

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEŞİTLİ ÇEVRE KOŞULLARINDA BUZDOLABI
EVAPORATÖRLERİNDE KARLANMA PROSESİNİN
DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ**

Makina Yük. Müh. Derya Burcu ÖZKAN

**F.B.E Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 26.06.2002
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Eralp ÖZİL (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mahir ARIKOL (B.Ü.)
: Prof. Dr. Hasan HEPERKAN (Y.T.Ü.)
: Doç. Dr. Düriye BİLGE (Y.T.Ü.)
: Doç. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU (İ.T.Ü.)

İSTANBUL, 2002

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

128791

[Handwritten signatures and initials]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. DEFROST	2
2.1 Defrostun Tanımı	2
2.2 Defrost Metotları.....	2
2.2.1 Su ile defrost	3
2.2.2 Elektrik defrost.....	3
2.2.2.1 Defrost zaman sayacı	4
2.2.2.2 Defrost ısıtıcısı	4
2.2.2.3 Defrost termostat.....	4
2.2.3 Sıcak gaz defrost	4
2.2.4 Reevaporatör bataryalar	5
2.2.5 Ters çevrim defrost	6
2.2.6 Isı bankası defrost	8
2.3 Defrost Kontrol Sistemleri.....	8
2.3.1 Açık döngü metotları	8
2.3.2 Kapalı döngü metotları	8
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
3.1 Karlanma Üzerine Yapılan Çalışmalar	11
3.1.1 Basit Geometrilili Yüzeyler Üzerinde Oluşan Karlanma.....	11
3.1.1.1 Düz yüzeyler	11
3.1.1.2 Silindirik yüzeyler.....	14
3.1.2 Evaporatör Yüzeyinde Kar Oluşumunu İnceleyen Çalışmalar	15
3.2 Defrost Üzerine Yapılan Çalışmalar	17
4. UYGULAMALI ÇALIŞMA	20
4.1 Deneyde Kullanılan Ekipmanlar	20
4.1.1 Buzdolabı kabini	20
4.1.2 Evaporatör	20
4.1.3 Terazî	21

4.1.4	Su kapları	21
4.1.5	LDA Sistemi	22
4.1.6	Manometre	24
4.1.7	Nem ölçümü.....	25
4.1.8	Datalogger.....	25
4.1.9	Termoelemanlar	25
4.1.10	Endoskopik kamera.....	27
4.1.11	Deney Düzeneginin Hazirlanmasi	27
4.2	Deneylerin Yapilisi	29
5.	DENEYSEL SONUÇLAR	30
5.1	Evaporatör Üzerinde Kar Oluşumunun İncelenmesi.....	30
5.2	Defrost Sürecinin İncelenmesi	35
5.3	Deneylerin Tekrarlanabilirliği ve Güvenilirliği	37
6.	TEORİK ANALİZ	40
6.1	Giriş.....	40
6.2	Evaporatör Üzerinde Yoğuşan Kar Miktarının Hesaplanması	40
6.3	Karın Ortalama Yoğunluğunun Bulunması	41
6.4	Karın Isı İletim Katsayısının Bulunması.....	41
6.5	Karın Erimesinde Enerji Dengesi	42
6.6	Kanat Üzerindeki Karın Erime Zamanı	43
6.7	Modelle Hesaplanan Sonuçlar ile Deneyde Ölçülen Değerlerin Karşılaştırılması	45
6.8	Teorik Model Sonuçları ile Deneyde Ölçülen Değerlerin Karşılaştırılması.....	49
7.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	51
	KAYNAKLAR	55
	EKLER.....	60
Ek 1	Deneyden Alınan Ölçümler	61
Ek 2	Zamana Bağlı Kanat ve Kabiniçi Sıcaklık Değişiminin 1. ve 2. Dereceden Polinomlara Uygunluğu	70
Ek 3	Deney Hata Analizi.....	72
Ek 4	Termoeleman Ölçüm Yerlerinin Gösterimi	73
	ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGE LİSTESİ

A	Alan
a	Kanat genişliği
Al	Aluminyum
b	Kanat boyu
c_f	Karın ısınma ısısı
$c_{p, Al}$	Alüminyumun ısınma ısısı
c_{ph}	Havanın özgül ısısı
h	Hava
h_f	Isı transfer katsayısı
h_{fg}	Faz değişim entalpisi
h_{mf}	Kütle transfer katsayısı
k	Isı iletim katsayısı
k_f	Karın ısı iletim katsayısı
k_i	Buz kristallerinden oluşan yapının ısı iletim katsayısı
k_v	Su buharı ısı iletim katsayısı
k_r	Kar tabakası içindeki radyasyon ısı iletim katsayısı
k_w	Suyun ısı iletim katsayısı
l	Kanat kalınlığı
Le	Lewis sayısı
m_f	Kanat üzerinde biriken kar kütlesi
m_h	Hava kütlesi
m_t	Evaporatör üzerinde yoğuşan toplam su kütlesi
m_w	Su kütlesi
m_{wt}	Ürünlerden gelen su buharı kütlesi
Q_L	Erime gizli ısısı
q_0	Isı akısı
Re	Reynolds sayısı
T	Sıcaklık
T_c	Test levha sıcaklığı
T_∞	Kar sıcaklığı
T_{pE}	Erime sıcaklığı
UA	Toplam ısı transfer katsayısı
V	Hacim
v	Özgöl hacim
v_p	Kar içerisindeki sıcaklık farkı
V_f	Kanat üzerinde biriken kar hacmi
V_h	Buzdolabı kabin içi hacmi
w	su
x_f	Kanat üzerindeki kar kalınlığı
ΔP	Basınç kaybı
ΔT	Sıcaklık farkı
τ	Zaman
v	Hız
ϕ	Bağıl nem
ρ_{Al}	Aluminyumun yoğunluğu
ρ_f	Kar yoğunluğu.

ρ_h
 ω

Hava yoğunluğu
Özgül nem



KISALTMA LİSTESİ

ATGM	Araştırma Teknoloji Geliştirme Merkezi
LDA	Lazer Doppler Anemometre
SEM	Sınır Eleman Metodu



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Sıcak gaz defrost 5
Şekil 2.2	Reevaporatör bataryalar 6
Şekil 2.3	Normal çalışma akış şeması 7
Şekil 2.4	Ters çevrim defrost akış şeması 7
Şekil 4.1	Evaporatörün ön ve sol yan görünüşü 21
Şekil 4.2	Lazer ışınlarının kesişmesi sonucu oluşan kontrol hacmi 22
Şekil 4.3	LDA ölçüm yöntemi 23
Şekil 4.4	LDA ölçüm sistemi ile emişteki hava hızlarının ölçümü 24
Şekil 4.5	Termoelemanlarla kanat üstündeki sıcaklık ölçümü 25
Şekil 4.6	Endoskopik kamera sistemi elemanları 27
Şekil 4.7	Deney düzeneğinin fotoğrafı 28
Şekil 5.1	Karlanmış evaporatörün görünümü 30
Şekil 5.2	Emiş hava hızı ölçümü 31
Şekil 5.3	Kanat üstündeki kar kalınlığı ölçümü 32
Şekil 5.4	Zamana bağlı buharlaşan su miktarı 33
Şekil 5.5	Zamana bağlı özgül nem değişimi 35
Şekil 5.6	Zamana bağlı kanat sıcaklığı değişimi 36
Şekil 5.7	Zamana bağlı kabiniçi sıcaklığı değişimi 36
Şekil 6.1	Erime prosesinde sıcaklık değişimi 42
Şekil 6.2	Kanat üzerindeki kar erime detayı 43
Şekil 6.3	Isı akısına bağlı olarak karın erime süresi (Kar yoğunluğu 152 kg/m^3) 46
Şekil 6.4	Kar kalınlığına bağlı olarak karın erime süresi (Kar yoğunluğu 152 kg/m^3) 46
Şekil 6.5	Isı akısı ve kar kalınlığına bağlı olarak karın erime süresi 47 (Kar yoğunluğu 152 kg/m^3)
Şekil 6.6	Isı akısına bağlı olarak karın erime süresi (Kar yoğunluğu 200 kg/m^3) 48
Şekil 6.7	Kar kalınlığına bağlı olarak karın erime süresi (Kar yoğunluğu 200 kg/m^3) 48
Şekil 6.8	Isı akısı ve kar kalınlığına bağlı olarak karın erime süresi 49 (Kar yoğunluğu 200 kg/m^3)
Şekil 7.1	Teorik model sonuçları ile deneyden aldığımız ölçümlerin karşılaştırılması .. 52

