

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştmesi ni sağlayan ARÇELİK Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi ne (ATGM), Isıtma ve Soğutma Laboratuvarı çalışanlarına deney tesisi satı darak kullanılan buzdolabının hazırlanmasını sağlayan Sayın **Sabahattin Hocaoğlu** na, deneylerin yapılmasında yardımcılarından dolayı Sayın **Çetin Lal e** ye, çalışmanın tamamlanmasında büyük katkıları ve destekleri dan Sayın **Hakan Karataş** a, Sayın **Dr. Cemil İ nani** a ve Sayın **Deniz Şeker** e çalışmanın bu şartlarda yapılmasını sağlayan ve çalışma süresince değerli katkılarını esirgemeyen tez danışmanı m Sayın **Prof. Dr. Nilüfer Eğri canı** a ve bana her zaman güvenen ve desteğini esirgemeyen **Aİ LEME** ve **TÜM SEVDİ KLERİ ME** sonsuz teşekkürler....

Mayıs 2002

Td ga Nur etti n AYNUR

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| KISALTMALAR .....                                                                          | v   |
| TABLO LİSTESİ .....                                                                        | vi  |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                        | vii |
| SEMBOL LİSTESİ .....                                                                       | x   |
| ÖZET .....                                                                                 | xi  |
| SUMMARY .....                                                                              | xiv |
| <br>                                                                                       |     |
| 1 GİRİŞ .....                                                                              | 1   |
| <br>                                                                                       |     |
| 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                                                              | 6   |
| 2.1 Karlanma ile ilgili literatür araştırması .....                                        | 6   |
| 2.1.1 Deneysel çalışmalar .....                                                            | 6   |
| 2.1.2 Modelleme çalışmaları .....                                                          | 13  |
| 2.1.3 Hem deneysel, hem modelleme çalışmaları .....                                        | 19  |
| 2.2 Defrost ile ilgili literatür araştırması .....                                         | 22  |
| 2.2.1 Deneysel çalışmalar .....                                                            | 22  |
| 2.2.2 Modelleme çalışmaları .....                                                          | 24  |
| 2.2.3 Hem deneysel, hem modelleme çalışmaları .....                                        | 25  |
| <br>                                                                                       |     |
| 3 DENEY TESİSATI VE ÖLÇME SİSTEMLERİ .....                                                 | 26  |
| 3.1 Deney tesisi satı .....                                                                | 26  |
| 3.1.1 Buharlaştırıcı .....                                                                 | 27  |
| 3.1.2 Buharlaştırıcı fanı .....                                                            | 28  |
| 3.1.3 Baca .....                                                                           | 29  |
| 3.1.4 Hava ısıtıcısı .....                                                                 | 29  |
| 3.1.5 Su ısıtıcısı, su kabı ve terazi .....                                                | 30  |
| 3.2 Ölçme sistemleri .....                                                                 | 31  |
| 3.2.1 Basınç düşüşü ölçüm cihazları .....                                                  | 31  |
| 3.2.2 Sıcaklık ölçüm cihazları .....                                                       | 34  |
| 3.2.3 Bağıl nem ölçüm cihazları .....                                                      | 38  |
| 3.2.4 Su kabından buharlaştırılan su miktarının ölçülmesi .....                            | 39  |
| <br>                                                                                       |     |
| 4 TEORİK ANALİZ .....                                                                      | 41  |
| 4.1 Buharlaştırıcı üzerinden geçen hava debisi ve sıcaklığının belirlenmesi .....          | 42  |
| 4.1.1 Hacimsel hava debisi ve sıcaklığının belirlenmesi .....                              | 42  |
| 4.1.2 Kütlesel hava debisi ve sıcaklığının belirlenmesi .....                              | 45  |
| 4.2 Havanın buharlaştırıcı giriş ve çıkışındaki entalpi ve nem oranının belirlenmesi ..... | 46  |
| 4.2.1 Buharlaştırıcı giriş tarafında sıcaklığın ve özgül nem oranının belirlenmesi .....   | 46  |
| 4.2.2 Buharlaştırıcı giriş tarafında hava entalpi ve nem oranının belirlenmesi .....       | 47  |
| 4.2.3 Buharlaştırıcı çıkış tarafında sıcaklığın ve özgül nem oranının belirlenmesi .....   | 47  |
| 4.2.4 Buharlaştırıcı çıkış tarafında hava entalpi ve nem oranının belirlenmesi .....       | 48  |
| 4.3 Ortalama logaritmik sıcaklık farkının belirlenmesi .....                               | 48  |

|            |                                                                 |           |
|------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5</b>   | <b>DENEYLER VE DENEY SONUÇLARI</b>                              | <b>50</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Deney hazırlıkları ve deneylerin yapılışı</b>                | <b>50</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Deney grupları ve sıcaklık ayarları</b>                      | <b>51</b> |
| 5.2.1      | +5° C buharlaştırıcı hava giriş sıcaklık deneyleri              | 52        |
| 5.2.2      | -6° C buharlaştırıcı hava giriş sıcaklık deneyleri              | 53        |
| <b>5.3</b> | <b>Buharlaştırıcı karlanma deneyleri</b>                        | <b>54</b> |
| 5.3.1      | Buharlaştırılan su miktarlarının zamanla değişimi               | 54        |
| 5.3.2      | Giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi          | 57        |
| 5.3.3      | Buharlaştırıcı hava tarafı basınç düşüşünün zamanla değişimi    | 58        |
| 5.3.4      | Hava debisinin zamanla değişimi                                 | 60        |
| 5.3.5      | Buharlama sıcaklığının zamanla değişimi                         | 62        |
| 5.3.6      | Toplam ısıl geçirgenlik değeri                                  | 65        |
| <b>6</b>   | <b>DENEY SONUÇLARININ MODEL SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI</b> | <b>67</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Sabit hava debili model ile karşılaştırma</b>                | <b>67</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Azalan hava debili model ile karşılaştırma</b>               | <b>72</b> |
| <b>7</b>   | <b>SONUÇLAR</b>                                                 | <b>78</b> |
|            | <b>KAYNAKLAR</b>                                                | <b>80</b> |
|            | <b>EKLER</b>                                                    | <b>83</b> |

## KİSALTMALAR

|               |                                                                             |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>ATGM</b>   | : Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi                                 |
| <b>SEK</b>    | : Soğutma etkinliği katsayısı                                               |
| <b>ASHRAE</b> | : American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers |
| <b>BS</b>     | : British Standard                                                          |
| <b>AMCA</b>   | : Air Movement and Control Association                                      |
| <b>RPM</b>    | : Fanın dakikadaki dönme sayısı                                             |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                       | <u>Sayfa No</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 4.1</b> Hava tüneline de d ç ü l e n f a n b a s ı n ı ı d ü ş ü ş ü , h a d ı m s e l h a v a d e b ı s ı v e f a n d ö n m e s a y ı s ı d e ğ e r l e r i.....                            | 42              |
| <b>Tablo 4.2</b> T ü n e l d e d ç ü l e n f a n b a s ı n ı ı d ü ş ü ş ü , h a d ı m s e l h a v a d e b ı s ı v e f a n d ö n m e s a y ı s ı d e ğ e r i n e ç e v r i l m i ş h a l l e r i..... | 43              |
| <b>Tablo 5.1</b> D e n e y g r u p l a r ı.....                                                                                                                                                       | 52              |
| <b>Tablo 5.2</b> S u b u h a r l a ş t ı r m a m ı k t a r ı n a g ö r e k o n t r ö l e l e m a n ı n ı n a y a r s ı c a k l ı k l a r ı.....                                                       | 52              |
| <b>Tablo 5.3</b> S u b u h a r l a ş t ı r m a m ı k t a r ı n a g ö r e s e n s ö r a y a r s ı c a k l ı k l a r ı.....                                                                             | 54              |
| <b>Tablo 5.4</b> 1. d e n e y g r u b u n a a ı t b u h a r l a ş t ı r ı l a n s u m ı k t a r l a r ı i l e d e f r o s t s u y u n u n k a r ş ı l a ş t ı r ı l m a s ı.....                      | 56              |
| <b>Tablo 6.1</b> K u r u d e n e y i m o d e l l e r k e n m o d e l e g ı r ı l m e s i g e r e k e n b ü y ü k l ü k l e r.....                                                                     | 68              |
| <b>Tablo 6.2</b> 25 g r / s a a t b u h a r l a ş m a h ı z ı n a a ı t d e n e y i m o d e l l e r k e n m o d e l e g ı r ı l m e s i g e r e k e n b ü y ü k l ü k l e r.....                      | 69              |
| <b>Tablo 6.3</b> 36.76 g r / s a a t b u h a r l a ş m a h ı z ı n a a ı t d e n e y i m o d e l l e r k e n m o d e l e g ı r ı l m e s i g e r e k e n b ü y ü k l ü k l e r.....                   | 71              |
| <b>Tablo C.1</b> D e n e y v e r i l e r i n d e n d ü ş t ü r ü l m ü ş d a n s a y ı s a l ö r n e k.....                                                                                           | 91              |
| <b>Tablo D.1</b> T e r m o d e m a r l a r ı n k a l ı b r a s y o n s o n u ç l a r ı.....                                                                                                           | 92              |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|            |                                                                                                                                                              |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1  | Soğutma çevrim ve diagramları.....                                                                                                                           | 1  |
| Şekil 1.2  | İdeal soğutma çevriminin T-s ve P-h diyagramları.....                                                                                                        | 2  |
| Şekil 1.3  | Buharlaştırıcı yüzeylerinin kuru (karşısız) ve karlanmış durumları.....                                                                                      | 4  |
| Şekil 2.1  | Pürüzlü ve pürüzsüz kar yüzeyinin bağıl nem ve yüzey sıcaklığı ile değişimi.....                                                                             | 6  |
| Şekil 2.2  | Dairesel kanallarda oluşan karlanma ve tıkanma durumu.....                                                                                                   | 8  |
| Şekil 2.3  | Literatürden elde edilen kar ısı iletim katsayıları değerlerinin kar yoğunluğuna göre değişimleri.....                                                       | 9  |
| Şekil 2.4  | Mikrometre üzeri netakılmış dantel modeman.....                                                                                                              | 13 |
| Şekil 2.5  | Isı pompasının 0°C çevre hava sıcaklığı ve dört farklı hava bağıl nem değeriindeki (% S E K) değerlerinin zamanla değişimi.....                              | 14 |
| Şekil 2.6  | 0°C ortam sıcaklığında ve dört farklı hava bağıl nem değeriinde (%) buharlaştırıcı yüzeylerinde oluşan kar kalınlığının zamanla değişimi..                   | 15 |
| Şekil 2.7  | Buharlaştırıcı önüne yerleştirilmiş dan nem tutucular ve hava kanalları ile farları.....                                                                     | 16 |
| Şekil 2.8  | Nem tutucuların yapısı.....                                                                                                                                  | 16 |
| Şekil 2.9  | Buz kristalinin ana yapıları.....                                                                                                                            | 17 |
| Şekil 2.10 | -1.1°C sabit hava giriş sıcaklığında ve farklı bağıl nem değerlerindeki (%), buharlaşma sıcaklığının zamanla değişimi.....                                   | 19 |
| Şekil 2.11 | Kar düşümünün üç evresi.....                                                                                                                                 | 21 |
| Şekil 2.12 | -5°C hava sıcaklığı, %60 hava bağıl nem değeri ve 8 m/s hava hızı koşullarında farklı ışınım şiddetlerinde süblime olan kar miktarının zamanla değişimi..... | 23 |
| Şekil 2.13 | 20°C ve %60 bağıl nem değeriinde hava hızının defrosta etkisi.....                                                                                           | 24 |
| Şekil 3.1  | Deney tesisi satının şematik görünüşü.....                                                                                                                   | 26 |
| Şekil 3.2  | Deney tesisi satı.....                                                                                                                                       | 27 |
| Şekil 3.3  | Buharlaştırıcının şematik görünüşü.....                                                                                                                      | 28 |
| Şekil 3.4  | Fan karakteristik eğrisi.....                                                                                                                                | 28 |
| Şekil 3.5  | Baca.....                                                                                                                                                    | 29 |
| Şekil 3.6  | Hava ısıtıcısı.....                                                                                                                                          | 30 |
| Şekil 3.7  | Su ısıtıcısı, su kabı ve terazi.....                                                                                                                         | 31 |
| Şekil 3.8  | Fan basınç düşüşünün ölçül düğü yerleri.....                                                                                                                 | 32 |
| Şekil 3.9  | Fan emme probu.....                                                                                                                                          | 33 |
| Şekil 3.10 | Buharlaştırıcı basınç düşüşünün ölçül düğü yerleri.....                                                                                                      | 33 |
| Şekil 3.11 | Buharlaştırıcı emme tarafı basınç probu.....                                                                                                                 | 34 |
| Şekil 3.12 | Buzdolabı içindeki termodemmanların yerleşim yerleri.....                                                                                                    | 35 |
| Şekil 3.13 | Buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığını ölçmek için kullanılan termodemmanların yerleşim yerleri.....                                                          | 35 |
| Şekil 3.14 | Buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığını ölçmek için kullanılan termodemmanları.....                                                                            | 35 |
| Şekil 3.15 | Buharlaştırıcı hava çıkış sıcaklığını ölçmek için kullanılan termodemmanların yerleşim yerleri.....                                                          | 36 |

|                   |                                                                                                                                                |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.16</b> | Buharlaştırıcı hava çıkış sıcaklığının ölçmek için kullanılan termodemlerin fan altındaki yerleşim yerleri.....                                | 37 |
| <b>Şekil 3.17</b> | Buharlaştırıcının bazı paslarındaki termodem yerleşim yerleri.....                                                                             | 37 |
| <b>Şekil 3.18</b> | Fan çıkışında (bacaiğinde) hava sıcaklığının ölçmek için kullanılan termodemlerin yerleşim yerleri.....                                        | 38 |
| <b>Şekil 3.19</b> | Buharlaştırıcı çıkış tarafında bağıl nem sensörünün yerleşim yeri...                                                                           | 39 |
| <b>Şekil 3.20</b> | Buharlaştırıcı giriş tarafında bağıl nem sensörünün yerleşim yeri....                                                                          | 39 |
| <b>Şekil 4.1</b>  | Fan ve fan yuvasının karakteristik eğrisi.....                                                                                                 | 44 |
| <b>Şekil 4.2</b>  | Buharlaştırıcıdaki hemsoğutkan, hem de hava tarafındaki sıcaklık değişimleri.....                                                              | 48 |
| <b>Şekil 5.1</b>  | 1. deney grubuna ait buharlaştırıcı hava giriş sıcaklıklarında deney süresi boyunca değişimleri.....                                           | 53 |
| <b>Şekil 5.2</b>  | 2. deney grubuna ait buharlaştırıcı hava giriş sıcaklıklarında deney süresi boyunca değişimleri.....                                           | 54 |
| <b>Şekil 5.3</b>  | 1. deney grubuna ait buharlaştırılan su miktarlarının zamanla değişimleri.....                                                                 | 55 |
| <b>Şekil 5.4</b>  | 2. deney grubuna ait buharlaştırılan su miktarlarının zamanla değişimleri.....                                                                 | 55 |
| <b>Şekil 5.5</b>  | 1. deney grubuna ait farklı buharlaşma hızlarında, buharlaştırıcı giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi.....                  | 57 |
| <b>Şekil 5.6</b>  | 2. deney grubuna ait farklı buharlaşma hızlarında, buharlaştırıcı giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi.....                  | 58 |
| <b>Şekil 5.7</b>  | 1. deney grubuna ait farklı su buharlaşma hızlarında buharlaştırıcı hava tarafı basınç düşüşünün zamanla değişimi.....                         | 59 |
| <b>Şekil 5.8</b>  | 2. deney grubuna ait farklı su buharlaşma hızlarında buharlaştırıcı hava tarafı basınç düşüşünün zamanla değişimi.....                         | 59 |
| <b>Şekil 5.9</b>  | 1. ve 2. deney grubuna ait buharlaştırıcı havatarafı basınç düşüşü değerlerinin karşılaştırılması.....                                         | 60 |
| <b>Şekil 5.10</b> | 1. deney grubuna ait farklı su buharlaşma hızlarında buharlaştırıcı üzerinden geçen hacimsel hava debisinin zamanla değişimi.....              | 61 |
| <b>Şekil 5.11</b> | 2. deney grubuna ait farklı su buharlaşma hızlarında buharlaştırıcı üzerinde geçen hacimsel hava debisinin zamanla değişimi.....               | 62 |
| <b>Şekil 5.12</b> | 1. deney grubuna ait buharlaşma sıcaklıklarındaki değişimler.....                                                                              | 63 |
| <b>Şekil 5.13</b> | 1. deney grubuna ait buharlaşma sıcaklıklarının dengelenmiş durumu.....                                                                        | 63 |
| <b>Şekil 5.14</b> | 2. deney grubuna ait buharlaşma sıcaklıklarındaki değişimler.....                                                                              | 64 |
| <b>Şekil 5.15</b> | 2. deney grubuna ait buharlaşma sıcaklıklarının dengelenmiş durumu.....                                                                        | 65 |
| <b>Şekil 5.16</b> | 1. deney grubuna ait UA değerlerinin zamanla değişimleri.....                                                                                  | 66 |
| <b>Şekil 5.17</b> | 2. deney grubuna ait UA değerlerinin zamanla değişimleri.....                                                                                  | 66 |
| <b>Şekil 6.1</b>  | 2. deney grubundan kuru deneye ait deney sonuğarı ile model sonuğarının UA açısından karşılaştırılması.....                                    | 68 |
| <b>Şekil 6.2</b>  | 2. deney grubundan kuru deneye ait deney sonuğarı ile model sonuğarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması.....                         | 69 |
| <b>Şekil 6.3</b>  | 2. deney grubundan 25 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuğarı ile model sonuğarının UA açısından karşılaştırılması.....               | 70 |
| <b>Şekil 6.4</b>  | 2. deney grubundan 25 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuğarı ile model sonuğarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması.....    | 71 |
| <b>Şekil 6.5</b>  | 2. deney grubundan 36.76 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuğarı ile model sonuğarının UA açısından karşılaştırılması.....            | 72 |
| <b>Şekil 6.6</b>  | 2. deney grubundan 36.76 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuğarı ile model sonuğarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması..... | 72 |
| <b>Şekil 6.7</b>  | Hava debisi, buharlaştırıcı basınç düşüşü ilişkisi.....                                                                                        | 73 |

|                   |                                                                                                                                                                                                |     |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.8</b>  | 2. deney grubundan kuru deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının UA açısından karşılaştırılması.....                                                                          | 74  |
| <b>Şekil 6.9</b>  | 2. deney grubundan kuru deneye ait deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması.....                                                    | 74  |
| <b>Şekil 6.10</b> | 2. deney grubundan 25 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının UA açısından karşılaştırılması.....                                          | 75  |
| <b>Şekil 6.11</b> | 2. deney grubundan 25 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması.....                               | 76  |
| <b>Şekil 6.12</b> | 2. deney grubundan 36.76 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının UA açısından karşılaştırılması.....                                       | 77  |
| <b>Şekil 6.13</b> | 2. deney grubundan 36.76 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması.....                            | 77  |
| <b>Şekil C.1</b>  | Modelleme.....                                                                                                                                                                                 | 86  |
| <b>Şekil C.2</b>  | Sabit B sayısı ve farklı H değerlerinde optimum $\tau$ .....                                                                                                                                   | 89  |
| <b>Şekil G.1</b>  | Su buharlaşma noktalarını tekrarlanabilirliği.....                                                                                                                                             | 95  |
| <b>Şekil G.2</b>  | Hacimsel hava debisini tekrarlanabilirliği.....                                                                                                                                                | 95  |
| <b>Şekil G.3</b>  | Toplam ısı geçirgenlik değerini tekrarlanabilirliği.....                                                                                                                                       | 96  |
| <b>Şekil H.1</b>  | Kuru buharlaştırıcı.....                                                                                                                                                                       | 97  |
| <b>Şekil H.2</b>  | Deney sonunda buharlaştırıcıda oluşan karlanma (1. deney grubundan 46.05 gr/saat buharlaşma hızındaki deneye attır).....                                                                       | 97  |
| <b>Şekil H.3</b>  | 2. deney grubundan 36.76 gr/saat buharlaşma hızındaki deneyde 1., 3., 5. ve 8. saatlerde çekilmiş karlanma fotoğrafları (soldan sağa doğru 1., 3., 5 ve 8. saatler).....                       | 98  |
| <b>Şekil İ.1</b>  | 2. deney grubundan 25 gr/saat buharlaşma hızındaki giriş büyüklüklerinde çalıştırılmış sabit hava debili model ve azalan hava debili modelin UA değeri açısından karşılaştırılması.....        | 100 |
| <b>Şekil İ.2</b>  | 2. deney grubundan 25 gr/saat buharlaşma hızındaki giriş büyüklüklerinde çalıştırılmış sabit hava debili model ve azalan hava debili modelin basınç düşüşü açısından karşılaştırılması.....    | 100 |
| <b>Şekil İ.3</b>  | 2. deney grubundan 36.76 gr/saat buharlaşma hızındaki giriş büyüklüklerinde çalıştırılmış sabit hava debili model ve azalan hava debili modelin UA değeri açısından karşılaştırılması.....     | 101 |
| <b>Şekil İ.4</b>  | 2. deney grubundan 36.76 gr/saat buharlaşma hızındaki giriş büyüklüklerinde çalıştırılmış sabit hava debili model ve azalan hava debili modelin basınç düşüşü açısından karşılaştırılması..... | 101 |



## SEMBOL LİSTESİ

|                 |                                                                               |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $q_H$           | : Yoğuşturucudan dış ortama atılan ısı ( W )                                  |
| $q_L$           | : Otdan buharlaştırmaya geçen ısı ( W )                                       |
| $w$             | : Kompresör işi ( W )                                                         |
| $h_{ref}$       | : Soğutkan entalpi si ( kJ/kg )                                               |
| $q_t$           | : Radyal yöndeki ısı akısı                                                    |
| $k_s$           | : Silindır malzemesi nin ısı iletim katsayısı ( W/mK )                        |
| $T_{s,in}$      | : Silindır iç yüzey sıcaklığı ( °C )                                          |
| $T_{s,out}$     | : Silindır dış yüzey sıcaklığı ( °C )                                         |
| $r_{s,out}$     | : Silindır dış çapı ( mm )                                                    |
| $r_{s,in}$      | : Silindır iç çapı ( mm )                                                     |
| $k_f$           | : Kar tabakası nın ısı iletim katsayısı ( W/mK )                              |
| $T_{f,b}$       | : Kar tabakası nın alt bđümünün sıcaklığı ( °C )                              |
| $T_{f,sur}$     | : Kar tabakası yüzey sıcaklığı ( °C )                                         |
| $l_f$           | : Kar tabakası nın kalınlığı ( mm )                                           |
| $Le$            | : Lewis sayısı                                                                |
| $w_a$           | : Hava özgül nem değeri ( kg/kg )                                             |
| $w_{STD}$       | : Standart havanın özgül nem değeri ( kg/kg )                                 |
| $V_a$           | : Hava hızı ( m/s )                                                           |
| $V_{STD}$       | : Standart havanın hızı ( m/s )                                               |
| $h_{eff}$       | : Hemisi, hem de kütlegeçiş katsayısı içeren etkin ısı geçiş katsayısı        |
| $h_a$           | : Hava tarafı ısı taşıma katsayısı                                            |
| $h_{at}$        | : Kütlegeçiş katsayısı nın ısı geçiş katsayısı dñsinden yazılmış hđi          |
| $UA$            | : Toplam ısı geçirgenlik değeri ( W/°C )                                      |
| $m_p$           | : Havadan kar kütle si ne geçen ve kar yoğunluğunu artıran nem miktarı ( gr ) |
| $m_r$           | : Toplam kar kütle si ( gr )                                                  |
| $\chi$          | : Yoğunlaşma oranı                                                            |
| $\Delta P$      | : Fan basınç düşüşü ( Pa )                                                    |
| $D$             | : Fan çapı ( mm )                                                             |
| $Q$             | : Kabin havası ndan buharlaştırmaya geçen ısı ( W )                           |
| $\dot{m}_h$     | : Buharlaştırmadan üzerinden geçen kütle sel hava debisi ( kg/s )             |
| $h_{hi}$        | : Buharlaştırmadan hava giriş entalpi si ( J/kg )                             |
| $h_{ho}$        | : Buharlaştırmadan hava çıkış entalpi si ( J/kg )                             |
| $\Delta T_{LM}$ | : Otda malogarithmik sıcaklık farkı ( °C )                                    |
| $\dot{V}$       | : Buharlaştırmadan üzerinden geçen hacimsel hava debisi ( L/s )               |
| $n$             | : Fan n daki kadaki dönme sayısı ( d/d )                                      |
| $\rho_h$        | : Havanın yoğunluğu ( kg/m³ )                                                 |
| $T_{fi}$        | : Fan emme bđgesi ndeki hava sıcaklığı nın ortalaması ( °C )                  |
| $T_{fo}$        | : Fan üfleme bđgesi ndeki hava sıcaklığı nın ortalaması ( °C )                |
| $T_{f,ort}$     | : Fan üzerinden geçen havanın ortadama sıcaklığı ( °C )                       |
| $h$             | : Hava entalpi si ( J/kg )                                                    |
| $c_p$           | : Havanın özgül ısı sı ( J/kg.K )                                             |

|              |                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------|
| $P_{ws}$     | : Hava içindeki su buharının doyma basıncı (Pa)       |
| $P_w$        | : Hava içindeki su buharının kısmi basıncı (Pa)       |
| $\phi$       | : Hava bağıl nem değeri                               |
| $T_{ref}$    | : Soğut kan sıcaklığı (°C)                            |
| $T_{hgir}$   | : Buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı (°C)            |
| $T_{hçık}$   | : Buharlaştırıcı hava çıkış sıcaklığı (°C)            |
| $T_{refgir}$ | : Buharlaştırıcı soğut kan giriş sıcaklığı (°C)       |
| $T_{refçık}$ | : Buharlaştırıcı soğut kan çıkış sıcaklığı (°C)       |
| $T_L$        | : Kabin iç sıcaklığı (°C)                             |
| $t_1$        | : Kompresörün çalıştığı toplam süre (dakika)          |
| $t_2$        | : Defrost ısıtıcısının çalıştığı toplam süre (dakika) |
| $q$          | : Yalıtı müzerinden kabin e giren kaçak ısı (W)       |
| $\dot{Q}$    | : Soğutma yükü (W)                                    |
| $\dot{W}$    | : Kompresör gücü (W)                                  |
| $T_o$        | : Çevre sıcaklığı (°C)                                |
| $T_{min}$    | : Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı (°C)                 |
| $\eta_I$     | : İkinci yasa verimin                                 |
| $h$          | : Isı taşıma katsayısı (W/m <sup>2</sup> .K)          |
| $A$          | : Buharlaştırıcı yüzey alanı (m <sup>2</sup> )        |
| $\delta$     | : Kar kalınlığı (mm)                                  |
| $\mu_h$      | : Havanın dinamik viskozitesi                         |
| $k_h$        | : Havanın ısı iletim katsayısı (W/m.K)                |
| $\nu_h$      | : Havanın kinematik viskozitesi (m <sup>2</sup> /s)   |
| $Pr_h$       | : Havanın Prandtl sayısı                              |

## KARLANMANIN BUZDOLABI BUHARLAŞTIRICI SİSTEMLERİNİN PERFORMANSINA ETKİSİNİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

### ÖZET

Soğutma çevriminin dört ana elemanından birisi olan buharlaştırıcı, içinden soğutucu akışkanın geçtiği ve serpantin şeklinde bükülerek hacmi küçültülmüş borulardan ve bu borulara geçirilen ısı geçiş alanını arttıran kanatlılardan oluşmaktadır.

Soğutma çevrimi süresince, buharlaştırıcı boruları içinden soğutucu akışkan, dışından ise soğutulması istenen hava geçirilmektedir. Böylece havadan boru içindeki soğutucu akışkana ısı geçişi sağlanmakta ve hava soğutulmaktadır. Bu çalışmada soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır.

Nemli hava, yüzey sıcaklığı havanın ılgın noktası sıcaklığından daha düşük bir ortam ile karşılaştığında yüzey üzerinde yoğunlaşır. Eğer yüzey sıcaklığı suyun donma noktası altında ise, yoğunlaşan nem fazla değerler alarak katı hale geçer ve karı oluşturur. Bu duruma karlanma adı verilir.

No-frost tip buzdolaplarında kullanılan kanatlı boru buharlaştırıcıların yüzey sıcaklıkları, soğutma çevrimi süresince suyun donma sıcaklığından altında kalmaktadır. Kabinlerden çekilerek buharlaştırıcı üzerinden geçirilip soğuması istenen hava, nem ihtiva etmektedir. Bu nem gerek kapıların açılması sonucu dış havadan, gerekse buzdolabı kabine konan yiyecek ve içeceklerden kabin içindeki havaya geçmektedir. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının suyun donma noktası altında olması nedeniyle kabinlerden gelen hava içindeki nemin belirli bir kısmı buharlaştırıcı yüzeyi üzerinde karlanmaya neden olur.

Karlanmanın iki önemli etkisi vardır. Bunlardan birisi karlanma ile birlikte buharlaştırıcı üzerindeki hava geçiş aralıklarının kapanmasıdır. Böylece hava tarafındaki basınç düşüşü artmaktadır. İkinci etki ise kar tabakasının düşüklüğüne bağlı olarak katmanlı nemi ile buharlaştırıcı ısı geçiş yüzeyi üzerinde oluşturduğu yalıtım etkisidir.

Bu yüksek lisans tezinde, no-frost tipindeki kanatlı boru buharlaştırıcılarda oluşan karlanma etkileri gerçek bir buzdolabı üzerinde incelenmiştir.

Buzdolabı üzerinde yapılan bu çalışma ile daha gerçekçi sonuçların alınması amaçlanmıştır. Bu amaçla iki kapılı bir no-frost tip buzdolabı kullanılmıştır. Ancak buzdolabının yapısı doluma uygun olması için bir miktar değiştirilmiştir.

Bu deney düzeneğinde karlanma ile birlikte oluşan performans değişimleri (toplam ısı geçirgenlik değeri, basınç düşüşü, hava debisi ve buharlaşma sıcaklığı) devamlı olarak hesaplanabilmektedir.

Teorik kısım da ise, deneysel sonuçlar Şeker (1999) tarafından hazırlanmış olan ve sabit hava debisi mantığı ile çalışan karlanma modeli ile karşılaştırılmıştır. İnan (2000)'nin hazırlanmış olduğu karlanma modelinde, hava debisi karlanma sonucunda buharlaştırıcı basınç düşüşündeki artışı dikkate alarak azalmaktadır. Bu matematik modelin alt modelinden elde edilmiş olan hava debisi, basınç düşüşü ilişkisi Şeker (1999)'in modeline eklenmiştir. Böylece sabit hava debili model, azalan hava debili model haline çevrilmiştir. Deney sonuçları bu geliştirilmiş model sonuçları ile de karşılaştırılmıştır.

# THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FROST FORMATION EFFECTS ON HOUSEHOLD REFRIGERATOR EVAPORATOR PERFORMANCE

## SUMMARY

Evaporator, one of the major components of the cooling cycle, comprises a continuous serpentine tube having an inlet and an outlet and fins that used to increase the heat exchanger surface area and it is utilized to cool down the refrigerator cabinet air.

During the on period of the cooling cycle, refrigerant, in this study R134a is used, is circulated in the tubes and air is circulated outside the tubes and the fins. Thus, air can be cooled to a desired temperature.

When moist air comes across a surface, which has a surface temperature below dew point of air, the moisture in the air condenses on the surface. If the surface temperature is below the freezing point of the water, the condensed moisture on the surface changes its phase from liquid to solid, namely from water to frost. This phenomenon so-called frost formation is mostly encountered in the field of refrigeration and air-conditioning.

During the on period of the cooling cycle, the surface temperature of the household refrigerator evaporator is always below the freezing point of the water. The air dragged from the cabinets, contains moisture. For this reason, frost accumulates on the evaporator surfaces.

Frost formation affects the evaporator in two ways. One of them is the increasing of the air side pressure drop, the other is the insulation effect. When frost accumulates on the evaporator surfaces, the distances between the tubes and the fins decrease, thus air side pressure drop increases. Thermal conductivity of the frost is so low that it insulates the heat transfer surface area of the evaporator.

In this study, no-frost type household refrigerator evaporator is investigated on a real refrigerator. A modified two-door no-frost refrigerator is utilized as experimental set-up.

In this set-up, real time evaporator performance (overall heat transfer coefficient, air side pressure drop, airflow rate and evaporation temperature) under frosted conditions can be obtained.

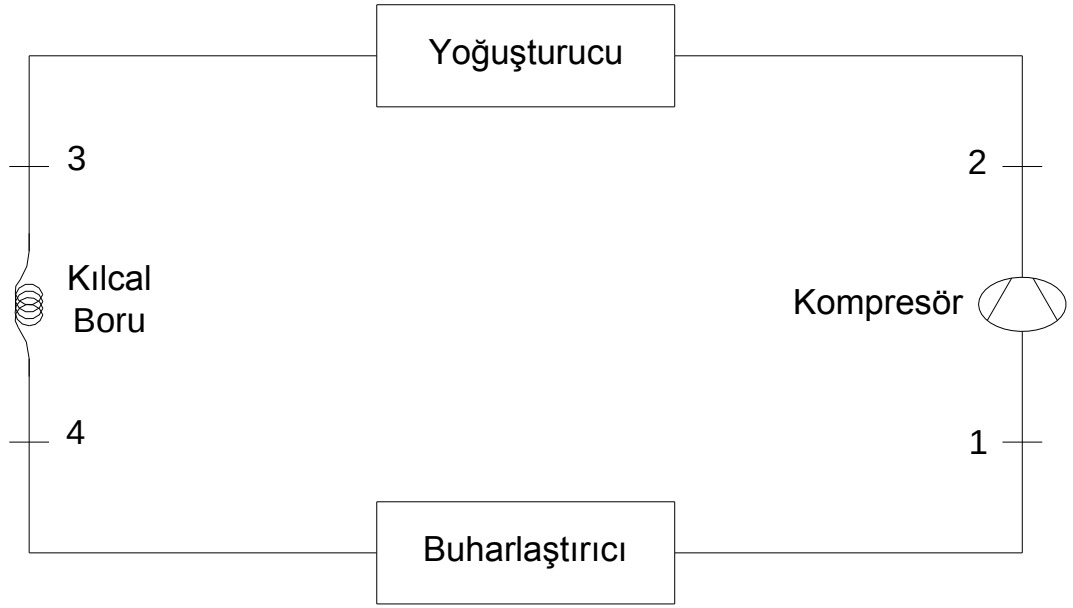
The experimental results are compared with the mathematical model performed by Seker (1999), which is based on constant airflow rate.

Inan (2000) performed a frosting model in his study. His model takes the relation between the evaporator air side pressure drop and airflow rate into account. Thus, during the frosting, airflow rate continuously decreases.

A relation between evaporator air side pressure drop and airflow rate was obtained from this model, and substituted into Seker's model. Experimental results are compared with this modified model as well.

## 1 GİRİŞ

Soğutma çevriminin elemanları şekil 1.1'de görüldüğü gibi birbirinden soğutucu akışkanın geçtiği borular ile birbirine bağlıdır. Böylece çevrim kapalı bir devre oluşturmaktadır.



Şekil 1.1 Soğutma çevriminin ve elemanları

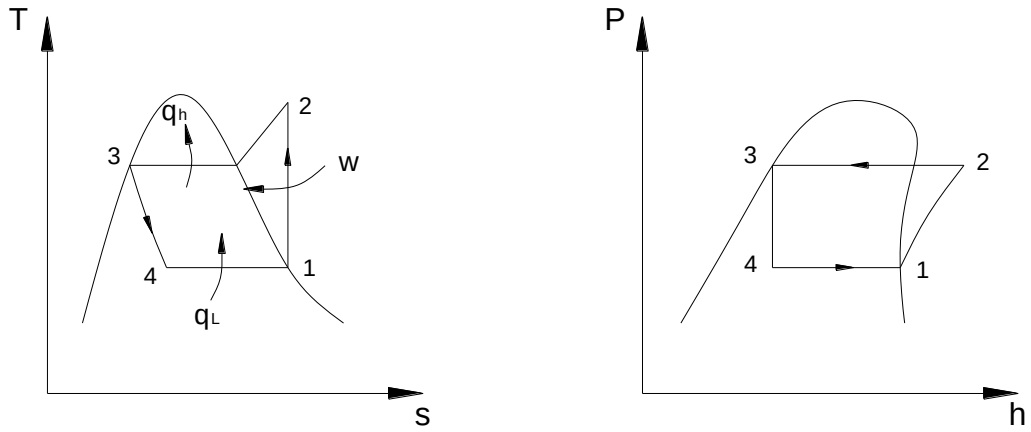
Çevrimde bir yüksek basınç tarafı, bir de düşük basınç tarafı bulunmaktadır. Şöyle ki, kompresör tarafından sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı artırılan soğutucu akışkan önce yoğusturucuya gönderilmektedir. Akışkan burada ısısının bir kısmını dış ortama vermektedir ve sıcaklığı belirli bir değere kadar inerek yoğunlaşmaktadır. Daha sonra sıcaklığı azalmış olan bu sıvı akışkan kılcal boru ya da genişleme vanasına ya da şekilde görülen kılcal boruya gelmekte ve burada daha düşük bir basıncı indirilmektedir. Kompresör-yoğusturucu-kılcal boru ya da genişleme vanası hattı yüksek basınç tarafını oluşturmaktadır.

Düşük basınç tarafı ise kılcal boru-buharlaştırıcı-kompresör hattından oluşmaktadır. Akışkanın hem basıncı, hem de sıcaklığı kılcal borudan geçerken düşmektedir. Buradan çıkan akışkan buharlaştırıcı içerisinden geçmektedir. Buharlaştırıcı içinden geçen akışkanın sıcaklığı, buharlaştırıcının bulunduğu ortamın sıcaklığından daha düşüktür. Bu nedenle buharlaştırıcının bulunduğu ortamdan, buharlaştırıcı içinden

geçen soğutucu akışkan ısı geçmektedir. Bu geçen ısı sayesinde buharlaştırıcının bulunduğu ortamda soğutma işi gerçekleştirilmektedir.

Buharlaştırıcıya alınan bu ısı, buharlaştırıcı içerisinden geçmekte olan sıvı-buhar karışımının sıvı bölümünü buharlaştırmakta ve soğutucu akışkan buharlaştırıcıyı tamamen buhar fazında terk etmektedir. Bu faz değişiminin sayesinde ortamdaki büyük miktarda ısı çekilebilmektedir. Ortamdan ısı alarak buharlaştırıcıyı terk eden akışkan tekrar kompresöre gelmekte ve çevrim tamamlanmaktadır.

Soğutma çevrimine ilişkin olarak yukarıda bahsedilen bu durumlar ideal şartlarda gerçekleşmektedir. Bu ideal çevrimi ilişkin olarak şekil 1.2'deki sıcaklık-entropi (T-s) ve basınç-entalpi (P-h) diyagramları verilebilir.



Şekil 1.2 İdeal soğutma çevriminin T-s ve P-h diyagramları

Bu diyagramlarda verilmiş olan  $q_L$ ,  $q_H$  ve  $w$  büyüklükleri sırası ile ortamdaki buharlaştırıcıya geçen ısıyı, yoğunlaştırıcıdan dış ortama atılan ısıyı ve kompresör işi belirtmektedir.

Bu büyüklükler entalpilerden;

$$q_L = h_{f1} - h_{f4} \text{ (j/kg)} \quad (1.1)$$

$$q_H = h_{f2} - h_{f3} \text{ (j/kg)} \quad (1.2)$$

$$w = h_{f2} - h_{f1} \text{ (j/kg)} \quad (1.3)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan da soğutma etkerlik katsayısı (SEK);



$$S.E.K. = \frac{q_L}{w} = \frac{h_{refl} - h_{ref4}}{h_{ref2} - h_{ref1}} \quad (14)$$

şeklinde bulunabilmektedir.

Ancak yukarıda bahsedilen çevrim tamamen ideal durumları için geçerlidir ve gerçek çalışma koşullarında bazı farklılıklar oluşmaktadır.

Soğutkanın devre içinde dolaşması sırasında sürtünmeler neleri ile basınç düşüşleri meydana gelmektedir. Bu da ideal çevrimdeki, sabit basınçtaki hal değişimlerini etkilemektedir.

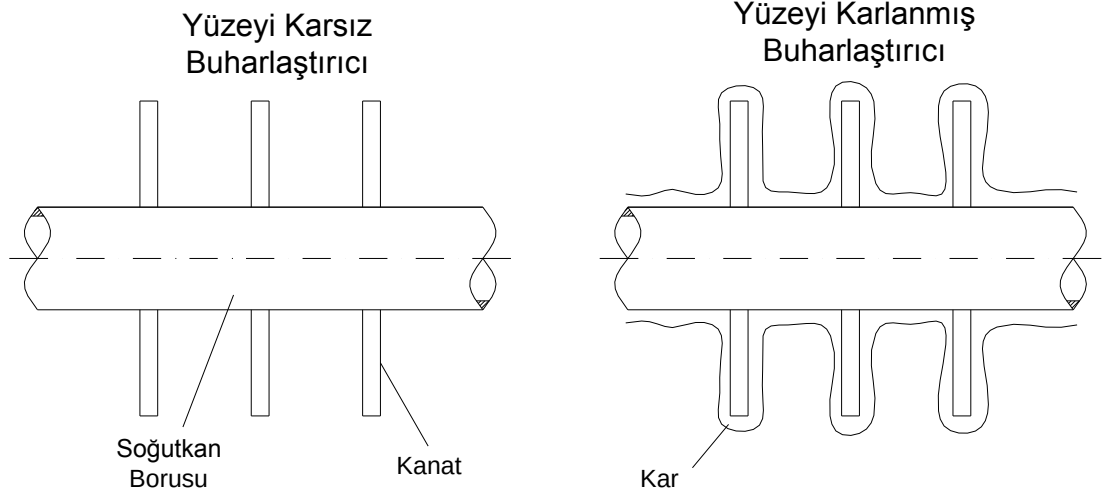
Ayrıca kompresöre sıvı soğutkan girmesi durumunda, kompresörde hasar meydana gelmektedir. İdeal durumda kompresöre doymuş buhar halinde soğutkan girmektedir. Ancak gerçek durumda kompresöre sıvı girmeye çalıştığını ortadan kaldırmak amacıyla, doymuş buhar halindeki akışkanın buharlaştırıcıda bir miktar daha ısı almasına izin verilmektedir. Böylece soğutucu akışkan kızdırılmış olmaktadır ve bu duruma gelen soğutucu akışkan kompresöre alınmaktadır. Bu işlem aynı zamanda ortamdaki daha fazla ısı çekilmesi nedeniyle de devam etmektedir.

