.

The different combinations of materials of the sliding counter-face of the mechanical seal allow to pump liquids with solids in suspensions or abrasive. Various electrical powers are available in the "N" (standard) "P" (powered) or "S" (strong-powered) versions. They allow to pump, also at maximum flow, liquids with 1,05 – 1,35 – 1,8 specific gravity respectively.

**POSSIBLE ROTATION OF VOLUTE CASING**

Various shifts of the volute casing can be obtained thanks to rotation. The joint of the outlet connection of the pump with the tube of the plant is made easier.

**VARIOUS TYPOLOGIES OF CONNECTIONS**

Connections with BSP cylindrical thread or NPT; flanges ISO, ANSI, JIS.

**ELECTRICAL MOTORS**

IEC or NEMA standard motors can be installed.

**GUARD PLATE**

A stainless steel guard plate is designed and fitted onto all models in order to protect the front casing from accidental mechanical shocks of various nature (e.g.: starts up with vacuum in inlet piping with possible piping excursions due to elastic brackets or thermal elongation). The guard plate is optional for G2 size of pumps.

**BASE AND VOLUTE CASING DRAINING** are available upon request.

ZMR CONSTRUCTIONS (G2 - G3 sizes)

table 4

| VERSION              | WR      | GF | GX*          |
|----------------------|---------|----|--------------|
| Volute casing        | GFR/PP  |    | CFF/E-CTFE   |
| Rear casing          |         |    |              |
| Centrifugal impeller |         |    |              |
| OR gasket            | FKM (1) |    | FKM (1); (2) |

Note: Maximum inlet pressure: 1,5 bar - Upon request: (1) EPDM or (2) FFKM - (\*) Compliant to ATEX 94/9/EC regulations



THE CONSTRUCTIONS OF MECHANICAL SEALS

table 5

| construction    | model  | rotating part | fixed ring | bellow | 2nd rotating part | 2nd fixed part | WORKING CONDITIONS             |  |            |                |
|-----------------|--------|---------------|------------|--------|-------------------|----------------|--------------------------------|--|------------|----------------|
| INTERNAL SINGLE | BS5*   | CARBON        | CER        | FKM    |                   |                | LOW COST<br>(easy maintenance) |  |            |                |
|                 | BS7*   |               | SIC        |        |                   |                |                                | LOW COST<br>HARD PARTICLES<br>(easy maintenance) |            |                |
|                 | BS6*   | SIC           | CER        |        |                   |                | HARD PARTICLES                 |  |            |                |
|                 | BF3**  |               | SIC        |        |                   |                |                                |  |            |                |
| EXTERNAL SINGLE | SF1    | GFR/PTFE      | CER        | PTFE   |                   |                | FKM                            |  | NORMAL USE |                |
|                 | SF2    |               | SIC        |        |                   |                |                                |  |            |                |
|                 | TS5    | CARBON        | CER        | FKM    |                   |                |                                |  |            | HARD PARTICLES |
|                 | TS7    |               | SIC        |        |                   |                |                                |  |            |                |
|                 | TS6    | SIC           | CER        | FKM    | HARD PARTICLES    |                |                                |  |            |                |
|                 | TS8    | SIC           |            |        |                   |                |                                |  |            |                |
|                 | DOUBLE | MSF1          | GFR/PTFE   | CER    | PTFE              | CARBON         | CER                            | CRITICAL   |            |                |
|                 |        | MSF2          |            | SIC    |                   |                |                                |  |            |                |
| MTS5            |        | CARBON        | CER        | FKM    | EXTREME           |                |                                |  |            |                |
| MTS7            |        |               | SIC        |        |                   |                |                                |  |            |                |
| MTS6            |        | SIC           | CER        |        |                   |                |                                |  |            |                |
| MTS8            |        | SIC           |            |        |                   |                |                                |  |            |                |

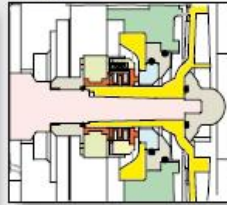
(\*) To use up to 50 °C liquid temp. - (\*\*) Only for ZMR G3 size

SECTIONS OF VARIOUS KIND OF MECHANICAL SEALS

B55 - B56 - B57



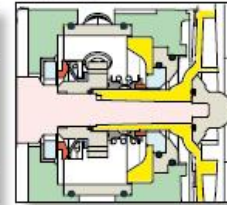
SF1 - SF2



TS5 - TS6 - TS7 - TS8

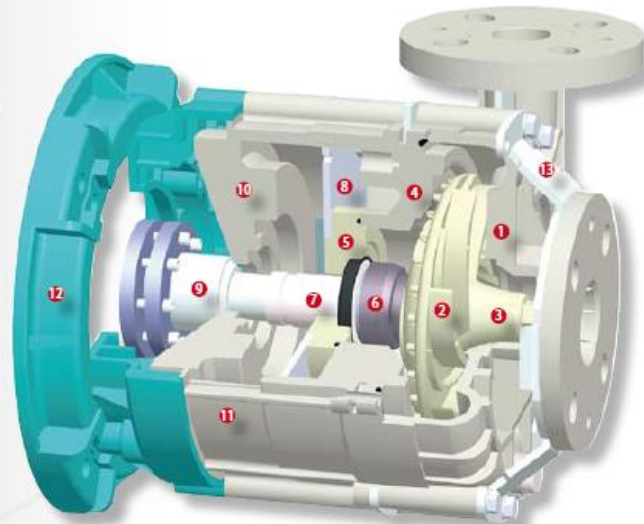


MSF - MTS



ZMR - SECTION VIEW (G3 size)

- 1 - Volute casing
- 2 - Centrifugal impeller (open type)
- 3 - Ogive
- 4 - Rear casing
- 5 - Diaphragm
- 6 - Internal mechanical seal
- 7 - Sleeve shaft
- 8 - Counter plate
- 9 - Shaft
- 10 - Dividing plate
- 11 - Bracket
- 12 - Motor adapter
- 13 - Guard plate