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Kapların boş ve dolu kütleleri	22
Çizelge 4.2 Termoeleman listesi	26
Çizelge 4.3 Sabit test şartları	29

|



ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmamı yöneten, yorumları yapıcı eleştirileri ve önerileri ile çalışmalarına büyük destek olan değerli hocam Sayın Prof.Dr.Eralp ÖZİL' e teşekkürlerimi sunarım.

Bütün çalışmalarım esnasında benimle yakından ilgilenen, her zaman bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım hocam Sayın Prof.Dr.Doğan ÖZGÜR' e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez izleme komitemde bulunan ve önerileri ile çalışmama destek olan hocalarım Sayın Prof.Dr.Hasan HEPERKAN' a ve Sayın Doç.Dr.Dürriye BİLGE' ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda, ARÇELİK A.Ş. Araştırma Teknoloji Geliştirme Merkezindeki laboratuvar imkanlarını kullanmama olanak sağlayan, ATGM koordinatörü Sayın Doç.Dr.Yalçın TANES' e ve teknik olarak bana büyük destek olan, ATGM uzmanı Dr.Müh.Cemil İNAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bana zaman ayırıp yardımlarını esirgemiyen, Arçelik ATGM mühendisleri Deniz Şeker, Hakan Karataş ve ATGM teknisyeni Sebahattin Hocaoglu' na teşekkürlerimi sunarım.

Manevi destekleriyle hep yanımda olan annem Sevim TÜMER, babam Muammer TÜMER ve kardeşim Deniz TÜMER' e teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olup, bana destek olan eşim Yrd.Doç.Dr.Muammer ÖZKAN' a teşekkür ederim.

Mayıs 2002

Derya Burcu ÖZKAN

ÖZET

Buzdolabı ve klima üreticileri için, karın oluşumu ve gelişimi önemli bir problemdir. Evaporatör yüzeylerinde oluşan kar, termal izolasyon görevi görür ve ısı transferini engeller. Bu sebeple karlanma, evaporatör performansını düşüren önemli etkenlerden biridir. Evaporatör üzerinde oluşan bu karı belirli aralıklarla eritmek gerekir. Evaporatör üzerindeki karın çeşitli yöntemler kullanılarak eritilme işlemine defrost denilmektedir. Defrost prosesi sırasında dışarıdan verilen enerji miktarı ve defrost süresi enerji tasarrufu açısından üreticiler için önemli kriterlerdir.

Bu tezin amacı buzdolabındaki defrost prosesini daha verimli hale getirip, enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Tez çalışmasında kanatlı borulu tür bir no-frost buzdolabı evaporatörünün karlanma ve defrost süreci deneysel ve teorik olarak ele alınmıştır. Deneyler ARÇELİK A.Ş. Araştırma Teknoloji Geliştirme Merkezi laboratuvarlarında yapılmıştır.

Deneysel çalışmada öncelikle gerçek çalışma şartlarındaki buzdolabı evaporatörü üzerinde oluşan karlanma incelenmiştir. Daha sonra defrost prosesi ayrıntılı olarak kamerayla incelenmiştir. Çalışmada kanat üzerindeki kara verilen enerji miktarı ile karın erime süresi ve erimenin öncelikle başladığı yerlere dikkat edilmiştir.

Çalışmanın teorik kısmında ise, kar kalınlığı, ısı akısı ve kar yoğunluğu arasında bağıntı kurulup, evaporatör kanadı üzerindeki karın erime süresi modellenmiştir. Modelin sonucunda kanat üzerindeki belli bir kalınlıktaki karın verilen ısı akısıyla erime süresi hesaplanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kar, Defrost, Evaporatör, Erime

ABSTRACT

Frost formation is an important problem for refrigerator and air conditioning equipment manufacturers. Frost accumulated on the evaporator surface acts as a thermal insulator and prevents the flow of heat. Therefore, frost has an important effect on decreasing the evaporator performance. This is why the frost on evaporator surface must be melted in predetermined intervals. This melting process is called defrosting. Amount of energy needed for defrosting and the time it takes are important factors for manufacturers because of energy performance.

The purpose of this thesis is to decrease the energy consumption and increase the efficiency of the defrosting process. In this study, both frost formation and defrosting times of a plate finned-tube evaporator was examined both experimentally and theoretically. Experiments have been carried out at Arçelik Company Research Technology and Development Centre Laboratory.

No-frost refrigerators were studied experimentally at close to actual working conditions. The defrosting process itself was also examined visually by the aid of an endoscopic camera. Melting times of the frost that has accumulated on the fin with specified heat flux was closely watched and a special attention was given to where on the fin the melting process begins.

A theoretical correlation was developed as functions of frost thickness, heat flux and frost density for estimating the defrosting time of evaporator fin surface.

Key words : Frost, defrost, evaporator, melting.

1. GİRİŞ

Hava içindeki su buharı, soğuk bir yüzeyle temas ettiğinde, yüzey sıcaklığı havanın çığ noktası sıcaklığının altında ise yoğunlaşma olur. Ancak buzdolabı buharlaştırıcılarında (evaporatörlerinde) görüldüğü gibi, evaporatörün yüzey sıcaklığı hava içerisindeki su buharının donma sıcaklığından (0°C) den düşük ise, evaporatör yüzeyinde karlanma başlar. Su buharının soğutulmuş bir yüzeyde donmasıyla oluşan gözenekli yapı kar olarak tanımlanmıştır. Karın bu yapısının başlıca nedeni su buharının özgül hacminin, suyun özgül hacminden çok daha büyük olmasıdır. Buzdolapları, derin dondurucular ve klimalarda kullanılan evaporatörler, karlanma olayının çok sık gözlemlendiği cihazlardır.

Yüzeyde kar toplanması evaporatörün toplam ısı iletkenliği (UA) değerini azaltıp, yüzeyde bir yalıtım tabakasının oluşmasına neden olur. Bu durum evaporatör performansını olumsuz etkiler. Ayrıca kanatlı boru demetinden oluşan ısı değiştiricilerde, kanatlar arasında meydana gelen kar tabakası, cihazda basınç kaybının (ΔP) artmasına neden olur. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için, evaporatör üzerinde oluşan karı belirli aralıklarla eritmek gerekir. Evaporatör üzerindeki karı çeşitli yöntemler kullanarak eritme işlemine defrost denilmektedir. Buzdolabı ve klima üreticileri için, enerji tasarrufu yönünden, defrost prosesi sırasında kullanılan enerji miktarı ve defrost süresi önemli kriterlerdir.