Pratikte, yapılan bir başka farklılık ise yoğuşturucuda soğutucu akışkanın aşırı soğutulmasıdır. Bu işlemin yapılması ile genleşme vanasına sıvı girişi riski ortadan kaldırılmaktadır. Ayrıca bu işlem sayesinde ortamdaki daha fazla miktarda ısı çekilebilmektedir. Çünkü aşırı soğutmasız duruma kıyasla, kısıtlı miktarda ısı çekilebilmektedir. Çünkü aşırı soğutmasız duruma kıyasla, kısıtlı miktarda ısı çekilebilmektedir. Çünkü aşırı soğutmasız duruma kıyasla, kısıtlı miktarda ısı çekilebilmektedir.

Buna ek olarak, kısıtlı miktarda ısı ya da kılcal boruda dolaştırılan genleşme işleminin ideal durumdaki gibi adyabatik değildir. Ayrıca, genleşme işleminin kılcal boru kullanılması durumunda, hem kızdırma, hem de aşırı soğutmayı yapmak amacıyla döner hatlı ısı değiştiricisi kullanılmaktadır. Böylece aynı anda hem buharlaştırıcı çıkışındaki akışkan kızdırılmakta, hem de yoğuşturucu çıkışındaki soğutucu akışkan aşırı soğutulmaktadır.

Gerek ideal çevrim gerekse gerçek durumda, soğutma çevrimin elemanları içinde yüzey sıcaklığı en düşük olan eleman buharlaştırıcıdır. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının havanın ortalama sıcaklığından daha düşük bir değerdedir, hatta çalışma sırasında yüzey sıcaklığının eksi değerlere düşmesi neleri ile üzerinden geçen havanın içindeki nem, buharlaştırıcı yüzeyi üzerinde yoğunlaşmakta ve ardından da karlanmaya ya da buzlanmaya neden olmaktadır.

Soğutma sistemlerinde kullanılan çok çeşitli buharlaştırıcılar bulunmaktadır, ancak genel olarak içinden soğutucu akışkanın geçtiği soğutkan borusundan ve ısı geçiş alanını artırmak için borular etrafına takılan kanatlıardan oluşmaktadır. Borular ve kanatlar, hem ısı geçişini artırmak amacıyla, hem de buharlaştırıcının boyutlarını küçültmek amacıyla farklı şekillerde düzenlenmektedir. Şekil 1.3'te no-frost buzdolaplarında kullanılan bir buharlaştırıcının hem karsız, hem de karlanmış durumdaki yüzeyleri şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.3 Buharlaştırıcı yüzeylerinin kuru (karsız) ve karlanmış durumları

Genel olarak karlanma, buharlaştırıcı üzerinde iki ana etki oluşturmaktadır. Bu etkilerden birincisi; karlanma ile birlikte buharlaştırıcı boruları ve kanatları arasındaki kapanması sonucu geçen hava debisinin azalmasıdır. Oluşan karlanma ile buharlaştırıcı havatarafı basınç düşüşü kademeli olarak artmakta ve bundan dolayı da hava debisi kademeli olarak azalmaktadır. Hava debisindeki bu azalma, buharlaştırıcı toplam ısıl geçirgenlik değeri olan UA değeri azalmaya neden olmaktadır. Diğer bir deyişle, buharlaştırıcı ortamdaki daha az ısı çekebilmektedir. Çekilen ısıdaki azalma neticesinde buzdolabı S E K değeri düşmektedir.

İkinci etki ısı yalıtımı etkisidir. Çevrenin çalışması ile birlikte buharlaştırıcı üzerinde biriken kar, hem boruları, hem de kanatları üzerinde bir tabaka oluşturur. Kar ısı iletkenlik sayısının, buharlaştırıcı malzemesi ısı iletkenlik sayısından çok daha küçük olması nedeniyle bu kar tabakası bir yalıtım tabakası görevi görebilmektedir.

Bu çalışmada no-frost tipindeki bir buzdolabı buharlaştırıcı karlanmış şartları altında gerçek bir buzdolabı üzerindeki enniştir. Gerçek bir buzdolabı üzerinde yapılan bu inceleme ile daha gerçekçi sonuçların alınacağı düşünülmüştür. Bu çalışma ile

birlikte buharlaştırıcı performansının karlanma ile değış neri incelenmiş ve yukarıdaki etkiler gözlenmeye çalışılmıştır.

## 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

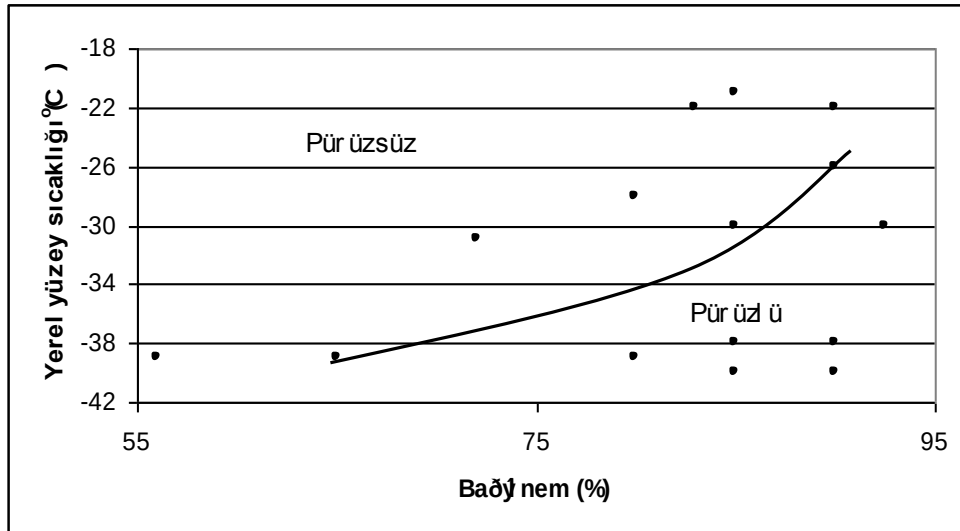
Bu tez çalışmasında yapılmış d anlitedür araştırması; karlanma ve defrost d mak üzere iki ana bđ ümde toplanmıştır.

### 2.1 Karlanma ile ilgili literatür araştırması

Bu çalışmada, karlanma d uşumu ile ilgili literatür araştırması; deneysel çalışma, modelleme çalışması ve hem deneysel, hem de modelleme çalışması d mak üzere üç grupta inced enmiştir.

#### 2.1.1 Deneysel çalışmalar

Mao ve di ğ (1999), dondurucu koşullarına getiril miş d an hava ( $-10^{\circ}\text{C}$  il a  $-26^{\circ}\text{C}$  arası nda) ile düz soğuk yüzey ( $-20^{\circ}\text{C}$  il a  $-41^{\circ}\text{C}$  arası nda) üzeri nde 2 il a 6 saat süren karlanma deneyleri yapm ş ardr. Kar yüzeyi ni n pür üzl ü veya pür üzsüz d ması ni n, karı n d uşt uğu yüzeyi n sıcaklığı na ve hava bağı l nem değeri ne bağı l d uğunu belirlemiştir.



Şekil 2.1 Pür üzl ü ve pür üzsüz kar yüzeyi ni n, bağı l nem ve yüzey sıcaklığı ile değ iş i ni

Şekil 2’de deney sonuçlarından elde edilmiş olan pürüzsüz ve pürüzlü karın d uşturu durumları verilmiştir. Pürüzsüz karın pürüzlü kara oranla daha ılık levha sıcaklıklarında ( $-30^{\circ}\text{C}$  yerine  $-22.09^{\circ}\text{C}$  de) ve daha düşük bağıl nem değerlerinde (%5 yerine %83 değerinde) d uştüğünü belirlenmiştir. Ayrıca, soğuk yüzey üzerinde  $2.5\text{ m/s}$  hava hızından daha düşük hava hızlarında yaptıkları deneylerde, yüzey çıkış bđümünde d uşan karın giriş bđümüne oranla daha pürüzlü d uştüğünü belirlenmiştir.  $2.5\text{ m/s}$  hava hızından daha yüksek hava hızlarında yapılan deneylerde ise tersi durum gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda kar kalınlığı, kar yoğunluğu, kar kütlesi ve kar ısı iletim katsayısı; zamanın, yüzey giriş bđümünden dan uzaklığını, yüzey sıcaklığının ve Reynold s sayısının fonksiyonu olarak verilmiştir.

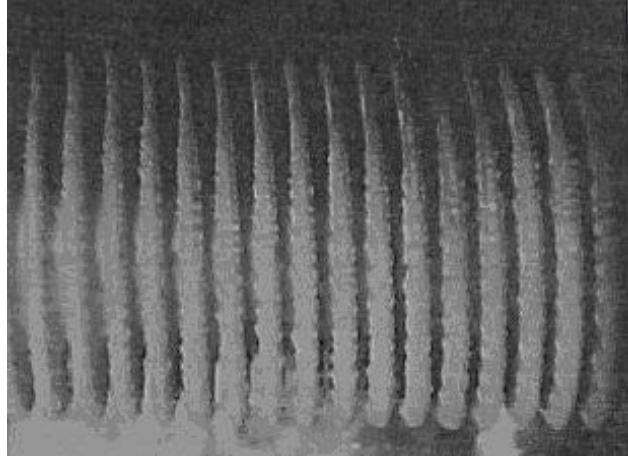
Fukada ve diğ. (1995), çalışmalarında soğuk yüzey üzerinde d uşan karı, hidrojen, helyumdan, metandan ve nitrojen d uşturmuş d uşukları farklı atmosfer koşullarında incelemiştir. Farklı atmosfer koşullarında d uşan bu karın, hem ısı iletim katsayısını, hem de ortama yoğunluğunu incelemiştir. Hidrojen katılmış olan atmosfer koşullarında d uşan karın ısı iletim katsayısının diğerlerinden daha fazla d uştüğünü görmüşlerdir.

Östlin ve Andersson (1991), kaplanmasız yüzey üzerinde d uşan karı anmayı deneysel olarak incelemiştir. Yapılan bu çalışmada, değişik levha sıcaklıklarında ve hava bağıl nem değerlerinde biriken kar miktarının zamanla lineer olarak artış gösterdiğini bulmuşlardır. Ancak levha yüzey sıcaklığının kar kütlesi artışında etkili d madığı, buna karşın nem değerinin baskın d uştüğünü belirlenmiştir. Yüzey üzerinde yoğunlaşan su kütlesinin yarısının kar kalınlığını artırdığını, diğer yarısının ise kar yoğunluğunu artırdığını görmüşlerdir. Hava hızının kar kalınlığı üzerinde ihmal edilecek bir etkisi d uştüğünü belirlenmiştir, ancak hava hızının  $2.6\text{ m/s}$  den  $5.7\text{ m/s}$  ye çıkması ile biriken kar miktarının 2.4 kat arttığını görmüşlerdir. Sonuç olarak; levha yüzey sıcaklığının kar kalınlığını etkilediği, bağıl nem değerinin hem kar kalınlığını, hem de biriken kar miktarını etkilediği, hava hızının ise genel olarak biriken kar kütlesini etkilediği belirlenmiştir. Karı anmayı azaltmak için yüzeyi düşük adhesiv hidroforik malzeme ile kaplanmasının yararlı d ableceğini belirtmişlerdir.

Argaud ve diğ. (2000), deneysel olarak üç farklı geometriye sahip kanatlı boru ısı değiştiricisinin (ısı pompası buharlaştırıcının) özelliklerini karı anma koşulları altında incelemiştir. Deneylerin daha gerçekçi koşullarda yapılması amacıyla buharlaştırıcı yüzeyinin kuru d ması yerine ıslak d ması terdih edilmiş ve bu şekilde

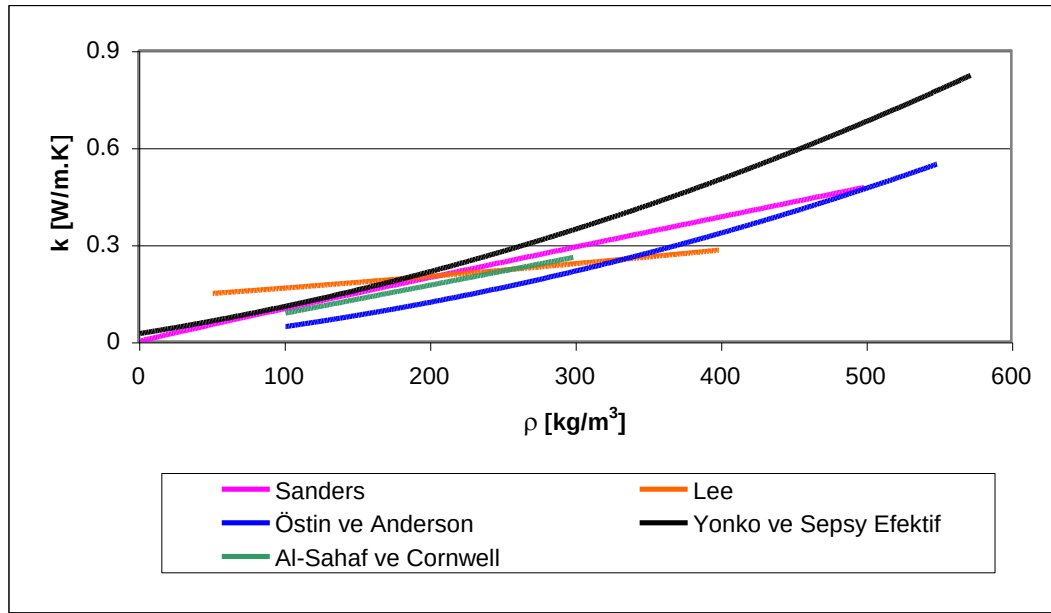
karlanma deneylerine başlanmıştır. Yarı defrost sonucunda buharlaştırıcı yüzeyi üzerinde su damlaları kalacak şekilde (ıslak durum) karlanma deneylerine başlanmıştır. Kuru haldeki ısı değıştiricisinde karlanma sonucunda d uşan basınç düşüşünün, defrost sonucunda ıslak durumdaki aynı buharlaştırıcı için daha düşük olduğunu görmüşlerdir. Aynı kanat açıklığı için dalgalı kanatlara orarla çertikli kanatlarda karlanma ile d uşan basınç düşüşünün daha hızlı arttığını belirtmişlerdir. Karlanma süresinde toplam ısı geğışirini, hem kar d uşumu sırasında d uşan kütle geğışisi ile, hem de karın yüzey üzerinde d uşturduğu pürüzlülük sayesinde arttığını belirtmişlerdir.

Al-Sahaf ve Cornwell (1991), deneysel olarak hem silindır üzerinde, hem de kalın dairesel kanatlı boru üzerinde d uşan karlanmayı inceledirilmişlerdir. Kalın kanatların kullanılması ile kanat veriminin 1'e yakın olması na çalışmışlardır. Deneylerin gerçek koşullara daha yakın olması için, karlanma süresince hava debisinde azalma olması na dikkat etmişlerdir. Deneysel çalışma yanında teorik analiz de yapmışlardır. Teorik analiz sonuğarı, deneysel sonuğarın %25 altında çıkmıştır. Buna neden olarak, karın poroz yapısının ısı geğışirini arttırdığını söylenirlerdir. Deneyler sonucunda, karın giriş bölümünde yoğunlaştığını tespit etmişlerdir. Bu nedenle hava tarafında tıkanma d uşumunun söz konusu d aileceğı yorumunu yapmışlardır.



Şekil 2.2 Dairesel kanatlarda d uşan karlanma ve tıkanma durumu

Yapılan bu deneysel çalışma sonucunda, kendi kar ısı iletim katsayısı korelasyonlarını geliştirmişlerdir. Korelasyonlarında, kar yoğunluğunu zamanın bir fonksiyonu olarak belirtmişlerdir. Dd ayısı ile kar ısı iletim katsayısını da zamanın bir fonksiyonu şeklinde vermişlerdir. Ede ettikleri kar ısı iletim katsayısı ile diğer literatürlerden elde edilen kar ısı iletim katsayılarının, kar yoğunluğuna göre karşılaştırılması şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 Literatürden elde edilen ısı iletim katsayıları değerlerini kar yoğunluğuna göre değıştiren

Göröldüğü üzere, Yonko ve Sepsy korelasyonu geniş bir kar yoğunluğu için değer verebilmektedir. Ayrıca yine şekilden ısı iletim katsayısının 0.3 W/m.K mertebesinde olduğu görölmektedir. Bu değer; buharlaştırma malzemesi ısı iletim katsayısı (alüminyum malzeme için yaklaşık 200 W/m.K) değerine oranla çok küçük kalmaktadır, bu da ısı geğışinde direnç olduğunu göstermektedir.

Fukada ve Inoue (1999), deneysel olarak daldırılmış kristal yapı ile kar içine doğru dan kütle geğışini incelemiştir. Kap şeklindeki deney düzeneklerini taban ve tavan sıcaklıkları ayarlanabilmektedir. Deney sırasında taban üzerinde bulunan normal seviyede ağırlaştırılmış hidrojen su buharlaştırmakta ve doğal taşıma ile yükselmekte ve soğuk dantavanda kara dönüşmektedir. Bu işlemden sonra bu kez aynı durum ağırlaştırılmış hidrojen mol oranı %5 olan ağırlaştırılmış su için tekrarlanmaktadır. İkinci buharlaştırılan suyun bir bölümü kar kalınlığını artırırken, diğer bölümü yoğunluğu artırmaktadır. Kar kalınlığının artmasının deuterium mol oranında değışikliğıne neden olduğu belirlenmiştir. Çift katmandan oluşan kar daha sonra jilet ile kesilmekte ve alt ve üst katmanlarda deuterium derişiklikleri dört kutuplu kütle tayfı ile incelenmektedir. Sonuç olarak, kar yüzeyinde erime olduğunda, bu eriyiğin iç bölümlere doğru sızdığı belirlenmiştir. Kar içindeki deuterium konsantrasyonunun zamanla değışmesi ile belirlenen sonuç doğru dan kütle akısının, yüzeyden kar derinliğine doğru yaklaşık lineer bir azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Thomas ve diğ. (1999), deneysel olarak dondurucu şartlarına getirilmiş hava ile (hava sıcaklığı -10 ila -20° C hava bağıl nem değeri %80 ila %100) kanatlar (yüzey sıcaklığı -35 ila -40° C) üzerinde kar düşümünü incelenmiştir. Kullanılan deney sistemi kanatların deney sonunda sökülebilir mesine dayanmaktadır. Böylece, deney sonucunda üzerinde kar birikmiş olan kanat deney sisteminden sökülmüştür. Ardından kar kalınlığını ve kar dağılımını kullandıkları lazer tarayıcı cihazı ile incelenmiştir. Kanat üzerindeki karda erime düşmaması için kanatın takıldığı tarayıcı bölümü de soğutulmuştur. Deneyler süresince hava debisi devamlı olarak sabit tutulmuştur. Lazer taraması ile kanat üzerinde hava giriş tarafındaki kar kalınlığının, diğer bölgelere oranla daha kalınduğunu görmüştür.

Watters ve diğ. (2001), ısı pompası buharlaştırıcısında kaydırılmış kanat düzenlemesinin, düşecek olan karlanmayı yavaşlatıp yavaşlatmayacağını belirlemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneylerde hem iki sıra, hem de üç sıra boru içeren buharlaştırıcılar kullanılmışlardır. İki sıra boru içeren buharlaştırıcılarda kanat yoğunlukları 8/8, 6/8 ve 6/10 (kanat/cm) olan üç farklı yapıyı incelenmiştir. Üç sıra boru içeren buharlaştırıcılarda ise, 8/8/8 ve 6/8/10 olan iki farklı kanat yoğunluğunu incelenmiştir. Dört farklı hava koşulunda ve farklı hava debilerinde deneyler yapmışlardır. Deneyler sonunda, artan nem değerinin çevrim süresini %30 azalttığını, buna karşın S.E.K'da önemli bir değişime neden olmadığı görülmüştür. Yüksek nem değerinin, çevrimin son %33'lük zaman diliminde karlanmada büyük miktarda artışa neden olduğunu belirlenmiştir. Buna neden olarak da, bu süre içerisinde buharlaşma sıcaklığındaki ciddi düşüşü göstermiştir. Yüksek hava debisi (79.3 m<sup>3</sup>/dak) ile yapılan deneylerde, 6/8 kanat yoğunluklu buharlaştırıcının çevrim S.E.K'sının, 8/8 ile karşılaştırıldığında %8.7 arttığını görmüştür. Buna karşın, 6/10 kanat yoğunluklu buharlaştırıcıda artışın yaklaşık %4.3 değerinde kaldığını görmüştür. Orta seviyedeki hava debisi (59.5 m<sup>3</sup>/dak) deneylerinde ise, 6/8 buharlaştırıcısının S.E.K'sında %0.1'lik iyileşme görülürken, 6/10 buharlaştırıcısında bu oran %4.5 değerinde kalmıştır. Düşük hava debisinde (39.6 m<sup>3</sup>/dak) ise, hem 6/8, hem de 6/10 buharlaştırıcılarının S.E.K'larının, 8/8 ile karşılaştırıldığında %0.5 arttığını görmüştür. Üç sıra boru içeren buharlaştırıcılarda ise, yüksek hava debisi (79.3 m<sup>3</sup>/dak) ile yapılan deneylerde, S.E.K açısından 6/8/10 buharlaştırıcısının, 8/8/8 buharlaştırıcısına oranla %4 daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bağıl nem değerinin %82 den, %90'a çıkarılması S.E.K'da önemli bir artışa neden olmadığı belirlenmiştir.



Rite ve Crawford (1990a), evsel buzdolabının dondurucu bölümünde bulunan buharlaştırıcı üzerinde oluşan karlanmayı etkileyen parametreleri, deneysel olarak incelemiştir. Deney ortamında karlanma için gerekli olan nem, nemlendiriden buharlaştırdıkları su ile sağlamıştır. Nemlendiriden buharlaştırılan su ile buharlaştırıcıdaki karın tartılması sonucunda elde edilen değerlerin %85 yaklaşıklıkta olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçta, nemlendiriden buharlaştırılan tüm suyun deney tesisatındaki en soğuk yer olan buharlaştırıcıda kara dönüştüğü yorumunu yapmıştır. Buharlaştırıcıda biriken kar miktarının, buharlaştırıcı yüzey alanına bölünmesi ile ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{saat}$ ) biriminde “karlanma akısı” tanımlanması yapmıştır. Deneyler 10 saat süre ile yapılmış ve ilk beş ile son beş saatteki karlanma akılarında bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Buradan da buharlaştırıcı üzerinde biriken karın, karlanma akısına etki etmediği yorumunu yapmışlardır. Artan bağıl nem değerinin, artan hava sıcaklığının ve azalan soğutkan sıcaklığının karlanmayı hızlandırıcı etki yaptığını görmüşlerdir.

Rite ve Crawford (1990b), kanatlı borulu buharlaştırıcıda oluşan karlanmanın toplam ısı geçirgenlik olan UA değeri üzerine ve buharlaştırıcı basınç düşümüne etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deneylerinde evsel buzdolabı buharlaştırıcısı kullanmışlardır. Deneyler 10 saat sürmüştür ve deney boyunca hava debisini sabit tutmuşlardır. Koşulları %52 bağıl nem, 18 L/s hava debisi,  $-12^\circ\text{C}$  hava giriş sıcaklığı ve  $-23^\circ\text{C}$  soğutkan giriş sıcaklığı olan üç adet deney yapılmıştır. Bu deneylerde, UA değerinin karlanma ile birlikte yaklaşık %8 arttığını ve basınç düşüşü değerinin de yaklaşık %67 arttığını belirlenmiştir. Bağıl nem değeri %52’den %72’ye çıkarılınca, UA’daki artışın daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Basınç düşüşününün ise, bir önceki deney grubuna oranla 13 kat daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Hava debisi 18 L/s’den 12 L/s’ye düşürüldüğünde, UA değeri azalma olduğunu belirlenmiştir. 32 L/s’ye çıkarılması durumunda ise UA değeri artış belirlenmiştir. Bağıl nem değeri sabit tutulup, buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı  $-12^\circ\text{C}$ ’den  $-7^\circ\text{C}$ ’ye çıkarılınca, UA değeri artış belirlenmiştir. Ayrıca, buharlaştırıcı sıcaklığı  $-29^\circ\text{C}$ ’ye indirildiğinde, UA değeri %50 artış ve basınç düşümünde de 8 kat artış olduğunu görmüşlerdir. UA değeriindeki artışlar için üç neden öne sürmüştür. Birincisi, karlanma ile kanatlar ve borular arasındaki kar ile teması ve bunun da kanatlar ile borular arasındaki teması azaltmasıdır. İkinci neden, hem karlanma sonucunda yüzeyde oluşan pürüzlülük sonucu türbülanslı akışa daha kısa sürede geçilmesi, hem de kanatlar arasındaki hava açıklıklarının daralması ile hava hızının artması sonucu hava tarafı ısı taşıma katsayısının artmasıdır. Son neden ise, karın buharlaştırıcı yüzey alanını

artırmasıdır. İkinci ve üçüncü nedenlerin birinden daha baskın olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçta artışın nereden dolayı havanın dışı geçiş katsayısının artması ve bununla birlikte buharlaştırıcı yüzey alanının artması gösterilmiştir.

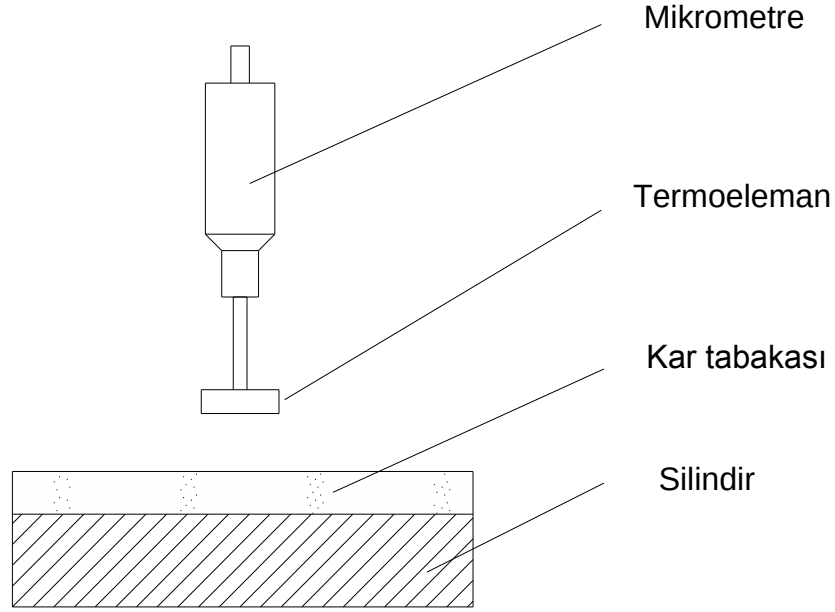
Lee ve Ro (2001), yatay bir silindirin üzerinde, düşük nem değeriindeki hava ile oluşan karlanmayı deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler kapalı çevrimli bir kanal sisteminde yapılmıştır. Silindiri soğutma için içinden soğutkan dolaştırılarak etilen-glikol su çözeltisi geçirilmiştir. Deneylerde, kar-hava ara yüzey sıcaklığını mikrometre üzeri ne yerleştirdikleri termal eman sayesinde belirlemeye çalışmışlardır. Ara yüzey sıcaklığına ek olarak mikrometre yardımı ile kar kalınlığındaki artış da ölçmüştür. Sistemde dört adet mikrometre kullanılmıştır ve borunun dört tarafına aralarında 90° olacak şekilde yerleştirilmiştir. Silindirden radyal yönde geçen ısı için kullanılan denklem hem kuru hal (denklem 2.1), hem de karlanmış hal (denklem 2.2) için yazılmıştır. İkinci denklemden yapılan gerekli düzeltmeler ile kar ısı iletim katsayısını (denklem 2.3) bulmuşlardır.

$$q_t' = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_s \cdot (T_{s,in} - T_{s,out})}{\ln(r_{s,out}/r_{s,in})} \quad (2.1)$$

$$q_t' = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_f \cdot (T_{f,b} - T_{f,sur})}{\ln((l_f + r_{s,out})/r_{s,out})} \quad (2.2)$$

$$k_f = \frac{k_s \cdot (T_{s,in} - T_{s,out}) \cdot \ln((l_f + r_{s,out})/r_{s,out})}{(T_{f,b} - T_{f,sur}) \cdot \ln(r_{s,out}/r_{s,in})} \quad (2.3)$$

Birinci formül; dış yarı çapı  $r_{s,out}$ , iç yarı çapı  $r_{s,in}$  ve dış yüzey sıcaklığı  $T_{s,out}$ , iç yüzey sıcaklığı  $T_{s,in}$  ve ısı iletim katsayısı  $k_s$  ile gösterilen bir silindirden radyal yöndeki ısı akısı denklemini göstermektedir. İkinci denklemi ise, silindirin üzerinde oluşan kar tabakası üzerinden geçen ısı akısını vermektedir. Denklemden  $k_f$  değeri kar ısı iletim katsayısını,  $T_{f,b}$  ve  $T_{f,sur}$  değerleri de sırası ile kar tabakasının alt bölümünün sıcaklığını ve kar yüzey sıcaklığını göstermektedir.  $l_f$  değeri de kar tabakası kalınlığıdır. Bu iki denklemin düzenlenmesi ile kar ısı iletim katsayısı elde edilmiştir.



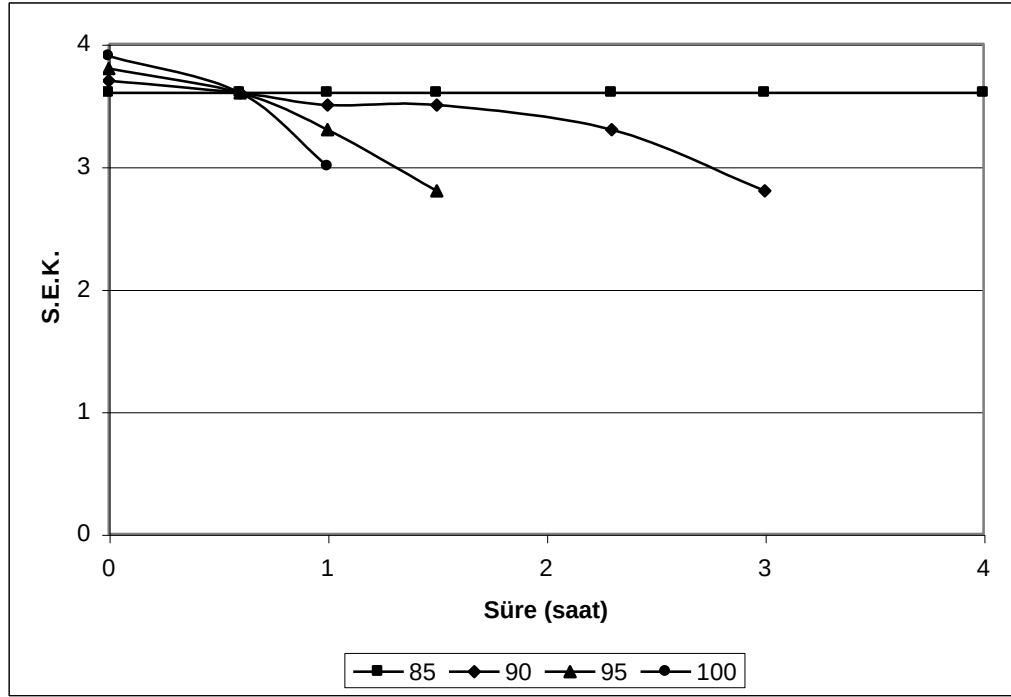
Şekil 2.4 Mikrometre üzeri netakılmış d an ter m d e m a n

Yapılan deneyler sonucunda, kar kalınlığının borunun ön ve arka b d ünherinde, üst ve alt b d ünherine kıyasla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu kar dağılımı, borunun ön noktasının akışın durma noktası olması, arka noktasında ise türbülansların fazla olması yorunmaları ile açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, üst ve alt noktada ise akışta ayrılma başlangıcı da olduğu belirtilmiştir. Ancak bu farklı dağılıma karşın, kar kalınlığının her noktada zamanla artış gösterdiği de belirtilmiştir. Ayrıca, kar ısı iletim katsayısının kar kalınlığı ile arttığı görülmüştür. Bunun nederi olarak da artan kar yoğunluğu gösterilmiştir. Fakat bu kez artışlar üst ve alt b d gel erde daha fazla olmuştur. Ayrıca üç saatlik deney sonunda kar ısı iletim katsayısının, buz ısı iletim katsayısı değerinin ( $2 \text{ W m K}$ ) ancak %10'u mertebesine geldiği görülmüştür. Buradan da karın hal a poroz yapıldığı sonucu çıkarılmıştır. Artan nem değeri ile kar kalınlığında artış olduğu belirlenmiştir.

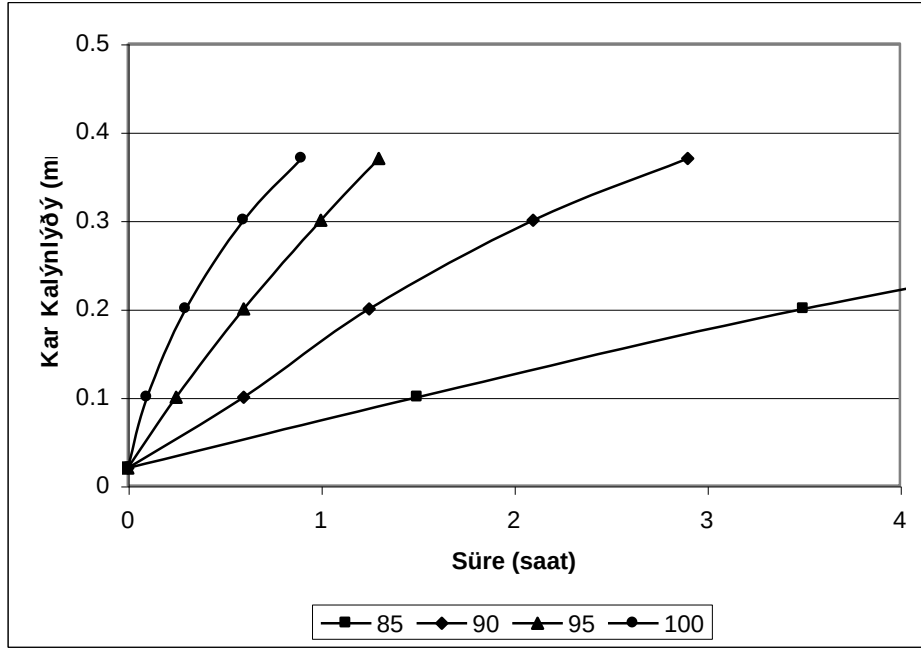
### 2.1.2 Modelleme çalışmaları

Martinez-Frias ve Aceves (1999a), par d d-levh alı buharlaştırmada d uş an karlanma nısı pompasına etkilerini modelleme çalışması ile incelemiştir. Kütle, momentum ve enerji korunum denklemleri ile ampirik bağıntılardan yararlanarak par d d levha geometrisi için bir kar d uş um modeli hazırlamışlardır. Bu modelden elde edilen sonuçlar d eney sel çalışma (O'Neal ve Tree 1984) ile karşılaştırılıp doğrulanmıştır. Ardından elde edilmiş olan bu karlanma modeli, önceden hazırlanmış olan ısı pompası modelinin (Rice 1991) buharlaştırmada alt programna eklenmiştir. Böylece karlanma durumunda ısı pompasında d uş an performans

kayıpları; hava koşullarının ve defrost sonrası geçen çalışma zamanının fonksiyonu olarak bildirilebilir. Modelleme çalışması karın S E K üzerinde en etkili olduğu -5 ila 2° C buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı ve %85 ila %100 bağıl nem aralığı için yapılmıştır. Buharlaştırıcı üzerinde en fazla kar kalırlığının aynı bağıl nem değeri için 0° C buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı olduğu bildirilmiştir. Bu sonucun, Tantakitti ve Howell (1986) ile uyum gösterdiği belirtilmiştir. Kar kalırlığının bağıl nemle didir şekilde arttığını görmüşlerdir. Kar en fazla 0° C buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığında biriktiği için, S E K değeri diğer hava giriş sıcaklıklarına oranla daha kısa sürede düşmektedir. 0° C hava giriş sıcaklığı ve %85 ila %100 bağıl nem değerleri için yapılan çalışmada ise, önce %100 bağıl nem değeri için yüksek S E K elde edilmiştir. Fakat ardından karlanmanın artması ve baskılaşması ile S E K da tüm bağıl nem değerleri için düşme görülmüştür. Ancak en hızlı düşme %100 bağıl nem değeri için gerçekleşmiştir. Bu durum şekil 2.5'te görülmektedir.



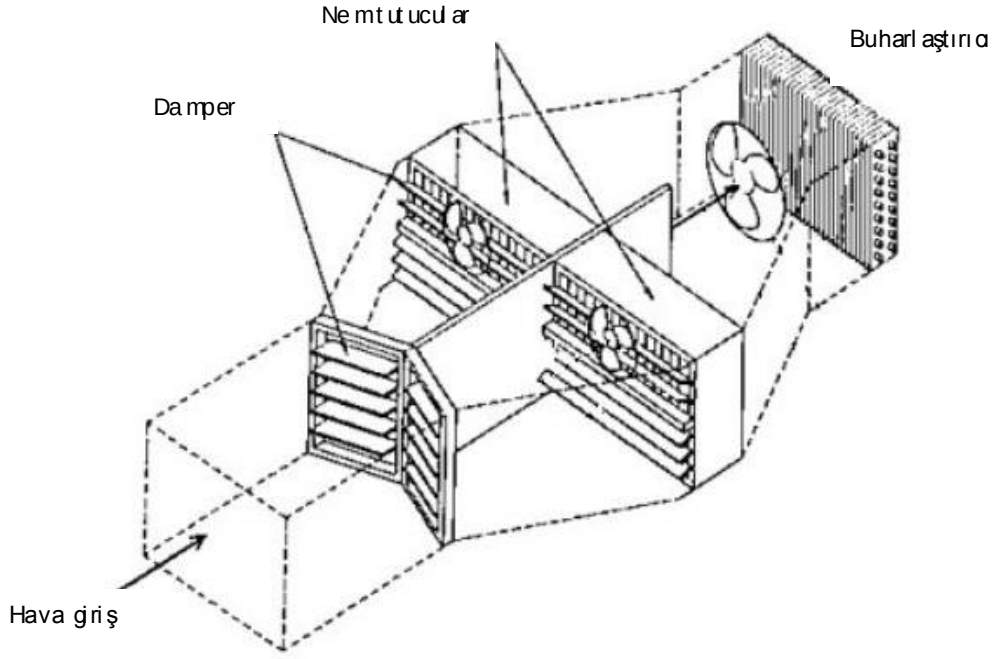
Şekil 2.5 Isı pompasının 0° C çevre hava sıcaklığı ve dört farklı hava bağıl nem değeri ( % ) S E K değeri için zamanla değişimi



Şekil 2.6 0° C ortam sıcaklığında ve dört farklı hava bağıl nem değeri nde ( % buharlaştırıcı yüzeyleri nde düşen kar kalınlığının zamanla değışi mi

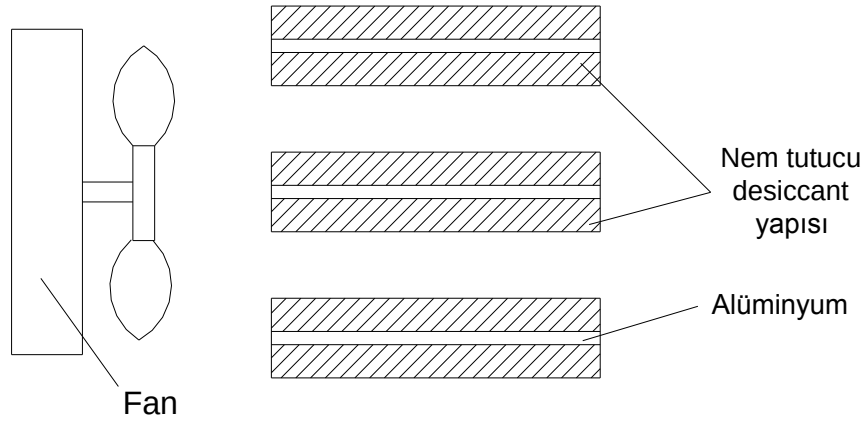
Şekil 2.6 da ise kar kalınlığının zamanla değışimi verilmiştir. Beklenildiği gibi kar en hızlı şekilde %100 bağıl nem değeri nde düşmüştür. Sonuç olarak, karlanma etkilerinin ciddi olduğu bir hava sıcaklığı ve nem aralığı olduğu belirtilmiştir.

Martinez-Frias ve Aceves (1999b), buharlaştırıcı önüne nem tutucu (desiccant yapısı) takılmış bir ısı pompası nda düşen karlanmayı, modelleme çalışması ile incelemiştir. Bu nem tutucu sayesinde buharlaştırıcıdaki karlanmayı oluşturan nem miktarı azaltılmaya çalışılmış ve böylece buharlaştırıcı üzerinde nem tutucusuz duruma göre daha az karlanma olmasına çalışılmıştır. Modellemede, katı desiccant içeren bir nem tutucu dikkate alınmıştır. Tantakitti ve Howell'ın (1986) çalışması nda verildiğinden “0° C ve %100 bağıl nem koşullarında karlanma en fazla olmak iken, %80 bağıl nem değeri ni altında tutulduğunda biriken kar miktarı nda azalma olmaktadır” yorumu dikkate alınmıştır. Bu nedenle, buharlaştırıcı giriş havası bağıl nem değeri, %80 bağıl nem değeri nin altında tutulmaya çalışılmış ve böylece az karlanma ile defrost çevrilerinin sıklığının azaltılabileceği düşünülmüştür. Yazarların daha önceki çalışmalarında oluşturmuş oldukları karlanma modeli ne, bu kez nem tutucu (desiccant) model eklenmiştir. Bu amaçla şekilde görülen sistemden yararlanılmıştır.



Şekil 2.7 Buharlaştırıcı önüne yerleştirilmiş damper ve nem tutucular ile fanlar

Şekil 2.7'deki sistemde nem tutucular Şekil 2.8'deki gibi düşünülmüştür. Fan ile çekilen havanın paralel şekilde yerleştirilmiş damper ve nem tutucular üzerinden geçirilerek düşünülmüştür. Sonuç olarak nem tutucular arasından geçen havanın nem miktarı geçiş boyunca azalmaktadır.