**PUMP SPECIFICATIONS (G2 - G3 sizes)**

table 6

| TMR - ZMR   | 50Hz       | All models (G2 size) | All models (G3 size) |
|-------------|------------|----------------------|----------------------|
| ø Inlet     | BSP        | 1 1/2"               | 2"                   |
| ø Outlet    | BSP        | 1 1/4"               | 1 1/2"               |
| ø Inlet     | NPT        | 1 1/2"               | 2"                   |
| ø Outlet    | NPT        | 1 1/4"               | 1 1/2"               |
| ISO flange  | DNA (mm)   | 40                   | 50                   |
|             | DNM (mm)   | 32 (40*)             | 40                   |
| ANSI flange | DNA (inch) | 1 1/2"               | 2"                   |
|             | DNM (inch) | 1 1/4" (1 1/2**)     | 1 1/2"               |
| JIS flange  | DNA (inch) | 1 1/2"               | 2"                   |
|             | DNM (inch) | 1 1/4" (1 1/2**)     | 1 1/2"               |

(\*) Available on request

**MOTOR SPECIFICATIONS (G2 size)**

table 7

|                    |     | 06.10                                 |      |     | 10.10 |     |     | 10.15 |     |     | 16.15 |     |     | 16.20 |     |     | 02.30 |     |     |
|--------------------|-----|---------------------------------------|------|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|
|                    |     | N                                     | P    | S   | N     | P   | S   | N     | P   | S   | N     | P   | S   | N     | P   | S   | N     | P   | S   |
| Power (IEC) 50 Hz  | kW  | 0,55                                  | 0,75 | 1,1 | 0,75  | 1,1 | 1,5 | 1,1   | 1,5 | 2,2 | 1,5   | 2,2 | 3   | 2,2   | 3   | 4*  | 2,2   | 3   | 4*  |
| Motor size         | IEC | 71                                    | 80A  | 80B | 80A   | 80B | 90S | 80B   | 90S | 90L | 90S   | 90L | 100 | 90L   | 100 | 112 | 90L   | 100 | 112 |
| Phases             | N.  | 3phase (all models) - 1phase (< 3 kW) |      |     |       |     |     |       |     |     |       |     |     |       |     |     |       |     |     |
| Std. voltage (IEC) | V   | 400 ± 5% 50Hz - 220 ± 5% 50Hz         |      |     |       |     |     |       |     |     |       |     |     |       |     |     |       |     |     |
| Motor protection   | IP  | 55                                    |      |     |       |     |     |       |     |     |       |     |     |       |     |     |       |     |     |

(\*) ZMR only

**WEIGHT (G2 size)**

table 8

| Pump weight (without motor) |    |    |         | Motor weight |     |     |     |     |     |                  |    |     |     |     |     |     |      |
|-----------------------------|----|----|---------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| WR                          | GF | GX | Version | IEC 3phase   |     |     |     |     |     | IEC 3phase E-exd |    |     |     |     |     |     |      |
| 4                           | 5  |    | Frame   | 71           | 80A | 80B | 90S | 90L | 100 | 112*             | 71 | 80A | 80B | 90S | 90L | 100 | 112* |
|                             |    |    | Kg      | 7            | 8   | 10  | 13  | 17  | 22  | 31               | 15 | 20  | 20  | 30  | 31  | 41  | 65   |

(\*) ZMR only

**MOTOR SPECIFICATIONS (G3 size)**

table 9

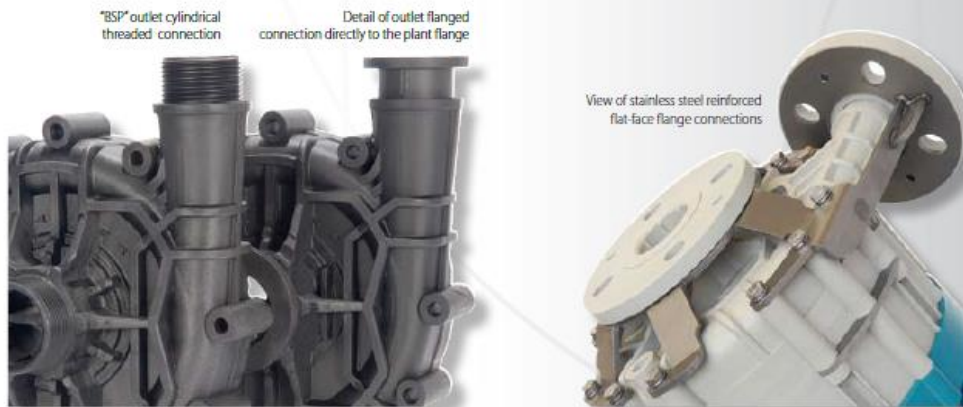
|                    |     | 20.15         |      |      | 20.20 |      |       | 20.27 |       |       | 20.36 |       |       | 30.15 |       |       | 30.25 |       |       | 36.30 |       |       |
|--------------------|-----|---------------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    |     | N             | P    | S    | N     | P    | S     | N     | P     | S     | N     | P     | S     | N     | P     | S     | N     | P     | S     | N     | P     | S     |
| Power (IEC) 50 Hz  | kW  | 2,2           | 3    | 4    | 3     | 4    | 5,5   | 4     | 5,5   | 7,5   | 5,5   | 7,5   | 11    | 4     | 5,5   | 7,5   | 5,5   | 7,5   | 11    | 7,5   | 11    | 15*   |
| Motor size         | IEC | 90L           | 100L | 112M | 100L  | 112M | 132SA | 112M  | 132SA | 132SB | 132SA | 132SB | 160MA | 112M  | 132SA | 132SB | 132SA | 132SB | 160MA | 132SB | 160MA | 160MB |
| Phases             | N.  | 3phase        |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Std. voltage (IEC) | V   | 400 ± 5% 50Hz |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Motor protection   | IP  | 55            |      |      |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