Bu tezin amacı, no-frost olarak tanımlanan kabin içinde karlanma yapmayan buzdolaplarında defrost prosesinin verimini arttırarak, enerji tasarrufu sağlamaktır. Bunun içinde ısı akısı, kar kalınlığı, kar yoğunluğu ve defrost süresi arasında optimizasyon çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında defrost prosesi ve evaporatör boru ve kanatları üzerinde oluşan karın yapısı deneysel ve teorik olarak ele alınmıştır. Buna ilave olarak defrost prosesi ayrıntılı olarak endoskopik kamera ile incelenmiştir. Endoskopik kameradan alınan görüntüler yardımıyla defrost prosesi sırasında, erimenin öncelikle başladığı yerler tespit edilmiş, karın erime süresi ve erime esnasında karın hareketi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışmanın teorik kısmında ise, kar kalınlığı, ısı akısı ve kar yoğunluğu arasında bağlantı kurulup, evaporatör kanadı üzerindeki karın erime süresi hesaplanmıştır. Deneylerden alınan sonuçlar modeli desteklemektedir.

2. DEFROST

2.1 Defrostun Tanımı

Buzdolabı kabini içinde bulunan havanın içerdiği su buharı evaporatör yüzeylerinde karlanmaya neden olur. Buzdolabının içindeki havanın nem miktarı arttıkça, evaporatör boru ve kanatları üzerinde daha fazla kar birikmeye başlar ve daha sık defrost çevrimine ihtiyaç duyulur. Kabin içindeki nem düzeyi, buzdolabının bulunduğu ortamdaki çevre şartlarına, buzdolabı kapısının açılıp kapanma sıklığına ve açık kalma süresine, saklanan ürünlerin içermiş olduğu su buharı miktarına bağlıdır. Normal şartlarda buzdolabının çalıştığı yerlerde, çevre şartları kontrol edilemez. Sıcak ve nem oranının yüksek olduğu bir yaz gününde, buzdolabı kabin içine giren nemli havanın soğuk havayla temasından oluşan yoğunlaşma gözle görülebilir. Buzdolabı kapısı kapatıldığında, içeri giren nemli hava, evaporatör boru ve kanatlarının üzerinde beyaz kar formuna dönüşür. Evaporatör boru ve kanatları üzerindeki kar miktarı belli bir değere ulaştığında defrost yapılmalıdır.

Karı eritmek için gerekli ısının verilmesi prosesine defrost denir. Defrost sonucunda eriyen su drenaja verilir. Evaporatör tiplerine bağlı olarak defrost metoduna ve periyoduna karar verilir. Buzdolabı evaporatörlerinde genellikle elektrikli defrost metodu kullanılmaktadır. Boyutları büyük evaporatörlerde, çıplak boru evaporatörlerde, soğuk depolama tanklarında genellikle ayda bir veya iki kez defrost yapılır. Diğer yandan kanatlı tip hava soğutan evaporatörlerde, saatte bir veya iki kez defrost yapılır. Bazı düşük sıcaklık uygulamalarındaki evaporatörlerde, defrost için tuzlu su veya antifrizli çözeltiler kullanılır. Genelde defrost süresi, evaporatörde biriken kar miktarına ve karın erimesi için verilen ısı akısına göre değişiklik gösterir. Evaporatör üzerinde biriken kar miktarı ise tesisatın tipine, mevsime ve defrostun sıklığına bağlı olarak değişim gösterir. Evaporatörlerin sık defrosta girmesi ve bundan dolayı biriken kar miktarlarının azalması, defrost sürecinin kısılmasına sebep olur. Defrost için gerekli ısının oluşturulmasına göre defrost metotları vardır(Dossat, 1997).

2.2 Defrost Metotları

Evaporatörlerde defrost için farklı yöntemler vardır. Defrost yöntemleri kendi aralarında karın erimesinde kullanılan ısı kaynaklarına bağlı olarak, doğal defrost veya dışarıdan ek ısı verilen defrost olarak sınıflandırılabilir.

Doğal defrost, sistemi durdurma veya çevrimi durdurma olarak da isimlendirilebilir. Bu yöntemde evaporatörlerde biriken karı eritmek için, havanın ısı enerjisinden faydalanılır.

Dışarıdan ek ısı ısı enerjisi verilen defrostta karı eritmek için gerekli ısı ısı enerjisi, havadan başka kaynaklardan sağlanır. Bu ısı kaynaklarından bazıları su, antifriz, elektrik rezistans ve kompresörden gelen sıcak gazdır. Evaporatöre doğal defrost uygulanan durumlarda sistem, evaporatör sıcaklığı karın erime sıcaklığının üzerine çıkıncaya kadar kapalı tutulur. Defrost için gerekli olan sıcaklık ve zaman aralığı defrost sıklığıyla orantılıdır. Bununla birlikte, karı eritmek için gerekli olan ısı kabin içi sıcaklığının 3 °C veya 4,5 °C olmasıyla sağlanır. Bu sebeple doğal defrostta pratikte kabin içi sıcaklığı 1,5 °C' nin altına düşmeyecek şekilde dizayn edilmelidir. Defrostun en basit metodu manuel olarak sistemi kapatıp yeniden başlatmak biçimindedir. Diğer defrost metotları aşağıda tanımlanmıştır.

2.2.1 Su ile Defrost

Evaporatör sıcaklığı yaklaşık – 40 °C olduğunda, evaporatör yüzeyine su püskürtülerek defrost gerçekleşir. Evaporatör sıcaklığı – 40 °C' nin altına indiğinde su yerine tuzlu su veya antifrizli çözelti püskürtülür. Su ile defrost otomatik yapılabildiği gibi, manuel olarak da evaporatör yüzeyine su püskürtülerek yapılabilir. Defrost bitinceye kadar yaklaşık 4-5 sn su sprej edilir. Sprej işlemi bittikten birkaç dakika sonra, evaporatör serpantinlerinden eriyen su drenaj edilir. Evaporatör fanlarıyla beraber sistem yeniden çalışmaya başlar.

Su yerine tuzlu su veya antifrizli çözelti sprej edildiğinde, serpantinler üzerindeki karın erimesiyle sulandırılmış eriyik oluşur. Pratikte genellikle tuzlu suyu yeniden kullanmak için dekonsantrasyon işlemi yapılır. Bu işlem, bir kapta toplanan sulandırılmış tuzlu suyun ısıtılıp buharlaştırılarak fazla suyun ayrıştırılması şeklinde gerçekleşir.

2.2.2 Elektrik Defrost

Bu metotta defrostu gerçekleştirmek için soğutucu serpantin aralarına elektrik rezistansı yerleştirilir. Genelde ısı transferi kanatların içinden boru duvarlarının dışına doğru olup, karı eritir. Drenaj kabı ve drenaj hattı donmayı önlemek amacıyla elektrikli rezistanslarla ısıtılır. Elektrik defrost pahalı ve enerji tüketen bir metottur. Evde ve ticari soğutucularda uygulanır. Elektrik defrost çevrimi manuel olarak yada defrost zaman sayacı kullanılarak tam otomatik olması sağlanabilir. Defrost prosesi diğer yöntemlerle aynı şekilde gerçekleşmektedir. Defrost çevrimi sıvı hat selenoid valfinin kapanmasıyla başlar, kompresörün devreden çıkıp ısıtıcı elemanların devreye girmesiyle devam eder. Defrost sırasında ısının buzdolabına dağılmaması için evaporatör fanları durur. Defrost bittikten sonra ısıtıcının enerjisi kesilir. Likit hat selenoidi açılır. Evaporatör fanları çalışmaya başlar ve kompresörde devreye girerek sistem

çalışır. Günümüzde buzdolaplarının çoğunda otomatik defrost bulunmaktadır. Otomatik defrosta üç fonksiyonel kısım vardır.

2.2.2.1 Defrost zaman sayacı

Defrost sisteminin anahtar parçalarından biri defrost zaman sayacıdır. Defrost zaman sayacı kompresörü kapatır ve defrost ısıtıcısını devreye alır. Buzdolabının içine termostatin yanına yerleştirilir. Zaman sayacı motoru, 8 saat kompresörün çalışmasından sonra evaporatörün defrosta girmesi şeklinde programlanmıştır.