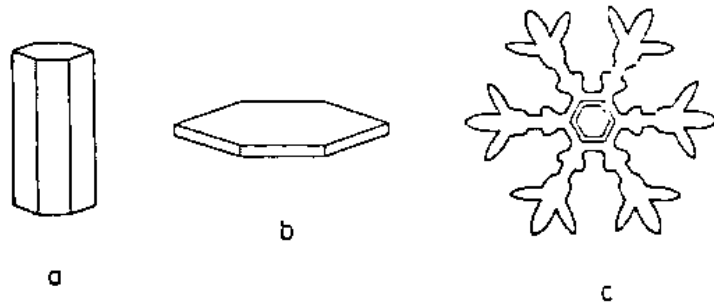


Şekil 2.8 Nem tutucuların yapısı

Bu çalışmada 0, -2 ve -4° C hava sıcaklığı ve %80 ila %100 bağıl nem değerleri dikkate alınmıştır. Isı pompasının iki defrost arasında geçen süresi, buharlaştırıcı giriş havası bağıl neminin %100'den %80'e düşmesi durumunda, 0.9 saatten 3.1 saat'e yükselmekte, %80'e düşmesi durumunda ise 23.2 saat'e yükselmektedir. Buna

karşın S E K %100 bağıl nemden %80'a düşme sonucunda 2.35'ten 1.64'e düşmekte, bağıl nem değeri %80'e düştüğünde ise S E K'si 1.81 değerine düşmektedir. Buharlaştırıcı giriş havası neminin azaltılması, defrost sırasında tüketilen enerji detasarruf sağlamaktadır, ancak sistemde önemli kayıplara da neden olabilmektedir. Bunun nederi nem tutucu üzerindeki nemin yapıdan uzaklaştırılması için ek enerjiye ihtiyaç duyulmasıdır. Bu nedenle defrost için harcanan enerji arttıkça, enerji tüketimi açısından nem tutucu kullanılması yararlı olmaya başlamaktadır. Elde edilen sonuçlar neticesinde, defrost enerji tüketiminin fazladan sistemlerde nem tutucu kullanılması'nın yararlı olacağı belirtilmiştir.

Şahin (2000), nemli havatrafından çevrelenmiş silindirik kar süturlarından düşmüş model dayanarak, karın kristal büyüme periyodundaki etkin ısı iletim katsayısını incelemiştir. Kar kristallerinin düştüğü sıcaklığın, kristal düşüm tipini etkilediğini belirtmiştir. Üç ana buz kristal tipi şekil 2.9'da görülmektedir. Şekil a sütun, şekil b levha, şekil c ise dendrit yapısını göstermektedir.



Şekil 2.9 Buz kristallerinin ana yapıları

Aynı yoğunlukta olan iki kar tabakasının farklı ısı iletim katsayılarında olabileceğinden de bahsetmiştir. Buradan da, yoğunluğa ek olarak başka parametrelerin de, örneğin kar tabakası içine doğru olan su buharı difüzyonunun da, ısı iletim katsayısını etkilediği sonucunu çıkarmıştır. Kar tabakasının farklı yoğunlukta alt tabakalardan düşmesinin de bir parametre olabileceğini söylemiştir. Ek olarak, kristallerin açıları'nı ve şekilleri'nin de ısı iletim katsayısını etkileyebileceği belirtilmiştir. Kar süturlarının ısı geçişine paralel olması halinde en fazla ısı iletim katsayısının düştüğü, buna karşın dik durmaları halinde ise en düşük ısı iletim katsayısının elde edileceği belirtilmiştir.

İsmail ve diğ. (1997), modelleme çalışması ile silindirik etrafında düşen karlanmayı incelemiştir. Hazırlanmış duktaları modeli, başka araştırmacılar tarafından elde ettikleri deneysel veriler ile karşılaştırmış ve doğrulamıştır. Sonuç olarak, kar kalınlığının

zamana bağıl olarak hava akışına en yakın noktadan ön durgunluk noktasında arttığını ve bu noktada kar yüzey sıcaklığının diğer tüm noktalardan daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Bu noktada kar kalınlığının ve kar yoğunluğunun fazla olduğunu, bu sonuca ydol açtığını belirtmişlerdir. Ayrıca bağıl nem değeriindeki artışın, karlanmada artışa neden olduğunu görmüşlerdir.

Sam ve Duong (1989), kar düşmesini ve büyümesini kapsayan bir matematik model geliştirmişlerdir ve bu modeli, elde bulunan deneysel ve modelleme sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Oluşturdukları modelde, iki farklı kar ısı iletim katsayısı korelasyonu kullanmışlardır. Hazırlamış oldukları bu modeli, literatür ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, bu modelin diğer modellere oranla daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Aynı karlanma süresi dikkate alındığında, düşüklevha sıcaklıklarında kar kalınlığının daha fazla arttığını ve yüksek bağıl nemdeğerlerinde ise daha fazla kar biriktirdiğini belirtmişlerdir. Reynoldssayıdaki artışın, daha yüksek yoğunlukta kar düşümüne neden olduğu ve daha az kar biriktirdiğini belirtmişlerdir.

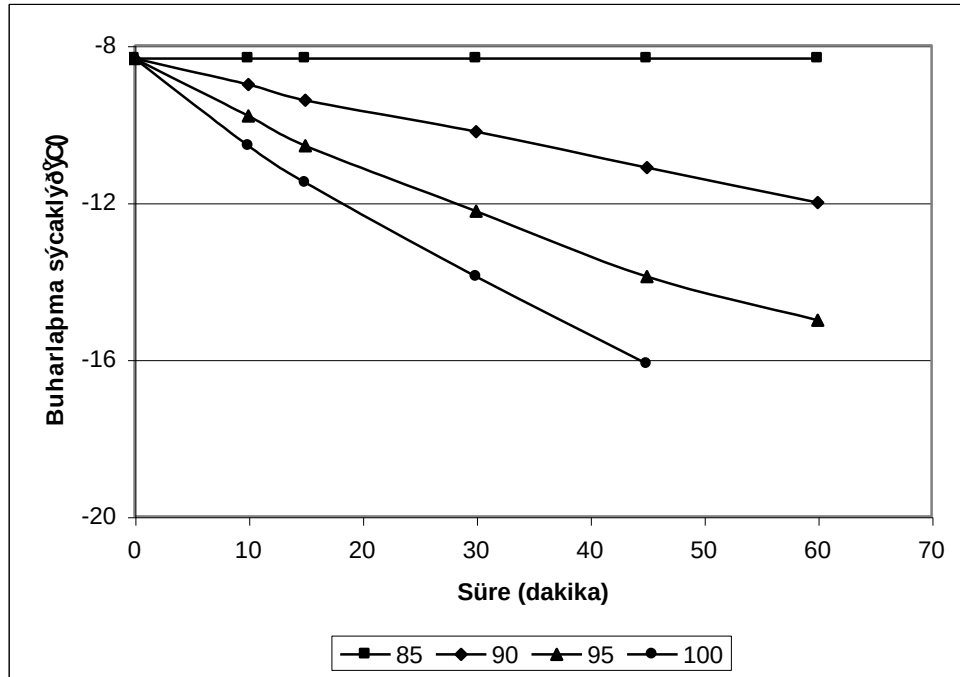
İsmail ve Salinas (1999), soğuk yüzey üzerinde düşen karlanma ile ilgili bazı parametrelerin belirlenmesi amacı ile bir boyutlu bir model oluşturmuşlardır. Hazırladıkları model, yerel ortalama hacimtekniğine dayanmaktadır. Modeldeki kar düşümünü üç periyoda ayırmışlardır. Literatürden elde ettikleri deneysel veriler ile modeli, kar kalınlığı açısından karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlardan model ile literatürün uyum içinde olduğunu görmüşlerdir. Fakat, karlanmanın ilk ve son zamanlarında, deneysel veriler ile model verileri arasında bir miktar farkın olduğu belirlenmiştir. Kar yoğunluğu açısından ise, deney ile model sonuçları arasındaki farkın ortalama %10 seviyesinin altında kaldığını belirtmişlerdir.

Tantakitti ve Howell (1986), ısı pompasının buharlaştırıcı bölümünde düşen karlanmanın belirlenebilmesi için bir matematik model oluşturmuşlardır. Modelde, üç farklı defrost başlatma yöntemi kullanmışlardır. Bu yöntemlerden birisi, buharlaştırıcı bölümünde düşen basınç düşüşüne göre defrost a başlama şeklindedir. Bu yöntemde basınç düşüşü başlangıç değeri nin %90 değeri ne ulaştığında defrost a başlanmaktadır. İkinci yöntem kompresör çalışma süresi ne ve hava sıcaklığı na bağılıdır. Hava sıcaklığı 4.44° C ye eşit olduğunda ya da daha düşük olduğunda ve kompresör çalışma süresi nin 75 dakikaya ulaştığı durumda defrost a başlanmaktadır. Üçüncü yöntem ise, kompresör çalışma zamanına ve buharlaşma sıcaklığı na bağılıdır. Bu yöntemde buharlaşma sıcaklığı -2.78° C ye eşit olduğunda ya da daha düşük olduğunda ve kompresör çalışma süresi 75 dakikaya ulaştığında defrost a



başlanmaktadır. Simülasyon sonuçları, buharlaştırıcı üzerinde biriken kar miktarının, yukarıda verilen defrost yöntemlerinden bağımsız olduğunu göstermiştir. Ayrıca sabit çevre sıcaklığında, en çok karın  $0^{\circ}\text{C}$  ve %100 bağıl nem değeriinde meydana geldiği belirlenmiştir. Karlanmanın, buharlaştırıcı sıcaklığına etkisini belirlemek için  $-1.11^{\circ}\text{C}$  çevre sıcaklığında çeşitli bağıl nem değerlerinde deneyler yapılmıştır. Defrost başlama yöntemleri incelendiğinde; birinci yöntemde, bağıl nem değeri arttıkça gerekli olan defrost sayısında artış olduğu belirlenmiştir. Diğer iki yöntemde ise, kompresör çalışma sürelerinin, defrost sayısını belirlemede veriliş olan sıcaklıklara oranla daha baskın olduğu görülmüştür. SEK açısından bakıldığında ise, artan bağıl nem değeri ile birlikte, SEK değeriinde büyük düşüşler olduğu görülmüştür. En fazla düşüşün, en çok kar birikmesi ne neden olan %100 bağıl nem değeriinde gerçekleştiği belirlenmiştir.

Sonuçta, bağıl nem değeriindeki artış ile buharlaştırıcı üzerinde daha fazla kar biriktiği belirlenmiştir ve bunun da buharlaşma sıcaklığında düşmeye neden olduğu görülmüştür. Bu durum şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10 -  $-1.1^{\circ}\text{C}$  sabit hava giriş sıcaklığında ve farklı bağıl nem değerlerindeki (%), buharlaşma sıcaklığının zamanla değişimi

### 2.1.3 Hem deneysel, hem de modelleme çalışmaları

Lee ve diğ. (1997), soğuk bir yüzey üzerinde oluşan kar tabakası için analitik bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde, suyun moleküler difüzyonu ve kar

tabakasındaki su buharı süblimasyonundan meydana gelen ısı düşümü dikkate alınmıştır. Isı geçişi ile kütle geçişi arasında “Lewis” analjisi kurmuşlar ve Lewis sayısını,

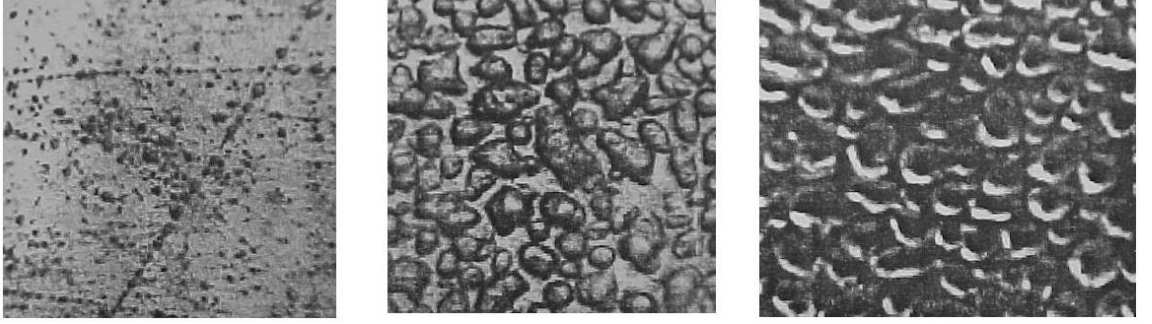
$$Le = 0.89 \cdot \left( \frac{w_a}{w_{STD}} \right)^{0.66} \cdot \left( \frac{V_a}{V_{STD}} \right)^{0.097} \quad (24)$$

giriş hava koşulları dinsiinden ifade etmişlerdir. Formüldeki  $w_a$  ve  $w_{STD}$  sırası ile, hava özgül nem değeri ve standart durumdaki hava özgül nem değeri göstermektedir.  $V_a$  ve  $V_{STD}$  ise, hava hızını ve standart hava hızını belirtmektedir. Standarttan kasıt, 25° C hava giriş sıcaklığı, %70 bağıl nem, 1 m/s hava hızı ve -15° C yüzey sıcaklığıdır. Bu koşullardaki Lewis sayısı 0.89 çıkmaktadır. Hazırladıkları model, levhası değıştirdiği üzerinde yaptıkları deneylerle karşılaştırmışlardır. Deneylerde, kar yüzey sıcaklığını, yüzeyin yayma katsayısı 0.94 olarak kabul ederek, kızıl ötesi ışını yüzey sıcaklık ölçer ile hesaplamışlardır. Deneylerle model, kar kalınlığı açısından karşılaştırıldığında modelin %5.5 hatalı olduğu görülmüştür. Hem deneylerde, hem de modelde artan bağıl nem değeri ile kar kalınlığının arttığı ve artan nem değeri ile de kar yüzey sıcaklığının arttığı belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak, ari şekilde düşük yoğunluklu kar düşümü ile artan kar ısılandırıcı gösterilmiştir. Kar kalınlığının, artan hava hızı ile artış gösterdiğini bulmuşlardır. Bunun nedeni olarak da, artan hava hızı ile ısı geçişinin arttığı ve “Lewis” analjisiinden de ısı geçişine paralel olarak kütle geçişinin artması verilmiştir. Ayrıca, artan hava hızı, kar yüzey sıcaklığında da artışa neden olmaktadır.

Padki ve diğ (1989), modelleme çalışması yapmışlardır. Modelde, çeşitli geometriler için bilinen ısı taşıma katsayıları kullanılmış ve kütle geçiş katsayıları için de “Lewis” analjisiinden yararlanılmıştır. Düz levha için elde edilen denklemler, koordinat eksenlerinin değıştirilmesi ile silindriğin de kullanılmıştır. Hazırlanan model; hem doğal taşıma hem de zorlanmış taşıma için kullanılabilir. Oluşturulmuş olan bu model, deneylerle karşılaştırılmıştır. Karın ilk biriktiği süreçlerde yüzey sıcaklığında ciddi bir artış olduğu, fakat daha sonra bu artış hızında azalma olduğu görülmüştür. Doğal ve zorlanmış taşıma karşılaştırıldığında, doğal taşıma oranla zorlanmış taşıma da kar yüzey sıcaklığının daha kısa sürede yükseldiği belirlenmiştir.

Blondeau ve diğ (1999), döner ısı ve kütle değıştirdiği üzerinde d uşan karlanmayı hem deneysel, hem de modelleme ile incelemiştir. Deneyler sonucunda camı karını ısı değıştirdiği üzerinde d uştüğünü belirlemiştir. Bu kar poroz kara oranla

daha yoğundur ve ısı geçiş katsayısı daha fazladır. Isıl davranışları tahmin etmek için bir matematik model oluşturmuşlardır ve bu modeli, deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Diğer karlanma ile ilgili çalışmalarda olduğu gibi, burada da nem değeri ni karlanma sırasında baskın olduğunu belirlemiştir. Deney sel incelemede, karlanmanın çekirdek, kar düşme ve kar tabakası büyüme evreleri olarak üç evreden geçtiğini belirlemiştir ve bu evrelerin 400 kez büyütülmüş fotoğraflarını çekmiştir. Evrelerin resmi heri şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.11 Kar düşümünün üç evresi

Şeker (1999), no-frost buzdolaplarında kullanılan buharlaştırıcıların karlanmış durumdaki performanslarını hem deneysel, hem de modelleme çalışması ile incelemiştir. Hazırlanmış olduğu modelde; hemisi, hem de kütle geçiş katsayılarını içeren etkin ısı geçiş katsayısı ( $h_{eff}$ ) tanımında bulunmuştur.

$$h_{eff} = h_k + h_{at} \quad (2.5)$$

Hazırladığı modeli no-frost buzdolabı çalışma koşullarına uygun koşullarda yapmış olduğu deneysel çalışmalar ile karşılaştırmıştır. Toplam ısı geçirgenlik (UA) değeri açısından model ve deney sonuçları arasındaki farkın %20’i varında olduğunu görmüştür. Buna karşın basınç düşüşü açısından değerlerin uyum içinde olduğunu belirlemiştir. Yaptığı modelleme çalışmaları ile, buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığının azaltılmasının hem UA’yı, hem de basınç düşüşünü azalttığını, buharlaşma sıcaklığının azaltılmasının basınç düşüşünü arttırdığını, bağıl nem değeri nin ve hava debisinin artmasının hem UA’yı, hem de basınç düşüşünü arttırdığını belirlemiştir. Bu çalışmada hazırlanmış olan karlanma modelinin algoritması Ek A’da verilmiştir.

İnan (2000), no-frost buzdolabı buharlaştırıcısının karlanmış haldeki durumunu modelleme çalışması ile incelemiştir. Hazırlanmış olduğu modelde; toplam ısı geçirgenliği (UA), kar kalınlığını, kar külesini ve hava tarafı basınç düşüşünü buharlaştırıcının her pası için ayrı ayrı bulabilmektedir. Böylece buharlaştırıcıdaki

hava giriş tarafındaki aşırı karlanma durumu daha gerçekçi bir biçimde gözlenenebilir. Ayrıca çalışmasında, kar kalınlığını artıran nem miktarı ile kar yoğunluğunu artıran nem miktarı üzerinde de durmuştur. Şöyle ki, yoğunluğu artıran nem miktarı ile toplam kar kütlesi arasında

$$m_p = \chi \cdot m_{fr} \quad (26)$$

şeklinde bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Buradaki  $m_p$ ,  $\chi$  ve  $m_{fr}$  ifadeleri sırası ile havadan kar kütlesi ne geçen ve kar yoğunluğunu artıran nem miktarı, yoğunlaşma oranı ve toplam kar kütlesi dir. Yapmış olduğu parametrik modelleme çalışmaları ile yoğunlaşma oranı için 0.3 değerinin uygun olduğunu belirlemiş ve modelinde bu değeri kullanmıştır. Ayrıca modelinde hava debisinin karlanma sonucunda artan hava tarafı basınç düşüşünden etkilenmesini sağlamıştır. Bunun için fan karakteristik eğrisinden yararlanmış, böylece gerçek çalışma koşullarındaki duruma daha yakın bir durumu gözlenmiştir. Bu modelin algoritması Ek B de verilmiştir.

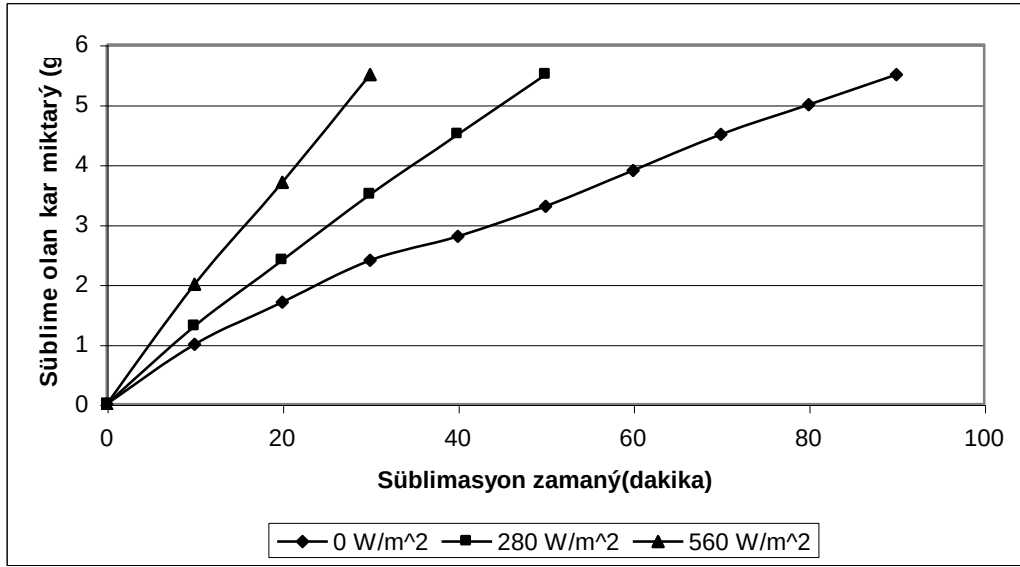
## 2.2 Defrost ile ilgili literatür araştırması

### 2.2.1 Deneysel çalışmalar

Knoop ve diğ. (1989), her buzdolabı kabının sıcaklıklarının ayrı ayrı kontrol edilmesi nin enerji tüketimi açısından daha iyi olduğunu yapmış oldukları deneysel çalışma sonucunda belirtmişlerdir. Ayrıca defrost aralıklarının buzdolabı kapısının açılma sayısına ve kapının açık kalma süresi ne ve bir önceki defrost uzunluğuna ve dondurucu sıcaklığı na bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

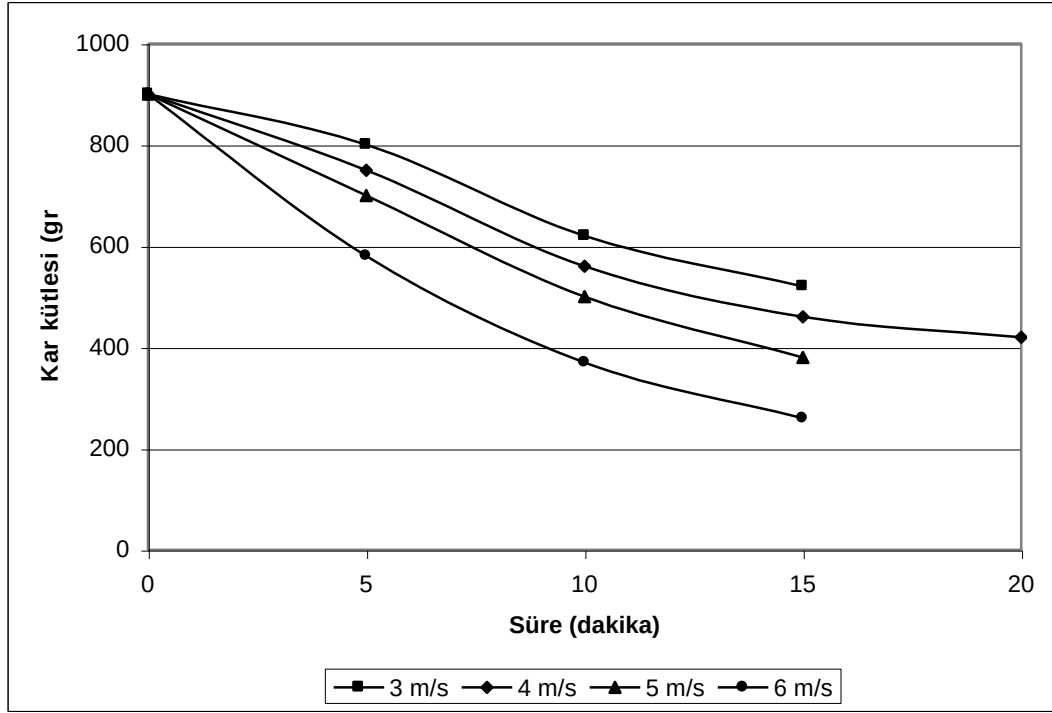
Inaba ve İmami (1996), çalışmalarında suyun üçü noktası altındaki sıcaklıkta (0.01°C, 0.6105 kPa) gönderilen hava ile karda süblimasyon dabileceği prensibinden yararlanılmışlardır. Bu yöntem ile katı haldeki kardan sıvı faza geçiş d maksızın su buharı elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Bu sayede alternatif bir defrost yöntemi oluşturmuşlardır. Deneylerde, önceden karlandırılmış donatay bir levha üzerinden süblimasyon için uygun hale getirilmiş hava geçirilmiş ve levha üzerindeki kar ağırlığındaki azalmayı incelemiştir. Süblimasyon işleminin uzun sürdüğü için deneyleri hızlandırmak amacıyla kararışını myd uile ısı verilmiştir. Ancak verilen ısı nın, karda erimeye neden d mamasına dikkat edilmiştir. Bu defrost işlemin, bilinen defrost yöntemlerine oranla daha uzun sürmektedir. Şöyle ki; şekil 2.12 de de görüldüğü üzere, yaklaşık 5.5 gr kar, ışınsız olarak yaklaşık 90 dakikada yüzeyden

temizlerken,  $280 \text{ W m}^{-2}$  ısı akışını miktarı ile 50 dakikada,  $560 \text{ W m}^{-2}$  ısı akışını ile yaklaşık 30 dakikada buhar fazına geçmektedir.



Şekil 2 12 -5° C hava sıcaklığı, %60 hava bağıl nem değeri ve 8 m/s hava hızı koşullarında farklı ısı akış hızlarında süblime olan kar miktarının zamana değişimi

Ameen ve diğ. (1993), çalışmalarında ısı pompası buharlaştırıcısında oluşan karlanmanın ılık hava ile defrost yapılmasını incelemiştir. Bu amaçla, dört sıra bakır boru ve alüminyum kanatlı buharlaştırıcı kullanılmıştır. Deney sisteminde buharlaştırıcı bir terazi üzerinde tutulmaktadır. Böylece hem karlanma süresi, hem de defrost süresi kar miktarı belirlenebilmektedir. Kardaki erime, hava sıcaklığının, bağıl nem değeri ve hava hızının fonksiyonu olduğunu belirtmiştir ve ayrıca defrost sonucunda oluşan suyun buharlaştırıcı üzerinden temizlenmesini hava hızına bağlı olduğunu bulmuştur. Deneylerde öncelikle ısı pompası çalışma süresi boyunca (30-35 dakika), 1° C hava sıcaklığı ve %85 bağıl nem değeri buharlaştırıcı üzerinde karlanma oluşturulmakta, ardından da 15 ila 20 dakika boyunca fan yardımı ile farklı sıcaklık, farklı hava hızı ve farklı bağıl nem değeri ılık hava ile defrost yapılmaktadır. Buharlaştırıcıda biriken kar miktarı her deneyde yaklaşık olarak 900 gr'dır. Hava hızının artırılması ile defrost süresinin kısaldığı bildirilmiştir. Bu durum Şekil 2 13 de görülmektedir.



Şekil 2 13 20° C ve %60 bağıl nem değeri nde hava hız ının defrost a etkisi

6 m/s hava hız ında buharlaştırıcı üzerinde defrost sonunda kal an su miktar ının, 3 m/s hava hız ında kal an miktar ının yarısı d uduğı belirl enmiştir. 3 m/s hava hız ı ve 15 il a 20° C hava sıcaklı k arı ile, 6 m/s hava hız ı ve 15 il a 20° C hava sıcaklı ğ ında yapı l an defrost deney leri karşı l aştırıl mış ve 6 m/s hava hız ında d an defrost un daha kısa sürdüğü belirl enmiştir. Bunun nederi d arak da hava t araf ındaki sürtünme n in ve taşı nın art ması gösterilmiştir. Bağıl nem değeri ndeki artış ın defrost süresi ni uzattı ğ ve ılık hava ile yapı l an bu defrost sonucunda buharlaştırıcı üzeri nde %20 il a 30 merteb el erinde defrost suyu kal d ı ğ belirl enmiştir.

## 2.2.2 Modelleme çalış maları

Cole (1989), çalış ma süresi nce buharlaştırıcı üzeri nde biriken kar ı temizlemek i ğ in büyük sistem l erde kullanı l an sıcak gaz defrost unun, sisteme getird ğ maliyet leri ve soğut ma yükünü modelleme ile inç el enmiştir. Modeli nde defrost verimi tanı m yapmış tır. Tanı m kar ı erit mek i ğ in gerekli d an ısı nı n, sistemin soğut ma yüküne oran ı şekl i nde dır. Defrost sırasında veril en enerj i ni tümü kar ı erit mek i ğ in kullanı lır iş e, defrost veri ni %100 d makt a ve bu durumda soğut ul an ort ama, defrost nederi ile ek bir yük veril memekt edir. Ancak, gerek buharlaştırıcı mal zemesi ni n ısı y çek mesi, gerekse ısı t ma sırasında taşı nı m ve ış ını mydl ar ı ile ort ama ısı kaç ması sonucu veri m düş mekt edir. Sonuç d arak, dondurucu i ğ in sıcak gaz defrost u

uygulaması durumunda enerjinin %80'inin soğutma çevrimine ile dışarı atılmakta olduğu, geri kalan %20'lik miktarın ise karı eritmekte kullanıldığı belirtilmiştir.

### 2.2.3 Hem deneysel, hem modelleme çalışmaları

Bejan ve diğ. (1994), modelleme çalışması ile defrost için en uygun zamanı bulmaya çalışmışlardır. Çalışma no-frost tip bir buzdolabı üzerinde yapılmış ve buharlaştırıcı üzerinde oluşan karlanma dikkate alınmıştır. Hazırlanmış dukları model ile 12 saat çalışmadan sonra 30 dakika defrost yapmanın en optimum enerji harcaması yarattığını belirlenmiştir. Bu çalışmadaki modelleme çalışması detaylı olarak Ek C'de verilmiştir.

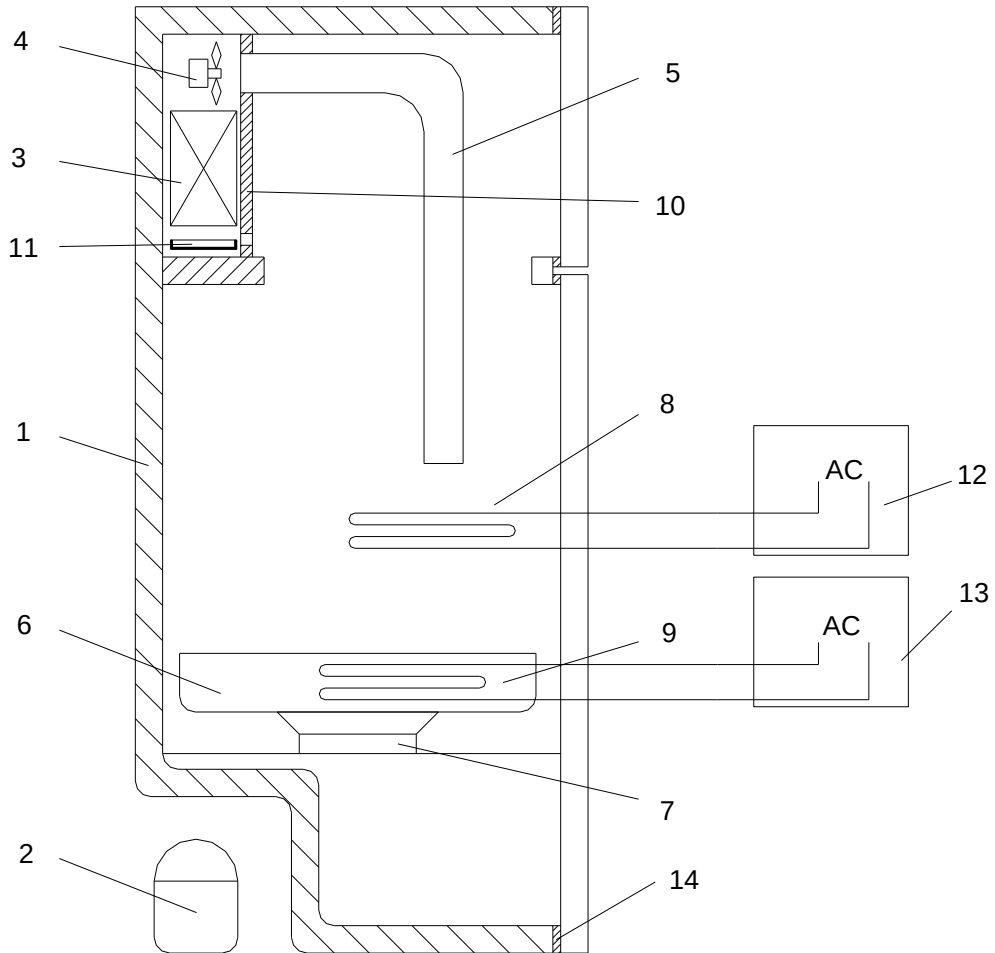
Bahsedilen çalışma defrost sürelerinin optimumuna yöneliktir, ancak defrost süresi 30 dakika olarak sabit alınmış ve her durumda sabit olduğu düşünülmüştür. Ancak aşırı nemli hava koşullarında buharlaştırıcı üzerinde çok miktarda kar birikecekken, düşük nemli hava koşullarında biriken kar miktarı daha az olacaktır. Bu nedenle defrost süresinde belirli miktarda değişme deacağı açıktır. Bu nedenle çalışmada yapılmış olan bu basitleştirmenin, doğrudan belirlenen optimum süre değerleri üzerinde etkili deacağı düşünülmektedir.

Makale içeriğinde verilmiş olan örnekte buharlaştırıcı yüzey alanı gerçek dolaplarda kullanılan buharlaştırıcı yüzey alanının yaklaşık 1/10'u mertebesinde dir. Bu nedenle verilmiş olan bu örnek değerinin gerçekçi olmadığı düşünülmektedir. Bu örnekteki değerlerin kullanılması ile makale içeriğinde bahsedilen 12 saat optimum süreyi ne 17 saate ulaşmaktadır. Bu bağlamda, örnek içeriğinde verilmiş olan değerler ile sonuç arasında tutarsızlık olduğu belirlenmiştir.

### 3 DENEY TESİ SATI VE ÖLÇME SİSTEMLERİ

#### 3.1 Deney tesisi satı

Buharlaştırıcı karlanma deneyleri, iki kaplı bir no-frost buzdolabı üzerinde yapılmıştır. Çift bölmeli olan bu buzdolabının bölmeleri ayıran orta kısmı kaldırılmış, tek ve büyük bir bölme oluşturulmuştur. Ayrıca alt bölümdeki raf dışındaki tüm raflar çıkarılmıştır. Sistemin şematik görünüşü şekil 3.1’de, tesisi satıncı fotoğrafı şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Deney tesisi satıncı nın şematik görünüşü



Şekildeki numaralar sırası ile buzdolabı yalıtımını (1), kompresörü (2), buharlaştırıcıyı (3), buharlaştırıcı fanını (4), bacayı (5), su kabını (6), teraziyi (7), hava ısıtıcısını (8), su ısıtıcısını (9), buharlaştırıcı kapağını (10), defrost suyunun toplandığı defrost tavağını (11), hava ısıtıcısını besleyen vdt'yi ayarlanabilir varyajı (12), su ısıtıcısını besleyen vdt'yi ayarlanabilir varyajı (13) ve kapı contasını (14) göstermektedir.

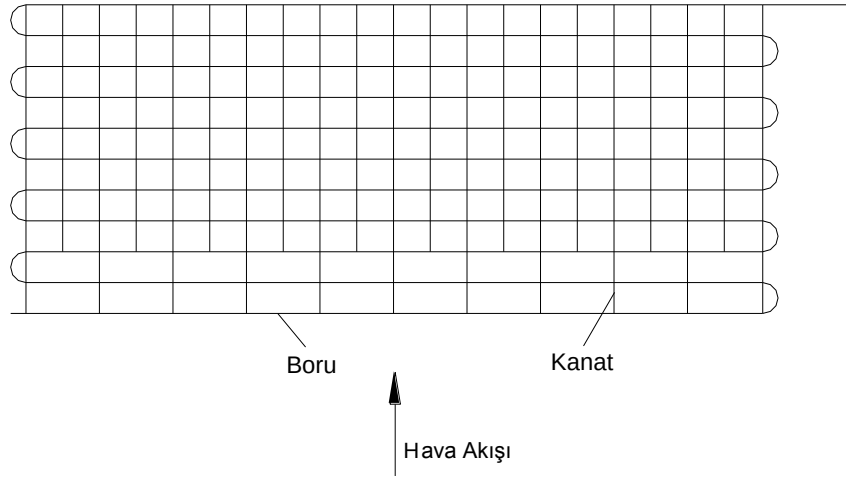


Şekil 3.2 Deney tesisi

İlerleyen bölümlerde sistem elemanlarının bazıları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

### 3.1.1 Buharlaştırıcı

Deneylerde Şekil 3.3'de şematik resmi verilmiş olan 11 paslı buharlaştırıcı kullanılmıştır. Soğutucu boru dış çapı 8 mm'dir. Üzerinde toplam 40 kanat bulunmaktadır. Buzdolabının düzenlemesinde yapılmış olan değişikliğe karşın buharlaştırıcının yeri değiştirilmemiştir.

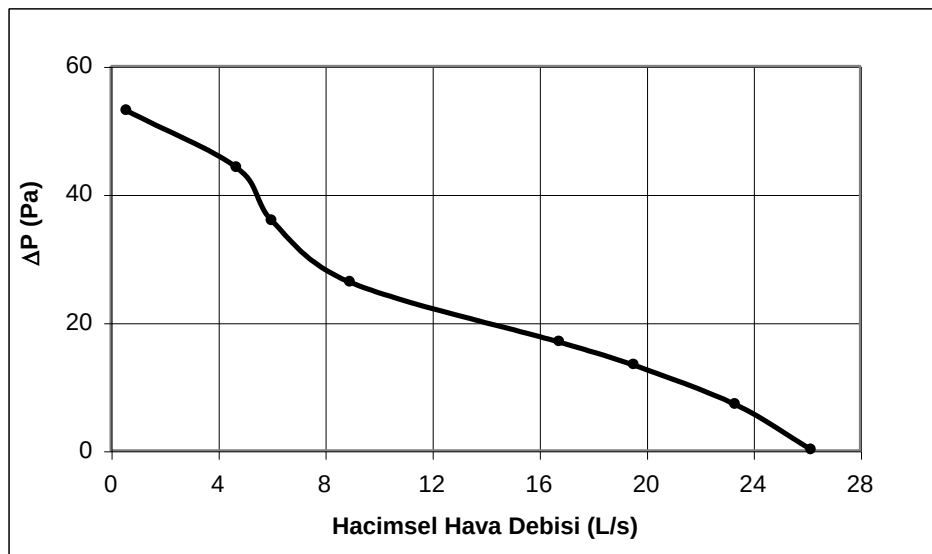


Şekil 3.3 Buharlaştırıcının şematik görünüşü

### 3.1.2 Buharlaştırıcı fanı

No-frost tip buzdolabı ile konvansiyonel bir buzdolabı arasındaki en önemli farklardan birisi, buzdolabı içinde doğal taşıyıcıyı yerine zorlanmış taşıyıcıyı kullanmasıdır. Bu da buharlaştırıcı üzerine takılan çok çeşitli boyutlardaki fanlar yardımıyla olmaktadır. Genel olarak tek bir fan kullanılmaktadır. Bu fan ile kabinlerden çekilen hava buharlaştırıcı üzerinden geçirilmekte ve kanal sistemi yardımı ile tekrar kabinlere gönderilmektedir.

Şekil 3.1'de bu çalışmada kullanılan fanın yerleşim yeri görülmektedir. Bu fanın AMCA 210 standartlarına göre hazırlanmış olan hava tüneline elde edilmiş olan karakteristik eğrisi ise Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Fan karakteristik eğrisi

### 3.1.3 Baca

Deneylerde iki kapalı bir no-frost buzdolabı kullanılmıştır. Ancak Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, buzdolabının taze gıda ve dondurucu bölümleri arasındaki ara bölme kaldırılmıştır. Bu nedenle buzdolabının kendi hava kanalı sisteminin devre dışı kalmıştır. İç boyutları nfan basma yüksekliği ne göre göreceli olarak büyümüş olması ve gerçek bir buzdolabında kullanılan hava kanalı sisteminin bu buzdolabında yer alması nedeniyle fan çıkışı nfan yuvasına denk gelecek şekilde iç çapı 104 mm olan dairesel kesitli bir boru takılmıştır.



Şekil 3.5 Baca

Şekil 3.5’te resmin verilmiş olduğu bu baca sayesinde, buharlaştırıcı üzerinden geçirilip soğutulmuş hava, buzdolabının alt bölümüne doğru yönlendirilebilir. Böylece buzdolabı içinde, hava akışında durgun bölge kalmamasına ve homojen sıcaklık dağılımının oluşmasına çalışılmıştır. Ayrıca, üflenen havanın buzdolabına dağılımı tekrar buharlaştırıcıya enilmesi riski ortadan kaldırılmıştır.

### 3.1.4 Hava ısıtması

Deneyler sırasında kapılar tamamen kapalı tutulmaktadır. Ayrıca çalışmada kompresör %100 şekilde çalışmaktadır, yani termostatik şekilde açma-kapama yapmamaktadır. Buzdolabının ısı kazancı sadece yalıtım bölümü üzerinden olmaktadır. Ancak bu ısı kazancı buzdolabı çalışması sırasında istenen iç ortam sıcaklığının ve buharlaştırıcı hava giriş sıcaklıklarının elde edilmesinde yeterli

olmamaktadır. Bu nedenle istenen sıcaklıkların elde edilebilmesi için, buzdolabı iç hacmine bir hava ısıtıcı konmuştur. Bu hava ısıtıcı varyakla beslenmektedir ve ısıtıcı aç-kapa şeklinde çalışan bir kontrol devresi ile kumanda edilmektedir. Şekil 3.6 da serpartinin haline getirilmiş olan hava ısıtıcısı görülmektedir.



Şekil 3.6 Hava ısıtıcısı

### 3.1.5 Su ısıtıcısı, su kabı ve terazi

Buharlaştırıcı üzerinde düşen karlanmanın asıl nedeni, havadaki nemdir. Bu çalışma sırasında yapılan deneylerde, buzdolabının kapısı devamlı şekilde kapalı tutulmuş, bir otomasyon sistemi ile açma-kapama yapılmamıştır. Deneyler sırasında buharlaştırmada düşmesi istenen karlanma için ortama nem verilmesi gerekmektedir. Böylece parametrik karlanma incelenebilir yapılabilecektir. Bu nedenle, buzdolabı iç hacmine iç su dolu bir kap yerleştirilmiştir.

Buzdolabı çalışması sırasında kaptaki suyun donmasını engelleyerek amacı ile kaptaki bir ısıtıcı konmuştur. Isıtıcıya bir kontrol devresi bağlanmış, açma-kapama şeklinde ısıtıcı çalıştırılmıştır. Kaptan buharlaşan su miktarını ayarlayarak parametrik karlanma çalışmaları yapabilmek için ısıtıcı varyak ile beslenmiştir. Kontrol devresi ve varyak ile kaptan buharlaştırılan su miktarı ayarlanabilmektedir. Su kabı ve içindeki su ısıtıcısı Şekil 3.7 de hava ısıtıcısının altında görülmektedir. Su kabı bir terazi üzerine oturtulmuştur, böylece tüm deney süresi boyunca kaptan buharlaştırılan su miktarı ölçülebilmektedir. Terazi Şekil 3.7 de görülmektedir.