(\*) ZMR only

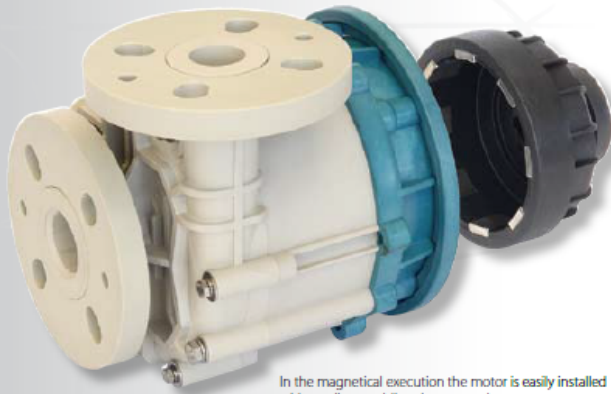
**WEIGHT (G3 size)**

table 10

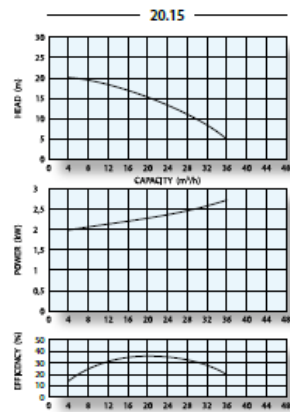
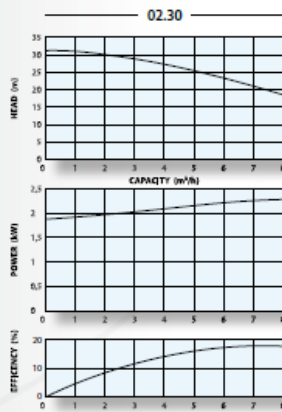
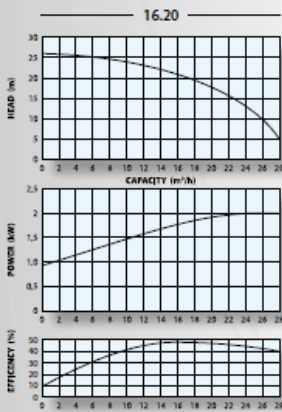
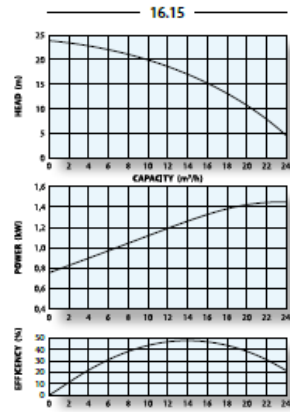
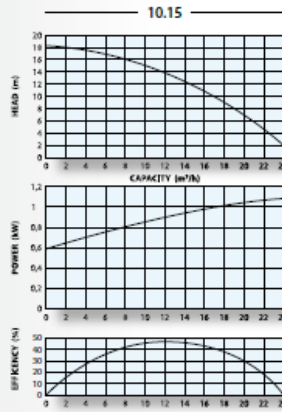
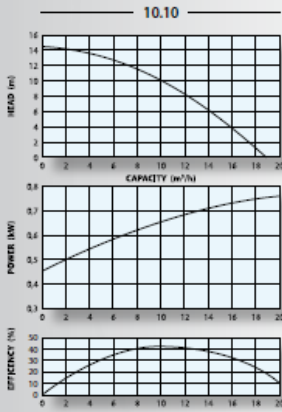
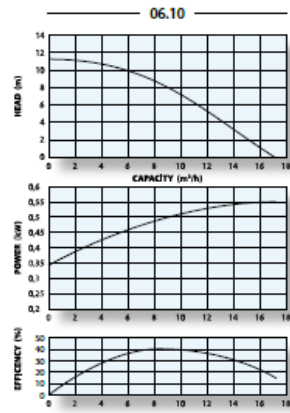
| Pump weight (without motor) |                     |    |         | Motor weight |      |      |       |       |       |                  |     |      |      |       |       |       |       |
|-----------------------------|---------------------|----|---------|--------------|------|------|-------|-------|-------|------------------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|
| WR                          | GF                  | GX | Version | IEC 3phase   |      |      |       |       |       | IEC 3phase E-exd |     |      |      |       |       |       |       |
| 12 (TMR)<br>8 (ZMR)         | 13 (TMR)<br>9 (ZMR) |    | Frame   | 90L          | 100L | 112M | 132SA | 132SB | 160MA | 160MB            | 90L | 100L | 112M | 132SA | 132SB | 160MA | 160MB |
|                             |                     |    | Kg      | 17           | 22   | 31   | 53    | 61    | 75    | 85               | 31  | 41   | 65   | 80    | 80    | 155   | 155   |



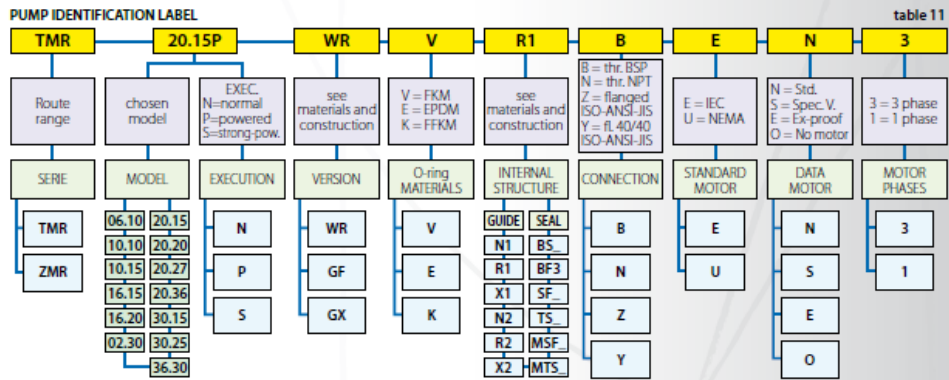
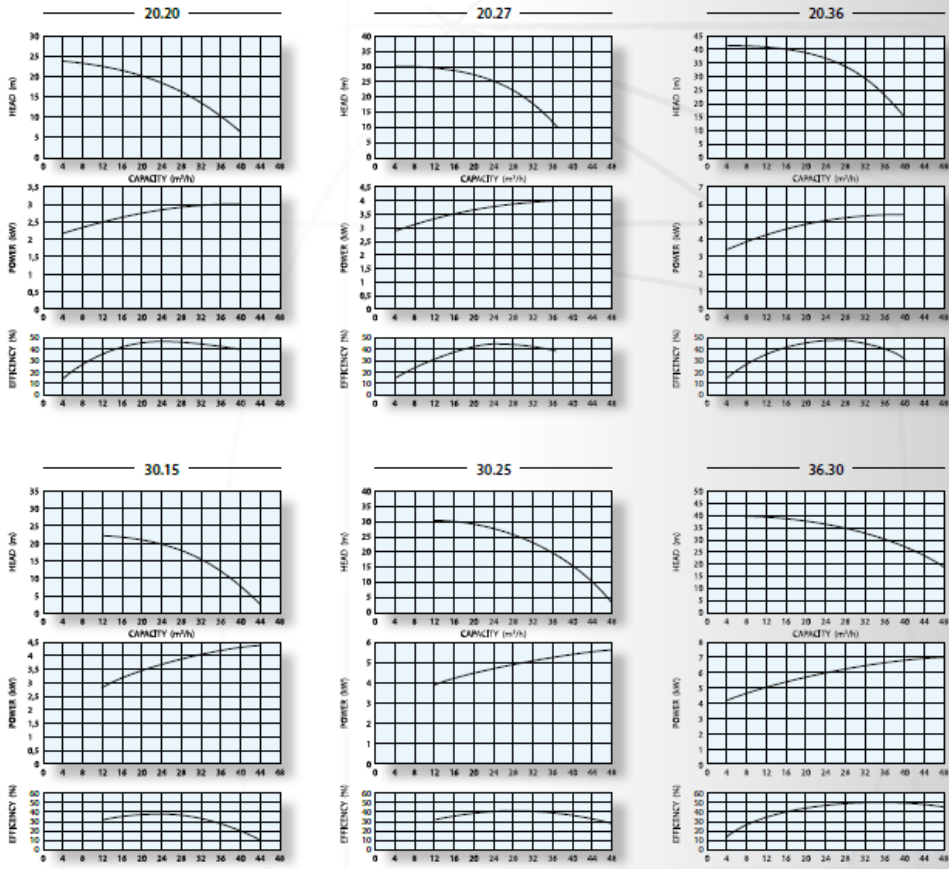
2900 r.p.m. 50Hz