2.2.2.2 Defrost ısıtıcısı

Evaporatör üzerindeki karı eritmek için kullanılır. Evaporatör boru ve kanatlarından eriyen kar drenaj borusuyla kompresörün üzerindeki drenaj kabında toplanır. Burada kompresörün verdiği ısıyla buharlaşıp, ortama karışır.

2.2.2.3 Defrost termostat

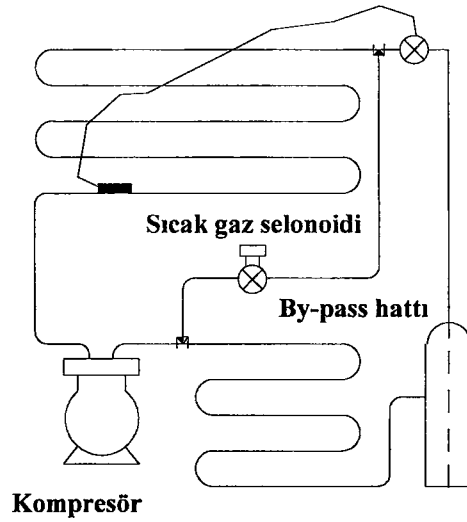
Termostat evaporatör kabini içerisine yerleştirilir. Kabin içindeki sıcaklık istenilen değere geldiğinde ısıtıcıyı devreden çıkararak, defrost prosesini sonlandırır.

2.2.3 Sıcak Gaz Defrost

Sıcak gaz defrostun çeşitli metotları vardır. Evaporatörde defrost yapmak için kompresörden gelen sıcak gazın ısısından faydalanılır. Şekil 2.1’de sıcak gaz defrostun basit bir metodu görülmektedir. Kompresörden evaporatöre sıcak gazın direkt olarak gidişini bypass hattı sağlamaktadır. Defrost gerektiği zaman selenoid valf by-pass hattını açar ve sıcak gaz kompresörden çıkıp evaporatöre doğru gider. Sıcak gaz ısını soğuk evaporatöre vermesiyle defrost prosesi başlar. Evaporatörde yoğuşan soğutucu akışkanın bir kısmı kompresörün sıcaklığından dolayı tekrar buharlaşır ve by-pass hattıyla evaporatöre geri döner.

Sıcak gaz defrostun dezavantajları vardır. Bunlardan biri defrost çevrimi süresince evaporatörde sıvı buharlaşamaz, kompresörde bulunan sıcak gazın miktarı da sınırlıdır. Defrost prosesi süresince, evaporatörde daha çok sıvı artıp, daha az soğutucu akışkan kompresöre döner. Bu metodun önemli diğer bir dezavantajı ise sıvı soğutucu akışkanın büyük bir miktarı kompresöre geri dönebilir ve kompresörde büyük tahribatlara yol açabilir.

Bu defrost çevrimin başlamasıyla ya da hemen sonra gerçekleşir. Kısaca sıcak gaz defrostun bir metodunu diğerlerinden ayıran temel faktör, tekrar buharlaşan sıvının kullanılmasıdır.

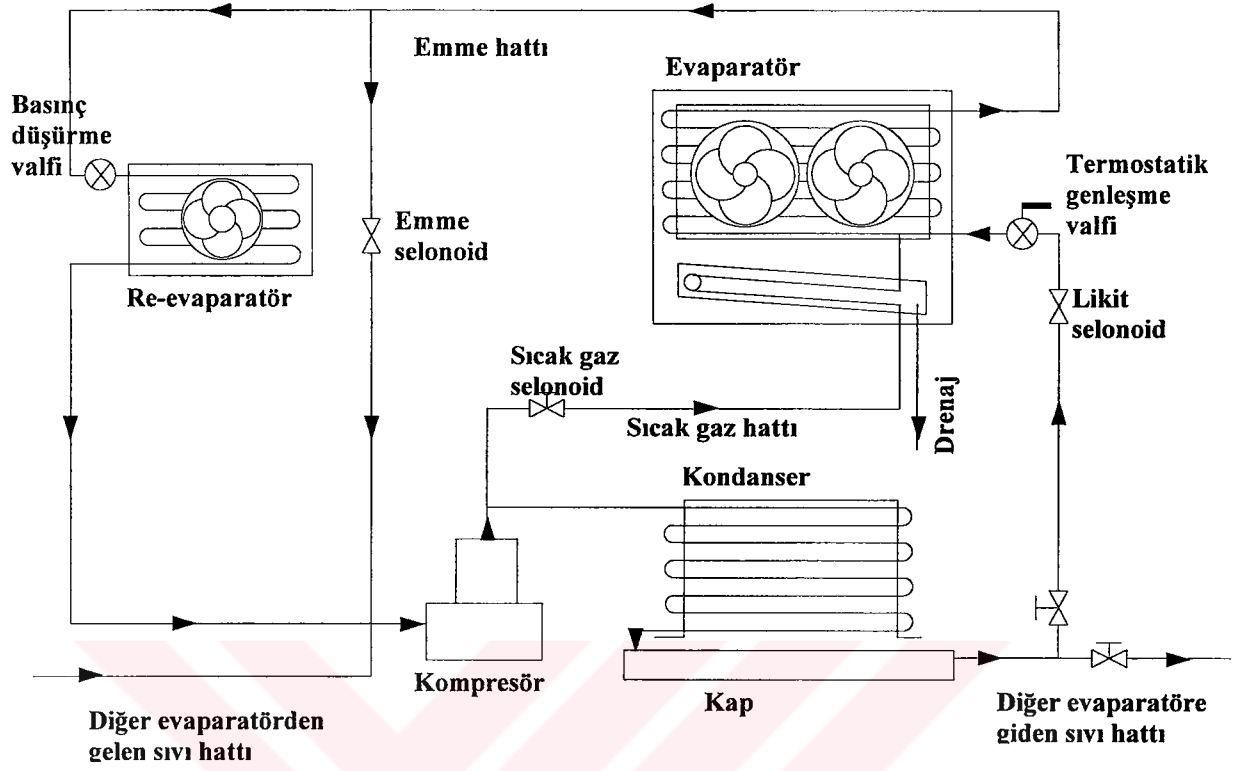


Şekil 2.1 Sıcak gaz defrost

2.2.4 Reeaporatör Bataryalar

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi sıcak gaz defrostta en bilinen metotlardan biri, emme hattında sıvının tekrar buharlaşması için reevaporatör bataryalarının kullanılmasıdır. Normal çalışma çevriminde, emme hattında selenoid valf açık ve emme hattında buhar reevaporatör bataryalara gitmeden by-pass olarak kondansere gelmektedir. Genellikle 3 – 6 saatte bir düzenli olarak defrost zaman sayacı sıcak gaz hattı selenoidini açıp, by-pass hattı selenoidini kapatarak defrost çevrimini başlatır. Aynı zamanda evaporatör fanları durur ve reevaporatör fanları çalışmaya başlar. Evaporatörde yoğuşan sıvı reevaporatör bataryalarda buharlaşarak kompresöre gider.