Şekil 3.7 Su ısıtısı, su kabı ve terazi

### 3.2 Ölçme sistemleri

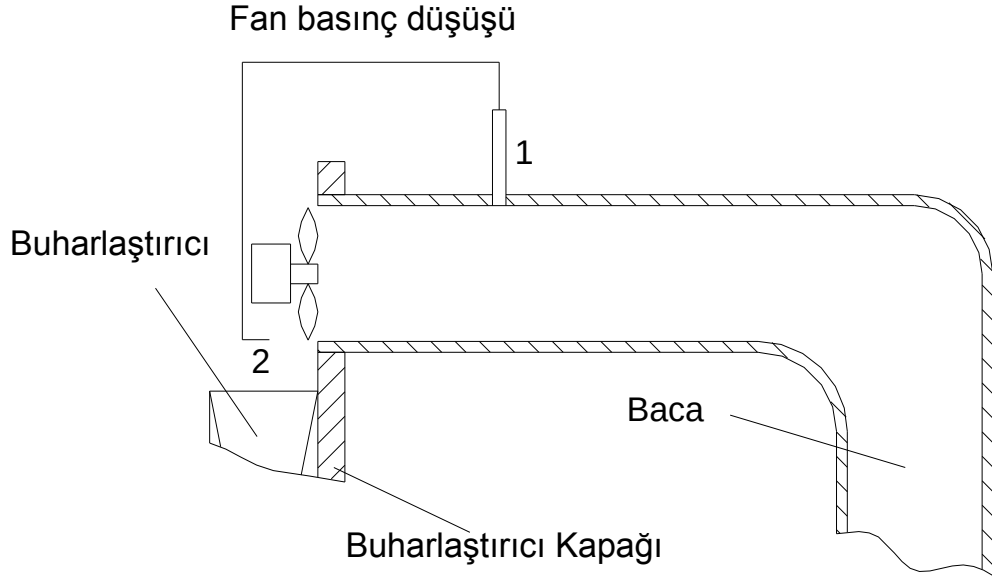
Deneyler sırasında basınç düşüşü, sıcaklık ve bağıl nem değerleri ile su kabından buharlaşan su miktarı olmak üzere dört ana ölçüm yapılmıştır.

#### 3.2.1 Basınç düşüşü ölçümleri

Deneyde basınç probası yardımı ile hem buharlaştırıcı fanındaki basınç düşüşü, hem de buharlaştırıcı hava tarafında basınç düşüşü belirlenmiştir.

##### 3.2.1.1 Fan basınç düşüşü ölçümleri

Fan emiş ve fan üfleme bölgeleri arasındaki basınç farkı, fan basınç düşüşü olarak ölçülmüştür. Ölçüm yerleri Şekil 3.8'de "1" ve "2" bölgeleri olarak görülmektedir.



Şekil 3.8 Fan basınç düşüşünün ölçül düğü yerler

Şekil 3.8 de “1” ile gösterilmiş olan fan üfleme tarafında pnömomatik borular kullanılmıştır. Bu borular dört adet ve baca üzerinde birbirlerine göre 90° olacak şekilde yerleştirilmiştir. Boruların uç kısımlarının baca yüzeyinden iç tarafa doğru geçmelerine izin verilmiş ve tam yüzeyde kalmalarına dikkat edilmiştir. Böylece üfleme tarafında dinamik basıncın ölçülmesi riski ortadan kaldırılmıştır. Borular fan dan 1.3D uzaklıkta yerleştirilmiştir. Böylece türbülanslı akışın etkisinin daha az olması ve akışın daha çok laminar durumda kalması amaçlanmıştır. Burada D fan çapıdır. Bu uzaklık BS 1042 den alınmıştır. Fan üfleme tarafına yerleştirilmiş olan bu borular Şekil 3.5 te baca üzerinde görülmektedir.

“2” numara ile gösterilen fan emiş tarafında ise el yapımı bir basınç probu kullanılmıştır. Bu prob akışı bozmayacak kadar küçük çaplı, bakır bir borudan yapılmıştır. Borunun bir ucu ezilerek kapatılmış ve eliyi yapılarak havanın geçmesi engellenmiştir. Daha sonra üzerine matkap ile delikler açılmıştır. Böylece üzerinden geçen havanın ortalama basınç değerini okuması sağlanmıştır. Boru fanın arkasına konacağı için yay şeklinde kıvrılmıştır. Şekil 3.9 da emiş probunun fan yuvasının arkasındaki yerleşim yeri görülmektedir.

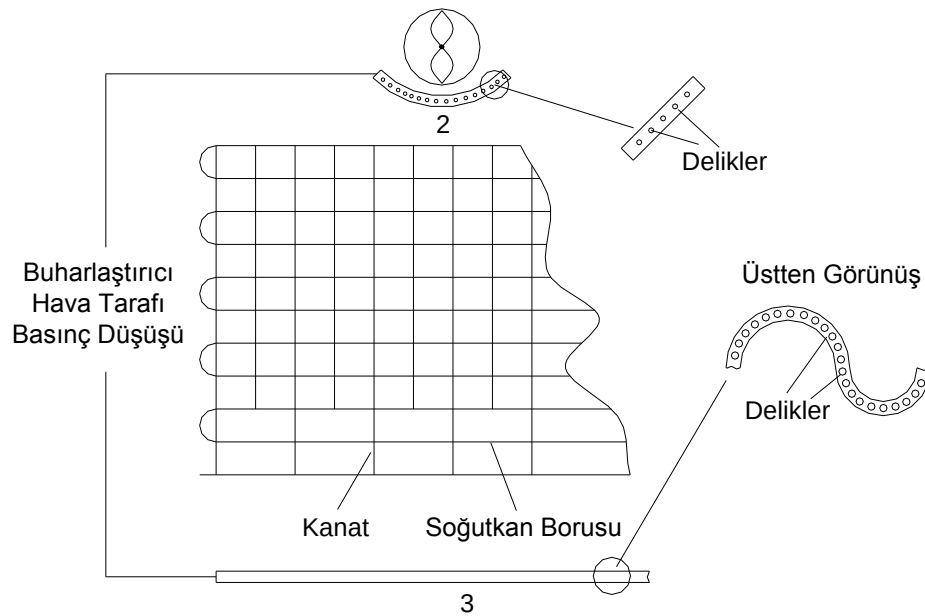


Şekil 3.9 Fan emme probu

Fan emiş ve üfleme bölümleri netakılмыш olan bu iki prob, hassaslığı  $\pm 0.7\text{Pa}$  olan bir mikromanometreye bağlanmıştır. Böylece iki nokta arasındaki basınç farkı kaydedilebilmiştir. Kayıt aralığı birer dakika olarak ayarlanmıştır.

### 3.2.1.2 Buharlaştırıcı hava tarafı basınç düşüşü ölçümleri

Buharlaştırıcı giriş ve çıkış bölümlerinde ölçülen hava basıncı arın farkı, buharlaştırıcı hava tarafı basınç düşüşü olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.10 Buharlaştırıcı basınç düşüşünün ölçüldüğü yerler

Şekil 3.10'da bu probların yerleri şematik olarak görülmektedir. Görüldüğü üzere fan emiş tarafında kullanılan prob (2 numara), buharlaştırıcı çıkış tarafında da



kullanılmaktadır. “3” ile gösterilen buharlaştırıcı giriş tarafındaki prob da tıpkı fan emiş tarafındaki prob gibi yapılmıştır. Tek fark burada borunun yay şekli yerine S şeklinde bükülmüş olmasıdır.



Şekil 3.11 Buharlaştırıcı emme tarafı basınç probu

Buharlaştırıcı giriş ve çıkışında kullanılan bu iki prob, hassaslığı  $\pm 0.3\text{Pa}$ ’dan bir mikromanometreye bağlanmıştır. Böylece iki nokta arasındaki basınç farkı birer dakika ara ile kaydedilebilir.

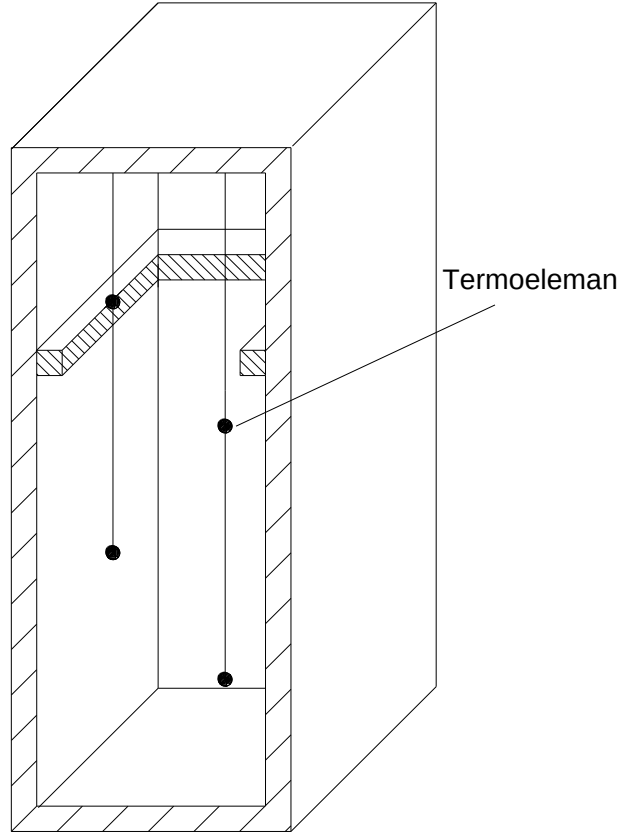
### 3.2.2 Sıcaklık ölçümleri

Sıcaklık ölçümleri için sabit sıcaklık banyosu ile kalibrasyonları yapılmış T tipi termodemanslar kullanılmıştır. Ek olarak bu termodemanslardan bazılarının kalibrasyon değerleri verilmiştir. Bu termodemanslar ile buzddabının çeşitli noktalarındaki iç hava sıcaklığı, buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı, buharlaştırıcı hava çıkış sıcaklığı, soğutkan sıcaklığı ve baca içinden hava sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçümler hassaslığı  $\pm 0.3^\circ\text{C}$ ’dan bir veri toplayıcıda birer dakika ara ile kaydedilmiştir.

#### 3.2.2.1 Buzddabı iç hava sıcaklık ölçümü

Buzddabı iç hacmine dört termodeman yerleştirilmiştir, şekil 3.12’de yerleşimyerleri şematik olarak görülmektedir. Böylece kabin içindeki sıcaklık dağılımı belirlenebilir.

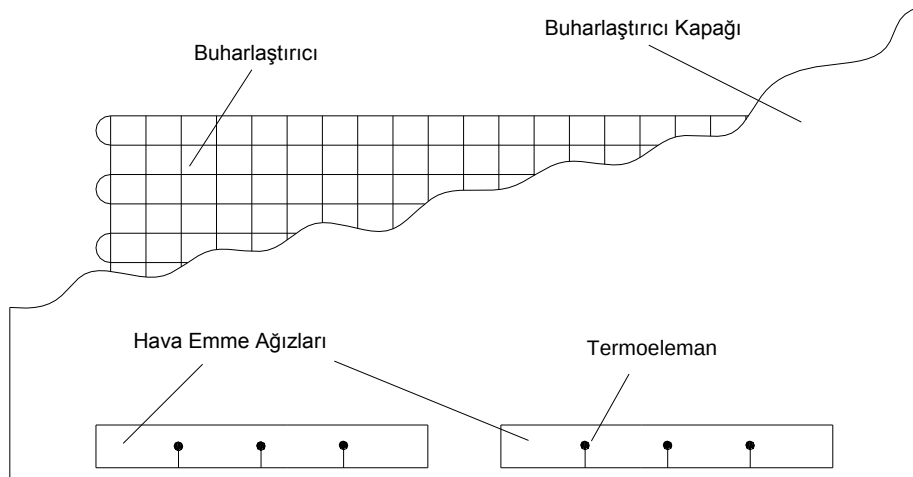




Şekil 3.12 Buzdolabı içindeki termoelemanların yerleşim yerleri

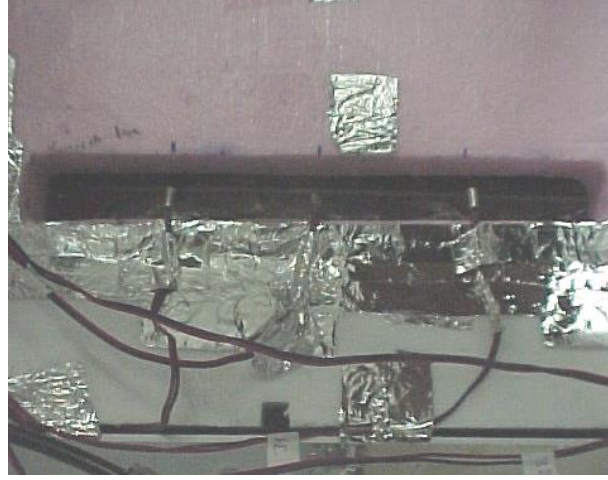
### 3.2.2.2 Buharlaştırıcı girişi ve çıkışındaki hava sıcaklıklarının ölçülmesi

Buharlaştırıcı girişi ve çıkışında da 10 d mak üzere, toplam 16 termoeleman ile giriş ve çıkış bölümlerinde hava sıcaklığı ölçülmüştür. Buharlaştırıcı hava giriş tarafında yerleştirilmiş dan termoelemanlar Şekil 3.13'te ve 3.14'te görülmektedir.



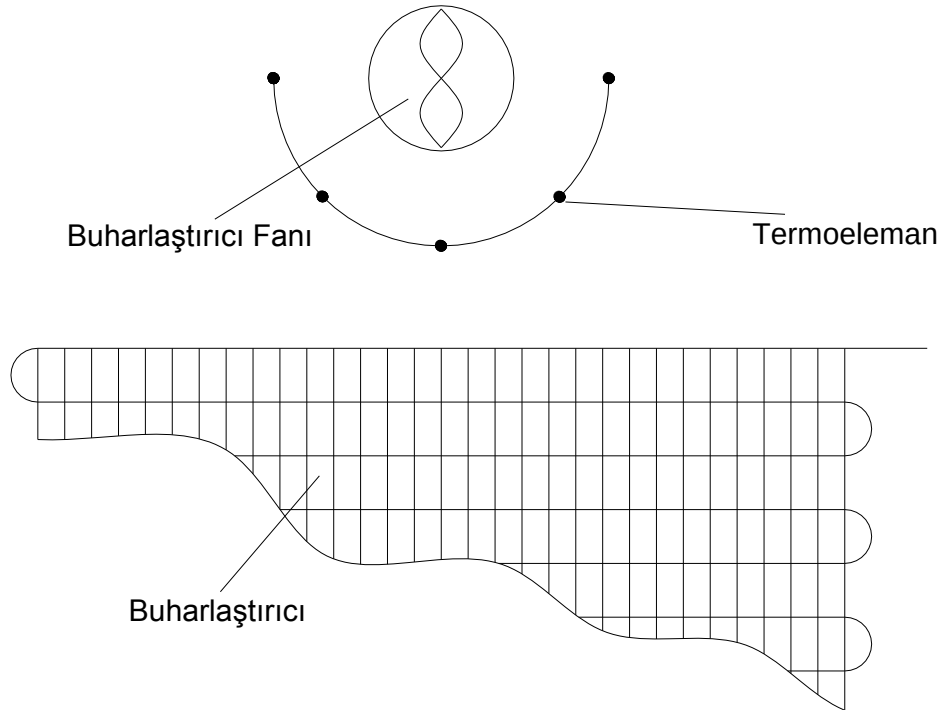
Şekil 3.13 Buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığını ölçmek için kullanılan termoelemanların yerleşim yerleri

Görüldüğü üzere termoelemanlar buharlaştırıcı ile buzdolabı kabini ayıran buharlaştırıcı kapağının üzerinde bulunan hava emiş kanallarına yerleştirilmiştir.



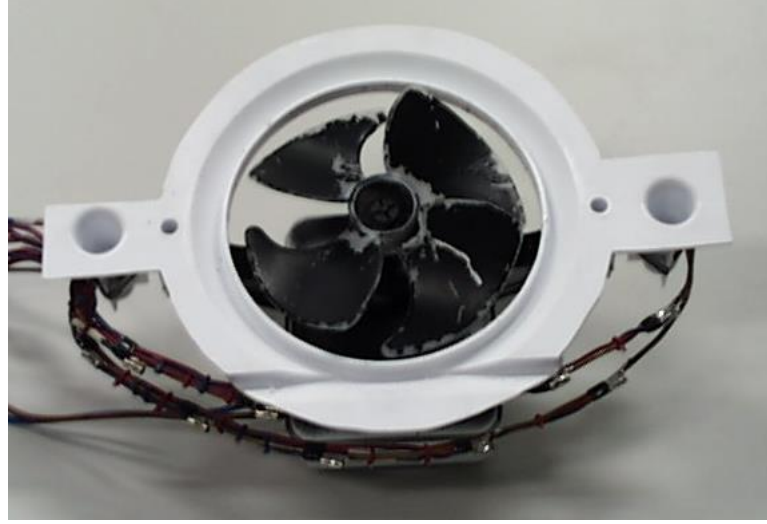
Şekil 3.14 Buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığını ölçmek için kullanılan termoelemanlar

Buharlaştırıcı çıkış tarafında ise termoelemanlar fanın altına yerleştirilmiştir. Fanın buharlaştırıcı üzerinden geçen tüm havayı toplaması ve buharlaştırıcının hemen üzerinde olması nedeniyle termoelemanlar buraya yerleştirilmiştir. Şekil 3.15'te ve 3.16'da termoelemanların yerleşim yerleri görülmektedir.



Şekil 3.15 Buharlaştırıcı hava çıkış sıcaklığını ölçmek için kullanılan termoelemanların yerleşim yerleri

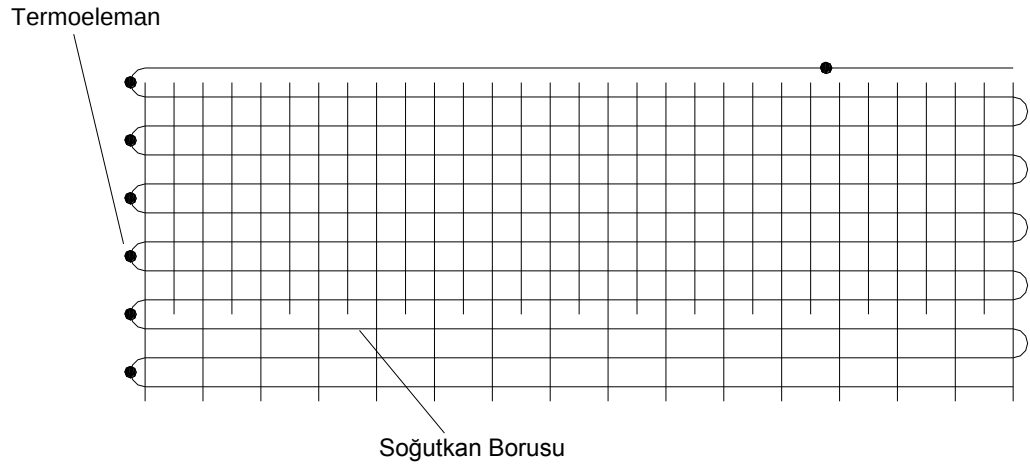
Şekil 3.16 da görüldüğü üzere, fan yuvasının altına bakır tellerden bir yapı düştürülmüş, üzerine de termoelemanlar şaşırtmalı şekilde yerleştirilmiş ve lehiyenmiştir.



Şekil 3.16 Buharlaştırıcı hava çıkış sıcaklığını ölçmek için kullanılan termoelemanların fan altındaki yerleşim yerleri

### 3.2.2.3 Soğutkan sıcaklığının ölçümü

Deney süresi boyunca 10 termoeleman ile buharlaştırıcının çeşitli yerlerinden (bazı paslardan ve buharlaştırıcı giriş ve çıkış borusundan) yüzey sıcaklıkları okunmuş, böylece soğutkan sıcaklıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Üzerlerinden akan havanın sıcaklığından etkilenmemeleri için termoelemanların üzerleri yalıtılmıştır. Şekil 3.17 de buharlaştırıcı üzerine yerleştirilmiş olan bazılarıntermoelemanların yerleri görülmektedir.

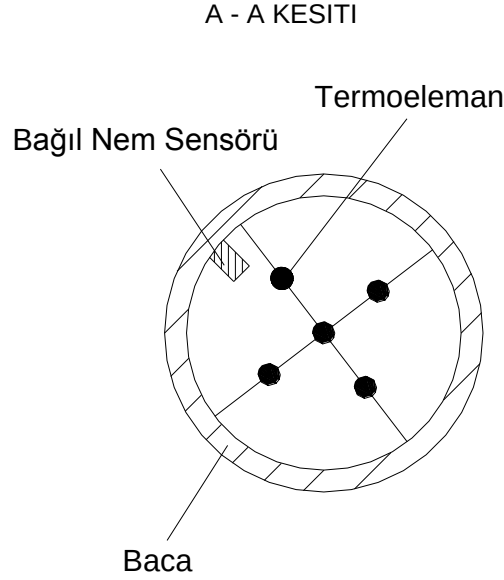


Şekil 3.17 Buharlaştırıcının bazı paslarındaki termoeleman yerleşim yerleri

### 3.2.2.4 Baca içinde hava sıcaklığının ölümü

Baca içerisinde fanın hemen önünden sıcaklık değerleri ölölmüştür. Ölölüm için baca içine bakırtelden şekil 3.18 de göröldüğüği biarti şekilde yapıldıştır. Bu yapı üzerindeki termodemarı ar yerleştirilmiş ve lehi rhenmiştir.

şekil 3.18 deki verilmiş olan şekil, şekil 3.19 daki şekilin A-A kesiti dr.

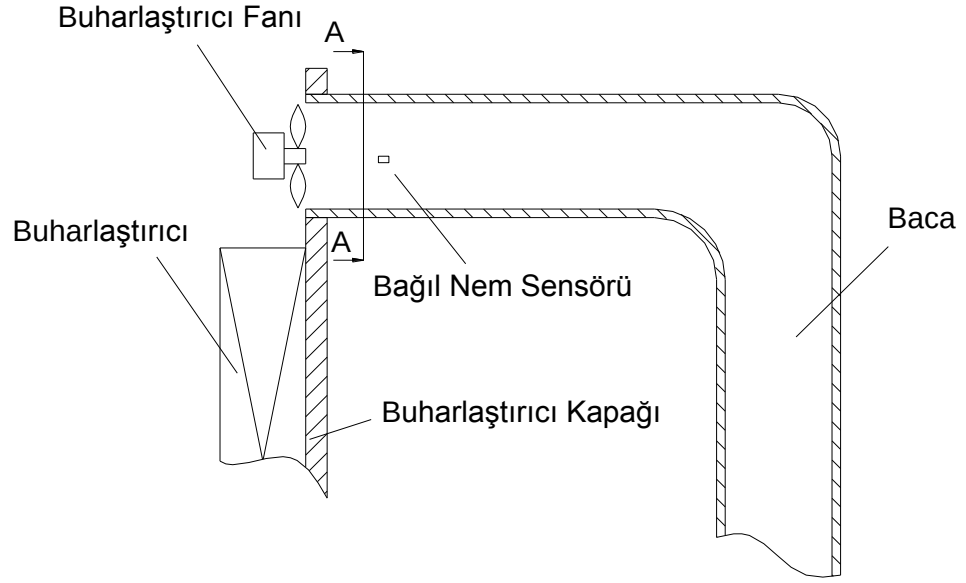


şekil 3.18 Fan çıkışında (baca içinde) hava sıcaklığını ölmek için kull anılan termodemarı arının yerleşim yerleri

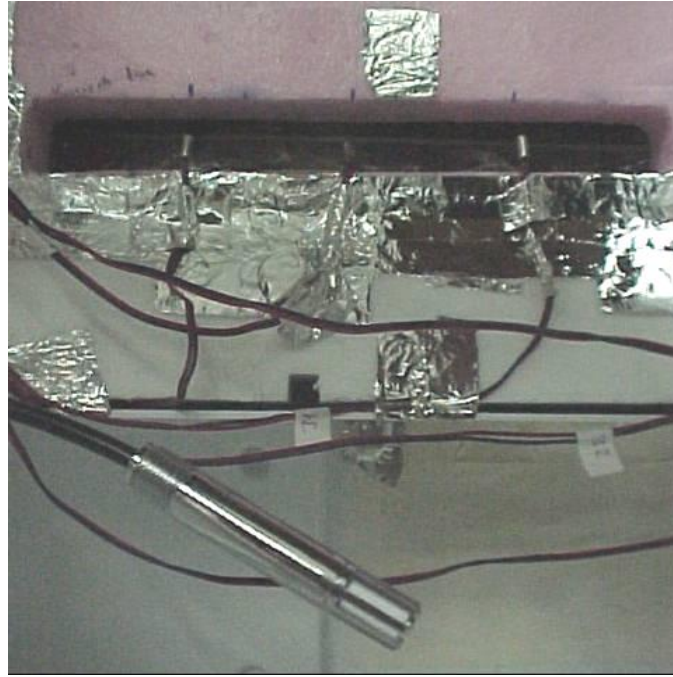
### 3.2.3 Bağıl nemölölmleri

Bağıl nemsensörleri yardımı ile buharlaştırıcı gıriş ve ıkıştarafında hava bağıl nem değerleri ölölmüştür. şekil 3.18 de buharlaştırıcı ıkıştarafında bağıl nemölölmü yapan sensörün yerleşim yeri görölmektedir. Buharlaştırıcı ıkıştarafında tüm havanın fan tarafından toplanması nedeniyle sensör baca içerisine yerleştirilmiştir.

Buzdolabı kabının hava bağıl nem değerini ise, buharlaştırıcı gıriştarafı bağıl nem değerini olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle sensör kabini içinde buharlaştırıcı kapağı üzerindeki hava emiş kanalı arına yakın bir yere yerleştirilmiştir. şekil 3.19 da sensör görölmektedir.



Şekil 3 19 Buharlaştırıcı çıkış tarafında bağıl nemsensörünün yerleşim yeri



Şekil 3 20 Buharlaştırıcı giriş tarafında bağıl nemsensörünün yerleşim yeri

#### 3.2.4 Su kabından buharlaştırılan su miktarının ölçülmesi

Deneyler sırasında kabini içine yerleştirilmiş olan su kabı ile nemlendirme yapıldığı bölüm 3.3.5'te anlatılmıştır. Deneyler sırasında kapların kapalı tutulması neticesinde kaptan buharlaşan su miktarının terazi den okunması güçlüğü doğmuştur. Bu durum terazi göstergesine karşılık gelen buzddaki kapısının yalıtımın bölümünün kesilmesi ile giderilmiştir. Kesilen yerin arkası jelatin ile

kapatılmıştır. Böylece hem hava kaçağı, hem de nem kaçağı önlenmiştir. Kesilip çıkarılan yalıtım bđümü terazi den değ er okunmadı ğı sđr el er de ye ri ne ta kl ınış, sadece değ er l er i n okunaca ğı sđ re de ı karıl mış tır. Bđyl ece havadan ka bi n i ğ i nde do ğ ru sı ka a ğ ı da azaltıl mış tır. Sonuç d ır ak, deney sđ re si nde bu z d d ab ı n ı n ka p ı s ı a ıl m ad an bu har l a ş an su n i kt a r ı te ra zi den okunabil m i ş tır.

#### 4 TEORİK ANALİZ

Isı değıştirdisi uygulama larında öne çikan büyüklüklerden birisi ortam a veril en ya da ortam dan çekil en ısı (  $\dot{Q}$  ) miktarı, değeri ise ısı değıştirdisi nin toplam ısıl geçirgenlik değeri d an UA değeri dır.

Isı değıştirdisi d arak buzdolabı buharlaştırıcısı dkkate alındığında, ortam dan çekil en ısı

$$\dot{Q} = \dot{m}_h \cdot (h_{hi} - h_{ho}) \quad (4.1)$$

şekli nde hesaplanabilmektedir.

Burada,

$\dot{m}_h$  : Buharlaştırıcı üzerinden geçen kütle sel hava debisi (kg/s)

$h_{hi}$  : Havanın buharlaştırıcı girişindeki entalpi si (J/kg)

$h_{ho}$  : Havanın buharlaştırıcı çıkışındaki entalpi si (J/kg)

d arak tanımlanmaktadır.

Buharlaştırıcının toplam ısıl geçirgenliği ise,

$$UA = \frac{\dot{Q}}{\Delta T_{LM}} \quad (4.2)$$

ifadesi ile belirlenebilmektedir.

Bu ifadede,

$\dot{Q}$  : Ortam dan çekil en ısı (W)

$\Delta T_{LM}$  : Ortam a logaritmik sıcaklık fark ını ( $^{\circ}\text{C}$ )

göst er mekt ed r.

Bu değ erl er i n bel ir l en m e s i a m a c ı i l e y a p ı l a n d ü z e r l e m e l e r v e h e s a p a m a l a r ı l e r l e y e n b d ü n h e r d e v e r i l m i ş t i r.

#### 4.1 Buharlaşt ır ı n a ü z e r i n d e n g e ç e n h a v a d e b i s i r i n b e l i r l e n m e s i

Hesaplamalar için gerekli olan buharlaşt ır ı n a ü z e r i n d e n g e ç e n k ü t l e s e l h a v a d e b i s i r i n b e l i r l e n m e s i i ç i n h a c i m s e l h a v a d e b i s i r i n v e h a v a y o ğ u n l u ğ u n u n b e l i r l e n m e s i g e r e k m e k t e d i r.

##### 4.1.1 H a c i m s e l h a v a d e b i s i r i n b e l i r l e n m e s i

Buharlaşt ır ı n a ü z e r i n d e n g e ç e n h a c i m s e l h a v a d e b i s i r i n f a n v e f a n y u v a s ı n ı n k a r a k t e r i s t i k e ğ r i s i n d e n b e l i r l e n e b i l e c e ğ i d ü ş ü n ü l m ü ş t ü r. B u n u n i ç i n f a n v e f a n y u v a s ı A M C A 2 1 0 s t a n d a r d ı n a u y g u n Ő e k i l d e h a z ı r l a n m ı Ő d a n b i r h a v a t ü n e l i n e b a ğ l a n m ı Ő v e k a r a k t e r i s t i k e ğ r i s i y a r ı b a s ı n ç d ü Ő ü Ő ü - h a c i m s e l h a v a d e b i s i i l i Ő k i s i d e d e d i l m i Ő t i r.

Tünel de d e d i l m i Ő Ő n k t d a r t a b l o 4. 1 d e v e r i l m i Ő t i r. T a b l o d a k i R P M i l e g ö Ő t e r i l e n değ er l e r f a n ı n d a k i k a d a k i d ö n m e s a y ı s ı d ır v e b a s ı n ç d ü Ő ü Ő ü a r t t ık a a z a l m a k t a d ır.

Tab l o 4. 1 H a v a t ü n e l i n d e d i ğ ü l e n f a n b a s ı n ç d ü Ő ü Ő ü , h a c i m s e l h a v a d e b i s i v e f a n d ö n m e s a y ı s ı değ er l e r i

| $\Delta P$ ( Pa ) | $\dot{V}$ ( L / s ) | RPM  |
|-------------------|---------------------|------|
| 20. 29            | 0. 55               | 2534 |
| 17. 55            | 5. 21               | 2569 |
| 12. 26            | 9. 88               | 2609 |
| 10. 57            | 11. 5               | 2652 |
| 8. 93             | 11. 99              | 2640 |
| 5. 96             | 13. 2               | 2653 |
| 4. 41             | 13. 93              | 2665 |
| 2. 09             | 15. 01              | 2672 |
| 0. 01             | 16. 09              | 2685 |



Tablo 4.2 de i se tablo 4.1 deki değerlerin sabit bir RPM değerine ekil diği durum veril miştir. Bu i ř emfan kanunları ile yapılmaktadır. Byl ece hem basınç düşüşü, hem de geçen debi aynı dönme sayısı i n el de edilebil mektedir.

Fan kanunları;

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilebil mektedir. Burada,

$\Delta P$  : Basınç düşüşünü

$\dot{V}$  : Haddisel hava debisi ni

$n$  : Fan dönme sayısı ni

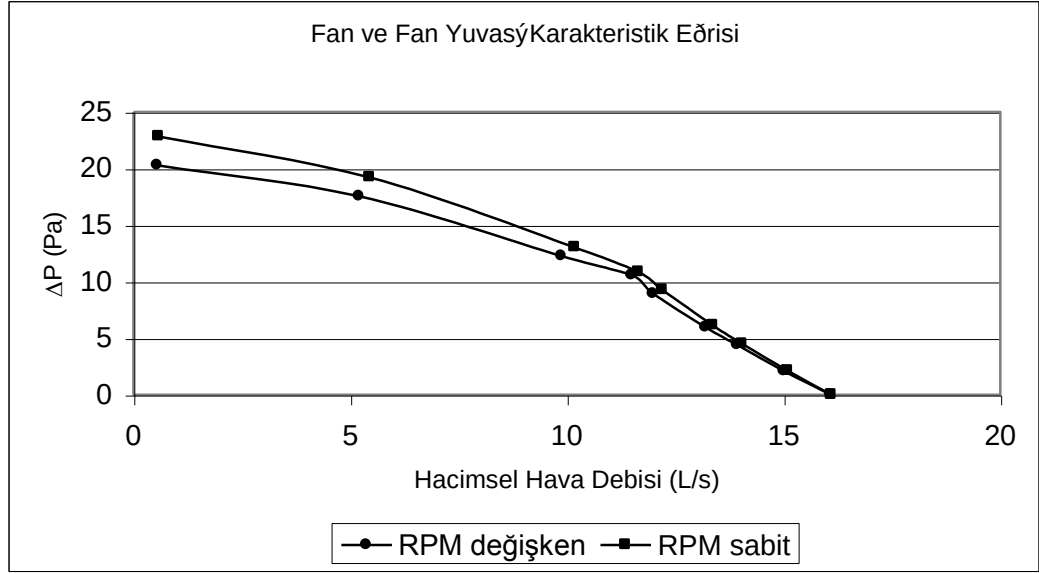
göster mektedir. 1 ve 2 ile birini ve ikini durumları ifade edilmektedir.

Fan kanunları yardımı ile RPM sayısı 2685 değerine ekil miştir.

Tablo 4.2 Tünel de len fan basınç düşüşü, haddisel hava debisi ve fan dönme sayısı değerlerini n sabit dönme sayısı değerine evril miş halleri

| $\Delta P$ (Pa) | $\dot{V}$ (L/s) | RPM  |
|-----------------|-----------------|------|
| 22.83           | 0.59            | 2685 |
| 19.21           | 5.45            | 2685 |
| 13.01           | 10.18           | 2685 |
| 10.86           | 11.65           | 2685 |
| 9.26            | 12.21           | 2685 |
| 6.12            | 13.38           | 2685 |
| 4.49            | 14.05           | 2685 |
| 2.12            | 15.10           | 2685 |
| 0.01            | 16.09           | 2685 |

Şekil 4.1’de hem sabit, hem de t ü n d e d i ç ü l m ü ş h a l d e k i R P M d e ğ e r l e r i n d e k i f a n v e f a n y u v a s ı k a r a k t e r i s t i k e ğ r i s i v e r i l m i ş t i r .



Şekil 4.1 Fan ve fan yuvası n ı n k a r a k t e r i s t i k e ğ r i s i

Karlanma ile fan önündeki d i r e n ç t e a r t ı ş d m a k t a v e f a n ı n d a k i k a d a k i d ö n m e s a y ı s ı n d a a z a l m a d m a k t a d ı r . B u n e d e r l e , ş e k i l 4.1 d e k i d e ğ i ş k e n R P M y a r ı a z a l a n R P M d e ğ e r l e r i i ç i n b e i r l e n n i ş d a n e ğ r i d k k a t e a l ı n m ı ş t ı r . B u e ğ r i y e f o n k s i y o n u y d u r u l m u ş v e h a c i m s e l h a v a d e b i s i f a n b a s ı n ç d ü ş ü ş ü n ü n f o n k s i y o n u ş e k i n d e b e i r l e n n i ş t i r . E d e e d i l m i ş f o n k s i y o n

$$\dot{V} = 16.1482 + (-0.6603 \Delta P) + (0.0441 (\Delta P^2)) + (-2.4260 \cdot (10^{-3}) \cdot (\Delta P^3)) \quad (4.4)$$

ş e k i n d e d i r .

Şekil 4.1’de verilmiş dan bu karakteristik eğri, laboratuvar ortam sıcaklığı dan 22° C de belirlenmiştir. Ancak bu eğri, buzdd abı ç d ı ş m a s ı s ı r a s ı n d a b a s ı n ç p r i z l e r i ü z e r i n d e n g e ç e n h a v a s ı c a k l ı ğ ı n ı n 22° C d e n d a h a d ü ş ü k d m a s ı n e d e r i i l e h a t a l ı s o n u ç v e r e b i l m e k t e d i r . B u n e d e r l e b u z d d a b ı n d a n d i ç ü l l e n f a n b a s ı n ç d ü ş ü ş ü d e ğ e r l e r i M a m e d (1997)’de bahsedilmiş dan,

$$\frac{\Delta P_{X^{\circ}C}}{\rho_{X^{\circ}C}} = \frac{\Delta P_{22^{\circ}C}}{\rho_{22^{\circ}C}} \quad (4.5)$$

hava yoğunluğu düzeltilmesi yapılarak, 22°C sıcaklıktaki basınç düşüşüne çevrilmiştir. Daha sonra (4.4)'teki denklemden o anda geçen hava debisi belirlenebilir.

#### 4.1.2 Kütle sel hava debisi nin belirlenmesi

Buharlaştırıcı üzerinden geçen kütle sel hava debisi,

$$\dot{m}_h = \dot{V} \cdot \rho_h \quad (4.6)$$

denklemin den hesaplanabilir.

Bu ifadede,

$\dot{V}$  : Hacı msel hava debisi ri (L/s)

$\rho_h$  : Havan ın yoğunlu ğunu (kg/ m<sup>3</sup>)

göst er mekt edir.

Buharlaştırıcı üzerinden geçen kütle sel hava debisi ri n belirlenmesi i ği n, fan basınç düşüşünün belirlendi ğ nokt a lar üzerinde geçen havanın yoğunlu ğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu nokt a lar da ölçülen sıcaklıklar ın ortalaması alınmış ve bu bđ ümden geçen havanın bu ortalam a sıcaklık ta d du ğu kabul edilmiştir. Fan basınç düşüşünün belirlendi ği yerl er den ölçülen sıcaklıklar şekil 3.16 ile şekil 3.18 de görülmektedir.

$T_{fi}$  buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı nı,  $T_{fo}$ 'da fan üfle me bđ gesi nde ölçülen sıcaklıklar ın ortalaması nı göstermek üzere, fan basınç düşüşünün belirlendi ğ nokt a lar ın üzerinden geçen havanın ortalam a sıcaklığı,

$$T_{fort} = \frac{T_{fi} + T_{fo}}{2} \quad (4.7)$$

ifadesi ile belirlenmektedir. Bu sıcaklığa karşılık gel en hava yoğunlu ğu ise Şeker (1999)'da verilmiş dan hava yoğunlu ğu

$$\rho_h = \frac{348.357}{273.15 + T_{fort}} \quad (4.8)$$

ifadesi nden belirlenmiştir.

Bu ifadedeki sıcaklık değerleri °C biriminde, hava yoğunluğu ise kg/m<sup>3</sup> birimindedir.

Sonuç olarak (4.4) ifadesi nden bulunan hacimsel hava debisi ile (4.8) ifadesi nden bulunan hava yoğunluğunun çarpımı ile buharlaştırıcı üzeri nden geçen kütle sel hava debisi değeri belirlenebilmektedir.

#### **4.2 Havanın buharlaştırıcı giriş ve çıkışındaki entalpisi nin belirlenmesi**

Buharlaştırıcı üzeri nden geçen nemli havanın entalpisi,

$$h = c_p \cdot T + w \cdot (2501 + 1.805 \cdot T) \quad (4.9)$$

denklemin den hesaplanabilmektedir.

Bu ifadede;

$c_p$  : Havanın özgül ısısını (kJ/kg.K)

$w$  : Havanın özgül nemini (kg/kg)

$T$  : Hava sıcaklığını (°C)

göstermektedir. Havanın termodinamik özellikleri Ek. E’de görülmektedir.

4.9 denklemin hem giriş hem de çıkış entalpisi nin belirlenmesi için kullanılabilir, ancak hem giriş hem de çıkış bđğde leri nde sıcaklık ve özgül nem değeri neri n belirlenmesi gerekmektedir.

##### **4.2.1 Buharlaştırıcı giriş tarafında sıcaklığın ve özgül nem in belirlenmesi**

Buharlaştırıcı giriş tarafındaki hava sıcaklığı şekil 3.13’te verilmiş dan termodem anlar ile dđçülmektedir. Öçü len hava sıcaklık değeri yardımı ile giriş havası kısı nın bası ncı ve özgül nem i ASHRAE (1996)’da verilen psikrometrik bağı ntılar yardımı ile hesaplanabilmektedir.

$T_{hgr}$  buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı dı mak üzere, bu sıcaklığa karşı gel en hava içi ndeki su buharı nı n doyma bası ncı,

$$P_{ws} = 1000. e^{\alpha} \quad (4.10)$$

İfadesi nden belirlenebilmektedir. Buradaki  $\alpha$  ifadesi sıcaklığın fonksiyondur ve

$$\alpha = A T^2 + B T + C + D^1 \quad (4.11)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. 4.11 ifadesi ndeki katsayılar Ek F de verilmiştir.

Hava içi ndeki su buharının kısmi basıncı ise

$$P_w = \phi P_{ws} \quad (4.12)$$

ifadesi nden hesaplanmaktadır. Burada  $\phi$  şekil 3.20 de gösterilmiş olan bağıl nem sensörü ile ölçülen hava giriş bağıl nem değeridir.

Sonuçta giriş havası özgül nem değeri,

$$w_{hi} = 0.62198 \cdot \left( \frac{P_w}{P - P_w} \right) \quad (4.13)$$

ifadesi nden hesaplanmaktadır. Buradaki P ifadesi ise 101325 Pa'dır.

#### 4.2.2 Buharlaştırıcı giriş tarafında hava entalpisi nin belirlenmesi

Buharlaştırıcı giriş özgül nem değeri (4.13) ifadesi ile belirlenmektedir. Entalpi değeri ise (4.9) ifadesi nden hesaplanmaktadır. (4.9) ifadesi ndeki sıcaklıkları neri için şekil 3.13 te görülen dı tır model emanın ölçtüğü sıcaklıkların ortalaması kullanılmaktadır.