In the magnetical execution the motor is easily installed without disassembling the wet-end.



2900 r.p.m. 50Hz





DIMENSIONS WITH IEC MOTORS - 50 Hz

table 12

| size | model | IEC frame | DnA    | DnM      | DeA | DeM | KA<br>bo./mm/ft | KM<br>bo./mm/ft | dxz<br>bo./mm/ft | a1 | L(°) |     | Q   | h1  | h2  | r   |     | r1  |     | rb  |     | m1  | n1  | s1  | g(°) | L3  | B2  | S2  | L1  | B3  | h3  |     |
|------|-------|-----------|--------|----------|-----|-----|-----------------|-----------------|------------------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      |       |           |        |          |     |     |                 |                 |                  |    | TMR  | ZMR |     |     |     | TMR | ZMR | TMR | ZMR |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| G2   | 06.10 | N         | 71     |          |     |     |                 |                 |                  |    | 67   | 356 | 364 | 71  |     |     | 194 | 202 |     |     |     |     | 90  | 112 | 7    | 106 |     |     |     |     |     |     |
|      |       | P         | 80A    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 385 | 393 | 80  |     |     | 199 | 207 |     |     |     |     | 125 |      | 110 |     |     |     |     |     |     |
|      |       | S         | 80B    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 405 | 413 | 90  |     |     | 205 | 213 | 149 | 157 | 161 | 169 | 140 | 8    | 142 | 185 | 248 | 245 | 308 |     |     |
|      | 10.10 | P         | 80B    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 385 | 393 | 80  |     |     | 199 | 207 |     |     |     |     | 100 |      |     |     |     |     |     |     |     |
|      |       | N         | 80A    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 405 | 413 | 75  |     |     | 205 | 213 |     |     |     |     | 125 |      | 110 |     |     |     |     |     |     |
|      |       | S         | 90S    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 430 | 438 | 90  |     |     | 205 | 213 |     |     |     |     | 125 | 140  | 142 |     |     |     |     |     |     |
|      | 10.15 | P         | 90S    | 40-1 1/4 |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 405 | 413 | 75  | 130 |     | 199 | 207 |     |     |     |     | 125 | 140  |     |     |     |     |     |     |     |
|      |       | N         | 80B    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 430 | 438 | 90  |     |     | 205 | 213 |     |     |     |     | 100 |      | 142 |     |     |     |     |     |     |
|      |       | S         | 90L    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 430 | 438 | 90  |     |     | 205 | 213 |     |     |     |     | 125 | 140  | 142 |     |     |     |     |     |     |
|      | 16.15 | P         | 90L    | 32-1 1/4 |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 478 | 486 | 100 |     |     | 227 | 235 | 164 | 172 | 176 | 184 | 140 | 160  | 10  | 155 | 205 | 305 |     | 259 | 359 |
|      |       | N         | 90L    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 430 | 438 | 90  |     |     | 205 | 213 | 149 | 157 | 161 | 169 | 125 | 140  | 8   | 142 | 185 | 248 |     | 245 | 308 |
|      |       | S         | 100    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 478 | 486 | 100 |     |     | 227 | 235 | 164 | 172 | 176 | 184 | 140 | 160  | 10  | 155 | 205 | 305 |     | 259 | 359 |
|      | 16.20 | N         | 90L    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 430 | 438 | 90  |     |     | 205 | 213 | 149 | 157 | 161 | 169 | 125 | 140  | 8   | 142 | 185 | 248 |     | 245 | 308 |
|      |       | P         | 100    |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 478 | 486 | 100 |     |     | 227 | 235 | 164 | 172 | 176 | 184 | 140 | 160  | 10  | 155 | 205 | 305 |     | 259 | 359 |
|      |       | S         | 112(°) |          |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 487 | 495 | 112 |     |     | 234 | 242 | 164 | 172 | 176 | 184 | 140 | 190  | 10  | 168 | 205 | 305 |     | 259 | 359 |