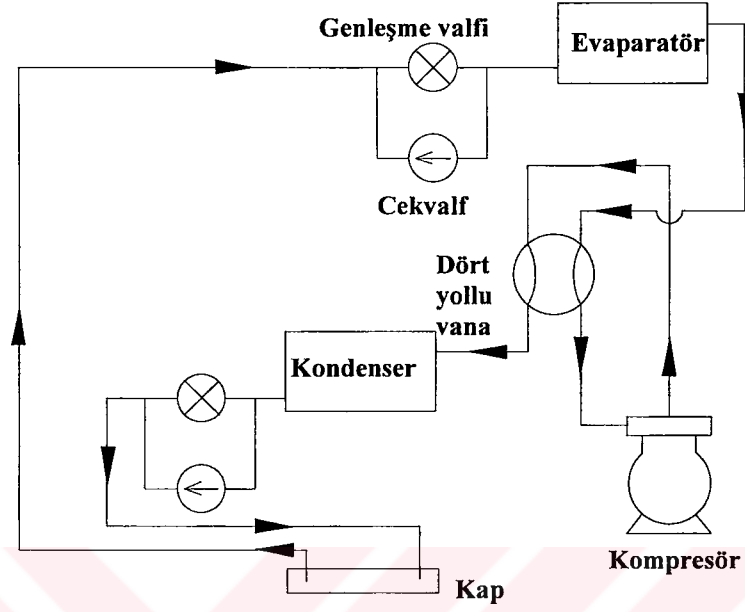
Defrost tamamlandığında, sıcak gaz selenoidi kapanır. Emme selenoidi açılır, reevaporatör fanları durur. Evaporatör fanları çalışmaya başlar.



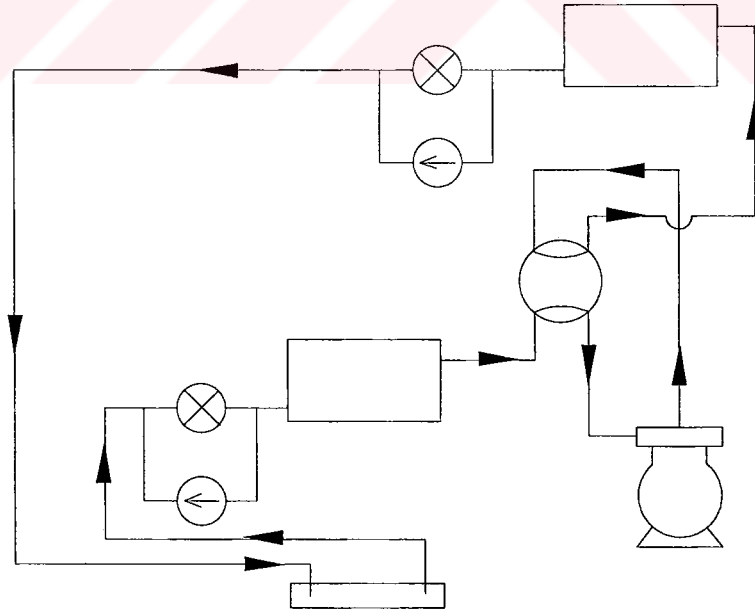
Şekil 2.2 Reevaporatör bataryalar

2.2.5 Ters Çevrim Defrost

Ters çevrim ısı pompası prensiplerine göre çalışır. Defrost çevrimi boyunca kondanser evaporatör görevi görür. Evaporatörde kondanser gibi çalışır. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4 de normal çalışma ve defrost akış şemaları gösterilmektedir. Otomatik genişleme valfi kondanserde tekrar buharlaşan soğutucu akışkanın miktarını ölçmek için kullanılır. Şekilde dört yollu bir vananın kullanımı da gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Normal çalışma akış şeması



Şekil 2.4 Ters çevrim defrost akış şeması

2.2.6 Isı Bankası Defrost

Termobank adı verilen sıcak gaz defrost metodunda evaporatör soğutma yaptığı sırada, kondanserden atılan ısı suda depolanmaktadır. Defrost çevrimi süresince, su bankasında depolanan ısı evaporatörde yoğunlaşan sıvının tekrar buharlaşmasında kullanılmaktadır.

2.3 Defrost Kontrol Sistemleri

Yapılan literatür araştırmasının sonucu, no-frost buzdolaplarında kullanılan otomatik defrost sistemlerinin açık döngü sistemleri ve kapalı döngü sistemleri olmak üzere iki kısımda incelendiği görülmüştür(Orkun, 1996).

2.3.1 Açık Döngü Metotları

Açık döngülü otomatik defrost sisteminde genellikle, defrost prosesi zaman sayacıyla kontrol edilir. Bu yöntemde karın az bir miktar birikmesiyle defrost prosesi çalışmaya başlar. Bundan dolayı gereksiz yere defrost çevrimi gerçekleştirilebilir. Ayrıca defrost periyodu sırasında, çevre şartları ve kabin içi ürünlerden dolayı, evaporatör üzerinde fazla kar birikimi olabilir. Evaporatörün bu şekilde çalışması sonucu buzdolabının verimliliği düşer.

Diğer bir açık çevrim defrost sistemi, buzdolabı kapısının açılıp kapanma sayısı ile bağlantılıdır. Belirlenen sayı kadar kapı açılıp kapandıktan sonra defrost çevrimi gerçekleşir. Bu sistemin dezavantajları olduğundan pek tercih edilmez. Literatürde bu iki metodun farklı kombinasyonları bulunmaktadır. Dizaynının oldukça kolay ve maliyetinin düşük olması sebebiyle bu metotlar kullanılmaktadır.

2.3.2 Kapalı Döngü Metotları

Buzdolabının verimliliği kompresörün çalışma zamanıyla, dolayısıyla defrost sistemleriyle ilgilidir. Buzdolabı kabin içindeki sıcaklık ayar değerine geldiğinde, termostat kompresörün çalışmasını durdurur. Fakat buzdolabının ısı kapasitesinden dolayı, sıcaklık değeri biraz daha düşer. Daha sonra yükselmeye başlayan sıcaklık ayar değerini geçtikten sonra, kompresör yeniden çalışmaya başlar. Sıcaklık biraz daha yükselmeye devam eder. Bunun sonucunda doğal bir kontrol bandı vardır. Bant aralığı yükseldiğinde, kompresörün sisteme giriş ve çıkışı

bir geciktirici zaman sayacı tarafından kontrol edilir veya yüksek ve düşük sıcaklıkları ölçen iki termostat kullanılır.

İdeal şartlar altında, kompresörün her bir çevrimi süresince, ayar değerine yaklaşık bir değerde aynı süre sistemde kalması istenir. Kompresör çalışma süresinin artmasıyla evaporatör boru ve kanatlarında daha çok kar birikmeye başlar. Bunun sonucu kompresör çalışırken, ayar değerine gelindiğinde buzdolabı defrosta girer.

İklim koşulları sabit olduğu sürece daha verimli çalışma gerçekleşir. Bazı üreticiler iklim koşullarını telafi edecek çalışmalar yapmaktadırlar. Bu tanımlanan kontrol sistemi çevre sıcaklığı ve bağıl nemin ölçümüyle seçilmektedir. Buda maliyeti arttıran donanım gerektirir. Diğer üreticiler çevre faktörleri ve mevsimi temel alarak, kontrol sistemini tekrar ayarlamaktadırlar. Bu şekilde maliyet biraz daha düşer.

Sıkıştırılmış sıcaklık sistemleri, kompresör, sıcaklığı ayarlanan değere azaltmadığında, defrost çevriminin başlaması şeklinde kullanılır. Minimum sıcaklığı kazanmak sıkıştırılmış sıcaklık olarak isimlendirilir. Evaporatörde aşırı kar formundan sonra bu sıkıştırılmış sıcaklık olur. Bu noktadan itibaren defrost operasyonu gerçekleşir. Literatüre göre sıkıştırılmış sıcaklık sistemleri pek başarılı değildir. Çünkü düşük sıcaklıklar üretim toleranslarına bağlı olarak evaporatörden evaporatöre farklılık gösterir.

Evaporatörlerde kar birikimi, hava akışını bloke ederek akışa karşı direnç oluşturur ve akışı sınırlandırır. Hava geçişi kar tarafından engellendiğinde, evaporatörün diğer tarafında daha çok basınç düşümü gerçekleşir. Basınç düşümü belli bir değere ulaştığında, defrost operasyonu başlar. Bu metot iyi olmasına rağmen ekonomik değildir.