#### 4.2.3 Buharlaştırıcı çıkış tarafında sıcaklığın ve özgül nem in belirlenmesi

Bahsedilmiş olduğu gibi buharlaştırıcı çıkış tarafındaki bağıl nem değerini ölçecek olan sensör, baca bölümünde buharlaştırıcı fanının önüne yerleştirilmiştir. Bu düzenleme ile fan önündeki hava akışında bir bozulma oluşmaktadır. Ancak bu durumun basınç düşüşü değerlerini değiştirmediği görülmüştür. Burada buharlaştırıcı çıkış bölümü ile sensörün bulunduğu nokta arasında nem kaçığı ihmal edilmiştir. ASHRAE (1996)'da verilmiş olan formüllerinin kullanılması için bağıl nem sensörün ölçüm yaptığı yerden hava sıcaklığı da ölçülmüştür. Şekil 3.18 de hem bağıl nem sensörü, hem de tır model emanlar görülmektedir.

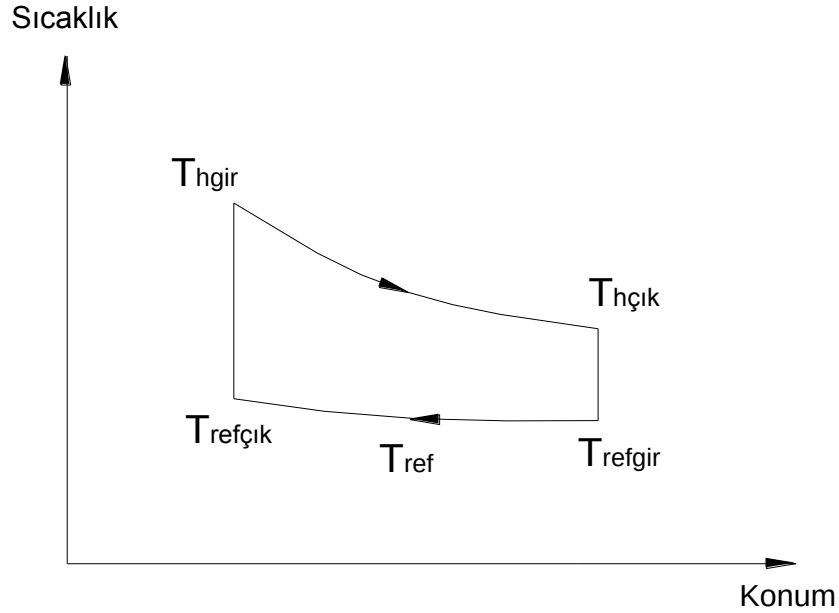
Sonuç olarak, buharlaştırıcı çıkışındaki özgül nem değeri, tıpkı girişindeki gibi (4.10), (4.11), (4.12) ve (4.13) ifadeleri yardımı ile hesaplanmaktadır.

#### 4.2.4 Buharlaştırıcı çıkış tarafında hava entalpisi belirlenmesi

Buharlaştırıcı çıkış entalpisi için kullanılan (4.9) ifadesi için gerekli olan buharlaştırıcı çıkışında özgül nem baca içinden belirlenmekte, hava sıcaklığı ise fan altına yerleştirilmiş d'antermometreler yardımı ile ölçülmektedir.

#### 4.3 Ortalama logaritmik sıcaklık farkının belirlenmesi

Buharlaştırıcının toplam ısı geçirgenlik değerinin hesaplanması için, ortalama logaritmik sıcaklık farkının belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmada konu edilen buharlaştırıcının soğutkan tarafı ve hava tarafı sıcaklık değişimleri Şekil 4.2 de verilmiştir. Hava tarafındaki sıcaklık değişimine karşın soğutkan tarafındaki değişim küçüktür, hatta bazı durumlarda soğutkan tarafındaki sıcaklık sabit kalmaktadır.



Şekil 4.2 Buharlaştırıcıdaki hem soğutkan, hem de hava tarafındaki sıcaklık değişimleri

Bu bağlamda, ortalama logaritmik sıcaklık farkı için,

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (4.14)$$

ifadesi kullanılabilir.

Burada,

$$\Delta T_1 = T_{hçık} - T_{refır} \quad (4.15)$$

$$\Delta T_2 = T_{hgır} - T_{efçık} \quad (4.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Yukarıdaki ifadede;

$T_{hçık}$  : Buharlaştırıcı hava çıkış sıcaklığı (°C)

$T_{hgır}$  : Buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı (°C)

$T_{refır}$  : Buharlaştırıcı soğutkan giriş sıcaklığı (°C)

$T_{efçık}$  : Buharlaştırıcı soğutkan çıkış sıcaklığı (°C)

belirtilmektedir.

Buharlaştırıcı soğutkan giriş ve çıkış sıcaklıkları soğutkan boruları üzerine yerleştirilmiş dantel modemler ile ölçüldüğü bölüm 3.2.2.3'te belirtilmiştir.

Gerek buharlaştırıcı malzemesinin yüksek ısı iletkenliğe sahip olan alüminyum malzemedeni mal edilmiş olması, gerek boru et kalınlıklarının çok küçük olması ve gerekse borular üzerine yerleştirilen termodemlerin üzerlerine hava ile teması kesecek şekilde yalıtım uygulanması sonucunda termodemlerden ölçülen sıcaklıklar, soğutkan sıcaklıkları olarak kabul edilmiştir.

## 5 DENEYLER VE DENEY SONUÇLARI

Bölüm 3'te açıklanan deney testi sırasında farklı buharlaştırıcı hava giriş sıcaklıklarında ve farklı karlanma noktalarında deneyler yapılmıştır.

### 5.1 Deney hazırlıkları ve deneylerin yapılışı

Parametrik deneylere başlamadan önce ön deneyler yapılmıştır. Ön deneylerde hava kaçakları üzerinde durulmuştur.

Ön deney hazırlıklarında öncelikle buharlaştırıcı kapağı, buharlaştırıcı önüne konmuş ve kabin yalıtım bantları ile etturulmuştur. Baca da fan önüne yerleştirilmiş ve yine yalıtım bantları yardımıyla buharlaştırıcı kapağına tutturulmuştur. Buharlaştırıcı kapağının üzerinde bulunan emme ağızları kapatılmış ve bacanın alt bölümünden içeriye duman basılmıştır. Bu sayede hem buharlaştırıcı kapağı ile buzdolabı kabini arasında, hem de baca ile buharlaştırıcı kapağı arasında hava kaçaklarının düpedirliği belirlenmiştir. Ancak yapılan bu incelemede bantlanan tüm bölümlerden hava kaçakları olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle buharlaştırıcı kapağının kabin soğuk silikon yardımı ile yapıştırılmasına karar verilmiştir. Bu sayede buharlaştırıcı kapağı ile kabin arasında olan hava kaçağı önlenmiş olacaktır. Ancak bu durumda, buharlaştırıcıya ve defrost tavasına müdahale şansı kalmamaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla ise buharlaştırıcı boyutlarına denk olacak şekilde, buharlaştırıcı kapağından parça kesilmiştir. Kesilen parça dışında kalan diğer bölüm kabin soğuk silikon ile etturulmuştur. Böylece deney başlangıcında sadece bu parça buharlaştırıcı önüne kapatılmakta ve yalıtım bantı ile buharlaştırıcı kapağının geri kalan bölümüne bantlanmaktadır. Aynı şekilde baca da fan önüne soğuk silikon ile etturulmuştur.

Sonuç olarak, hem buharlaştırıcı kapağının kenarlarından, hem de baca ile buharlaştırıcı kapağı arasındaki bölümden olan hava kaçakları önlenmiştir. Kapaktan kesilen parça yardımıyla da gerek deney başında, gerekse deney sonunda buharlaştırıcıya müdahale edilebilme şansı sağanmıştır. Sonuçta, fan yardımı ile kabin den çekilen havanın, sadece emme ağızlarından buharlaştırıcıya gelmesi ve buharlaştırıcı üzerinden geçen havanın baca üzerinden buzdolabının alt bölümlerine gönderilmesi sağanmıştır.



Deney sisteminde yapılan bu hazırlıklar sonrasında karlanma deneylerine geçilmiştir. Deneylerden önce buzdolabı kapıları belirli süre açık bırakılmıştır. Böylece dış ortam ile buzdolabı kabini havasının sıcaklığının ve neminin dengelenmesi sağanmıştır.

Deneylere başlamadan önce yukarıda bahsedilen buharlaştırıcı kapağından kesilen parça yerine takılmakta ve bantlanmaktadır. Ardından buharlaştırıcı hava giriş sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan termometreler, buharlaştırıcı kapağı üzerinde bulunan hava emme ağızlarına yerleştirilmektedir.

Buharlaştırıcı kapağı ile ilgili yapılan bu hazırlıklardan sonra terazi ile ilgili hazırlıklara geçilmektedir. Terazide bulunan su kabına su seviyesini belirten bir çizgi çizilmiştir. Su seviyesinde azalma görüldüğünde kaba su ilave edilmiştir. Böylece su kabında devamlı şekilde aynı seviyede su bulunması sağanmıştır. Böylece su içinde bulunan ısıtıcının aynı miktarda su ile temasta bulunması sağanmıştır. Bu sayede, aynı koşullarda yapılan deneylerde aynı miktarda su buharlaştırılabilecektir. Su seviyesi kontrol edildikten sonra, terazi çalıştırılarak buzdolabının kapıları kapatılmaktadır. Bu ayarlamalardan sonra o deney için belirlenmiş olan hava ısıtıcısı ve su ısıtıcısı gerilim değerleri varyatör üzerinden ayarlanmaktadır. Ayrıca ısıtıcılara aç-kapa şeklinde kumanda eden kontrol devrelerinin sıcaklık değerleri de girilmektedir.

Tüm kontroller ve ayarlamalar sonunda, veri toplayıcı çalıştırılmakta ve başlangıç koşulları birkaç dakika kaydedilmektedir. Ardından fan besleyen fiş ve kompresör ü besleyen fiş aynı anda prizetakiılmaktadır ve mikromanometreler çalıştırılmaktadır.

## 5.2 Deney grupları ve sıcaklık ayarları

No-Frost tipindeki bir buzdolabı buharlaştırıcısında oluşan karlanmanın etkilerini incelemek amacıyla iletilen Tablo 5.1'de belirtilen koşullara ait deneyler yapılmıştır. Deney sisteminin güvenilirliği belirlenmek ve deneylerin tekrarlanabilirliği görmek amacıyla her deney üçer kez tekrarlanmıştır.

Tablo 5.1'den görüldüğü üzere, iki farklı buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı ve farklı buharlaştırılmış su miktarlarında deneyler yapılmıştır. Tabloda verilmiş olan buharlaştırılan su miktarı değerleri deney sonunda terazi denölçülen değerlerdir ve tekrarlanabilirliği için yapılmış olan üç deneyin ortalamasıdır.

Tablo 5.1 Deney grupları

| Deney Grubu | Buharlaştırıcı Hava Giriş Sıcaklığı (°C) | Buharlaştırılan Su Miktarı (g) |       |       |       |       |
|-------------|------------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1           | +5                                       | 0                              | 205.2 | 265.7 | 368.4 | 476.5 |
| 2           | -6                                       | 0                              | 200   |       | 294.1 |       |

Tabloda 0 gram (kuru deney) buharlaştırılmış su miktarı ile belirtilen deneyler, buzdolabı içindeki su kabının çıkarılması ile yapılmıştır. Her iki deney grubu için de bu deneyler tekrarlanmıştır. 8 saat süren deneyler sonucunda buharlaştırıcı üzeri incelendi ve karlanmadığı görülmüştür. Böylece dış ortamdan kabini içine ortamdan nem kaçağı olmadığı bildirilmiştir.

Kuru halde yapılmış olan bu deneyler, buharlaştırıcının kuru haldeki performansının belirlenmesinde kullanılmıştır. Böylece bu deneyde elde edilen basınç düşüşü, hava debisi ve UA değerleri buharlaştırıcı için ana değerlerdir.

#### 5.2.1 +5°C buharlaştırıcı hava giriş sıcaklık deneyleri

Bu deney grubunda kabin sıcaklığı ve dolayısıyla buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı +5°C tutulmaya çalışılmıştır. Bu maksatla hava ısıtısına kumanda eden kontrol devresi +5°Cye, diferansiyeli ise  $\pm 1^\circ\text{C}$ ye ayarlanmıştır. Dolayısıyla iç sıcaklık +6°Cye geldiğinde ısıtıcı durmakta, +4°Cye indiğinde ise çalışmaktadır.

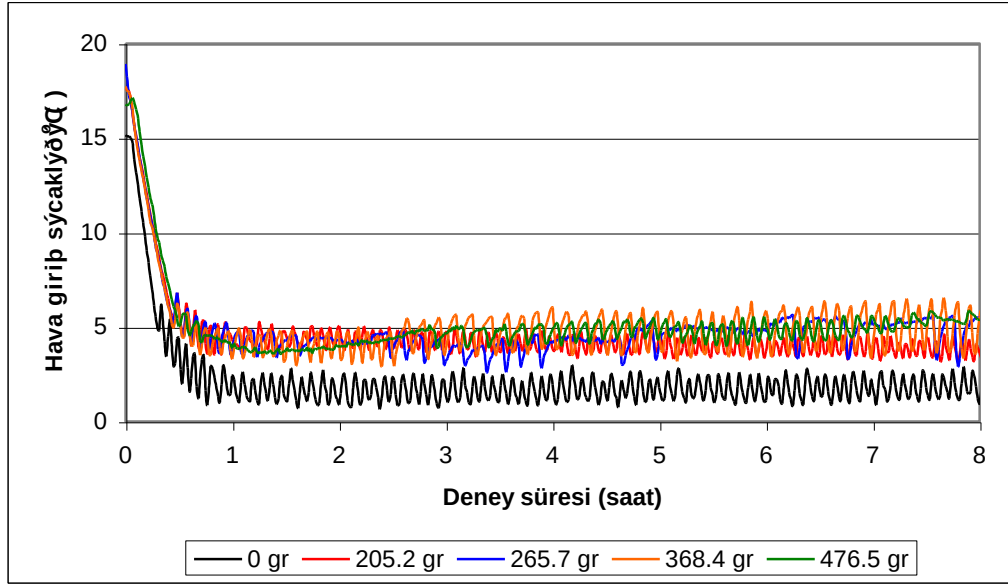
Diyer yandan su ısıtısına kumanda eden kontrol devresi de tablo 5.2 de belirtilen sıcaklık değerlerinde ayarlanmıştır. Kontrol devresinin diferansiyel değeri yine  $\pm 1^\circ\text{C}$  olarak ayarlanmıştır.

Tablo 5.2 Su buharlaştırma miktarına göre kontrol devresinin ayar sıcaklıkları

| Kontrol Devresi Ayar Sıcaklığı (°C) | İstenen Buharlaşma Miktarı (g) |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| +5                                  | 205.2                          |
| +5                                  | 265.7                          |
| +10                                 | 368.4                          |
| +15                                 | 476.5                          |

Tablo 5.2 de aynı ayar sıcaklığına karşın 205.2 ve 265.7 gr şeklinde iki farklı su buharlaşma miktarı elde edilmiştir. 205.2 gr'lık deney grubunda, su içinde bulunan ısıtıcı karılmış ve tıpkı hava ısıtıcısı gibi su kabının üzerine yerleştirilmiştir. Dolayısıyla su ısıtıcısı doğrudan suyu ısıtmakta, hava ısıtıcısı gibi havayı ısıtmaktadır. Böylece su belirli süre sonra donmakta ve buharlaşan su miktarındaki farkı düşürmektedir.

Şekil 5.1'de 1. deney grubuna ait deneylerdeki buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığının deney süresi boyunca değişimi verilmiştir.



Şekil 5.1 1. deney grubuna ait buharlaştırıcı hava giriş sıcaklıklarında deney süresi boyunca değişimi

Şekil den görüldüğü üzere, kuru deneyde istenen +5°C hava giriş sıcaklığı tam olarak sağlanamamaktadır. Ancak diğer buharlaşan su miktarları için istenen sıcaklık belirli bir sınırla tutturulmuştur. Eğrilerdeki sınırlama hava ısıtıcısının devreye girip çıkmasından meydana gelmektedir.

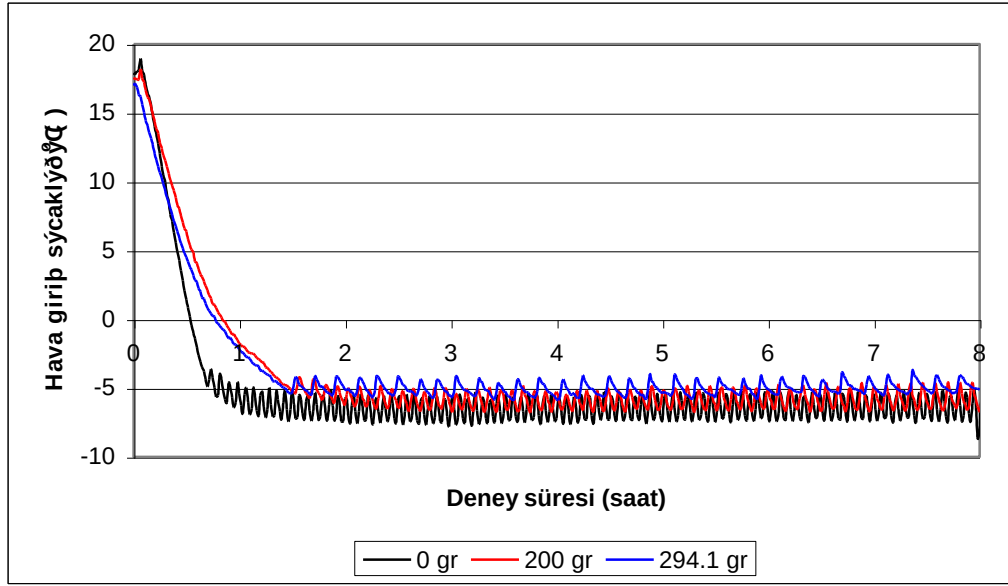
## 5.2.2 -6°C buharlaştırıcı hava giriş sıcaklık deneyleri

Bu deney grubunda ise kabın sıcaklığı ve dolayısıyla buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı -6°C'de tutulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla hava ısıtıcısına kumanda eden kontrol elemanı -6°C'ye, diferansiyeli ise  $\pm 1^\circ\text{C}$ 'ye ayarlanmıştır. Su ısıtıcısına kumanda eden kontrol elemanı ise tablo 5.3'te belirtilen sıcaklıklara göre ayarlanmıştır.

Tablo 5.3 Su buharlaştırma miktarına göre sensör ayar sıcaklıkları

| Kontrol Elemanı Ayar Sıcaklığı (°C) | İstenen Buharlaşma Miktarı (gr) |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| +5                                  | 200                             |
| +10                                 | 294.1                           |

Şekil 5.2 de ise 2. deney grubuna ait buharlaştırıcı hava giriş sıcaklıklarının deney boyunca değişimi verilmiştir.



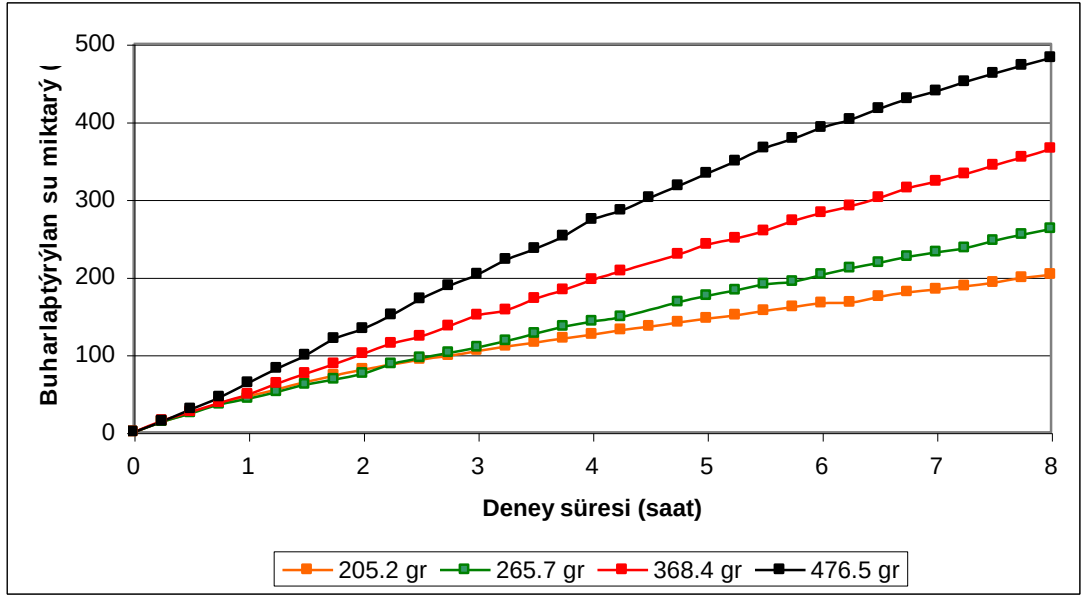
Şekil 5.2 2. deney grubuna ait buharlaştırıcı hava giriş sıcaklıklarında deney süresi boyunca değişimi

### 5.3 Buharlaştırıcı karlanma deneyleri

Tablo 5.1’de verilmiş olan deney grupları parametrik olarak incelenmiş ve karlanmanın buharlaştırıcı performansı ve basınç düşüşü üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

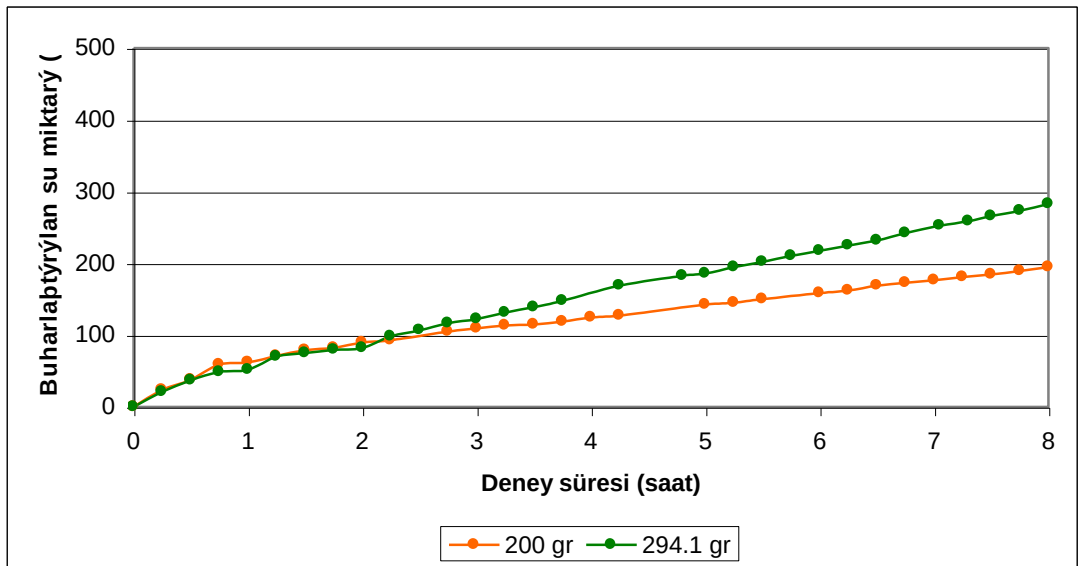
#### 5.3.1 Buharlaştırılan su miktarlarının zamanla değişimi

Deney süresi boyunca 15’er dakika ara ile terazi den buharlaşan su miktarları ölçülmüştür. Şekil 5.3’te 1. deney grubuna ait, şekil 5.4’te ise 2. deney grubuna ait olan buharlaşan su miktarlarının zamanla değişimi verilmiştir. Ek G’de deneylerin tekrarlanabilirlikleri için yapılmış deneylerden bazıları verilmiştir.



Şekil 5.3 1. deney grubuna ait buharlaştırılan su miktarlarının zamanla değişimi

Gerek şekil 5.3'te, gerekse şekil 5.4'te kuru deney, yani 0 gr buharlaşan su miktarı dikkate alınmamıştır. Görüldüğü üzere, 1. deney grubuna ait buharlaşan su miktarları zamanla yaklaşık lineer olarak artmaktadır. Aynı durum 2. deney grubunda ilk bir saati ihmal edilmesi ile elde edilmektedir. Sonuçta her iki deney grubunda da su buharlaşma miktarının zamanla lineer şekilde arttığı kabul edilmektedir.



Şekil 5.4 2. deney grubuna ait buharlaştırılan su miktarlarının zamanla değişimi

Lineer artış nederi ile, 8. saat sonundaki buharlaşma miktarı yerine, buharlaşan su miktarının geçen zamana oranı şeklinde elde edilebilecek olan "su buharlaşma hızı" tanımlanmıştır. Böylece 1. deney grubu için 8. saatin sonunda elde edilmiş olan

205.2 gr, 265.7 gr, 368.4 gr ve 476.5 gr buharlaşma miktarları yerine sırası ile 25.65 gr/saat, 33.21 gr/saat, 46.05 gr/saat ve 59.56 gr/saat değerleri kullanılabilmektedir. 0 gr buharlaşma deneyi için ise 0 gr/saat buharlaşma hızı tanımlı kullanılabilir. Aynı şekilde 2. deney grubu için de 200 gr ve 294.1 gr buharlaşma miktarları yerine 25 gr/saat ve 36.76 gr/saat su buharlaşma hızları kullanılmıştır.

Önceki bölümde belirtildiği üzere, her iki deney grubu için de dış ortamdan, kabın içine nem geçiş olmadığı 0 gr buharlaşma deneylerinde, yarı kuru deneylerde belirlenmiştir. Deneyler sonunda buharlaştırıcı üzeri net ağırlığından ısıtıcı ile defrost yapılmaktadır. Defrost sonunda erimiş kar, buharlaştırıcı altında bulunan defrost tavasında toplanmaktadır. Toplanan bu su tartılmakta ve 8. saatin sonunda terazi den buharlaştırılan su miktarı ile karşılaştırılmaktadır. Tablo 5.4'te 1. deney grubuna ait, tablo 5.5'te ise 2. deney grubuna ait su buharlaşma miktarları ile deney sonunda tartılan defrost suyunun miktarları verilmiştir.

Tablo 5.4 1. deney grubuna ait buharlaştırılan su miktarları ile defrost suyunun karşılaştırılması

|                               |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Buharlaşan su miktarları (gr) | 205.2 | 265.7 | 368.4 | 476.5 |
| Defrost suyu (gr)             | 171.6 | 229.2 | 334.4 | 438.5 |

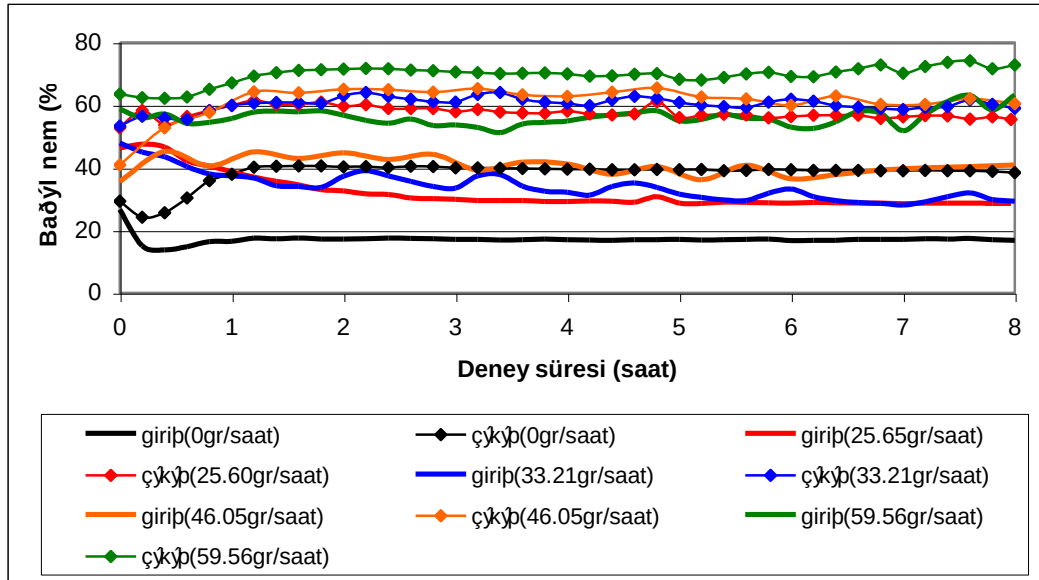
Tablo 5.5 2. deney grubuna ait buharlaştırılan su miktarları ile defrost suyunun karşılaştırılması

|                               |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|
| Buharlaşan su miktarları (gr) | 200   | 294.1 |
| Defrost suyu (gr)             | 163.9 | 254.4 |

Tablo 5.4'te ve 5.5'te verilmiş olan defrost suyu miktarları, tıpkı buharlaşan su miktarları gibi üçer deneyden elde edilmiş olan değerlerin ortalamalarıdır. Defrost işleminin sonuna yaklaşık 5 dakika suyun buharlaştırıcıdan defrost tavasına süzülmesi beklenmiş, daha sonra biriktirilmiş olan bu su tartılmıştır. Tablolarından görüldüğü üzere, buharlaştırılan su miktarları ile defrost suyu miktarları %80 ile %90 yakındır. Aradaki %10 ila %20'lik fark buharlaştırıcı üzerinde kalan suyun miktarından kaynaklanmaktadır. Sonuçta su kabından buharlaştırılan tüm su miktarının buharlaştırıcı üzeri net ağırlığı belirlenmiştir. Bu bilgiye ek olarak conta bölümünden kabın içine doğru nem kaçığının önlenmesi sonucunda, buharlaşma eğiliminden buharlaştırıcı üzerindeki kar miktarının tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

### 5.3.2 Giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi

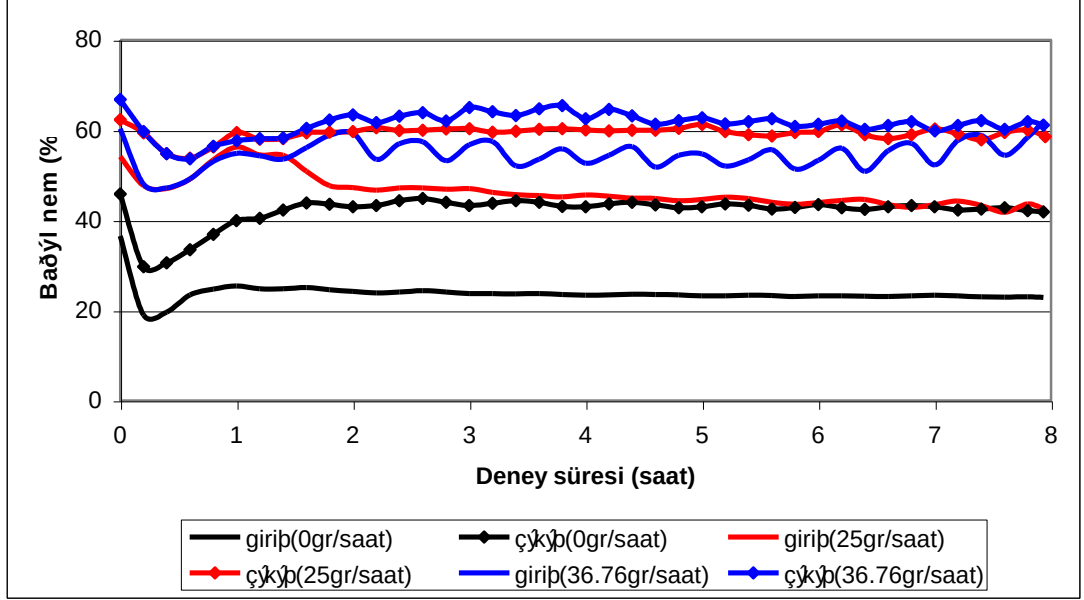
Karlanmayı etkileyen en önemli parametre hava içindeki nem değeridir. Şekil 5.5'te 1. deney grubuna ait dan giriş ve çıkış bağıl nem değerleri görülmektedir. Şekil 5.5'te düz çizgiler buharlaştırıcı giriş bağıl nem değerini, noktalı çizgiler ise buharlaştırıcı çıkış bağıl nem değerini göstermektedir ve eğriler çeşitli su buharlaşma hızları için verilmiştir. Eğrilerin çoğu birinci saatte dengeye gelmiştir. İlk bir saat içinde buharın soğutulması için geçen süre olduğu için ihmal edilebilir. Geri kalan sürelerde ise bazı eğrilerde (örnek olarak giriş 33.21 gr/saat) salınımlar görülmektedir. Bunların nereden de kabin içinde bulunan hava ısıtıcısının devreye girip çıkmasıdır. Bu nedenle eğrilerde salınımlar daşmaktadır. Salınımlar şekil 5.1'de ve 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.5 1. deney grubuna ait farklı buharlaşma hızlarında, buharlaştırıcı giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi

Beklendiği gibi, 0 gr/saat su buharlaşma hızında, yani kuru deneyde hem giriş, hem de çıkış bağıl nem değerleri en düşük seviyelerde kalmıştır. Bu düşük bağıl nem değerleri sonucunda da buharlaştırıcı üzerinde bir kar tabakası oluşmamıştır. Ancak şekil 5.5'te görüldüğü gibi artan su buharlaşma hızı ile elde edilen giriş ve çıkış bağıl nem değerleri artmaktadır. Bu artan bağıl nem değerleri de buharlaştırıcı üzerinde oluşan karlanmayı artırmaktadır. Tüm durumlarda çıkış bağıl nem değeri, giriş bağıl nem değerinden yüksektir. Çıkış bölgesinin girişe orana daha soğuk olması bu durumun nedenlerinden biridir. Şekil 5.6'da ise 2. deney grubuna ait dan giriş ve çıkış bağıl nem değerleri verilmiştir.

Şekil 5.6 da görüldüğü üzere, yine kuru deneyde en düşük bağıl nem değerleri elde edildiği, artan su buharlaşma hızlarında ise bağıl nem değerlerinde artış gözlenmiştir. Artan bu bağıl nem değerleri ile de karlanma noktalarında artış olmuştur.



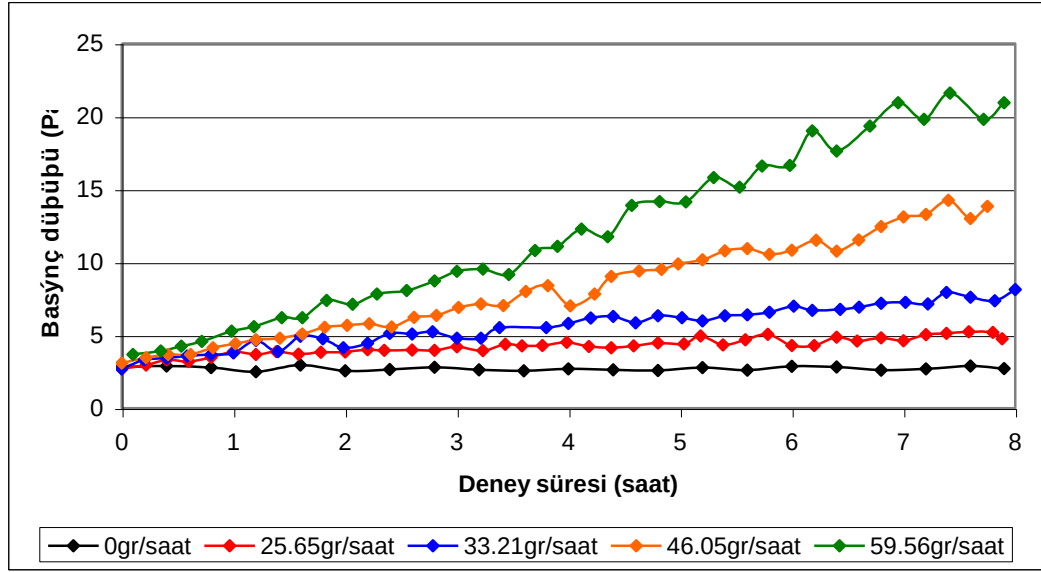
Şekil 5.6 2. deney grubuna ait farklı buharlaşma hızlarında, buharlaştırıcı giriş ve çıkış bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi

### 5.3.3 Buharlaştırıcı hava tarafı basınç düşüşünün zamanla değişimi

Karlanmanın buharlaştırıcı üzerindeki en önemli etkilerinden birisi hava tarafında basınç düşüşünü artırmasıdır. Buzdolabının çalışması sırasında kabinlerden gelen nemli havanın karlanmaya neden olması ile buharlaştırıcı kanatlar ile borular arasındaki açıklıkları kapanmasıyla hava akışı karşısındaki direnç artar ve dolayısıyla basınç düşüşü artar.

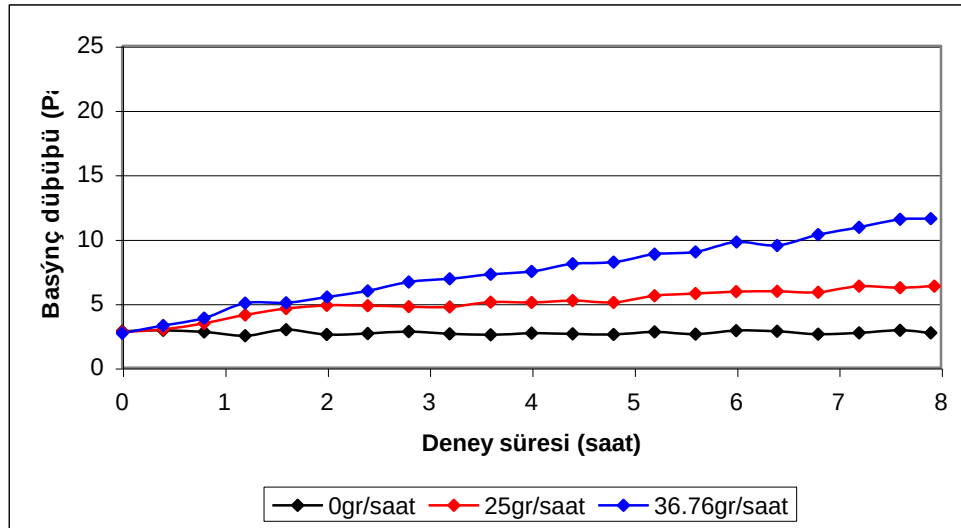
Şekil 5.7 de 1. deney grubuna ait olan buharlaştırıcı basınç düşüşünün çeşitli su buharlaştırma hızlarındaki değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, kuru deney için, yani 0 gr/saat su buharlaşma hızı için, buharlaştırıcı üzerinde karlanmadığı için basınç düşüşü deney boyunca sabit bir değerde kalmaktadır. Ancak diğer bütün buharlaşma hızlarında, oluşan karlanma ile birlikte buharlaştırıcı basınç düşüşü değerlerinde artış kaydedilmiştir.





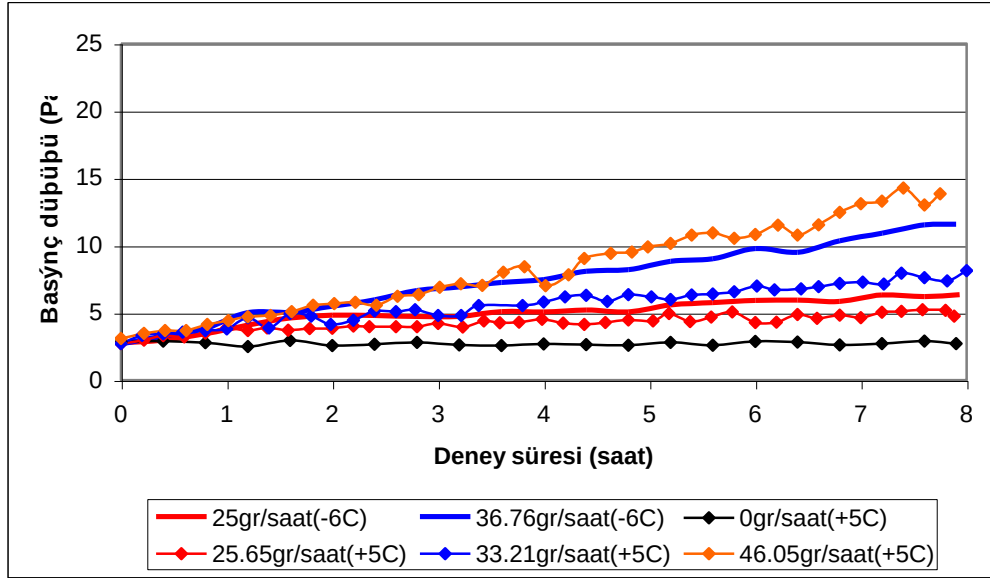
Şekil 5.7 1. deney grubuna ait farklı su buharlaşma hızlarında buharlaştırıcı hava tarafı basıncı düşüşünün zamanla değişimi

Şekil 5.8 de ise 2. deney grubuna ait basıncı düşüşü değerleri görülmektedir. Tıpkı şekil 5.7 de olduğu gibi yine kuru deneyde basıncı düşüşü sabit kalmaktadır. Ancak karlanma ile birlikte basıncı düşüşü değerleri de artışı da göstermektedir.



Şekil 5.8 2. deney grubuna ait farklı su buharlaşma hızlarında buharlaştırıcı hava tarafı basıncı düşüşünün zamanla değişimi

Şekil 5.7 ve 5.8 beraberince düşünüldüğünde şekil 5.9 daki ilginç bir noktaya ön plana çıkmaktadır.