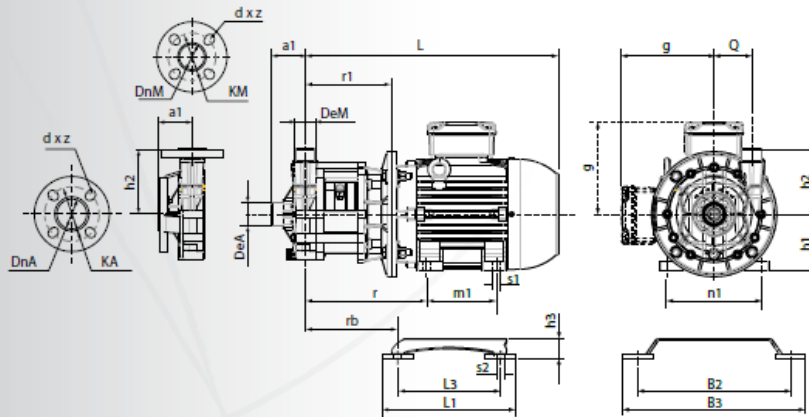
(°) 02.30 close impeller in all ranges

DIMENSIONS WITH IEC MOTORS - 50 Hz

table 13

| size | model | IEC frame | DnA   | DnM  | DeA | DeM | KA<br>bo./mm/ft | KM<br>bo./mm/ft | dxz<br>bo./mm/ft | a1 | L(°) |     | Q   | h1  | h2  | r   |     | r1  |     | rb  |     | m1  | n1  | s1  | g(°) | L3  | B2  | S2  | L1  | B3  | h3  |     |
|------|-------|-----------|-------|------|-----|-----|-----------------|-----------------|------------------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      |       |           |       |      |     |     |                 |                 |                  |    | TMR  | ZMR |     |     |     | TMR | ZMR | TMR | ZMR |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |
| G3   | 20.15 | N         | 90L   |      |     |     |                 |                 |                  |    | 70   | 469 | 515 | 90  |     |     | 244 | 290 | 188 | 234 | 200 | 246 | 125 | 140 | 8    | 142 | 185 | 248 | 245 | 308 |     |     |
|      |       | P         | 100L  |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 512 | 558 | 100 |     |     | 261 | 307 |     |     |     |     | 160 |      | 155 |     |     |     |     |     |     |
|      |       | S         | 112M  |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 521 | 567 | 112 |     |     | 268 | 314 | 198 | 244 | 217 | 256 | 190 |      | 168 | 205 | 305 |     | 265 | 365 |     |
|      | 20.20 | P         | 112M  |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 512 | 558 | 100 |     |     | 261 | 307 |     |     |     |     | 160 |      | 155 |     |     |     |     |     |     |
|      |       | N         | 100L  |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 521 | 567 | 112 |     |     | 268 | 314 |     |     |     |     | 190 |      | 168 |     |     |     |     |     |     |
|      |       | S         | 132SA |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 578 | 624 | 132 |     |     | 307 | 353 | 218 | 264 | 235 | 282 | 140 | 216  | 10  | 181 | 263 | 359 |     | 333 | 429 |
|      | 20.27 | P         | 132SA |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 521 | 567 | 112 |     |     | 268 | 314 | 198 | 244 | 217 | 256 | 190 |      | 168 | 205 | 305 |     | 265 | 365 |     |
|      |       | N         | 112M  |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 578 | 624 | 132 |     |     | 307 | 353 | 218 | 264 | 235 | 282 | 140 | 216  | 10  | 181 | 263 | 359 |     | 333 | 429 |
|      |       | S         | 132SB |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 578 | 624 | 132 |     |     | 307 | 353 | 218 | 264 | 235 | 282 | 140 | 216  | 10  | 181 | 263 | 359 |     | 333 | 429 |
|      | 20.36 | P         | 132SA | 50-2 |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 743 | 864 | 160 | 160 |     | 356 | 402 | 248 | 294 | 265 | 312 | 210 | 254  | 14  | 215 | 335 | 405 |     | 405 | 475 |
|      |       | N         | 112M  |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 521 | 567 | 112 |     |     | 268 | 314 | 198 | 244 | 217 | 256 | 190 |      | 168 | 205 | 305 |     | 265 | 365 |     |
|      |       | S         | 160MA |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 578 | 624 | 132 |     |     | 307 | 343 | 218 | 264 | 235 | 282 | 140 | 216  | 10  | 181 | 263 | 359 |     | 333 | 429 |
|      | 30.15 | P         | 132SA |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 743 | 864 | 160 |     |     | 356 | 402 | 248 | 294 | 265 | 312 | 210 | 254  | 14  | 215 | 335 | 405 |     | 405 | 475 |
|      |       | N         | 112M  |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 521 | 567 | 112 |     |     | 268 | 314 | 198 | 244 | 217 | 256 | 190 |      | 168 | 205 | 305 |     | 265 | 365 |     |
|      |       | S         | 132SB |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 578 | 624 | 132 |     |     | 307 | 343 | 218 | 264 | 235 | 282 | 140 | 216  | 10  | 181 | 263 | 359 |     | 333 | 429 |
|      | 30.25 | P         | 132SB |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 743 | 864 | 160 |     |     | 356 | 402 | 248 | 294 | 265 | 312 | 210 | 254  | 14  | 215 | 335 | 405 |     | 405 | 475 |
|      |       | N         | 132SA |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 578 | 624 | 132 |     |     | 307 | 353 | 218 | 264 | 235 | 282 | 140 | 216  | 10  | 181 | 263 | 359 |     | 333 | 429 |
|      |       | S         | 160MA |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 743 | 864 | 160 |     |     | 356 | 402 | 248 | 294 | 265 | 312 | 210 | 254  | 14  | 215 | 335 | 405 |     | 405 | 475 |
|      | 36.30 | P         | 160MA |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 743 | 864 | 160 |     |     | 356 | 402 | 248 | 294 | 265 | 312 | 210 | 254  | 14  | 215 | 335 | 405 |     | 405 | 475 |
|      |       | N         | 132SB |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 578 | 624 | 132 |     |     | 307 | 353 | 218 | 264 | 235 | 282 | 140 | 216  | 10  | 181 | 263 | 359 |     | 333 | 429 |
|      |       | S         | 160MB |      |     |     |                 |                 |                  |    |      |     | 743 | 864 | 160 |     |     | 356 | 402 | 248 | 294 | 265 | 312 | 210 | 254  | 14  | 215 | 335 | 405 |     | 405 | 475 |