Bazı kapalı döngü sistemlerinde, soğutucu akışkanın evaporatöre giriş ve çıkış sıcaklığı ölçülür. Normalde giriş sıcaklığı çıkış sıcaklığından daha düşüktür. Fakat evaporatörde kar formu arttıkça, soğutucu akışkan buzdolabından ısıyı absorbe edemedi çıkar. Bunun sonucunda sıcaklık farkının mutlak değeri belirlenen değerin altında olduğunda, defrost başlar. Evaporatöre girişte gaz ses üstü hızda olduğundan, evaporatör bataryalarının içine algılayıcı yerleştirmek pratik değildir. Ayrıca soğutucu akışkan genleşme valfinden çıkıp evaporatöre girdiğinde, düşük sıcaklıklar yüksek basınç düşümüne sebep olur. Buraya yerleştirilen bir sıcaklık algılayıcı basınç düşümünü arttırabilir ve sonuçta toplam verimi büyük miktarda azaltır.

Kapalı çevrim sistemlerinin diğer grubu evaporatör boru veya kanatlarındaki kar kalınlığını ölçmekte ve buna bağlı olarak defrost çevrimini başlatmaktadır. Fakat buradaki en önemli

değişkeni ölçmek oldukça zordur. Bu ölçüm için kapasitif, dirençli, optik, ultrasonik, mekanik, elektromekanik ve optomekanik anlamda değişik tasarımlar kullanılabilir. Mekanik aletlerin tümü soğukta kullanıma uygun değildir. Ultrasonik ölçümlerde yansıtıcı evaporatör yüzeyleri ile ultrasonik vericiler arası çok kısa olduğundan bozulmaktadır. Buzdolabı ekipmanları büyük hacimde üretildiğinde, ultrasonik vericileri yerleştirmek oldukça pahalı olmaktadır.

Kapasitif ve dirençli sistemler bazı uygulamalarda başarıyla kullanılmaktadır. Evaporatör borularında havanın nemi yoğuştuğunda tuz ve mineraller birikir. Bundan dolayı buzdolabı içindeki ürünlere bağlı olarak, dış faktörler, yoğunluk ve buzun ısı iletim katsayısı değerinin değişimi yanlış ölçmeye sebep olabilir. Optik kar kalınlığı ölçümü literatürde pek bulunmamaktadır. Optik fiberlerle ilgili bazı patentler vardır. Fakat patentlerin çoğunda klasik zaman sayaçlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bundan dolayı, optik metotlar birkaç üretici tarafından kullanılmaktadır.



3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3.1 Karlanma Üzerine Yapılan Çalışmalar

Kar oluşumunu ve onun etkilerini inceleyen çok sayıda çalışma olmasına rağmen, herkes tarafından kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan bir kar modeli bulunmamaktadır. Buna neden olarak, kar gelişiminin, kar yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem, hava hızı, hava debisi, yüzey geometrisi, akış şekli gibi birçok parametreye bağlı olması gösterilebilir. Kar oluşumunun çok sayıda parametreye bağlı olması, belirli şartlar altında yapılan herhangi bir çalışmanın sonuçlarının başka bir çalışmada kullanılamamasına neden olmaktadır.

Karlanma prosesi ile ilgili literatürde, kar kalınlığının zamanla değişiminin teorik ve deneysel olarak incelenmesinin yanı sıra, kar yoğunluğunun ve ısı iletkenliğinin belirlenmesi amacıyla da çeşitli araştırmalar mevcuttur.

Karlanma ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar iki grupta toplanılabilir.

1. Düz yüzey, silindirik yüzey gibi basit geometrili yüzeyler üzerinde kar oluşumunu inceleyen çalışmalar;
2. Kanatlı ısı değiştirgeçleri yüzeyinde kar oluşumunu inceleyen çalışmalar.

3.1.1 Basit Geometrili Yüzeyler Üzerinde Oluşan Karlanma

Evaporatörün karlanmış haldeki performansını incelemekten önce, karın yoğunluk, ısı iletim katsayısı ve özgül ısı gibi termofiziksel özelliklerinin önceden bilinmesi gereklidir. Bu özellikleri belirlemek için, basit geometrili yüzeyler üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar düz yüzey, silindirik yüzey ve paralel plakalar üzerindeki çalışmalar olarak sınıflandırılabilir.

3.1.1.1 Düz Yüzeyler

Yonko ve Sepsy (1967) düz yatay bir yüzey üzerinde oluşan karın yoğunluğunu ve ısı iletkenliğini incelemişlerdir. Karın ısı iletkenliğinin, kar yoğunluğunun bir fonksiyonu olduğunu yaptıkları çalışmanın sonucunda açıklamışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmanın sonucunda, kendilerinden sonraki diğer araştırmacılarında çalışmalarında kullandığı,

$$k_f = 0,024248 + 0,0007231 \rho_f + 0,000001183 \rho_f^2 \quad (W/mK) \quad (3.1)$$

$$\rho_f < 573 \text{ kg / m}^3$$

eşitliğini bulmuşlardır. Ayrıca hava hızının ve neminin karın büyüme hızını etkilediğini belirtmişler, kar kalınlığının Re sayısından bağımsız olduğu sonucuna varmışlardır.

Jones ve Parker (1975) hava hızı, nem, sıcaklık gibi çevresel özelliklerin değişiminin düz yüzeylerdeki karlanma prosesine olan etkisini incelemişlerdir. Kar yüzeyindeki su buharının moleküler difüzyonu ve enerji kütle dengesini kullanarak kar gelişiminin teorik bir modelini geliştirmişlerdir. Modelde kar ısı iletkenliği için, daha önce Brian ve diğerleri tarafından geliştirilen amprik ifadeyi kullanmışlardır. Kar yüzeyindeki ısı ve kütle transfer katsayılarını çevresel parametrelerin fonksiyonu olarak ifade etmişler, nem ve hava hızının değişik değerleri için deneyler yapmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, yüzey üzerinde oluşan karın ilk başlarda düşük yoğunlukta olduğunu ve su buharının küçük bir miktarının kar kalınlığında büyük bir artış yaptığını, bu sebeple karlanma oranının yüksek olduğunu açıklamışlardır. Prosesin sonraki aşamalarında ise kar yoğunluğunun artış gösterdiğini ve buna bağlı olarak karlanma oranının düştüğünü açıklamışlardır.

Hayashi ve diğerleri, (1977) kar gelişim tipleriyle, 0 ile -25 °C sıcaklık aralığında, 0.0045 – 0.01 kg/kg nem aralığındaki kar yapılarını fotoğrafla gözlemleyip, sınıflandırarak çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda kar oluşumu üç karakteristik periyoda bölünmüştür.

1. Kristal oluşumu;
2. Kar tabakası oluşumu;
3. Kar tabakasının gelişimi.

Hayashi vd., karlanma prosesi deneylerini zorlamalı konveksiyon paralel akışlı düz bir yüzeyde yapmışlardır. Kar yapısının; buz sütunları ve buz-hava karışımından oluşan iki farklı komponentten meydana geldiğini belirtmişlerdir. Karlanma prosesinin başlangıcındaki kristal büyümesi aşamasından sonra gelişen ve buz sütunları arasında oluşan buz-hava karışımı gözenekliliğinin, oldukça büyük bir değere sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Daha sonraları su buharının, kar tabakası iç kısımlarına difüzyon ederek donması nedeniyle gözenekliliğin azaldığını, yoğunluğun arttığını saptamışlardır. Bunlara ilave olarak özgül nem ile yüzey sıcaklığına göre kar gelişim tiplerini sınıflandıran çalışma yapmışlardır.