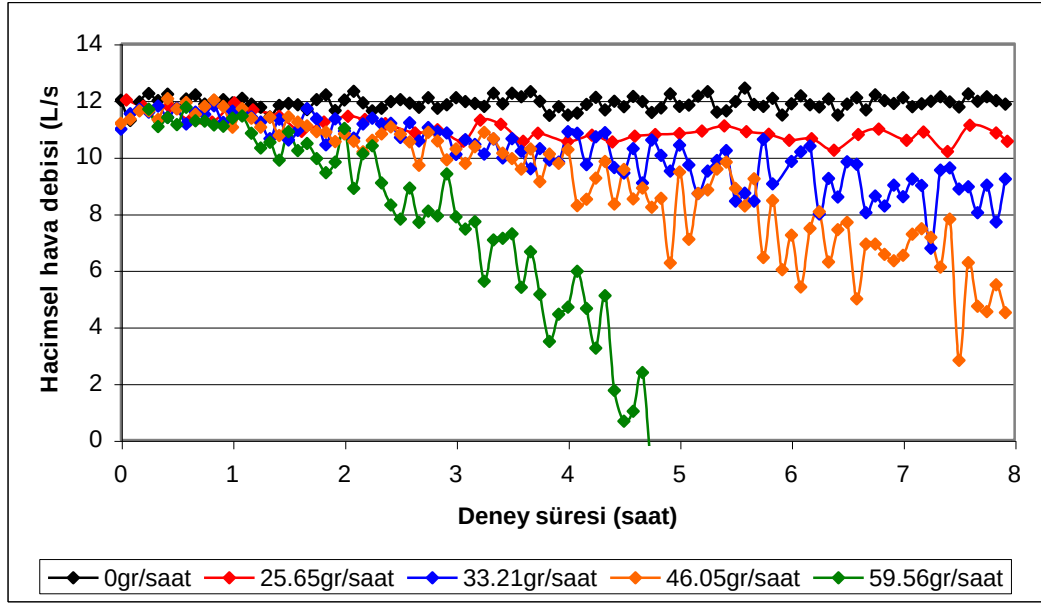


Şekil 5.9 1. ve 2. deney grubuna ait buharlaştırıcı hava giriş sıcaklık değeri karşılaştırılması

Şekil 5.9 da buharlaşma hızlarının yanı sıra buharlaştırıcı hava giriş sıcaklık değeri yazılmıştır, böylece hangi deney grubuna ait olduğunu belirlemek mümkündür. Şekil de görüldüğü üzere, yaklaşık aynı buharlaşma hızına sahip deneylerde (25 gr/saat ve 25.65 gr/saat) 2. deney grubuna ait olan basınç düşüşü değeri daha yüksektir. Aynı durum 46.05 gr/saat ve 36.76 gr/saat deneylerinde de görülmektedir. 46.05 gr/saat deneyinde daha çok karılaşmasına karşın, 36.76 gr/saat deneyindeki basınç düşüşü değeri, 46.05 gr/saat değeri ile yaklaşık aynıdır. Buradan da 2. deney grubunun yarı (-) değerlerdeki buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığının basınç düşüşünde daha etkili olduğu belirlenmektedir. Düşük sıcaklıkta giren havanın yoğunluğunun fazla olması, bu durumun nereden olduğu düşünülmektedir.

#### 5.3.4 Hava debisi ve zamanla değişimi

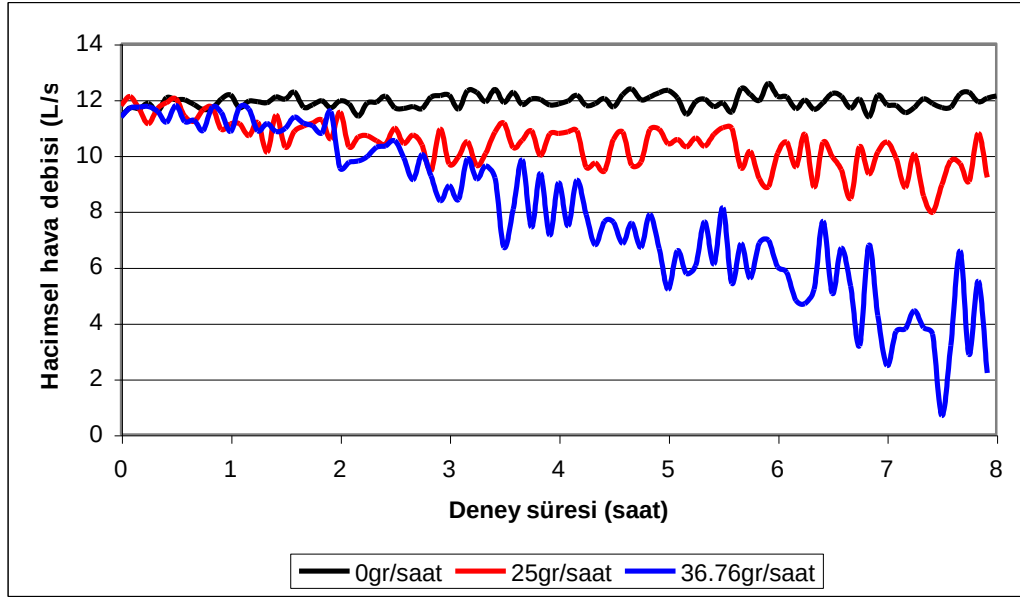
Karlanma sonucunda artan basınç düşüşü buharlaştırıcı üzerinden geçen hava debisi etkilere ve azalmasına neden olur. Şekil 5.10 da 1. deney grubuna ait buharlaştırıcı üzerinden geçen hava debisi zamanla değişiminin görülmektedir. Kuru yüzeyli buharlaştırıcı üzerinden geçen hava debisi 8 saat boyunca değişmemekte ve sabit bir değerde kalmaktadır. Ancak, kabini içine nem yüklemesi yapıldıktan sonra buharlaştırıcı üzerinde oluşan karlanma ile birlikte hava debisinde düşme görülmektedir.



Şekil 5.10 1. deney grubuna ait farklı su buharlaşma hızlarında buharlaştırıcı üzerinden geçen hacimsel hava debisi'nin zamanla değişimi

33.21 gr/saat su buharlaşma hızında, 8 saat sonunda hacimsel hava debisi kurulu haldeki değerinden yaklaşık 3 L/s azalmıştır. 46.05 gr/saat buharlaşma hızında ise aynı sürede hava debisi yaklaşık üçte birine inmiştir. 59.56 gr/saat buharlaşma hızında ise buharlaştırıcı üzerindeki açıklıklar 5. saatten önce kapanmakta ve hava akışı durmaktadır. Bu durumu gözden geçirilerek fan basıncı düşüşü değeri, (4.4) denklemine konmuş ve sonuçta hava debisi değerinin sıfırdan daha düşük değerler verdiği belirlenmiştir. Bunun nederi gözden geçirilerek fan basıncı düşüşü değerinin karakteristik eğri'nin geçerli olduğu basıncı düşüşü aralığının dışında olmasıdır. Elde edilmiş olan bu hava debisi değeri nederi ile buharlaştırıcının tamamen karla kaplandığı yorumu yapılmıştır.

Şekil 5.11'de ise 2. deney grubuna ait deneylerdeki hava debisi'nin zamanla değişimi görülmektedir. Karlanma ile artan basıncı düşüşü nederiyle hava debisi bu durum için de azalmaktadır. Ancak Şekil 5.10 ve 5.11'de de alındığında, 2. deney grubundaki deneylerde hava debisi'nin daha çok düştüğü görülmektedir. 2. deney grubuna ait olan 36.76 gr/saat buharlaşma hızında hava debisi 8. saat sonunda 3 L/s civarına düşerken, 1. deney grubuna ait daha yüksek buharlaşma hızı olan 46.05 gr/saat deneyinde hava debisi aynı sürede 5 L/s civarına düşmektedir. Bu durumun nederi 5.3.3 bölümündeki Şekil 5.9'da açıklanmış olan basıncı düşüşüdür.

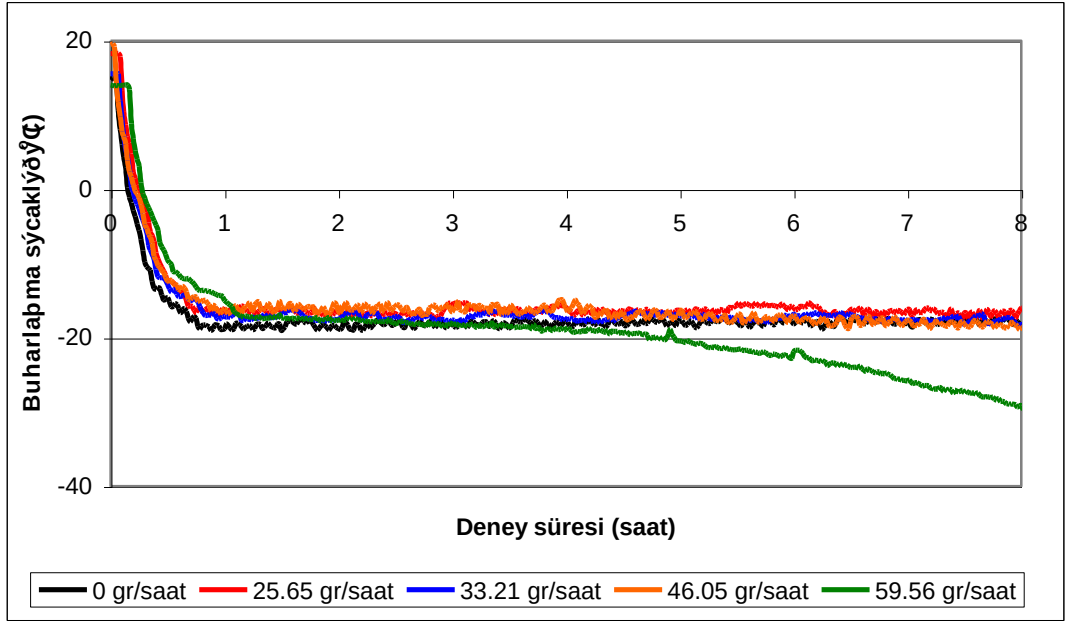


Şekil 5.11 2. deney grubuna ait farklı su buharlaşma hızlarında buharlaştırıcı üzerinden geçen hacimsel hava debisi'nin zamanla değişimi

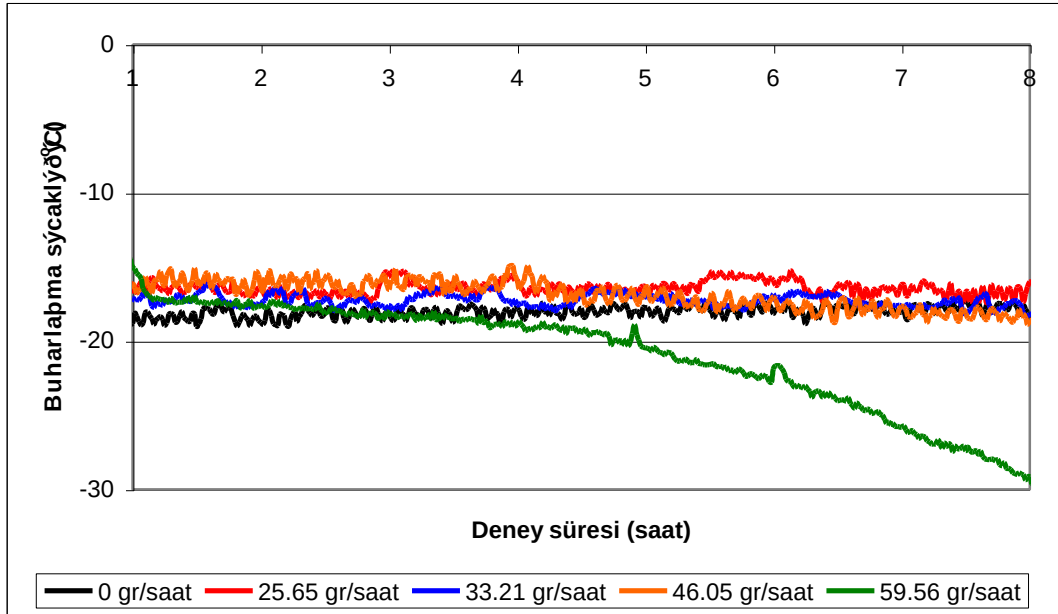
Tüm şekillerde görüldüğü üzere, hava debisi değerlerinde salınımlar bulunmaktadır. Bunun nedeni deney düzeneğinde akış düzeltici kullanılmamasıdır. Akış düzelticiden geçmesiyle basınç düşüşü değerlerinde salınımlar meydana gelmekte, bu da hava debisine yansımaktadır. Ancak akış düzeltici kullanılmasıyla daha gerçekçi değerlerin elde edilebileceği düşünülmüştür.

### 5.3.5 Buharlaşma sıcaklığının zamanla değişimi

Karlanma ile buharlaşma sıcaklığında düşme düşüncesi düşünülmektedir. Şekil 5.12'de 1. deney grubuna ait olan buharlaşma sıcaklıklarının zamanla değişimi verilmiştir. Sıcaklık ar yüzey üzerine yerleştirilmiş olan termoelementlerden ölçülmüştür ve bu termoelementlerin ortalamaları grafiklerde kullanılmıştır. Şekil 5.12'de görüldüğü üzere, sıcaklıklar deney başlangıcında ortam sıcaklığındayken, kompresörün çalışması ile birlikte düşmeye başlamakta ve belirli bir süre sonra dengelenmektedir. Bu dengelenme sıcaklığı sistemin buharlaşma sıcaklığıdır. Şekil 5.12'de sıcaklıkların dengelenmesinden sonraki bölümde kat ediniş, şekil 5.13'de edilir.



Şekil 5.12 1. deney grubuna ait buharlaşma sıcaklıklarındaki değişimler

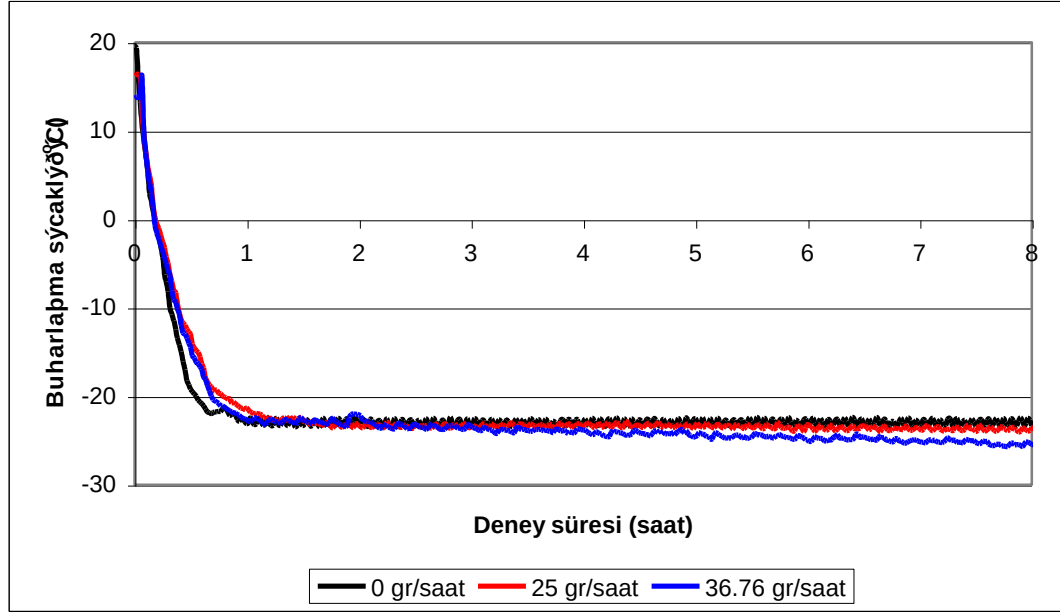


Şekil 5.13 1. deney grubuna ait buharlaşma sıcaklıklarının dengelenmiş durumu

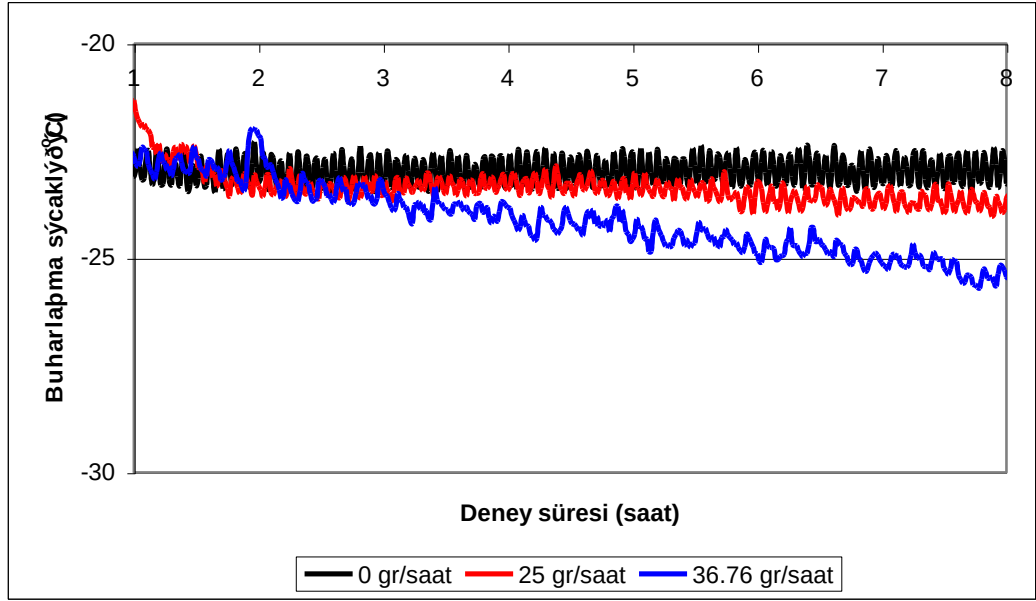
Şekil 5.13'te görüldüğü üzere 59.56 gr/saat buharlaşma hızı dışındaki durumlarda çok büyük bir değişme gözlenmemektedir. Ancak 46.05 gr/saat buharlaşma hızında oluşan karlanma ile buharlaşma sıcaklığının zamanla az da olsa azaldığı görülmektedir. Kuru hal için buharlaşma sıcaklığının diğerleri ne orana daha düşük olduğu görülmektedir, ancak bunun nederi kuru halde giriş sıcaklığının tam olarak +5°C detutulması ve daha düşük sıcaklık değerlerinde havanın buharlaşmaya

girmesi dr. Düşük sıcaklıkta giren hava buharlaştırıcı sıcaklığını da düşürmektedir. Bu durum dikkate alındığında karlanmış haldeki buharlaşma sıcaklıklarının kuru halden daha düşük olduğu kabul edilebilir. En çok karlanma olan 59.56 gr/saat buharlaşma hızında ise 4. saatten sonra buharlaşma sıcaklığında ciddi miktarda azalma olmaktadır.

Şekil 5.14'te ise 2. deney grubuna ait buharlaşma sıcaklığındaki değişim görülmektedir. Giriş sıcaklığındaki düşme sonucunda buharlaşma sıcaklıkları 1. deney grubuna göre daha düşük olmaktadır. Bu şekilde karlanma ile birlikte buharlaşma sıcaklığında düşme olması görülmektedir. Sıcaklıkların dengelenmiş olduğu bölüm dikkate alınrsa Şekil 5.15'de edilmektedir. Bu şekilde daha açık olarak görüldüğü üzere, kuru halde buharlaşma sıcaklığı en yüksek iken, buharlaşma hızındaki artış ile birlikte, diğer bir deyişle karlanmadaki artışla buharlaşma sıcaklığı düşmektedir.



Şekil 5.14 2. deney grubuna ait buharlaşma sıcaklıklarındaki değişimler

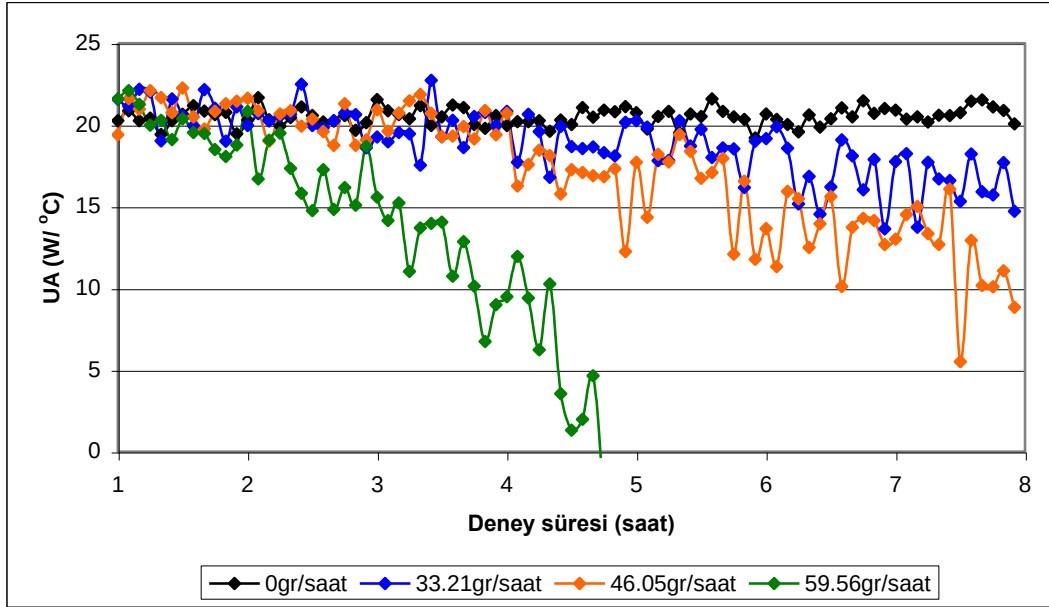


Şekil 5.15 2. deney grubuna ait buharlaşma sıcaklıklarının dengelenmiş durumu

### 5.3.6 Toplam ısıl geçirgenlik değeri

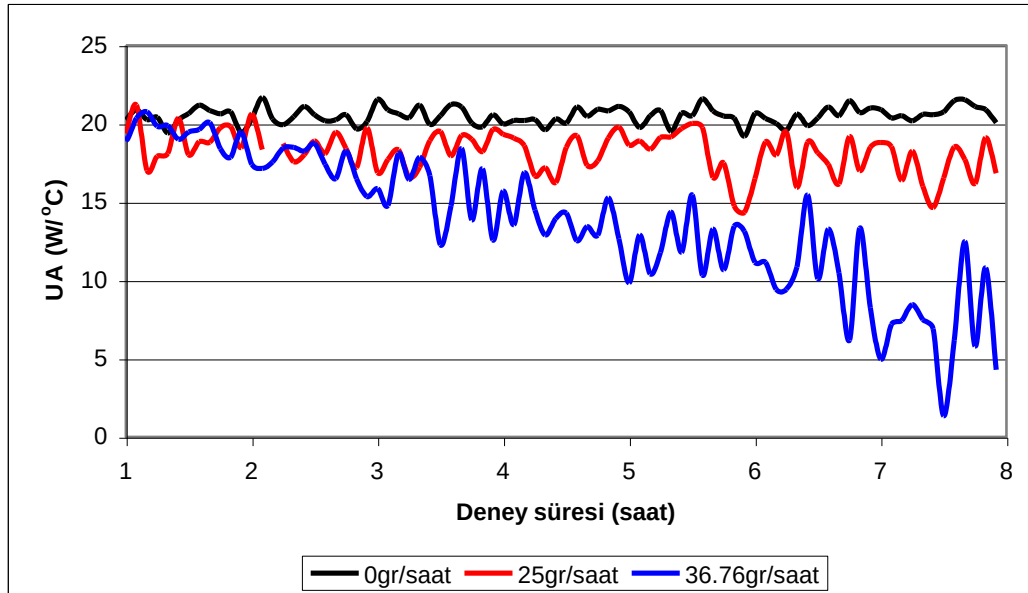
Isı değıştiricilerinin karşılaştırılma larında kullanılan en önemli parametrelerin başında toplam ısıl geçirgenlik değeri olan UA değeri gelir. Bu değerin büyük olması, buharlaştırıcının daha kolay ısı dışı veriş yapabildiğini belirtmektedir. Bu nedenle yüksek UA değeri ne sahip bir buharlaştırıcının ısı geçişine karşı direnç oranında düşük dır.

Şekil 5.16 da 1. deney grubuna ait olan buharlaştırıcı toplam ısıl geçirgenlik değeri nin zamanla değışimini vermiştir. Eğriler 1. saatten itibaren verilmiştir ve başlangıçtan 1. saate kadar geçen süre ihmal edilmiştir. UA değeri için 1. saatten sonraki değeri ler daha gerçekçi olduğu için böyle bir uygulama yapılmıştır. Kuru deneye karşılık gelen yaklaşık 21 W°C değeri gerçekte buharlaştırıcıdan elde edilmesi gereken toplam ısıl geçirgenlik değeri dir. Ancak karlanma ile birlikte bu değerde azalma olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni karlanma ile birlikte azalan hava debisidir. Azalan hava debisi ile birlikte buharlaştırıcının soğutma performansı düşmektedir. Bazı karlanma koşullarında buharlaştırıcı UA değeri ani şekilde azalırken, bazı koşullarda uzun süre performans kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır.



Şekil 5.16 1. deney grubuna ait UA değerleri nin zamanla değ iş i nheri

Şekil 5.17 de ise 2. deney grubuna ait d an UA değerleri nin zamanla değ iş i nheri veril miştir. Karlanma ile birlikte UA değerleri nin azald ı ğ 2. deney grubunda da gör ü lmektedir. Ancak hava debisi ndeki azald ı mını n 2. deney grubunda daha fazla d ması nederi ile UA değeri de 1. deney grubuna oranla aynı sürede daha fazla düş mektedir.



Şekil 5.17 2. deney grubuna ait UA değerleri nin zamanla değ iş i nheri



## 6 DENEY SONUÇLARININ MODEL SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Parametrik olarak yapılan karlanma deneyleri sonucunda elde edilmiş olan deney sonuçları 5. bölümde açıklanmıştır. Burada elde edilmiş olan sonuçlar model sonuçları ile de karşılaştırılmıştır.

Karlanma deneyleri sırasında ve deney sonunda elde edilmiş olan karlanma görüntülerinden, karlanmanın tüm buharlaştırıcı üzerinde düştüğü ve iyi bir yaklaşıklıkla homojen şekilde dağıldığı bildirilmiştir. Ek H de deney sonunda elde edilmiş olan karlanma görüntüleri ve deney sırasında belirli sürelerde çekilmiş fotoğraflar görülmektedir. Karlanmadaki bu homojenlik nederi ile deney sonuçlarının Şeker (1999) ile karşılaştırılmasının uygun olacağı bildirilmiştir. Bu modelin giriş büyüklükleri, hava bağıl nem değeri, soğutucu sıcaklığı, hava buharlaştırıcı giriş sıcaklığı ve hacimsel hava debisi dir. Modelin çıkış büyüklükleri ise buharlaştırıcı toplam ısıl geçirgenlik değeri olan UA değeri, buharlaştırıcı hava tarafı basınç düşüşü ve buharlaştırıcı üzerinde düşen kar tabakasının kalınlığıdır.

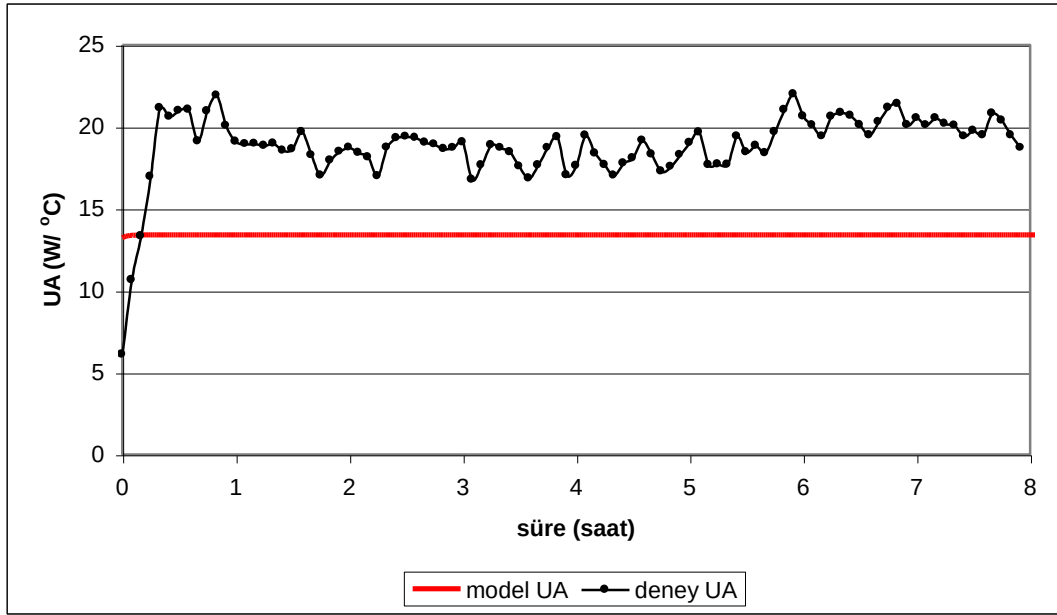
### 6.1 Sabit hava debili model ile karşılaştırma

Karşılaştırma için 2 deney grubuna ait deneyler seçilmiştir. Modelde girilmesi gereken soğutucu sıcaklığı, hava giriş sıcaklığı ve hava giriş bağıl nem değerleri için deneylerdeki birinci ile ikinci saatler arasında kaydedilmiş olan değerlerin ortalamaları kullanılmıştır. Böylece sabit bir ortalama değer elde edilmiştir. Karlanma sonucunda buharlaşma sıcaklığında düşüşün azalması, çalışması sırasında buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığında ve bağıl nem değerlerinde düşüşün salınmaları ile ilgili edilmiştir. Hava debisi için ise ilk 30 dakikada alınan değerlerin ortalaması kullanılmıştır.

Tablo 6.1 de kuru deney için bildirilmiş ortalama değerler görülmektedir. Bu giriş büyüklükleri sonucunda şekil 6.1 deki model eğrisi elde edilmektedir. Görüldüğü üzere, model ile deney arasında belirli bir farklılık bulunmaktadır. Bu farklılığın asıl nederi modelin hava bağıl nem değeri ne daha hassas olması, deney sonuçlarının ise hava debisi ne hassas olmasıdır. Modelde girilen bağıl nem değerinin çok düşük olması, model sonucunun düşük çıkmasına neden olmuştur. Grafikte deney sonuçları başlangıç anından itibaren verilmiştir.

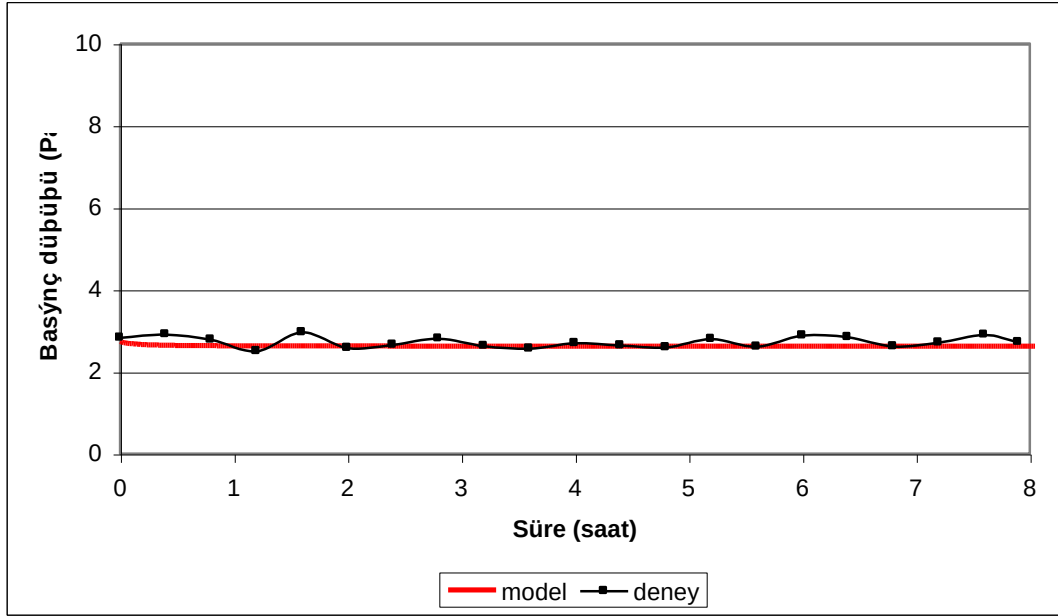
Tablo 6.1 Kuru deneyi model erken model e girilmesi gereken büyüklükler

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| Hava bağıl nem değeri               | %22.53    |
| Soğutkan sıcaklığı                  | -23.48° C |
| Buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı | -7.4° C   |
| Hava debisi                         | 12.06 L/s |



Şekil 6.1 2. deney grubundan kuru deneye at deney sonuçları ile model sonuçlarının UA açısından karşılaştırılması

Şekil 6.2 de ise aynı modellemelerde elde edilmiş olan buharlaştırıcı havatrafı basınç düşüşü değeri ile deney sonucunun karşılaştırılması verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, eğriler birbiri üzerinde gkmakta ve iyi bir yaklaşıklık göstermektedir.



Şekil 6.2 2. deney grubundan kur u deneye ait deney sonuçları ile model sonuçlarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması

Tablo 6.2'de ise 25 gr/saat buharlaşma hızına ait olan deneylerde elde edilmiş olan sabit değerler görülmektedir. Bu değerlerin model eğrilmesi sonucunda Şekil 6.3'teki ve Şekil 6.4'teki model sonuçları elde edilmektedir.

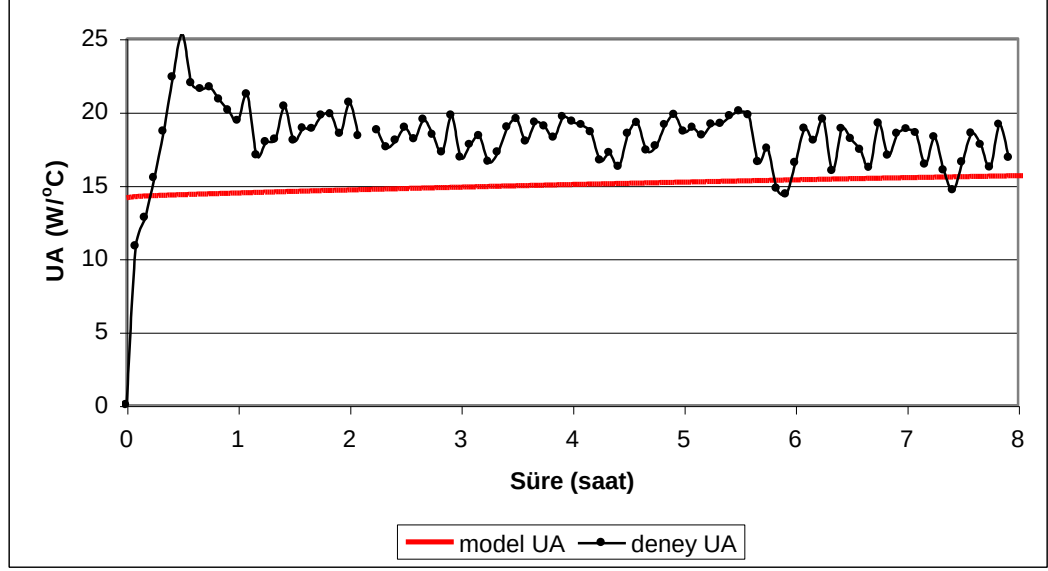
Tablo 6.2 25 gr/saat buharlaşma hızına ait deneyi modelerken model eğrilmesi gereken büyüklükler

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| Hava bağıl nem değeri              | %47.25    |
| Soğutkan sıcaklığı                 | -23.21° C |
| Buharlaştırma hava giriş sıcaklığı | -6.26° C  |
| Hava debisi                        | 11.69 l/s |

Tablo 6.2 ile Tablo 6.1 karşılaştırıldığında bağıl nem dışındaki değerlerin birbirlerine yakınlıkları görülmektedir. Şekil 6.1 ile 6.3 model sonuçları açısından karşılaştırıldığında, UA başlangıç değerinin Şekil 6.3'te daha yüksek olduğu görülmektedir. Buradan da modelin bağıl nem değerine hassas olduğu görülmektedir.

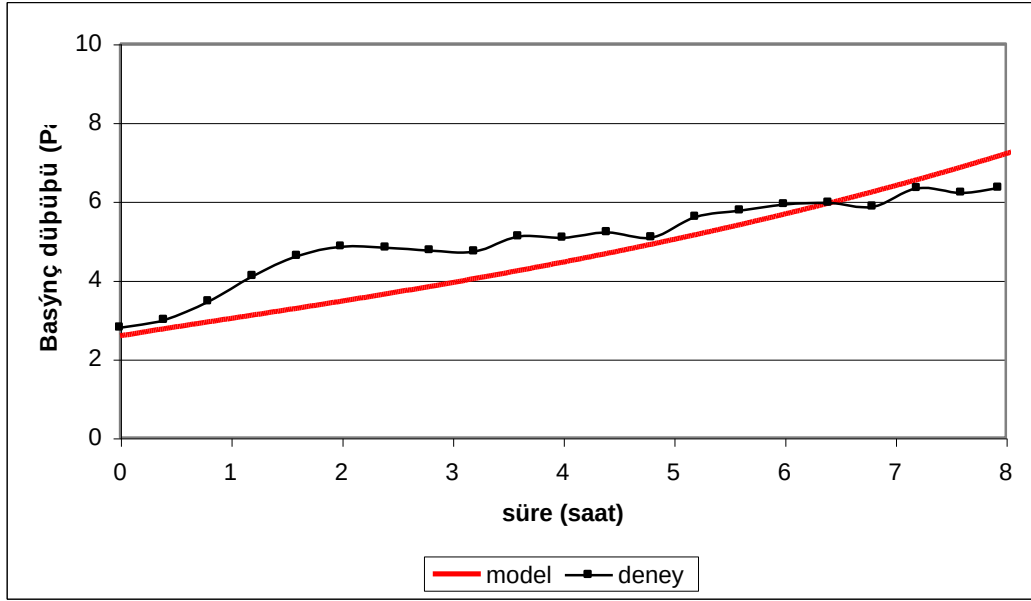
Şekil 6.3'te model sonuçlarından elde edilen UA değerinin karlanma ile birlikte arttığı görülmektedir. Bunun nederi sabit hava debisidir. Karlanma sonucunda buharlaştırma kanatları ve boruları arasındaki aralık daralmakta, ancak aynı hava

debisi buradan geçtiği için hava hızı artmaktadır. Artan hava hızı da ısı taşıma katsayısını arttırmaktadır. Bu nedenle deney sonuçlarının gösterdiği azalma eğilimini model sonuçları göstermemektedir.



Şekil 6.3 2. deney grubundan 25 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuçları ile model sonuçlarının UA açısından karşılaştırılması

Şekil 6.4'te ise aynı koşullarda elde edilmiş model ve deneysel basınç düşüşü değerleri karşılaştırılmıştır. Her ne kadar modelde sabit hava debisi kullanılıyor olsa da model ile deney sonuçları birbirine yakın eğriler oluşturmaktadır. Ancak model sonuçları dikkatle incelense, eğrinin üstel şekilde arttığı görülmektedir. Bu durum yine sabit hava debisinin bir sonucudur. Artan hava hızı ile sürtünme artmakta ve düşen basınç düşüşü üstel şekilde artış göstermektedir. Buna karşın deney sonucunun yaklaşık lineer şekilde arttığı görülmektedir. Bunun sebebi de deney sırası dan karlanma ile birlikte hava debisinin azalmasıdır. Böylece üstel artış yerine yaklaşık lineer bir artış elde edilmiştir.



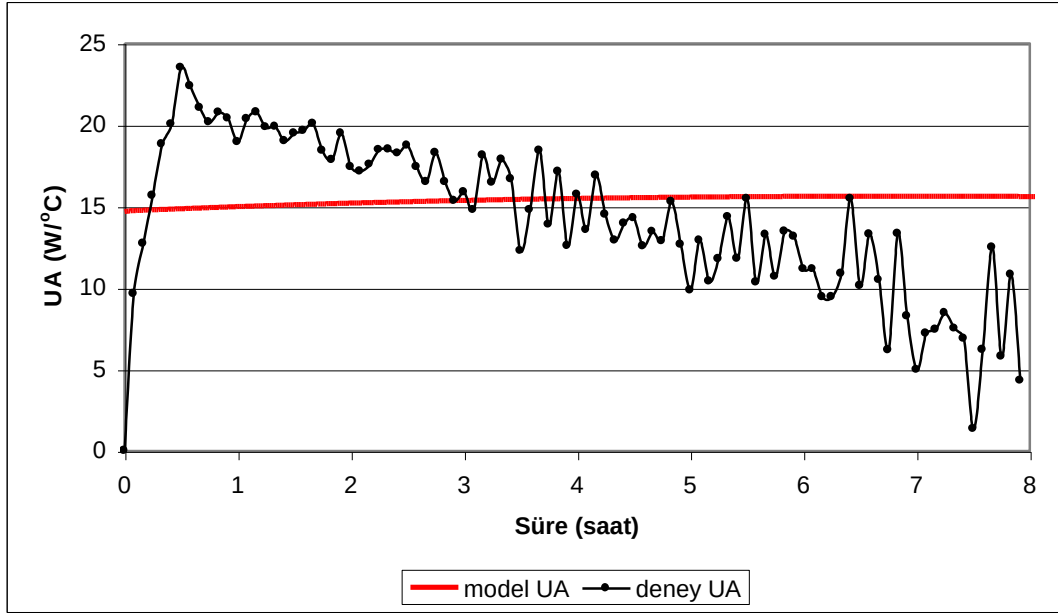
Şekil 6.4 2. deney grubundan 25 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonucu ile model sonucunun basınç düşüşü açısından karşılaştırılması

Tablo 6.3 de ise 36.76 gr/saat buharlaşma hızına ait d an deneylerde elde edilmiş d an sabit değerler görülmektedir.

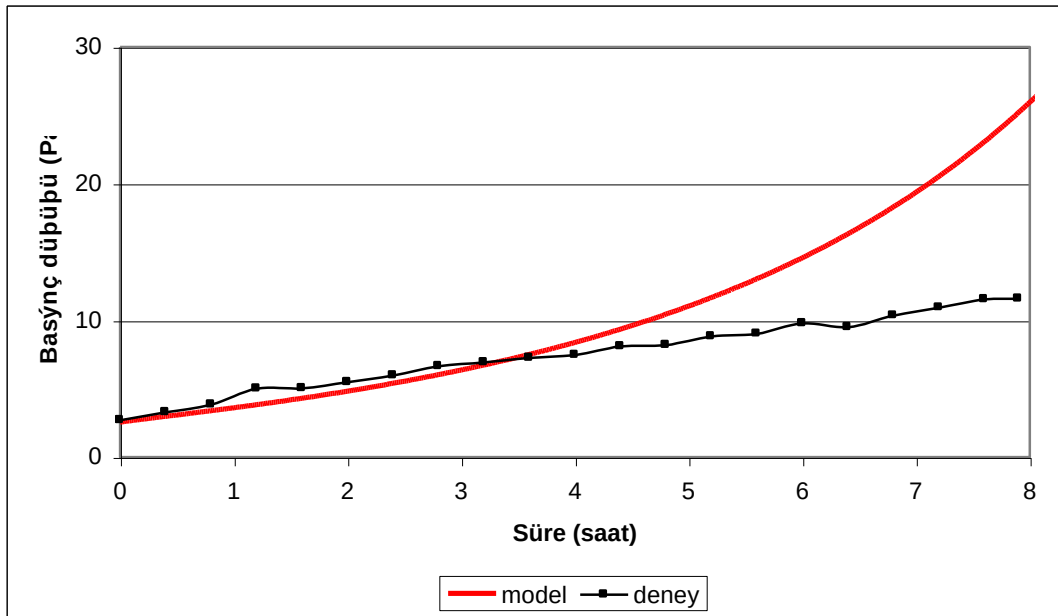
Tablo 6.3 36.76 gr/saat buharlaşma hızına ait deneyi modelerken modele girilmesi gereken büyüklükler

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| Hava bağıl nem değeri               | %60.24    |
| Soğutkan sıcaklığı                  | -23.96° C |
| Buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığı | -5.66° C  |
| Hava debisi                         | 11.64 l/s |

Şekil 6.5'te model sonucu ile deney sonucunun UA açısından karşılaştırılması verilmiştir. Görüldüğü üzere, deney sonucu karlanma ile azalan bir durum gösterirken, model sonucu sabit hava debisi nederi ile artan bir durum göstermektedir. Şekil 6.6 da ise basınç düşüşü açısından karşılaştırma verilmiştir. Burada sabit hava debisinin yarattığı üstel artış açık şekilde görülmektedir. Yine deney sonucu lineer artış işaret etmektedir.