(°) can change for motors of different brands - (°) only ZMR



## EK-4: ISI DEĞİŞTİRİCİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ (11.5 kW)

06.03.2013



### MIT Plakalı Eşanjör Teknik Detayı / MIT Heat Exchanger Datasheet

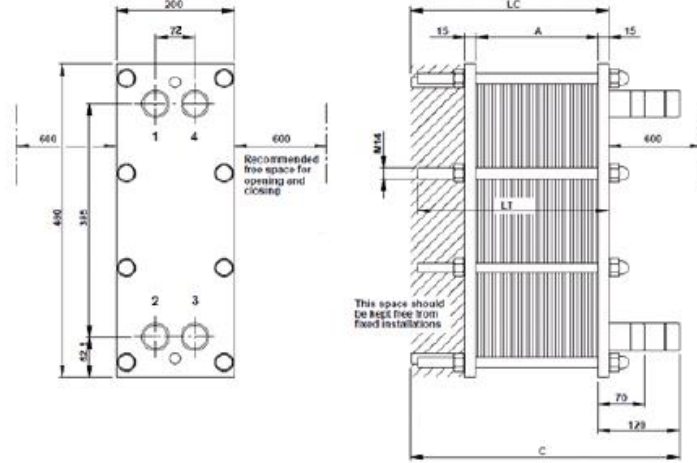
| Plakalı Eşanjör Tipi  | Plate type             |                       | 504       |            |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------|------------|
| Akışkan               | Fluid                  |                       | Water     | 40,0% LiCl |
| Yoğunluk              | Density                | kg/m <sup>3</sup>     | 973,3     | 1187       |
| Isıl Kapasite         | Sp. heat cap.          | kJ/(kg*K)             | 4,182     | 3,252      |
| Termal İletkenlik     | Thermal conductivity   | W/(m*K)               | 0,6673    | 0,6236     |
| Viskozite             | Viscosity              | cP                    | 0,3673    | 1,416      |
| Akışkan Debisi        | Flow rate              | kg/h                  | 900       | 1800       |
| Giriş Sıcaklığı       | Inlet temperature      | °C                    | 83        | 64         |
| Çıkış Sıcaklığı       | Outlet temperature     | °C                    | 72        | 71,1       |
| Toplam Basınç Kaybı   | Pressure drop          | kPa                   | 24,66     | 48,5       |
| Bağlantılardaki Kayıp | Conn. pressure drop    | kPa                   | 0,05468   | 0,2037     |
| Akışkan Hızları       | Velocity in connection | m/s                   | 0,2533    | 0,4147     |
| Isı Transfer Miktarı  | Heat exchanged         | kW                    | 11,5      |            |
| Logaritmik Delta T    | LMTD                   | K                     | 9,8       |            |
| Gerçek k Değeri       | k-value clean          | W/(m <sup>2</sup> *K) | 6301      |            |
| Görev k Değeri        | k-value service        | W/(m <sup>2</sup> *K) | 6119      |            |
|                       | Shear stress           | Pa                    | 92,2      | 181        |
|                       | Low theta shear stress | Pa                    |           |            |
| Isı Transfer Alanı    | Heat transfer area     | m <sup>2</sup>        | 0,192     |            |
| Kirlenme Katsayısı    | Fouling                | m <sup>2</sup> *K/W   | 0,04743   |            |
| Plaka Dizilimi        | Channel arrangement    |                       | 1*3 H     | 1*4 H      |
| Toplam Plaka Sayısı   | Number of plates       |                       | 8         |            |
| Plaka Malzemesi       | Plate material         |                       | TITANIUM  |            |
| Eşanjör Marjini       | Margin                 | %                     | 3         |            |
| İskonto               | Estimated price factor |                       |           |            |
| Liste Fiyatımız       | Price                  | SEK                   |           |            |
| Eşanjör Sayısı        | Number of units        |                       | 1         |            |
| Eşanjör Ağırlığı      | Weight                 | kg                    | 25        |            |
| Conta Malzemesi       | Gaskets                |                       | EPDM-CLIP |            |
| Bağlantı Çapı         | Connection Diameter    |                       | 1 1/4"    |            |
| Bağlantı Tipi         | Connection Type        |                       | DIŞ DIŞLI |            |

#### Önemli Notlar :

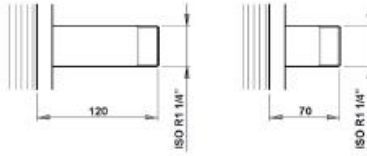
- 1 ) Firmamız eşanjörlerimiz için imalat hatalarına karşı 2 sene garanti ve 10 sene yedek parça bulundurma garantisini taahhüt eder.
- 2 ) Plakalı eşanjörlerimiz geçme conta teknolojisine sahiptirler. Yani contalar plaka üzerinde açılmış olan geçme deliklerine geçerek sabitlenmektedirler. Böylece eşanjörlerimizin contaları bakım esnasında kolaylıkla sökülerek temizlenebilmektedir.
- 3 ) Plakalı eşanjör siparişiniz ile birlikte ürünüme ait kullanım kitapçığını ve diğer spesifikasyonların bulunduran dökümantasyonu firmamıza göndermeyi taahhüt eder.

**MIT Plakalı Eşanjör Teknik Resimleri / Bağlantı Şekilleri**

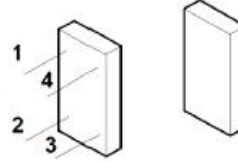
**Plakalı Eşanjör Teknik Resmimiz**



**Bağlantı Teknik Resmimiz**



**Bağlantı Şeması**



**Sertifika ve Kalite Belgelerimiz**



GOST



ISO 9001



TSE-HYB



CE-PED

2

4 4 4 3 E 5 K 4 6 N



06.03.2013

*MIT Plakalı Eşanjör Teknik Tabloları*

| TABLOLAR VE FORMÜLLERDE KULLANILAN SEMBOLLER |                               |
|--|-------------------------------|
| N = Plaka adedi                              | X = Plaka malzemesi kalınlığı |

| STANDART UZUNLUKLARI |                   |               |     |
|----------------------|-------------------|---------------|-----|
| Saplama uzunluğu     | Max. Plaka sayısı | Ana boyutları |     |
| LT                   | X=0.5             | LC            | C   |
| 250                  | 43                | 300           | 405 |
| 500                  | 95                | 500           | 605 |

| GÖVDE AĞIRLIĞI (KG)                      |
|--|
| $21 + 0.003 LC + 0.010 LT + WP \times N$ |
| Kanal plakalı: $WP \cdot N$              |

| PLAKA DEMETİ UZUNLUĞU |
|-----------------------|
| $A = N(2.4 + X)$      |

| No | Bağlantılar    | Açıklama |
|----|----------------|----------|
| 1  | Primer Giriş   |          |
| 2  | Primer Çıkış   |          |
| 3  | Sekonder Giriş |          |
| 4  | Sekonder Çıkış |          |

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Eşanjörümüzün Max Çalışma Sıcaklığı | 150 C |
| Eşanjörümüzün Min Çalışma Sıcaklığı | 0 C   |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Eşanjörümüzün Çalışma Basıncı (Bar) | 10 |
| Eşanjörümüzün Test Basıncı (Bar)    | 13 |