Sami ve Duong (1989) enerji, su buharının moleküler difüzyon ve kütle dengesi eşitliğini temel alarak, düz yüzey üzerinde kar kalınlığını ve yoğunluğunu hesaplayan nümerik bir model geliştirmişlerdir. Modelde buharın bir kısmının kar tabakasının içine difüze ederek

yoğunluğu arttırdığını, diğer kısmının ise yüzeyde kalarak kar tabakasını kalınlaştırdığı düşünülmektedir. Kar kalınlığı ve yoğunluk için alınan nümerik sonuçlar, Yonko ve Sepsy tarafından yapılmış olan deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Nümerik model sonuçlarının Yonko ve Sepsy' nin çalışmasından daha uygun sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Hem deney hem de model sonuçları, hava neminin artmasının ve yüzey sıcaklığının azalmasının kar oluşum hızını arttırdığını göstermektedir.

Sherif vd., (1991) geliştirdikleri modelde, zorlanmış konveksiyonda düz bir yüzey üzerinde karlanma prosesini incelemişler ve kar kalınlığı, kar yüzey sıcaklığı parametreleri için zamanın ve konumun fonksiyonu olarak yarı amprik zamana bağlı bir model geliştirmişlerdir. Sıcaklık ve kar kalınlığı hesaplamaları için konveksiyon ısı transfer katsayısı, kütle transfer katsayısı ve entalpi transfer katsayısı değerlerinin bir arada olduğu Lewis analojisini kullanmışlardır. Model kar ısı iletkenliğini ve yoğunluğunu hesaplayan temel amprik formülasyon olmuştur. Modelden elde ettikleri sonuçları deneysel verilerle ve diğer araştırmacıların nümerik verileriyle karşılaştırmışlar ve iyi sonuçlar bulmuşlardır. Hava ile kar arasındaki sıcaklık, erime sıcaklığına erişince kar tabakasında yapısal değişiklikler olduğunu ve kar yoğunluğu, ısı iletim katsayısı değerlerinin kar kalınlığı değişmediği halde artacağını açıklamışlardır. Ayrıca yaptıkları çalışmanın sonucunda, Reynolds sayısının kar kalınlığı üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu bulmuşlardır.

Tao, Besant ve Mao (1993) zorlanmış konveksiyonda, soğutulmuş düz bir plaka üzerinde karlanmanın ilk safhalarını deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada karlanmanın başlangıç kısmını iki kısımda ele almışlardır. İlk kısımda, soğuk yüzey üzerinde aşırı soğutulmuş su damlacıklarının oluştuğunu, ikinci kısımda ise buz kristallerinin oluşmaya başladığını kabul etmişlerdir. Ayrıca, mikroskopik fotoğraflar çekerek kar oluşumunu incelemişlerdir.

Mao, Besant ve Falk (1993) soğuk düz bir yüzey üzerinde laminar akışta kar gelişiminin ölçümünü yapmışlar ve türbilanslı akışla laminar akışın karşılaştırmasını yapıp, aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

1. Kar kalınlığı aynı nem oranı, test yüzey sıcaklığı ve zamanda türbilanslı akışta laminar akıştan daha fazla olmuştur.
2. Laminar akışta test yüzeyinin başından sonuna doğru kar kalınlığında azalma, türbilanslı akıştan daha fazladır.
3. Kar kalınlığı ve buz kalınlığı oranı x_f , türbilanslı akışta Re sayısının fonksiyonudur, fakat laminar akışta değildir.

4. Türbilanslı akışta ısı transfer katsayısı h_f zamanla artmaktadır, laminar akışta ise zamanla azalmaktadır.

5. Kütle transfer katsayısı h_{mf} , test levha sıcaklığı T_c arttıkça, türbilanslı akım için azalmakta, laminar akım için artmaktadır.

Soo, Lee vd., (1997) buharın süblimasyonundan dolayı oluşan ısı ve suyun moleküler diffüzyonunu düşünerek, soğuk bir yüzeyde kar seviyesinin formülasyonu için analitik bir model geliştirmişlerdir. Karlanmadaki ısı üretimini, su-buhar yoğunluğu ve absorpsiyon katsayısı ile açıklamışlardır. Nemli hava ile soğuk yüzeyin ilk temas ettiği andan itibaren havanın içerdiği nem miktarının azaldığı, dolayısıyla nemli hava akış yönünde kar tabakası kalınlığında azalma olduğu sonucuna varmışlardır. Nem miktarı arttıkça, hava ve kar yüzeyi arasındaki kütle transferinin arttığını ve bundan dolayı kar kalınlığının arttığını ifade etmişlerdir. Nem miktarının artmasıyla ısı iletkenlik direncide artmakta ve buna bağlı olarak karın yüzey sıcaklığının arttığını belirtmişlerdir. Hava hızının artmasıyla da aktif kütle transferi gerçekleşeceğinden, kar kalınlığı ve kar yüzey sıcaklığında hızlı artış olduğunu açıklamışlardır.

3.1.1.2 Silindirik Yüzeyler

Schneider (1977) soğutulmuş yatay pozisyonda duran silindirik bir tüp etrafında zorlamalı konveksiyon koşullarında karlanma olayını araştırmıştır. Geliştirdiği kristal büyümesi modeli ile kar kalınlığının zamanla değişimini incelemiş ve elde ettiği değerler ile kendi deney sonuçları arasında % 10 civarında bir sapma olduğunu tesbit etmiştir. Ayrıca deneysel çalışmaların sonucunda kar kalınlığı değişiminin; kütle transferinden, test yüzeyindeki doymuş hava ile ortam havası arasındaki kısmi buhar basınç farkından ve Re sayısından bağımsız olduğunu iddia etmiştir.

Raju ve Sherif (1993) çapraz akımda yatay silindirlerin üzerinde oluşan karlanma prosesinin modelini oluşturmuşlardır. Sınırdaki enerji, diffüzyon ve momentum eşitliğini, sonlu elemanlar metodunu kullanarak çözmüşlerdir. Karın ısı iletkenliği ve yoğunluğunu amprik formüllerle ifade etmişlerdir. Kar yoğunluğu ve ısı iletkenliği formülasyonunu kuru termometre sıcaklığı ve neme bağlı olarak bulmuşlardır. Ancak model durma ve ayrılma noktaları arasında geçerlidir.

İsmail, Salinas ve Gonçalves (1996) kar gelişimi esnasında yerel özellikleri hesaplamak için iki boyutlu bir model tanımlamışlardır. Sıcaklık ve nem miktarının değişiminde, akımın çözümü için yerel ısı ve kütle transfer katsayılarının bilinmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Re < 400 olan durumlar için nümerik bir çözüm geliştirmişlerdir. Kar gelişimini tek dikey bir silindir etrafında laminar akışta incelemişlerdir. Modelin sonucunda silindirin etrafında oluşan karın yoğunluğu, kar kalınlığı ve kar yüzey sıcaklığı hesaplanabilmektedir.

3.1.2 Evaporatör Yüzeyinde Kar Oluşumunu İnceleyen Çalışmalar

Araştırmacılar düz yüzey, silindirik yüzey vs. gibi basit geometrilerde kar gelişimi ve ısı transfer performansı ile ilgili pek çok nümerik ve teorik çalışmalar yapmışlardır. Kanatlı ısı değiştirgeçleri gibi karışık geometriler için az sayıda literatür mevcuttur. Bu durum ısı değiştirgeçlerinin karışık yüzey geometrisi ve nemli havanın termodinamik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu sebeple problem oldukça komplekstir ve genelleştirip formüle etmek zordur.