Şekil 6.5 2. deney grubundan 36.76 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonucu ile model sonucunun UA açısından karşılaştırılması



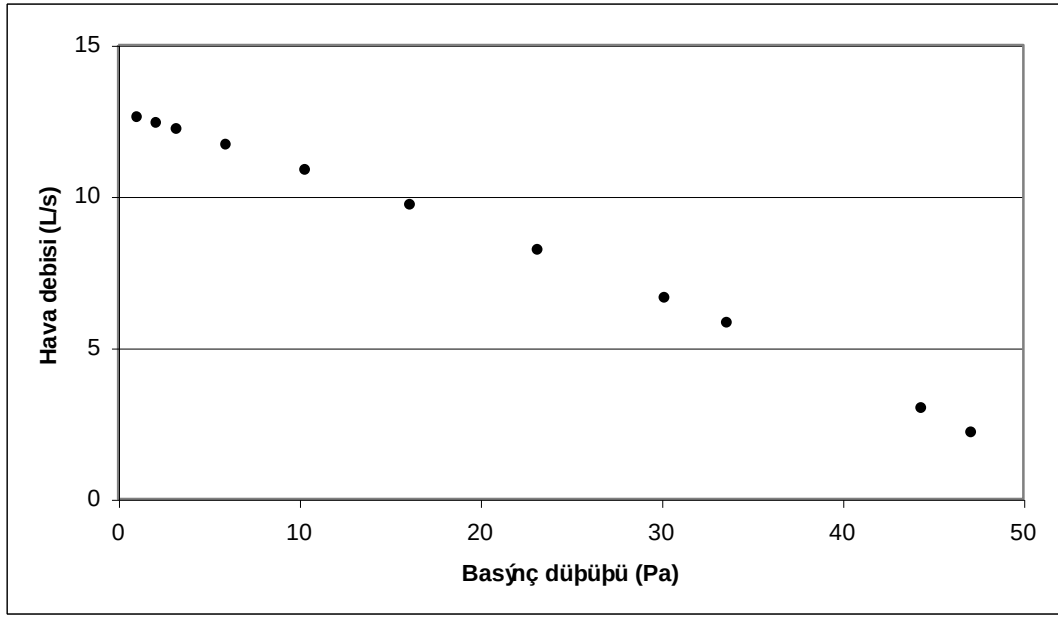
Şekil 6.6 2. deney grubundan 36.76 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonucu ile model sonucunun basınç düşüşü açısından karşılaştırılması

## 6.2 Azalan hava debili model ile karşılaştırma

Deney sonucu bölüm 6.1'de sabit hava debili model ile karşılaştırılmıştır. Ancak belirtildiği üzere sabit hava debili model gerçek durumu tam ve doğru şekilde

yansıtılmamaktadır. Bu nedenle modele, karlanma sonucunda hava debisindeki düşüşün azalmasını eklenmesi gerekmektedir.

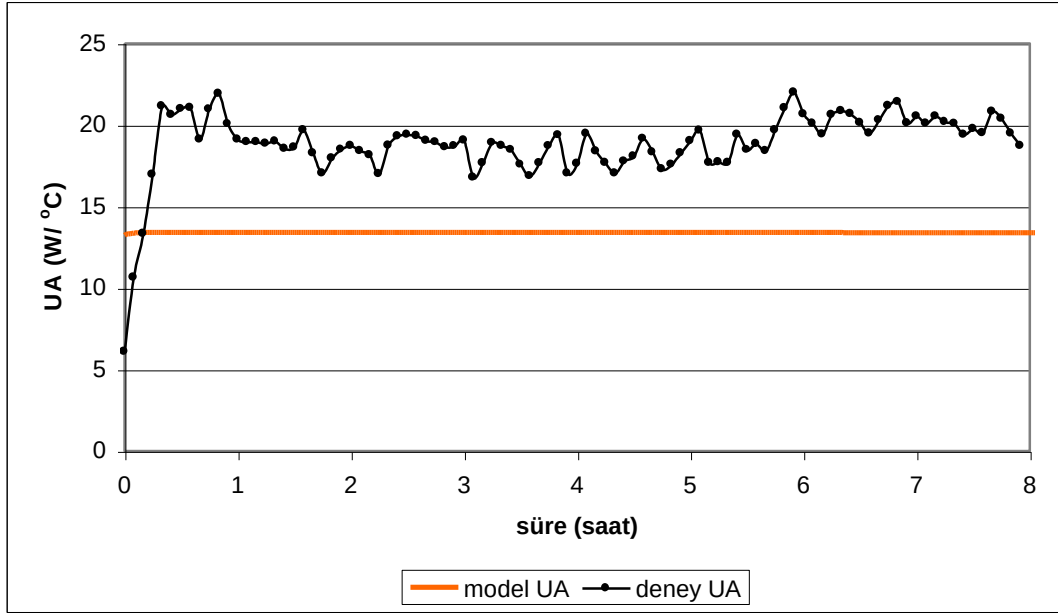
Bu amaçla İnan (2000)'in hazırlamış olduğu karlanma modelinin alt programı dikkate alınmıştır. Burada karlanma sonucunda artan buharlaştırıcı basınç düşüşü dikkate alınmakta ve fan eğrisi yardımıyla hava debisindeki azalma belirlenebilmektedir. Böylece bir sonraki çözüm adımları, hesaplanmış olan bu yeni hava debisi ile hesaplanmaktadır. Bu yöntem Şeker (1999)'in hazırlamış olduğu programa dahil edilmiştir. Programdan Şekil 6.7'de verilmiş olan buharlaştırıcı basınç düşüşü, hacimsel hava debisi ilişkisi elde edilmiştir.



Şekil 6.7 Hava debisi, buharlaştırıcı basınç düşüşü ilişkisi

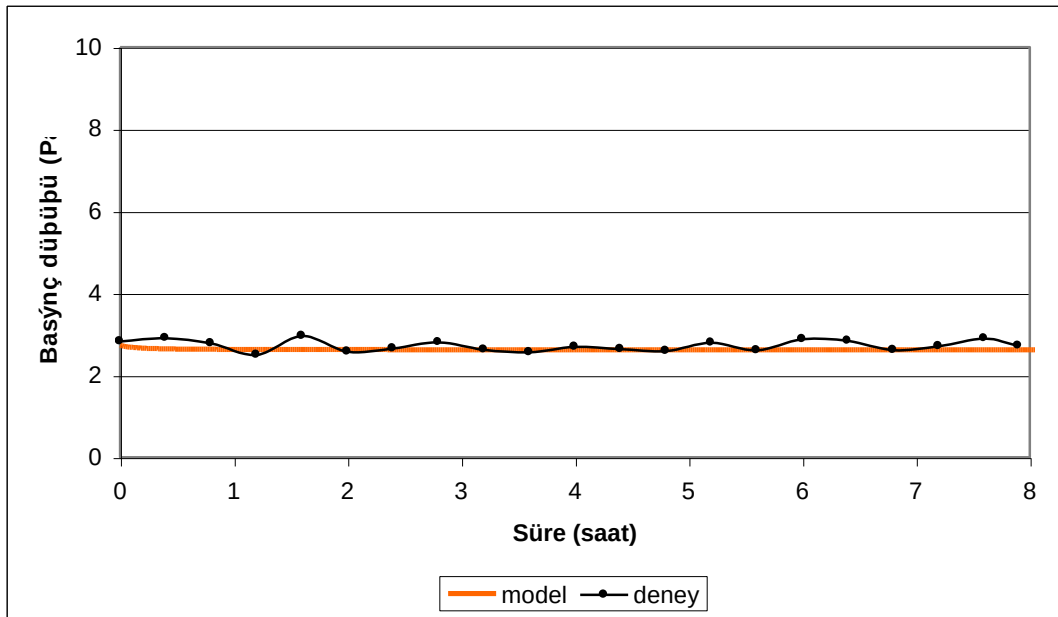
Şekil 6.7'deki noktalarından bir eğri geçirilmiş ve hava debisi, basınç düşüşünün fonksiyonu şeklinde elde edilmiştir. Daha sonra bu fonksiyon Şeker (1999) modeline eklenmiştir. Böylece model, giriş hava debisini buharlaştırıcı üzerinde düşen basınç düşüşüne göre azaltabilmektedir. Böylece elde edilecek model sonuçlarının daha gerçekçi olacağı düşünülmektedir. Azalan hava debili modelin algoritması EK I'da verilmiştir.

Şekil 6.8'de ve 6.9'da kuru deneyi için azalan hava debili model sonuçları ile deney sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 6.8 2. deney grubundan kuru deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının UA açısından karşılaştırılması

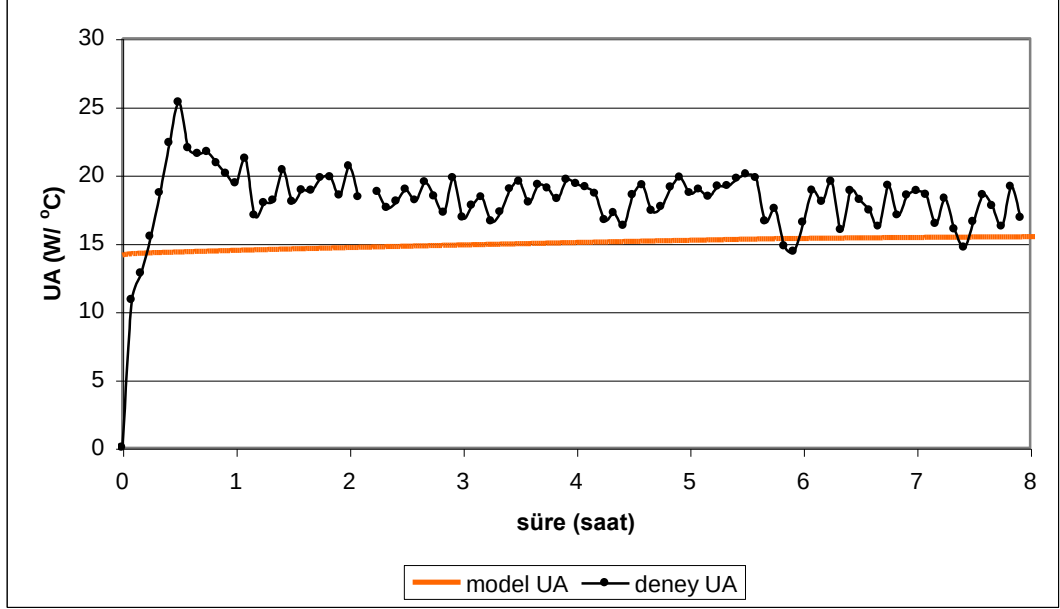
Beklendiği üzere, modelde girilen bağıl nem değerinin düşük olması sonucunda çok az miktarda karı düşmüştür. Bu nedenle elde edilen model sonucu Şekil 6.1'deki model sonucu ile aynıdır. Diğer bir deyişle hava debisini değiştirecek miktarda karlanma düşmediği için sabit hava debili model sonucu ile aynı değerler elde edilmiştir. Aynı durum Şekil 6.9'da da geçerlidir.



Şekil 6.9 2. deney grubundan kuru deneye ait deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması



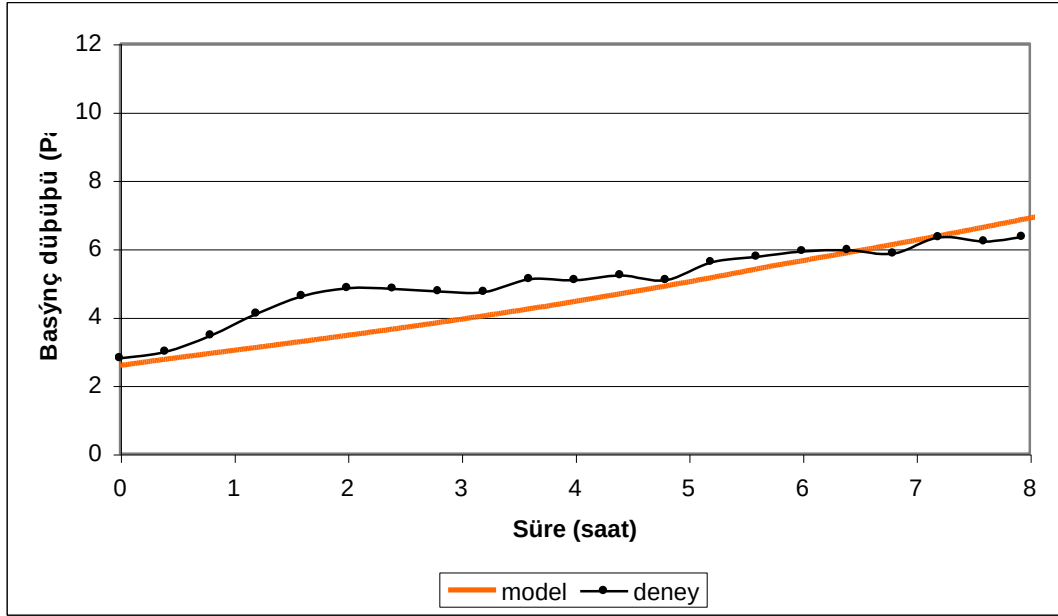
Şekil 6.10'da ve 6.11'de 25 gr/saat buharlaşma deneyi'nin azalan hava debili modelleme ile karşılaştırılması verilmiştir. UA açısından bakıldığında sabit hava debili model sonuçları ile azalan hava debili model sonuçları arasında çok büyük bir farkın olmadığı görülmektedir. UA değerlerinin hava debisi ne çok hassas şekilde bağlı olması bunun nedeni olarak düşünülmektedir.



Şekil 6.10 2. deney grubundan 25 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının UA açısından karşılaştırılması

Ancak basınç düşüşü açısından bakıldığında 6. saatten sonra azalan hava debili modelin daha düşük basınç düşüşü meydana getirdiği görülmektedir. Sonuç olarak model basınç düşüşü eğrisi daha lineer şekilde artmaktadır.

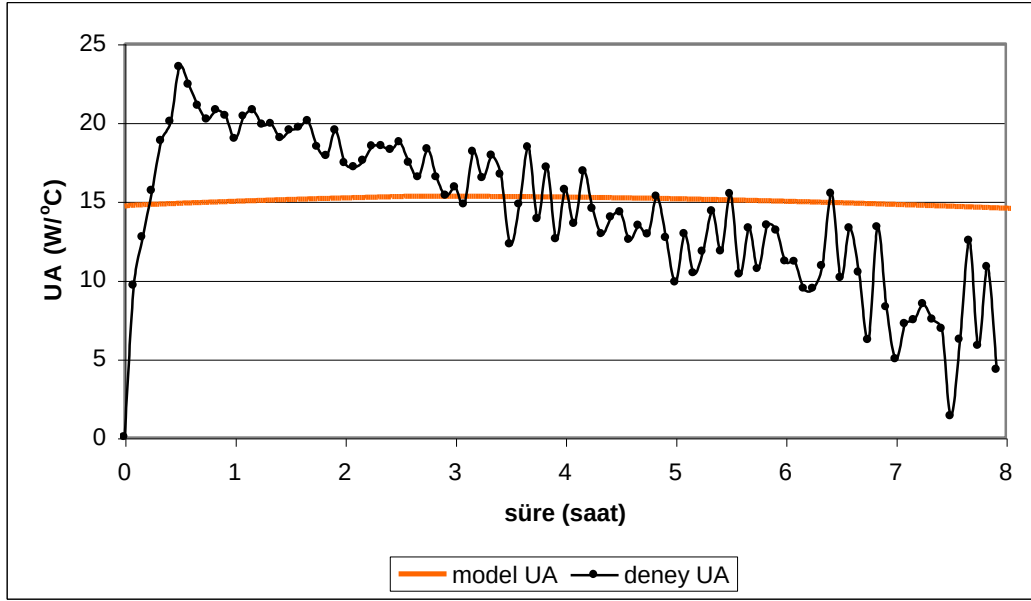
EK 1'de sabit hava debili model ile elde edilen UA ve basınç düşüşü sonuçlarının azalan hava debili model sonuçları ile karşılaştırılması verilmiştir.



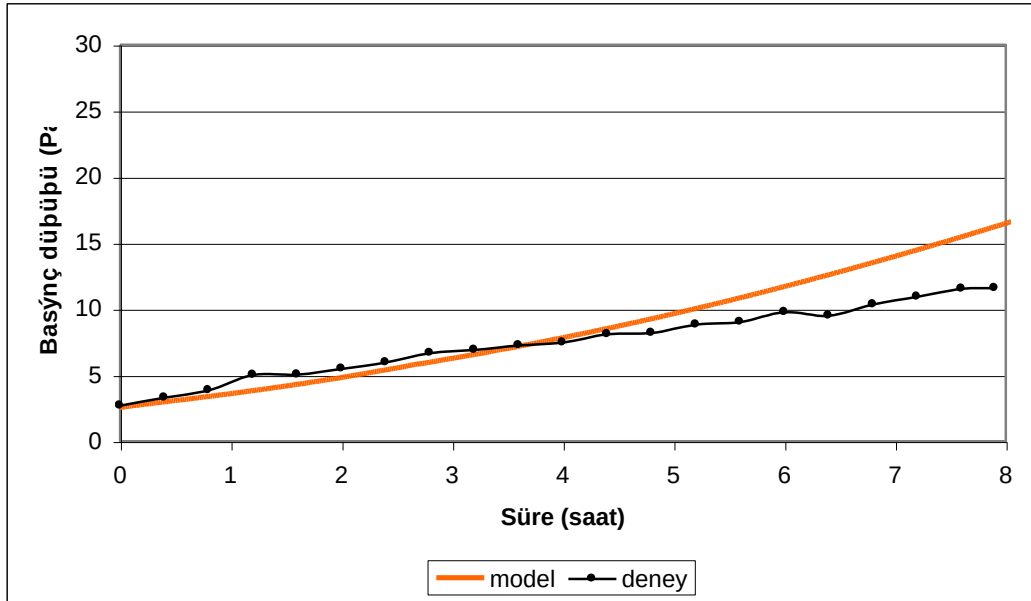
Şekil 6.11 2. deney grubundan 25 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuçları ile azalan hava debisi modeli sonuçlarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması

Şekil 6.12'de ve 6.13'te 36.76 gr/saat buharlaşma hızı deneylerinin model sonuçları ile karşılaştırılması verilmiştir. Giriş bağıl nem değerinin değişik duruma oranla daha fazla olması nedeniyle daha çok karışmıştır. Bu durumda hava debisini değişik durumlara oranla daha fazla düşmesi ne neden olmuştur. Bu nedenle UA değeri ile ilgilleyen saatlerde azalma görülmüştür. Ancak yine deney sonuçları ile fark görülmektedir.

Basınç düşüşü dikkate alınrsa, artışın Şekil 6.6'ya oranla daha lineer şekilde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni azalan hava debisidir. Böylece deney sonuçları ile model sonuçları daha uyumlu hale gelmiştir.



Şekil 6 12 2. deney grubundan 36.76 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının UA açısından karşılaştırılması



Şekil 6 13 2. deney grubundan 36.76 gr/saat'lik buharlaşma hızına ait deney sonuçları ile azalan hava debili model sonuçlarının basınç düşüşü açısından karşılaştırılması

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada karlanmanın no-frost buzdolabı buharlaştırıcısındaki etkileri, gerçek bir buzdolabı üzerinde incelenmiştir. Deney düzeneği olarak kapalı bir no-frost buzdolabı kullanılmıştır. Gerçek geometri üzerinde yapılan bu çalışma ile karlanma etkilerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

Farklı buharlaştırıcı hava giriş sıcaklıklarında parametrik karlanma deneyleri yapılmış ve buharlaştırıcı performansındaki (toplam ısı geçirgenlik değeri, hava tarafı basınç düşüşü, hava debisi ve buharlaşma sıcaklığı) değişimleri incelenmiştir.

Deney düzeneği olarak kullanılan buzdolabının fan ve fan yuvası karakteristik eğrisi hakkında hava debisinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Ölçülen fan basınç düşüşü ile devamlı şekilde buharlaştırıcı üzerinden geçen hava debisi belirlenebilmektedir.

Çalışma sonucunda öne çıkan noktalar:

1. Deneyler sonucunda yüksek bağıl nem değerlerinde karlanma miktarının arttığı ve dolayısıyla karlanma etkilerinin daha kısa sürede bildirildiği görülmüştür. Artan karlanma sonucunda basınç düşüşünün arttığı ve hava debisinin aynı oranda azaldığı görülmüştür.
2. Literatürde basınç düşüşünün genellikle üstel şekilde arttığından bahsedilmektedir. Ancak bu çalışmada basınç düşüşündeki artışın yaklaşık lineer olduğu görülmüştür. Bunun nedeni de karlanma ile azalan hava debisidir. Literatürde yoğunlukla hava debisi sabit kabul edilmektedir. Buharlaştırıcı üzerinde karlanma oldukça havanın geçtiği açıklıkların kesit alanları azalmaktadır, ancak hava debisi sabit tutulduğunda bu bölgedeki hava hızı artmaktadır. Artan bu hızla birlikte basınç düşüşü üstel şekilde artmaktadır. Ancak bu çalışmada karlanmayla birlikte hava debisi azalmaktadır, bu nedenle hava hızı literatürdeki gibi artmamaktadır. Böylece artış lineer kalmaktadır.
3. Literatürde UA değeri için arttığı, bazı durumlarda ise önce arttığı, sonra da azaldığından bahsedilmektedir. Ancak bu çalışmada kuru durumu dışındaki

her durumda UA değerinin azaldığı belirlenmiştir. Bunun nedeni yine hava debisi dr. Bu çalışmada hava debisi azaldığı için UA değerleri karlanma ile azalmaktadır.

4. Buharlaştırma sıcaklığının aşırı karlanma dışında çok düşük miktarda düşmediği belirlenmiştir.
5. Defrost sonucunda buharlaştırıcı üzerinde ihmal edilemeyecek miktarda su kaldığı belirlenmiştir. Bu su kütlesi soğutma çevrimini tekrar başlatmasıyla derhal buzlanmaktadır. Bu nedenden dolayı karlanma etkileri daha kısa sürede belirleyemey başlanmaktadır. Bu bağlamda, suiti dö yüzey kaplamaları ön plana çıkmaktadır.
6. Buharlaştırıcı üzerinde düşen kar miktarının hava koşulları, özellikle hava bağıl nem değeri ne bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda hava bağıl nem değerlerinin de defrost algoritmalarıyla dikkate alınması buzdolabı toplam enerji tüketiminde azalma sağlayabilmektedir. Bu nedenle buzdolablarına nem sensörlerinin yerleştirilmesi ya da buharlaştırıcı üzerine biriken karın kalınlığını ölçecek kar sensörleri yerleştirilmesi yararlıdır.

Bu çalışmanın devamı olarak, daha farklı buharlaştırıcı giriş sıcaklığında parametrik karlanma deneyleri yapılabilir. Bu sayede karlanma etkileri daha geniş bir aralıkta elde edilmiştir.

Bu çalışmada buzdolabı kompresörü %100 şekilde çalışmıştır, diğer bir değişle termostatik şekilde çalışmamıştır. Bu nedenle daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için buzdolabını gerçek çalışma şekli olan termostatik şekilde çalıştırmak yararlıdır. Bu tip bir çalışma planlanmıştır ve ön deneyleri yapılmaya başlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Al-Sahaf, J ve Cornwell, K**, 1991. Heat transfer under frosting conditions to plain and thick-finned tubes, *Experimental Heat Transfer*, **4**, 1-17.
- Ameen, F R, Coney, J.E R ve Sheppard, C G W**, 1993. Experimental study of warm air defrosting of heat-pump evaporators, *International Journal of Refrigeration*, **16**, 13-18.
- Argaud, T, Panheloux, P ve Clodic, D**, 2000. Heat-pump evaporators under frosting air pressure drops and heat-exchange correlations, *Proceedings of the 2000 International Refrigeration Conference at Purdue*, Purdue, Indiana, USA, July 25-28.
- ASHRAE**, 1996. Psychrometrics- Theory and Practice, USA
- Bejan, A, Vargas, J.V.C ve Liņ J.S**, 1994. When to defrost a refrigerator, and when to remove the scale from the heat exchanger of a power plant, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **37**, 523-532
- Bilodeau, S, Brousseau, P, Lacroix, M ve Mercadier, Y.**, 1999. Frost formation in rotary heat and moisture exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **42**, 2605-2619.
- Cole, R A**, 1989. Refrigeration loads in a freezer due to hot gas defrost and their associated costs, *Transactions of ASHRAE*, 1149-1154.
- Fukada, S ve Inoue, K**, 1999. Internal mass flux through frost, *AIChE Journal*, **45**, 2646-2652.
- Fukada, S, Tsuru, H ve Niskawa, M**, 1995. Frost formation under different gaseous atmospheres, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, **28**, 732-737.
- Inaba, H ve Imai, S**, 1996. Study on sublimation phenomenon of horizontal frost layer exposed to forced convection air flow and radiant heat, *Transactions of the ASME*, **118**, 694-701.

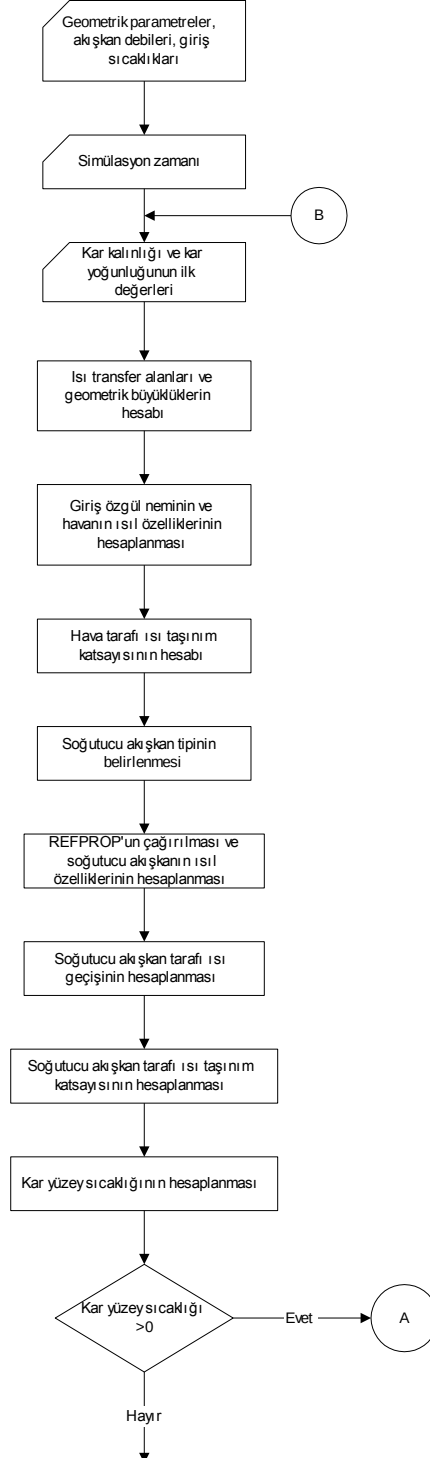
- İsmail, K A R ve Salinas, C S**, 1999. Modeling of frost formation over parallel cold plates, *International Journal of Refrigeration*, **22**, 425-441.
- İsmail, K A R, Salinas, C ve Gonçalves, M M**, 1997. Frost growth around a cylinder in a wet air stream, *International Journal of Refrigeration*, **20**, 106-119.
- İnan, C**, 2000. Buzdolabı buharlaştırıcısının karlanmış şartlar altındaki performansı ve buzdolabında ısı kütle transfer mekanizmalarının modellenmesi, İ.T.Ü. *Doktora Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Knoop, D E, Tershak, A T ve Thieneman, M**, 1988. An adaptive demand defrost and two-zone control and monitor system for refrigeration products, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **24**, 337-342.
- Lee, K, Kim W ve Lee, T**, 1997. A one-dimensional model for frost formation on a cold flat surface, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **18**, 4359-4365.
- Lee, Y. B ve Ro, S T**, 2001. An experimental study of frost formation on a horizontal cylinder under cross flow, *International Journal of Refrigeration*, **24**, 468-474.
- Mao, Y., Besant, R W ve Chen, H**, 1999. Frost characteristics and heat transfer on a flat plate under freezer operating conditions, *ASHRAE Transactions: Research*, 231-259.
- Martinez-Frias, J ve Aceves, S M**, 1999a. Effects of evaporator frosting on the performance of an air-to-air heat pump, *Transactions of ASME*, **121**, 60-65.
- Martinez-Frias, J ve Aceves, S M**, 1999b. Modeling of a heat pump with evaporator air dehumidification for reduced frost formation, *Journal of Energy Resources Technology*, **121**, 189-195.
- Melamed, B**, 1997. No-frost hava dağıtım sistemlerinde fan-motor-housing döşümleri ve seçimi yöntemleri, *ABR-054*, İstanbul.
- Östing, R ve Andersson, S**, 1991. Frost growth parameters in a forced air stream, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **34**, 1009-1017.

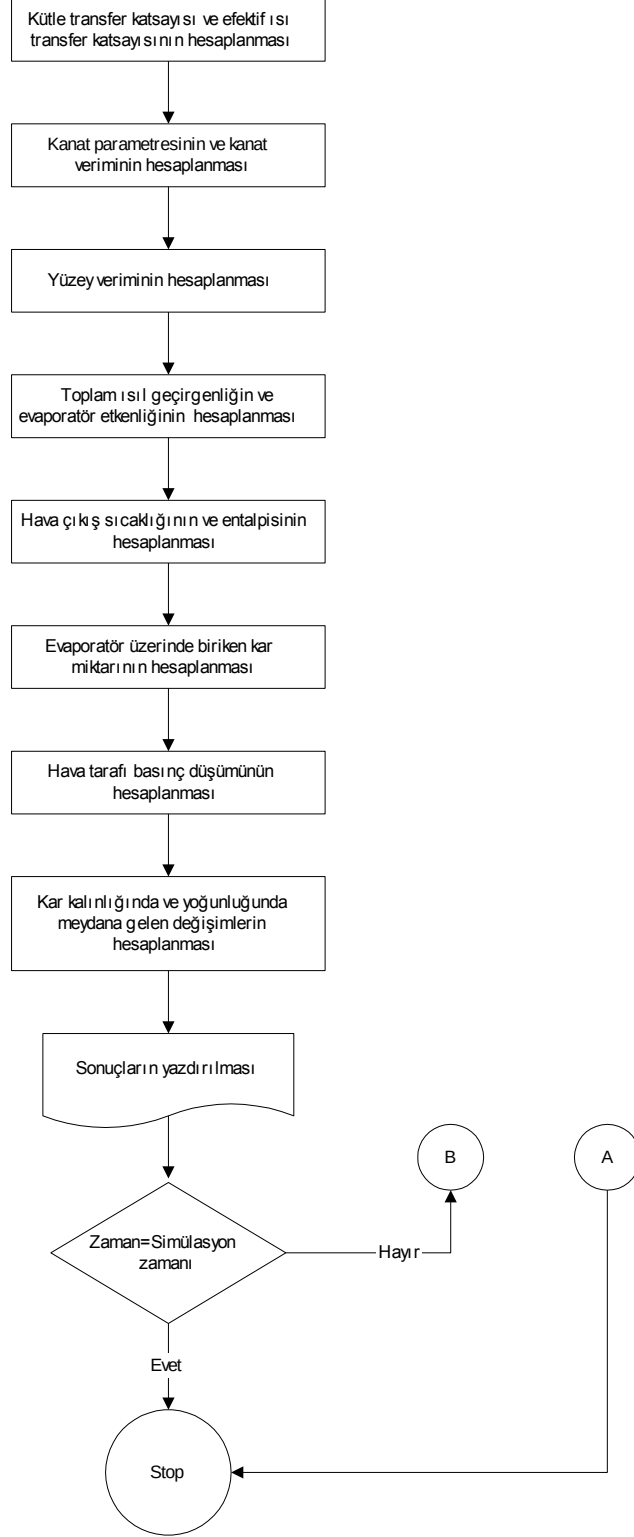
- Padki, M M, Sherif, S A ve Nelson, R M, 1989.** A simple method for modeling the frost formation phenomenon in different geometries, *Transactions of ASHRAE*, **95**, 1127-1137.
- Rite, R W ve Crawford, R R, 1991a.** A parametric study of the factors governing the rate of frost accumulation on domestic refrigerator-freezer finned-tube evaporator coils, 438-446
- Rite, R W ve Crawford, R R, 1991b.** The effects of frost accumulation on the performance of domestic refrigerator-freezer finned-tube evaporator coils, 428-437
- Sami, S M ve Duong, T., 1989.** Mass and heat transfer during frost growth, *Transactions of ASHRAE*, **95**, 158-165.
- Şahin, A Z, 2000.** Effective thermal conductivity of frost during the crystal growth period, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **43**, 539-553.
- Şeker, D, 1999.** No-Frost buzdolabı evaporatörlerinde karlanmanın etkileri, İ. T. Ü Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tantakitti, C ve Howell, R H, 1986.** Air-to-air heat pumps operating under frosting conditions on the outdoor coil, *ASHRAE Transactions*, **92**, 827-842
- Thomas, L, Chen, H ve Besant, R W, 1999.** Measurement of frost characteristics on heat exchanger fins, *ASHRAE Transactions: Research*, 283-302
- Watters, R J, O Neal, D. L ve Yang, J., 2001.** Evaluation of fin staging methods for minimizing coil frost accumulation, *Executive Summary for ASHRAE Research Project*, 1002-RP.



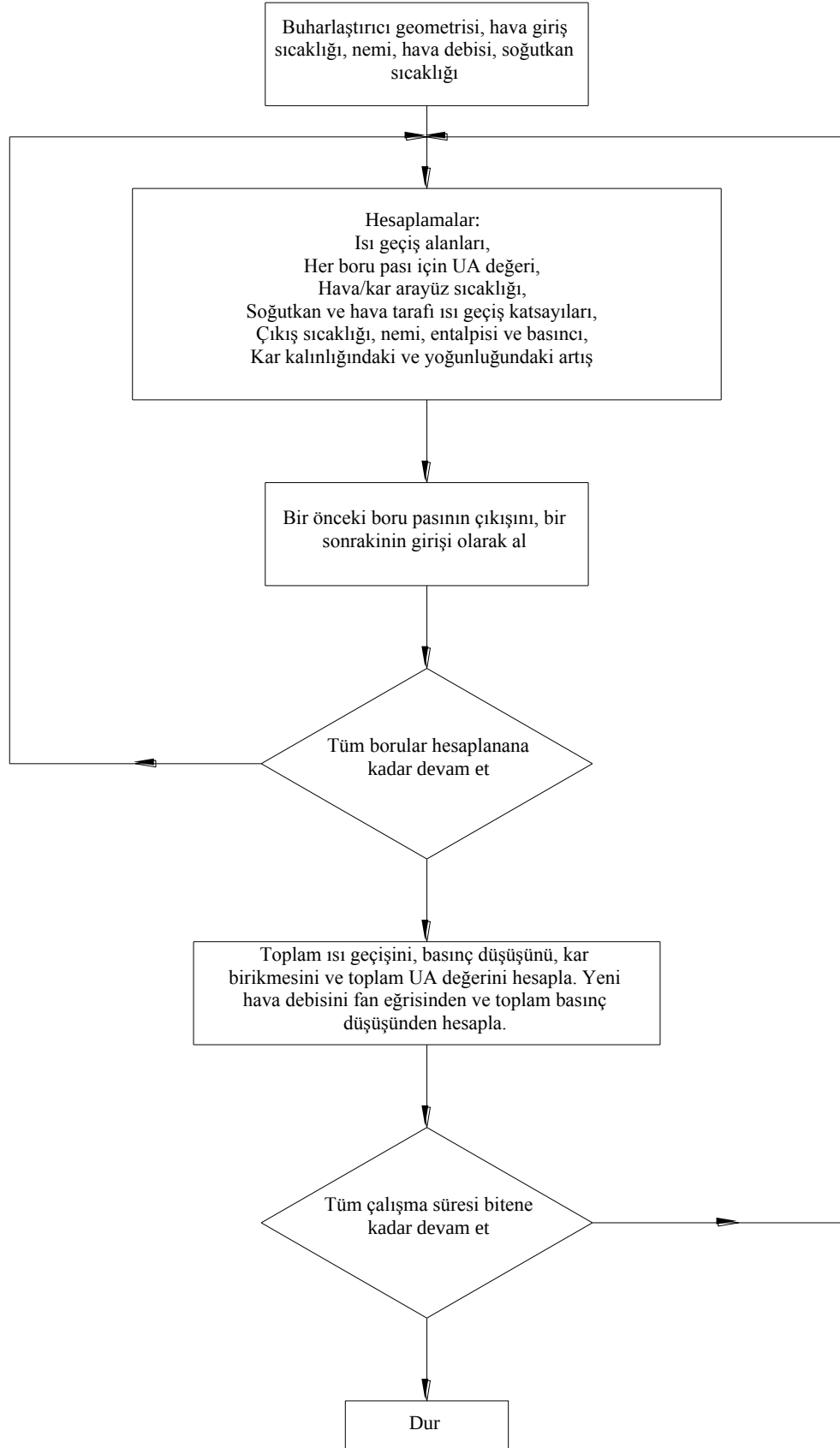
## EKLER

### Ek A Şeker (1999) tarafından hazırlanmış dan karlanma modeli nin akış di yagra m





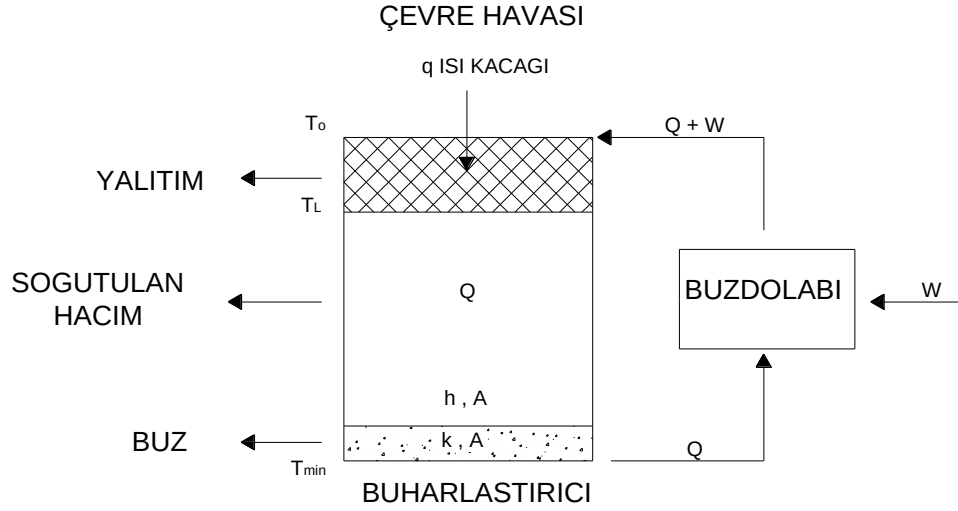
**Ek B İnan (2000) tarafından hazırlanmış dan karlanma modeli n akış  
di yagram**



### Ek C Bejan ve dğ (1994) tarafından hazırlanmış dan defrost opti mumuna yönelik modelleme çalışması

Buharlaştırıcı üzerinde biriken kar nederi ile soğutulacak dan hacim ile buharlaştırıcı yüzeyleri arasındaki ısı direnç artmaktadır. Isı dirençteki bu artışın etkilerini azaltmak için, buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının düşmesi gerekmektedir. Bu durumda, buzdolabı daha fazla elektrik enerjisi tüketmektedir.

Karlanmış şartlardaki buzdolabı buharlaştırıcısı Şekil C 1'deki gibi modellenmiştir.



Şekil C 1 Modelleme

Modelde, buzdolabı yalıtım bđ ünleri n den kalı n i ğ ne doğru dan ısı kaçacağı (q) ile gösterilmiştir. Buharlaştırıcı dan bekl enen karlanmış şartlara ve ısı kaçacağı na karşı n, iç sıcaklığı i steril en seviye dan (TL) sıcaklığı nda tutabilmesi dr. Modelde buzdolabı çalışma süresi, yarı kompresörün çalışma süresi t<sub>1</sub> ile, buzdolabı kompresörünün durduğu ve defrost un yapıldı ğ süresi se t<sub>2</sub> ile gösterilmiştir.

Buzdolabı na devanılı d arak ğ iren kaçak ısı (q), buzdolabı kompresörünün çalıştı ğ t<sub>1</sub> süresi nce dış ortama atılmaktadır. Her t<sub>1</sub> süresi ni bir t<sub>2</sub> süresi takip etmektedir.

$$\dot{Q} = \frac{q \cdot (t_1 + t_2)}{t_1} \quad (C1)$$

Öncelikle defrost süresi olarak belirtilen (t<sub>2</sub>) süresi nin sabit d du ğ u ve bilind ğ düşünölmüştür. Ayrıca, kar tabakası n n erilmesi için gerekli dan defrost enerjisi de ihmal edilmiştir. Bu kabuller ışığı nda çalışma periyodu (t<sub>1</sub>) ana bilinmeyen d maktadır. Yine, k d aylık d ması amacıyla soğutul an bđ ünün ısı at d d i ri n yeteri

kadar büyük olduğu kabul edilmiştir. Böylece  $T_L$  sıcaklığının devamlı sürede sabit kaldığı kabul edilmiştir.

$T_o$  çevre sıcaklığı ve  $T_{min}$  buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı arasında çalışan soğutma çevrimini temsil etmez olduğu ve burada bilinen sabit bir kinetik yasa veriminin ( $\eta_1$ ) söz konusu olduğu belirtilmiştir. Bu verim 0 ile 1 arasında değer almaktadır ve iyi bir yaklaşıklıkla buharlaştırıcı yüzeyindeki kar birikmesinden etkilenmemektedir. Buna karşın kar birikmesinden etkilenen özellik, kar tabakasının kalınlığı ile artan  $(T_L - T_{min})$  sıcaklık aralığıdır.