3

4 4 4<sup>3</sup> E<sup>5</sup> K<sup>4</sup> İ<sup>6</sup> N

## EK-5: ISI DEĞİŞTİRİCİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ (5.5 kW)

06.03.2013



### MIT Plakalı Eşanjör Teknik Detayı / MIT Heat Exchanger Datasheet

| Plakalı Eşanjör Tipi  | Plate type             |                       | 504        |        |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------|--------|
| Akışkan               | Fluid                  |                       | 35.0% LiCl | Water  |
| Yoğunluk              | Density                | kg/m <sup>3</sup>     | 1142       | 995    |
| Isıl Kapasite         | Sp. heat cap.          | kJ/(kg*K)             | 3,441      | 4,184  |
| Termal İletkenlik     | Thermal conductivity   | W/(m*K)               | 0,5954     | 0,6148 |
| Viskozite             | Viscosity              | cP                    | 1,065      | 0,832  |
| Akışkan Debisi        | Flow rate              | kg/h                  | 576        | 1368   |
| Giriş Sıcaklığı       | Inlet temperature      | °C                    | 40         | 27     |
| Çıkış Sıcaklığı       | Outlet temperature     | °C                    | 30         | 30,5   |
| Toplam Basınç Kaybı   | Pressure drop          | kPa                   | 5,482      | 21,39  |
| Bağlantılardaki Kayıp | Conn. pressure drop    | kPa                   | 0,0191     | 0,1405 |
| Akışkan Hızları       | Velocity in connection | m/s                   | 0,138      | 0,3755 |
| Isı Transfer Miktarı  | Heat exchanged         | kW                    | 5,509      |        |
| Logaritmik Delta T    | LMTD                   | K                     | 5,7        |        |
| Gerçek k Değeri       | k-value clean          | W/(m <sup>2</sup> *K) | 3893       |        |
| Görev k Değeri        | k-value service        | W/(m <sup>2</sup> *K) | 3818       |        |
|                       | Shear stress           | Pa                    | 20,47      | 79,61  |
|                       | Low theta shear stress | Pa                    |            |        |
| Isı Transfer Alanı    | Heat transfer area     | m <sup>2</sup>        | 0,256      |        |
| Kirlenme Katsayısı    | Fouling                | m <sup>2</sup> *K/W   | 0,05079    |        |
| Plaka Dizilimi        | Channel arrangement    |                       | 1*4 H      | 1*5 H  |
| Toplam Plaka Sayısı   | Number of plates       |                       | 10         |        |
| Plaka Malzemesi       | Plate material         |                       | TITANIUM   |        |
| Eşanjör Marjini       | Margin                 | %                     | 2          |        |
| İskonto               | Estimated price factor |                       |            |        |
| Liste Fiyatımız       | Price                  | SEK                   |            |        |
| Eşanjör Sayısı        | Number of units        |                       | 1          |        |
| Eşanjör Ağırlığı      | Weight                 | kg                    | 25,5       |        |
| Conta Malzemesi       | Gaskets                |                       | EPDM-CLIP  |        |
| Bağlantı Çapı         | Connection Diameter    |                       | 1 1/4"     |        |
| Bağlantı Tipi         | Connection Type        |                       | DIŞ DIŞLI  |        |

#### Önemli Notlar :

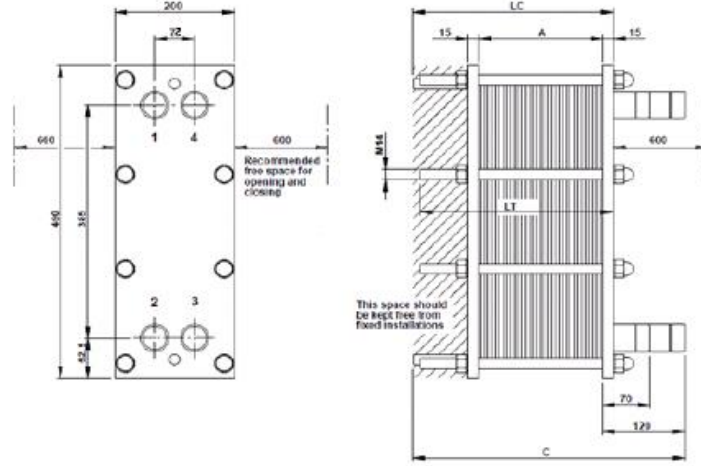
- 1) Firmamız eşanjörlerimiz için imalat hatalarına karşı 2 sene garanti ve 10 sene yedek parça bulundurma garantisini taahhüt eder.
- 2) Plakalı eşanjörlerimiz geçme conta teknolojisine sahiptirler. Yani contalar plaka üzerinde açılmış olan geçme deliklerine geçerek sabitlenmektedirler. Böylece eşanjörlerimizin contaları bakım esnasında kolaylıkla sökülerek temizlenebilmektedir.
- 3) Plakalı eşanjör siparişiniz ile birlikte ürünüme ait kullanım kitapçığını ve diğer spesifikasyonların bulunduran dökümantasyonu firmanıza göndermeyi taahhüt eder.



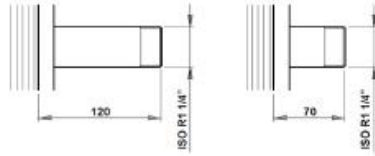
06.03.2013

### MIT Plakalı Eşanjör Teknik Resimleri / Bağlantı Şekilleri

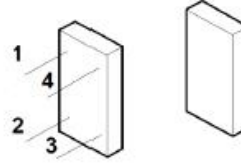
#### Plakalı Eşanjör Teknik Resmimiz



#### Bağlantı Teknik Resmimiz



#### Bağlantı Şeması



#### Sertifika ve Kalite Belgelerimiz



GOST



ISO 9001



TSE-HYB



CE-PED

2

4 4 4 3 E 5 K 4 6 N



06.03.2013

*MIT Plakalı Eşanjör Teknik Tabloları*

| TABLOLAR VE FORMULLERDE KULLANILAN SEMBOLLER |                               |
|--|-------------------------------|
| N = Plaka adedi                              | X = Plaka malzemesi kalınlığı |

| STANDART UZUNLUKLARI |                   |               |     |
|----------------------|-------------------|---------------|-----|
| Saplama uzunluğu     | Max. Plaka sayısı | Ana boyutları |     |
| LT                   | X=0.5             | LC            | C   |
| 250                  | 43                | 300           | 405 |
| 500                  | 95                | 500           | 605 |

| GÖVDE AĞIRLIĞI (KG)                      |
|--|
| $21 + 0.003 LC + 0.010 LT + WP \times N$ |
| Kanal plakalı: $WP \times N$             |

| PLAKA DEMETİ UZUNLUĞU |
|-----------------------|
| $A = N(2.4 + X)$      |

| No | Bağlantılar    | Açıklama |
|----|----------------|----------|
| 1  | Primer Giriş   |          |
| 2  | Primer Çıkış   |          |
| 3  | Sekonder Giriş |          |
| 4  | Sekonder Çıkış |          |

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Eşanjörümüzün Max Çalışma Sıcaklığı | 150 C |
| Eşanjörümüzün Min Çalışma Sıcaklığı | 0 C   |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Eşanjörümüzün Çalışma Basıncı (Bar) | 10 |
| Eşanjörümüzün Test Basıncı (Bar)    | 13 |

3

4 4 4<sup>3</sup> E<sup>5</sup> K<sup>4</sup> İ<sup>6</sup> N

## EK-6: LiBr ÇÖZELTİSİNİN DENGE DİYAGRAMI [59]

### EQUATIONS

1.  $t = At' + B$
2.  $t' = (t - B)/A$
3.  $A = -2.00755 + 0.16976X - (3.133362 \text{ E-}3)X^2 + (1.97668 \text{ E-}5)X^3$
4.  $B = 321.128 - 19.322X + 0.374382X^2 - (2.0637 \text{ E-}3)X^3$
5.  $\log_{10}P = C + D/(t' + 459.72) + E/(t' + 459.72)^2$
6.  $t' = \frac{-2E}{D + [D^2 - 4E(C - \log_{10}P)]^{0.5}} - 459.72$

Temperature Range (Refrigerant)  $0 < t' \leq 230^\circ\text{F}$   
 Temperature Range (Solution)  $40 < t \leq 350^\circ\text{F}$   
 Concentration Range  $45\% < X \leq 70\%$

$C = 6.21147$   
 $D = -2886.373$   
 $E = -337269.46$   
 $t'$  = Refrigerant Temperature, °F  
 $t$  = Solution Temperature, °F  
 $X$  = Percent LiBr  
 $P$  = psia

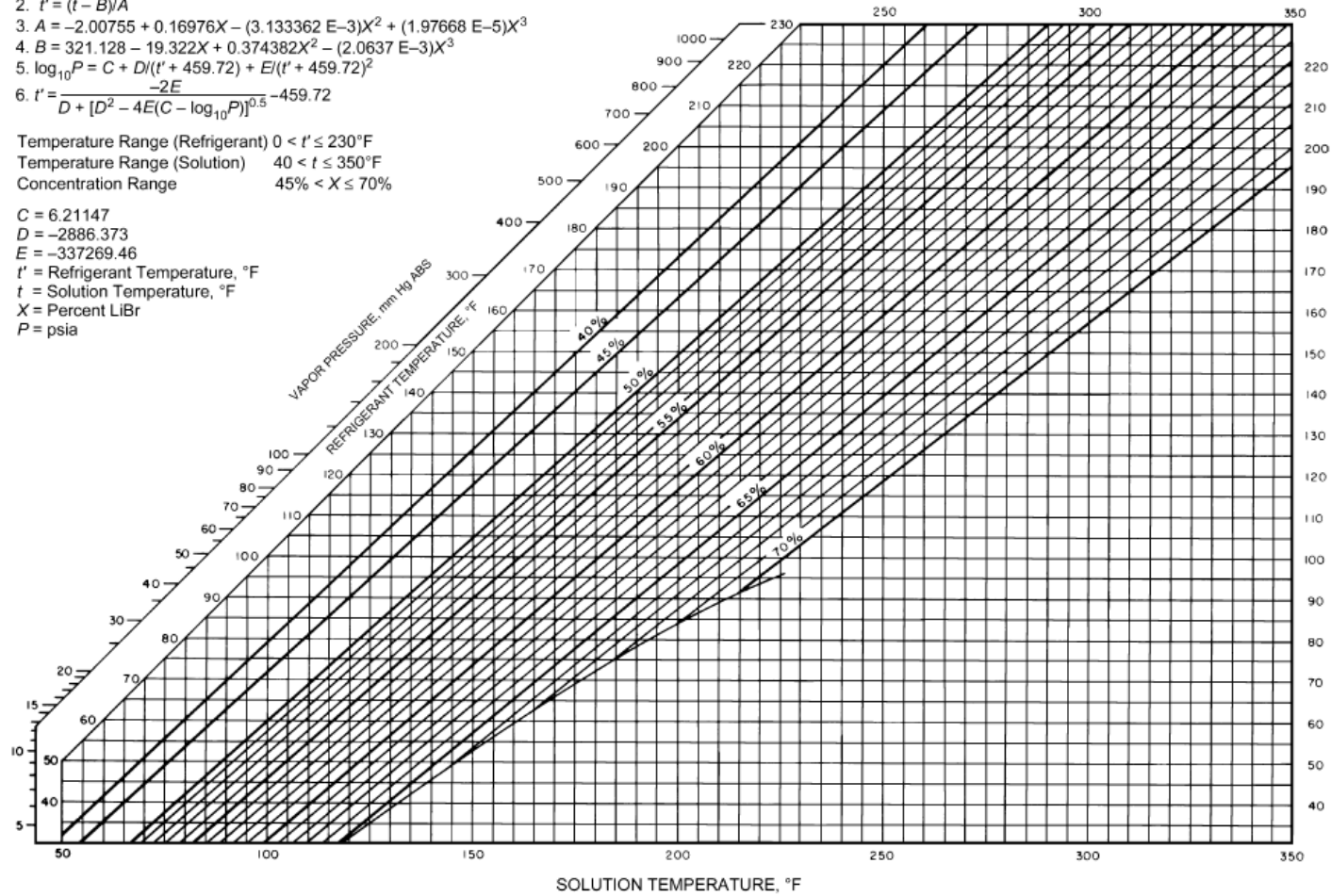


Fig. 2-7a Equilibrium Chart for Aqueous Lithium Bromide Solutions  
 (Figure 35, chapter 20, 2005 ASHRAE Handbook—Fundamentals)