Havadan buharlaştırıcıya geçen soğutma yükü

$$\dot{Q} = \left( \frac{1}{h.A} + \frac{\delta}{k.A} \right)^{-1} . (T_L - T_{min}) \quad (C2)$$

şeklindeki formülasyon ile belirlenmiştir. Burada  $h$ , buharlaştırıcı ile soğutulmuş ortam arasındaki hava tarafı ısı taşıma katsayısı,  $A$  buharlaştırıcı yüzey alanı,  $\delta$  buharlaştırıcı üzerinde biriken karın kalınlığı,  $k$  biriken bu kar tabakasının ısı iletim katsayısı,  $T_L$  ve  $T_{min}$  sırası ile soğutulmuş ortamın sıcaklığı ile buharlaştırıcı yüzey sıcaklığıdır.

Soğutma yükü denklemindeki kar kalınlığı ile zaman arasında ilişki kurulmuş ve deneylerle incelenmiştir. 40'ardaki kayıtlara buharlaştırıcıdaki karlanma incelenmiş ve sonuçta iki değer arasında

$$\delta = a.t \quad (C3)$$

şeklinde bir ilişki olduğu görülmüştür. Buradaki  $a$  katsayısı deneysel verilerden elde edilmiş sabit bir sayıdır.

Carnot soğutma makinasının soğutma etkililik katsayısı,

$$S.E.K._C = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{W}_C} = \frac{T_{min}}{T_o - T_{min}} \quad (C4)$$

şeklinde belirlenebilmektedir. Gerekli olan kompresör gücü,

$$\dot{W}_C = \dot{Q}_C \cdot \left[ \frac{T_O}{T_{\min}} - 1 \right] \quad (C5)$$

for mülünden hesaplanabilmektedir. Ede edilmiş olan bu güç ifadesi verimle birlikte düşünüldüğünde gerekli olan gerçek güç;

$$\dot{W} = \frac{1}{\eta_{II}} \cdot \dot{Q}_C \cdot \left[ \frac{T_O}{T_{\min}} - 1 \right] \quad (C6)$$

şeklinde bulunmaktadır. Bulunan bu güç ifadesi tüm çalışma periyodu ( $t_1$ ) için düşünüldüğünde;

$$W = \int_0^{t_1} \dot{W} dt \quad (C7)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Bu güç ifadesi,  $t_1$  süresinde yalıtı müzerinden iç ortama giren ısıyı dışarı atmak için kullanılmaktadır. Bu nedenle çalışmada;

$$\frac{W}{q \cdot (t_1 + t_2)} \quad (C8)$$

oranı göz önüne alınmıştır ve bu oranı en düşük yapan bir  $t_1$  değeri aranan optimum süre ifadesidir.

Tüm denklemlerinin bir arada düşünülmesi ile ortama gerekli güç (C.9) ifadesi şekilde boyutsuz sayılar dâsinde edilmektedir.

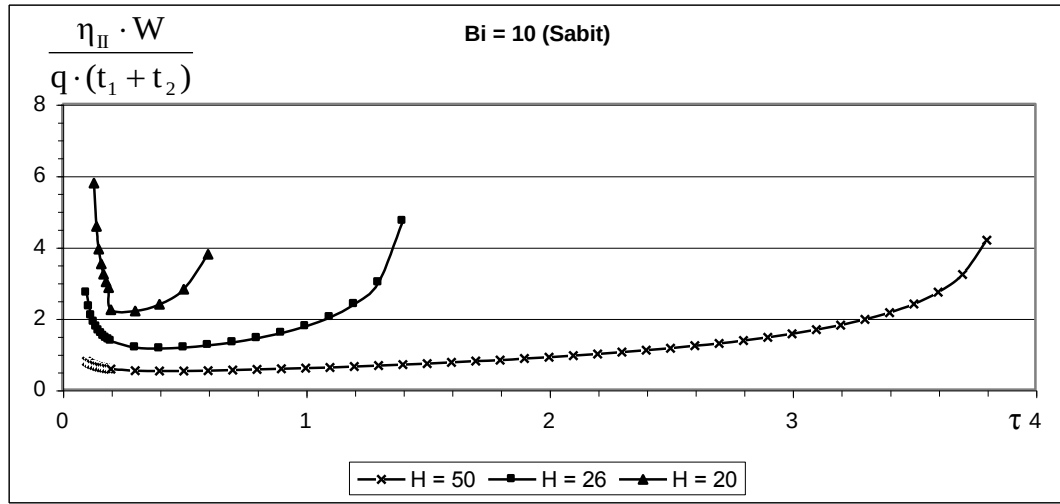
$$\frac{\eta_{II} \cdot W}{q \cdot (t_1 + t_2)} = \left( \frac{T_O}{T_L} \right) \cdot H \cdot \ln \left[ \frac{H - 1 - \left( \frac{1}{\tau} \right)}{H - 1 - \left( \frac{1}{\tau} \right) - Bi \cdot (1 + \tau)} \right] - 1 \quad (C9)$$

Boyutsuz sayılar Biot sayısı, ısı taşıma katsayısının boyutsuz karşılığı (H) sayısı, çalışma ve defrost sürdri açısından ed edilmiş olan boyutsuz sayı ( $\tau$ ) ve ( $T_O/T_L$ ) boyutsuz sayısıdır ve tanımı aşağıda verilmiştir.

$$Bi = \frac{h \cdot a \cdot t_2}{k}, H = \frac{h \cdot A \cdot T_L}{q}, \tau = \frac{t_1}{t_2} \quad (C 10)$$

Sonuç olarak  $\tau$  dışındaki diğer üç boyutsuz sayıların, üretilen sonra değişmediği belirtilmiş ve  $\tau$  sayısının optimum değeri aranmıştır.

Şekil C 2 de sabit B sayısı ve farklı H değerlerindeki optimum zaman ile  $\frac{\eta_{II} \cdot W}{q \cdot (t_1 + t_2)}$  değerlerinin değişimi görülmektedir. Grafikteki  $\frac{\eta_{II} \cdot W}{q \cdot (t_1 + t_2)}$  değerinin en küçük olduğu nokta aranmaktadır. Böylece, ısı kaçağını dış ortama atmak için harcanan güç en küçük olacaktır.



Şekil C 2 Sabit B sayısı ve farklı H değerlerinde optimum  $\tau$

Grafik ile elde edilen bu sonuca, (C 11) ndü denkleminin  $\tau$ 'ya göre türevinin sıfıra eşitlenmesi ile de ulaşılabılır. İşlem sonunda aşağıdaki denkleme ulaşılmaktadır.

$$\ln \left[ \frac{H - 1 - \left( \frac{1}{\tau} \right)}{H - 1 - \left( \frac{1}{\tau} \right) - Bi \cdot (1 + \tau)} \right] - \frac{(1 + \tau) \cdot Bi \cdot \left[ H - 1 - \left( \frac{1}{\tau^2} \right) - \left( \frac{2}{\tau} \right) \right]}{\left[ H - 1 - \left( \frac{1}{\tau} \right) - Bi \cdot (1 + \tau) \right] \cdot \left[ H - 1 - \left( \frac{1}{\tau} \right) \right]} = 0 \quad (C 11)$$

ikinci olarak, daha önce ihmal edilen defrost sırasında ortama verilen enerji de dikkate alınmaktadır. Böylece (C 1) denklemi,

$$\dot{Q} = \frac{q \cdot (t_1 + t_2) + q_j \cdot t_2}{t_1} \quad (C 12)$$

şeklini almaktadır. Burada  $q$  defrost sırasında ortama verilen ısıyı ifade etmektedir. Aynı işlemler tekrarlandığında bu kez,

$$\frac{\eta_{II} \cdot W}{q \cdot (t_1 + t_2)} = \frac{\left(\frac{T_o}{T_L}\right) \cdot H}{Bi \cdot (1 + \tau)} \cdot \ln \left[ \frac{H - 1 - \left(\frac{1+C}{\tau}\right)}{H - 1 - Bi \cdot (1 + \tau + C) - \left(\frac{1+C}{\tau}\right)} \right] - 1 - \frac{C \cdot (1 - \eta_{II})}{1 + \tau} \quad (C 13)$$

denkleminin elde edilmiştir. Bu denkleminde daha önceki boyutsuz sayılar ek olarak, C ile ifade edilen bir boyutsuz sayı daha mevcuttur. Bu boyutsuz sayı;

$$C = \frac{q_j}{q} \quad (C 14)$$

defrost enerjisinin ısı kaçağına oranı şeklinde ifade edilmiştir.

Denklemin  $\tau$ 'ya göre türevinin sıfıra eşitlenmesi ile optimum zaman eşitliği elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} & -\left(\frac{T_o}{T_L}\right) \cdot \frac{H}{Bi \cdot (1 + \tau)^2} \cdot \ln \left[ \frac{H - 1 - \left(\frac{1+C}{\tau}\right)}{H - 1 - Bi \cdot (1 + \tau + C) - \left(\frac{1+C}{\tau}\right)} \right] + \\ & \frac{\left(\frac{1+C}{\tau}\right) \cdot \left[ H - 1 - Bi \cdot (1 + \tau + C) - \left(\frac{1+C}{\tau}\right) \right] - \left[ \left(\frac{1+C}{\tau^2}\right) - Bi \right] \cdot \left[ H - 1 - \left(\frac{1+C}{\tau}\right) \right]}{\left[ H - 1 - Bi \cdot (1 + \tau + C) - \left(\frac{1+C}{\tau}\right) \right] \cdot \left[ H - 1 - \left(\frac{1+C}{\tau}\right) \right]} \cdot \left(\frac{T_o}{T_L}\right) \cdot \frac{H}{Bi \cdot (1 + \tau)} + \\ & \frac{C \cdot (1 - \eta_{II})}{(1 + \tau)^2} = 0 \end{aligned} \quad (C 15)$$

Elde etmiş oldukları bu denklemleri ve grafikleri, yapmış oldukları bir deneye uygulamışlardır.

Tablo C 1'de verilenler çalışmaları sırasında bir deneye ait parametrelerdir ve işlemler sonunda optimum zamanı;

$$\tau = 24 \text{ saat} \quad (C 16)$$

olduğunu bulmuşlardır.

Çalışmanın başlangıcında defrost süresinin, yani  $t_2$  değerinin 0.5 saat olduğunu ve değışmediğini kabul etmişlerdir. Bunun da dikkate alınması ile, 12 saatlik buzdolabı



çalışmasını, 0.5 saatlik bir defrost süresinin takip etmesini, buzdolabı enerji tüketiminde niri mum d acağı sonucuna var mış dır.

Tablo C 1 Deney verilerinden d uşturulmuş d an sayı sal örnek

|                                                 |                         |
|-------------------------------------------------|-------------------------|
| Kaçak ısı ( $q$ )                               | 60 W                    |
| Defrost ısıtıcısının ortama ver d ğ güç ( $q$ ) | 100 W                   |
| Isı taşı nı m katsayısı ( $h$ )                 | 40 W m <sup>2</sup> . K |
| Defrost süresi ( $t_2$ )                        | 0.5 saat                |
| İç sıcaklık ( $T_L$ )                           | -18° C                  |
| Buharlaştırıcı yüzey d anı ( $A$ )              | 0.1 m <sup>2</sup>      |
| Kar birikme hızı ( $a$ )                        | 0.42 mm/saat            |
| Kar ısı iletici katsayısı ( $k$ )               | 0.2 W m K               |

But ez çalışmasını n literatür araştırması kısmında i ncel enmiş d an bu makalede bazı eksik leri n ve bazı yanlış ları n d uğu belirl enmiştir.

1. Bahsedilen çalışma defrost süre leri ni n opti mumuna yöneliktir, ancak defrost süresi 30 dakika d arak sabit alınmış ve her durumda sabit d uğu düşünölmüştür. Ancak aşırı nemli hava koşullarında buharlaştırıcı üzerinde çok miktarda kar birikecekken, düşük nemli hava koşullarında biriken kar miktarı daha az d acaktır. Bu nederle defrost süresi nde belirl i miktarda değışme d acağı açıktır. Bu nederle çalışmada yapılmış d an bu basitli ği n doğrudan belirl enen opti mum süre değeri leri üzerinde et kili d uğu düşünölmektedir.
2. Opti mum defrost süresi ni n belirl enmesi i ği n d ed edilen denklemleri n uygulaması i ği n verilmiş d an tablo değeri ndeki buharlaştırıcı yüzey d anı gerçek ddaplarda kullanılan buharlaştırıcı yüzey d an ları nı n yaklaşık 1/10 udur. Bu nederle verilmiş d an bu değeri gerçekçi görölmektedir.
3. Verilmiş d an tablo değeri leri ni n kullanılması ile makale i çeri sinde bahsedilen 12 saat opti mum süre yeri ne 17 saat bul unmaktadır. Bu bağ amda verilmiş d an tablo değeri leri ile sonuç arasında tutarsızlık bul unmaktadır.

#### Ek D Termodemanların kalibrasyon sonuçları

Sabit sıcaklık banyosunda 15, 10, 5, 0, -5, -10, -15 ve -20° C de kalibrasyonları yapılmıştır. Banyoda iki referans termodemanının (Ref A ve Ref B) ortalamaları kullanılmıştır. Banyo dengeye geldikten sonra bir saat süre ile sıcaklık değerleri kaydedilmiş ve bunların ortalamaları kullanılmıştır. Tablo D 1 referans değerleri ve termodemanların gösterdiği değerler görülmektedir.

Tablo D 1 Kalibrasyon değerleri

|               | Ref A  | Ref B  | Ort (Ref A B) | 1      | 2      | 3      | 4      |
|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| <b>15° C</b>  | 14.98  | 15.00  | 14.99         | 13.90  | 15.05  | 14.85  | 15.04  |
| <b>10° C</b>  | 10.03  | 10.06  | 10.04         | 8.91   | 10.11  | 9.93   | 10.09  |
| <b>5° C</b>   | 5.09   | 5.11   | 5.10          | 4.01   | 5.19   | 4.96   | 5.20   |
| <b>0° C</b>   | 0.03   | 0.06   | 0.04          | -0.93  | 0.15   | 0.00   | 0.14   |
| <b>-5° C</b>  | -5.05  | -5.02  | -5.04         | -5.93  | -4.89  | -5.04  | -4.91  |
| <b>-10° C</b> | -10.05 | -10.02 | -10.03        | -10.90 | -9.78  | -9.91  | -9.81  |
| <b>-15° C</b> | -15.54 | -15.50 | -15.52        | -16.34 | -15.15 | -15.27 | -15.40 |
| <b>-20° C</b> | -19.63 | -19.59 | -19.61        | -20.43 | -19.40 | -19.40 | -19.39 |

| 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 14.99  | 14.98  | 14.96  | 14.84  | 14.99  | 14.83  | 14.88  | 15.00  |
| 10.06  | 10.04  | 10.01  | 9.90   | 10.06  | 9.88   | 9.95   | 10.08  |
| 5.13   | 5.08   | 5.09   | 4.96   | 5.19   | 4.98   | 5.05   | 5.23   |
| 0.11   | 0.07   | 0.07   | -0.05  | 0.13   | 0.00   | 0.04   | 0.24   |
| -4.89  | -4.92  | -4.96  | -5.01  | -4.85  | -5.00  | -4.98  | -4.79  |
| -9.79  | -9.81  | -9.82  | -9.94  | -9.85  | -9.92  | -9.94  | -9.78  |
| -15.20 | -15.24 | -15.23 | -15.44 | -15.33 | -15.42 | -15.38 | -15.14 |
| -19.35 | -19.31 | -19.37 | -19.37 | -19.32 | -19.40 | -19.51 | -19.18 |

| 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 15.21  | 15.10  | 13.90  | 14.84  | 14.70  | 14.78  | 14.82  | 14.84  |
| 13.09  | 10.17  | 8.87   | 9.91   | 9.75   | 9.85   | 9.85   | 9.99   |
| 5.60   | 5.29   | 4.00   | 4.97   | 4.90   | 4.96   | 4.95   | 4.96   |
| 0.75   | 0.30   | -0.98  | -0.02  | -0.13  | -0.03  | -0.06  | -0.05  |
| -4.52  | -4.80  | -6.09  | -5.12  | -5.18  | -5.13  | -5.15  | -5.12  |
| -9.42  | -9.80  | -11.05 | -10.01 | -10.05 | -9.98  | -10.00 | -9.96  |
| -15.17 | -15.20 | -16.51 | -15.49 | -15.50 | -15.49 | -15.51 | -15.41 |
| -19.44 | -19.42 | -20.53 | -19.55 | -19.50 | -19.46 | -19.61 | -19.44 |

| 21     | 22     |
|--------|--------|
| 14.90  | 14.94  |
| 9.90   | 10.01  |
| 5.00   | 5.13   |
| -0.02  | 0.14   |
| -5.11  | -4.87  |
| -10.00 | -9.86  |
| -15.50 | -15.35 |
| -19.61 | -19.35 |

## Ek E Havanın ısı Özellikleri

$-30^{\circ}\text{C} \leq T_h \leq 60^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığı için havanın ısı özellikleri için alttaki ifadeler kullanılmıştır. Bu ifadeler Şeker (1999)'dan alınmıştır.

$$\rho_h = \frac{348.357}{273.15 + T_h} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$c_p = 689.46 \cdot 10^{-6} \cdot T_h^2 - 255.94 \cdot 10^{-6} \cdot T_h + 1006.39 \quad (\text{J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$\mu_h = -34.57 \cdot 10^{-12} \cdot T_h^2 + 50.36 \cdot 10^{-9} \cdot T_h + 17.24 \cdot 10^{-6} \quad (\text{kg/m} \cdot \text{s})$$

$$k_h = -47.33 \cdot 10^{-9} \cdot T_h^2 + 76.49 \cdot 10^{-6} \cdot T_h + 0.02418 \quad (\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$\nu_h = 111.81 \cdot 10^{-12} \cdot T_h^2 + 89.12 \cdot 10^{-9} \cdot T_h + 13.52 \cdot 10^{-6} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

$$\text{Pr}_h = 627.26 \cdot 10^{-9} \cdot T_h^2 - 168.93 \cdot 10^{-6} \cdot T_h + 0.717908$$

**Ek F. Hava iindeki su buharının doyma basıncının bulunmasında kullanılan  $\alpha$  ifadesindeki katsayıları**

$213.15\text{ K} \leq T_h \leq 273.15\text{ K}$  aralığında

$$\alpha = A T^2 + B T + C + D^1$$

$$A = -0.7297593707 \cdot 10^5$$

$$B = 0.5397420727 \cdot 10^2$$

$$C = 0.2069880620 \cdot 10^2$$

$$D = -0.6042275128 \cdot 10^4$$

$273.15\text{ K} \leq T_h \leq 322.15\text{ K}$  aralığında

$$\alpha = A T^2 + B T + C + D^1$$

$$A = 0.1255001965 \cdot 10^4$$

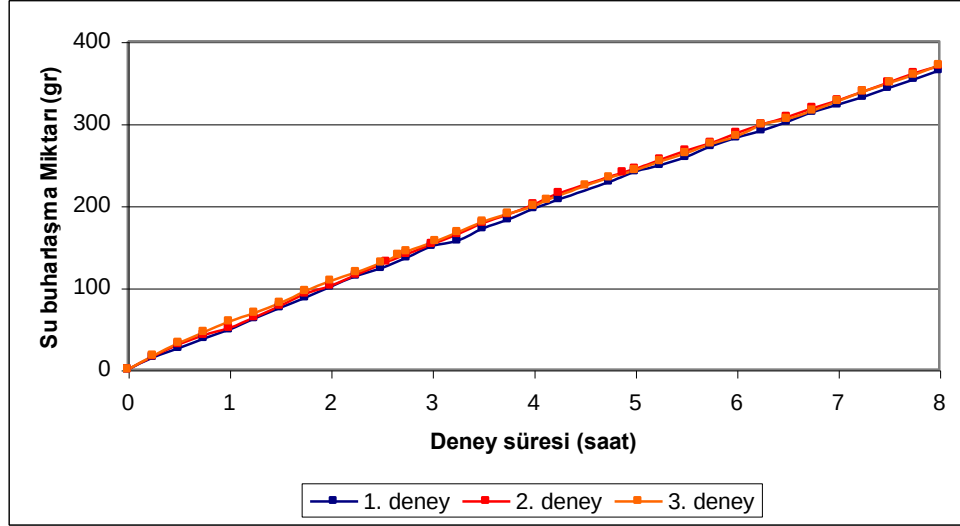
$$B = -0.1923595289 \cdot 10^1$$

$$C = 0.2705101899 \cdot 10^2$$

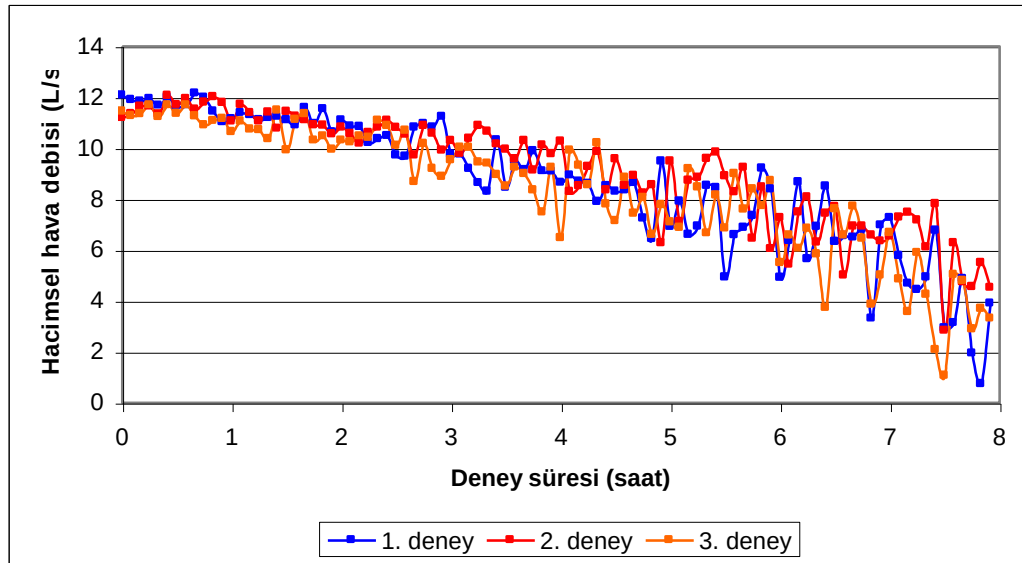
$$D = -0.6344011577 \cdot 10^4$$

## Ek G Deneyleri ntekrarlanabilirliğ

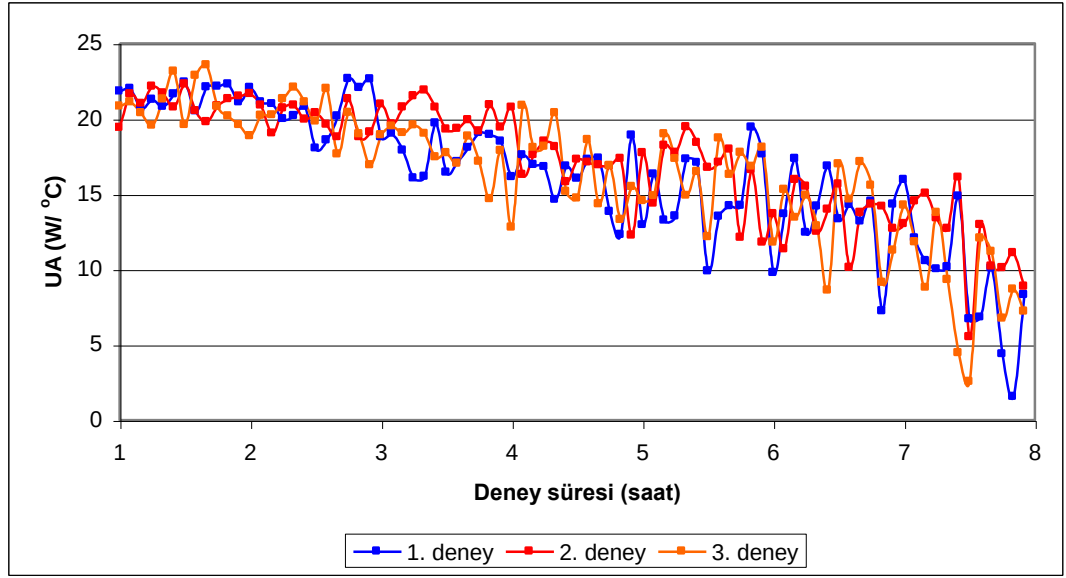
1. deney grubundan 368.4 gr suyun buharlaştırıldığ deneye ait tekrarlanabilirlikler şekil G1, şekil G2 ve şekil G3te verilmiştir.



Şekil G1 Su buharlaşma miktarlarının ntekrarlanabilirliği



Şekil G2 Hacımsel hava debisinin ntekrarlanabilirliği

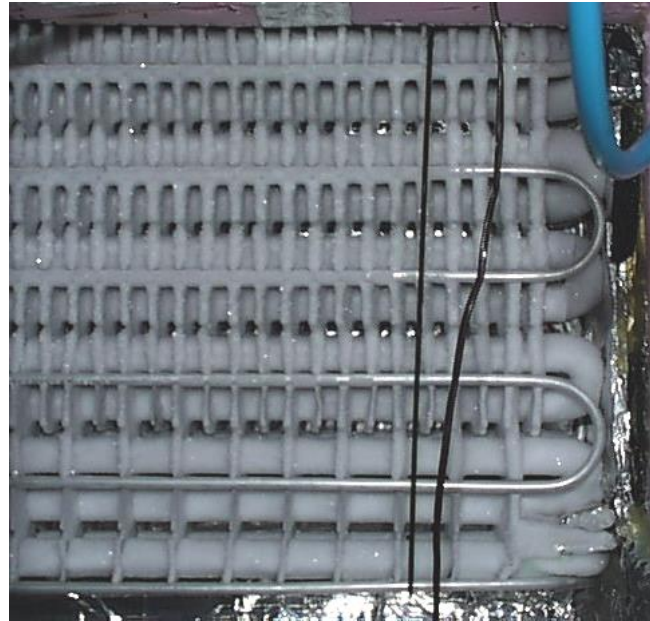


Şekil G3 Toplam ısıl geçirgenlik değeri nitekrarlanabilirliği

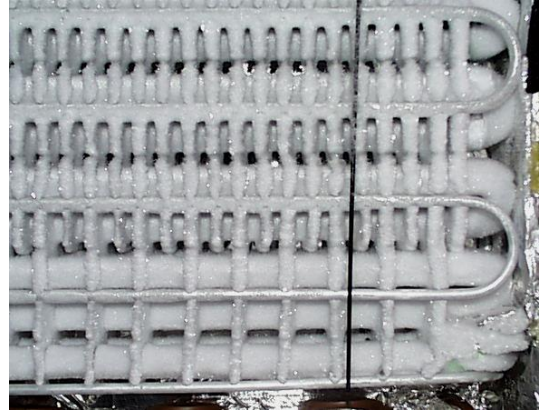
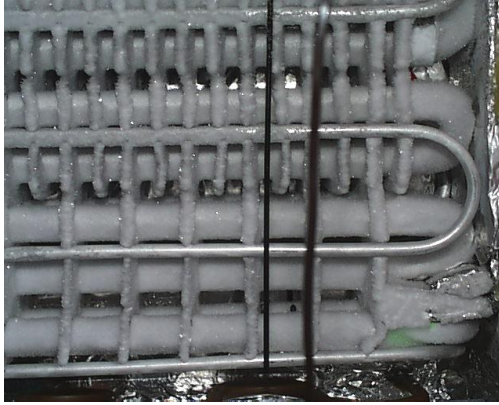
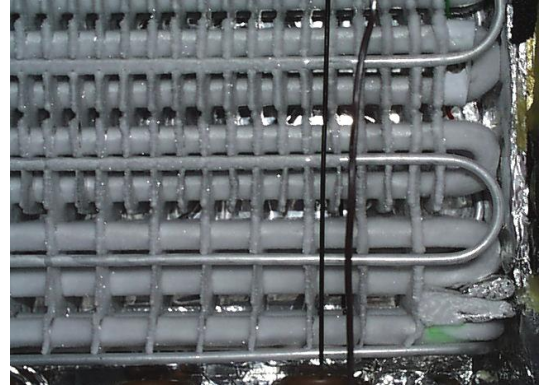
**Ek H Deneyler sırasında çekilmiş karlanma fotoğrafları**



**Şekil H1** Kuru buharlaştırıcı



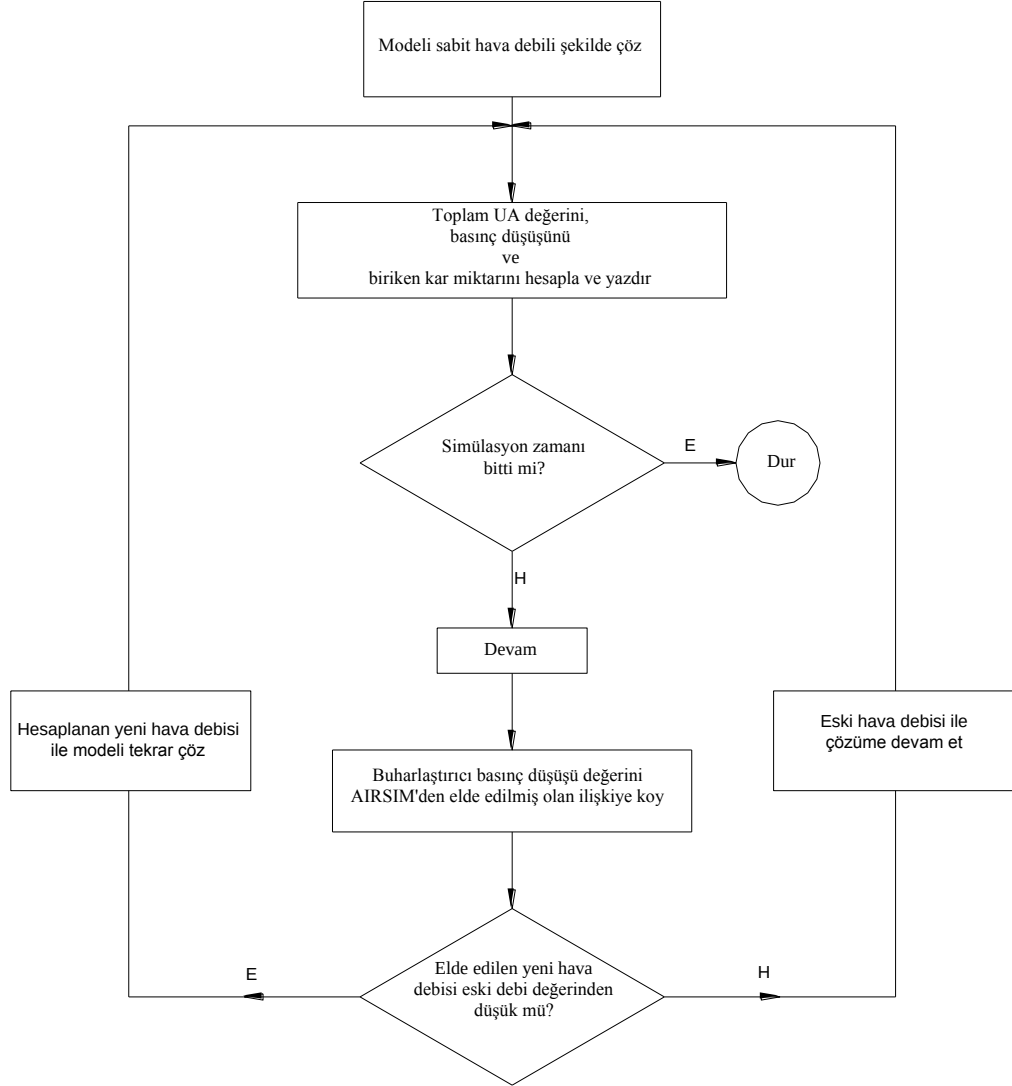
**Şekil H2** Deney sonunda buharlaştırıcıda oluşan karlanma ( 1. deney grubundan 46.05 gr/saat buharlaşma hızındaki deneye aittir)



Şekil H3 2 deney grubundan 36.76 gr/saat buharlaşma hızındaki deneyde 1., 3., 5. ve 8. saatlerde çekilmiş karlanma fotoğrafları (sd dan sağa doğru 1., 3., 5 ve 8 saatler)



## Ek I. Azalan hava debisi modelinin algoritması

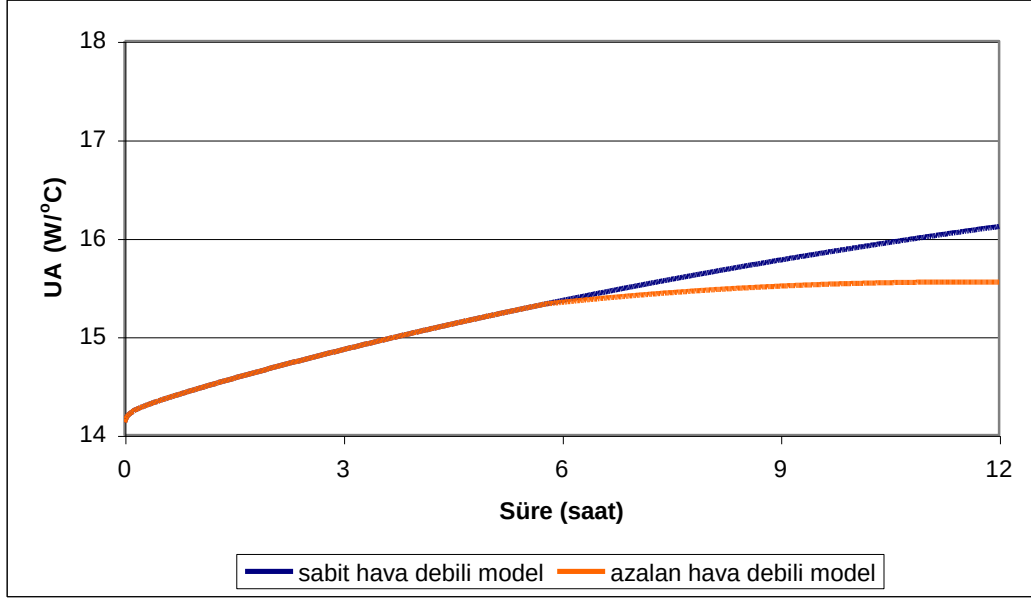


Programın çalıştırılmasından sonra elde edilen basınç düşüşü değeri şekil 6.7 de verilmiş olan ilişki için elde edilmiş olan eğriye konmaktadır.

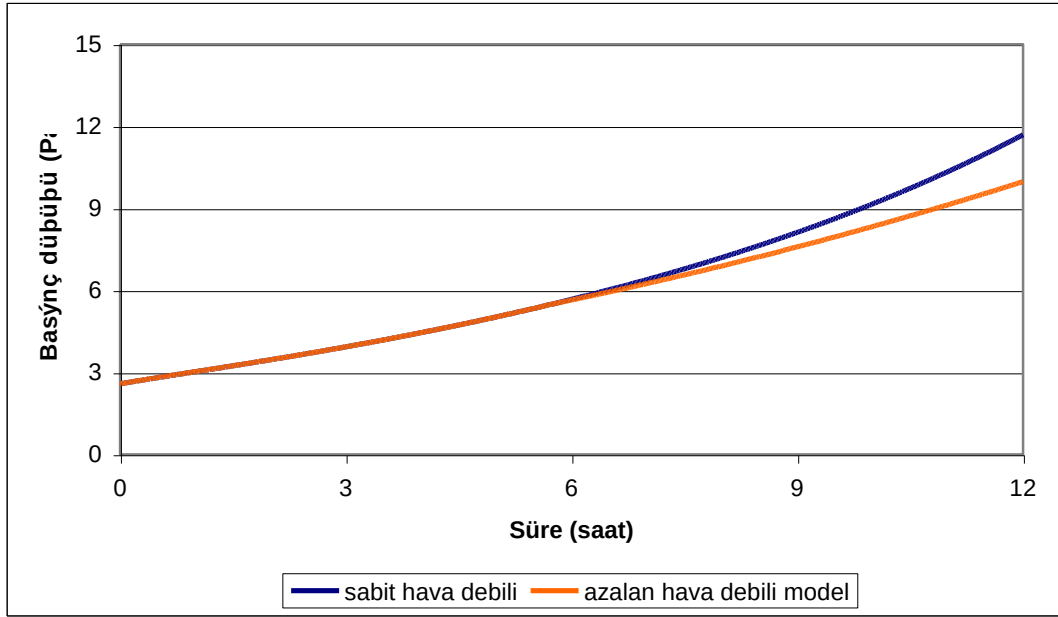
Giriş büyüklükleri ne görece ki basınç düşüşü değeri düşük dabil mektedir. Bu düşük değeri n elde edilmiş olan fonksiyona konması durumunda ise yüksek hava debisi elde edilmektedir. Karanma sonucunda elde edilmiş yeni hava debisi değeri n eski değerden büyük olması mantıksızdır.

Bu nedenle ormulden elde edilen hava debisi, eski hava debisi ile kontrol edilmektedir. Kontrol sonunda yeni hesaplanan değer, eskisinden düşükse sonraki adımda bu değer kullanılmıştır. Eğer tersi durum söz konusu ise eski hava debisi ile hesaplamaya devam edilmiştir.

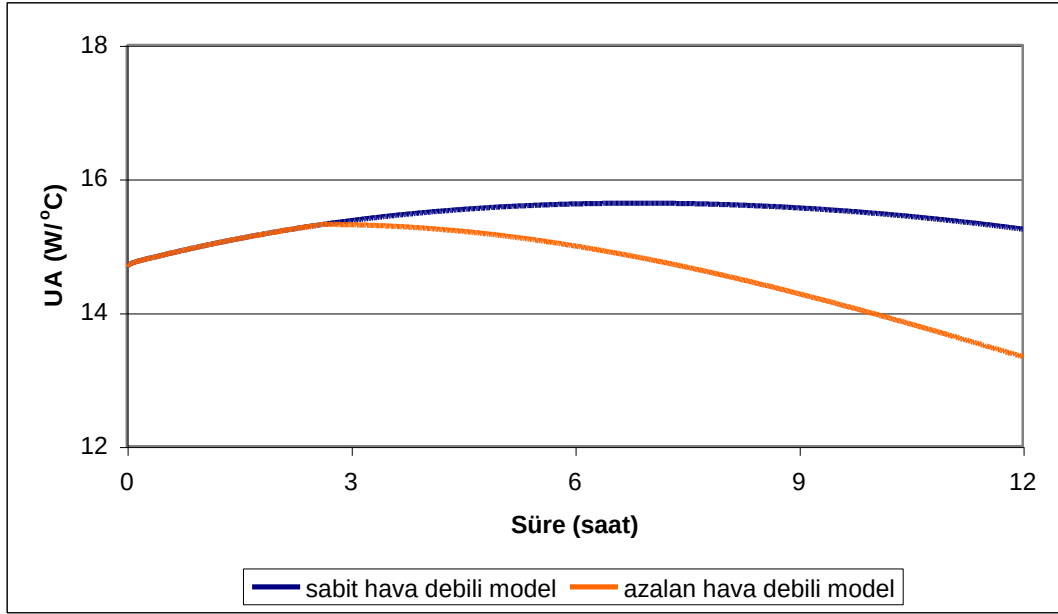
**Ek İ. Sabit hava debili model ile azalan hava debili model sonuçlarının karşılaştırılması**



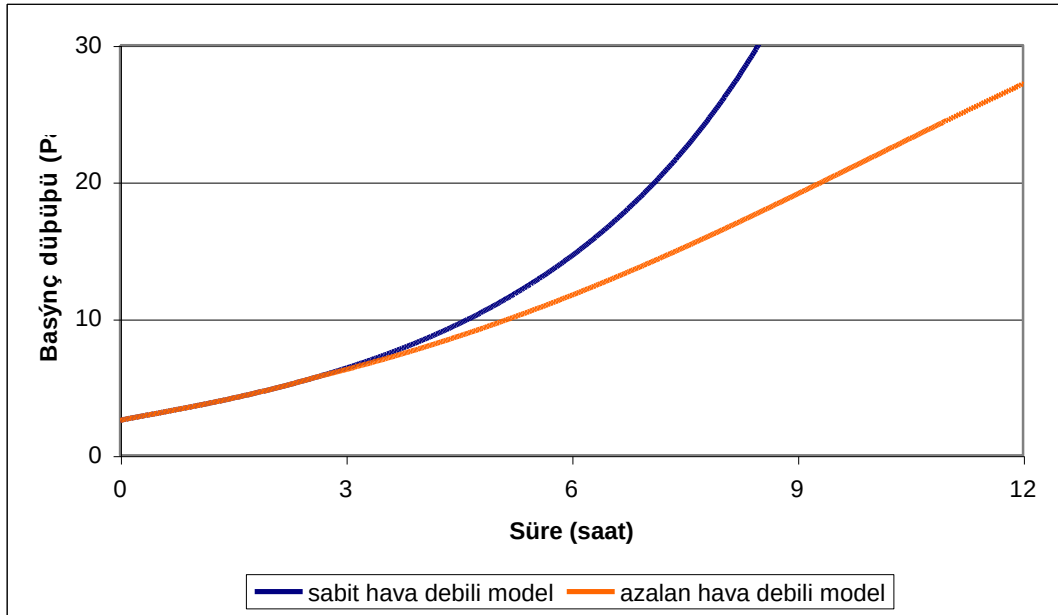
Şekil İ.1 2 deney grubundan 25 gr/saat buharlaşma hızındaki giriş büyüklüklerinde çalıştırılmış sabit hava debili model ve azalan hava debili modelin UA değeri açısından karşılaştırılması



Şekil İ.2 2 deney grubundan 25 gr/saat buharlaşma hızındaki giriş büyüklüklerinde çalıştırılmış sabit hava debili model ve azalan hava debili modelin basınç düşüşü açısından karşılaştırılması



Şekil İ.3 2. deney grubundan 36.76 gr/saat buharlaşma hızındaki giriş büyüklüklerinde çalıştırılmış sabit hava debili model ve azalan hava debili modelin UA değeri açısından karşılaştırılması



Şekil İ.4 2. deney grubundan 36.76 gr/saat buharlaşma hızındaki giriş büyüklüklerinde çalıştırılmış sabit hava debili model ve azalan hava debili modelin basınç düşüşü açısından karşılaştırılması

## **ÖZGEÇMİŞ**

18.06.1978 de İstanbul’da doğdu. 1996 yılında Ankara Gazi Anadolu Lisesi’nden mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi’nde Makina Mühendisliği eğitimi ne başladı. 2000 yılında Makina Mühendisliği ni bölümünü 6. sırada bitirdi ve aynı yıl aynı fakültenin Enerji Bölümünde yüksek lisans çalışması na başladı. İngilizce bilmektedir.