Oskarsson, Krakow ve Lin (1990) kar miktarının artması ve bunun evaporatör performansına etkisi üzerine çalışmışlardır. Isı değiştirgecinin kuru, ıslak ve karlı hallerdeki performansını incelemek üzere üç farklı metot kullanarak modelleme yapmışlardır. Her üç modelde de farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen hava ve soğutucu akışkan tarafı ısı transfer katsayısı, kütle transfer katsayısı ve basınç düşümü korelasyonlarını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda, karlanmış şartlar altında çalışan evaporatörün performans düşümünde; blokaj sonucu oluşan hava debisindeki azalmanın, kar tabakasının ısı direnç etkisinden çok daha fazla etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Horton ve Groll (1991) evaporatörlerde kar gelişiminin etkileri ve ısı transfer katsayısı ölçümü yapmışlardır. Farklı üç tip soğutucu akışkan kullanarak, farklı hızlardaki toplam iletim katsayısını bulmuşlardır. Zamana göre karlanmış şartlar altında efektif dış taraf ısı transfer katsayısını ölçmüşlerdir.

Kondepudi ve O'Neal (1993) karlanmış şartlar altında çalışan kanatlı ısı değiştirgecinin performansını geliştirmek için analitik bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modelde karlanmış şartlar altında kanatlı ısı değiştirgecinin performansını değerlendirmişlerdir. Bu model ısı değiştirgeçleri karakteristikleri kadar kar model ayrıntılarını da içermektedir. Kondepudi ve O'Neal yüzey sıcaklığının azalmasının kar miktarını ve basınç düşümünü arttırdığını, ısı transfer katsayısını önce artırıp, daha sonra azalttığını belirtmişlerdir.

Rite ve Crawford (1991) farklı çevre koşullarının karlanmaya etkisini incelemişlerdir. Düşük hava hızları ve kar oranlarının olduğu ev tipi buzdolabı evaporatörleri üzerine gerçekleştirilen ilk çalışma olması açısından önemlidir. Diğer çalışmalarda, ısı pompası evaporatörlerine

yönelik daha yüksek sıcaklık ve hava hızlarında çalışmalar yapılmıştır. Farklı hava hızı, bağıl nem, soğutucu akışkan sıcaklığı ve hava sıcaklığında deneyler yapmışlar ve bu parametrelerin evaporatör üzerinde biriken kar miktarı, toplam geçirgenlik (UA) ve basınç düşümü (ΔP) üzerindeki etkilerini gözlemlemişlerdir. Hava hızı ve bağıl nem arttıkça, yüksek karlanma oranı olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Ogawa, Tanaka ve Takeshita (1999) çalışmalarında ısı değiştirgeci performansını arttırmak için metotlar önermektedirler. Rüzgar tüneline bir seri deneyler yaparak, kar gelişimini izleyip, ısı değiştirgeci performansı ile bağlantı kurmuşlardır. Hava basınç düşümünün kanatlarda azalmasından dolayı, karlanmanın bölgesel olarak kanatların sonlarında azaldığını ve bundan dolayı ısı transfer katsayısının bu bölgede artış göstereceğini ifade etmişlerdir. Isı değiştirgeci performansını arttırmak için getirdikleri öneriler aşağıdadır:

- İlk temas bölgesinde kanat aralığı daha büyük tutulmalıdır.
- Akış yönünde kanatların bir kısmının kesilmesi uygundur.
- Kanat genişliğinin hava giriş bölgesinde artırılmalıdır.
- Kanadın belirli bölgelerinin kesilmesi gerekir.

Thomas, Chen ve Besant (1999) ısı değiştirgeci kanatlarında kar gelişimini karakterize eden özel bir test düzeneği kurmuşlardır. Isı değiştirgeci kanatlarındaki kar kalınlığını ve karın kanatlara dağılımını lazer tarama sistemi kullanarak ölçmektedirler. Bu sistem bir kar yüzeyinden hem verici hem de dağıtıcı ışık sinyalleriyle ölçüm yapmaktadır. Kanatlardaki kar gelişiminin sonucu olarak, hava basınç kaybının artmasını direkt olarak bu test düzeneğinde ölçmüşlerdir. Bu çalışma lazer tarama sistemini tanıtmaya açısından önemlidir. Lazer ışınıyla kar yüksekliği ölçüm tekniğinin kullanılması ilk olarak Besant tarafından geliştirilmiştir. Bu teknik Mao tarafından, derin dondurucu çalışma şartlarında uygulanmıştır.

İnan (2000) ev tipi buzdolaplarında kullanılan kanatlı borulu tip bir evaporatörün, kuru ve karlanmış şartlar altındaki ısı transferi ve basınç düşüm modellerini oluşturmuştur. Buzdolabı kabini içinde çalışan evaporatörün performansını gösteren bir bilgisayar benzeşim modeli hazırlamıştır. Çalışmasında buzdolabı hava dağıtım sistemi modeli, açık kapı ısı kütle transfer modeli ve evaporatör modellerini birbiri ile ilişkilendirmiş, verilen üç değişik giriş bağıl nem şartlarında programı çalıştırmıştır. Geliştirdiği programın sonucunda, evaporatör performansının değişimini uzun süreli olarak elde etmiştir. Buna göre, evaporatör ısı transfer katsayısı (UA) ilk önce yavaşça artan bir eğilim göstermekte, maksimum bir değere çıktıktan sonra hızlı olarak düşmektedir. Buna karşın hava tarafı basınç düşümü parabolik olarak artan bir değişim göstermektedir. Bu şartlarda sürekli çalışan bir evaporatörün tamamen kar ile

tıkanması için geçecek süre; %80 ve %50 giriş bağıl nem koşulları için sırasıyla, 45 ve 110 saat olarak hesaplanmıştır. İnan çalışmasında literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, karın yoğunluk artışını, analitik çözümler yerine yoğunlaşma oranı olarak isimlendirilen sabit bir parametre ile tanımlamıştır. Yoğunlaşma oranının 0.2 den 0.5 'e arttırılması durumunda basınç düşümünün üç kat, toplanan kar ağırlığının % 4 ve toplam ısı transfer katsayısının % 5 arttığı görülmüştür (bu rakamlar 12 saatlik sürenin sonunda elde edilen değerlerdir).

3.2 Defrost Üzerine Yapılan Çalışmalar

Defrost ile ilgili olarak, bugüne kadar sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Defrost sırasında karşımıza çıkan erime problemi olmaktadır. Erime ve katılaşma problemlerinin çözümünde, şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, (SEM) sınır elemanlar metodunun kullanıldığı görülmüştür.

W.DeLima-Silva ve Wrobel (1995) çalışmalarında, katılaşma ve erime problemlerinin zamana bağlı çözümünde, sınır eleman metodunu kullanmışlardır. Tek fazlı erime problemlerinin çözümünde Neumann ve Robin sınır şartları kullanılmıştır. DeLima-Silva ve Wrobele göre bu tür problemlerde sınır eleman metodunun kullanılmasının en önemli avantajı, ısı akısına göre problemin direkt olarak çözülmesidir.

X.Yu, D.J.Nelson ve B.Vick (1995) çalışmalarında termal depolama sistemlerinde meydana gelen, faz değişim problemlerinin analizinde, genel bir metot geliştirmişlerdir. Problem, uzun bir tüp içinden sıvı akışı ve çevresinde faz değişimini içermektedir. Problem yatay sınırlara bölünmüş ve yataydaki kondüksiyon ihmal edilmiştir. Bu çalışmada silindirik geometride, tek boyutlu problemlerin çözümünde, sınır eleman metodu (SEM) geliştirilmiştir. Bu metot suyun erimesinde ve donmasında kullanılabilir. Alınan sonuçlar soğutma ve ısıtma periyodunda, zamanın etkisini göstermektedir.

Sanders (1974) serpantinler üzerinde gelişen karın soğutma performansına etkisi ve defrost üzerine çalışmalar yapmıştır. Hava hızı, hava sıcaklığı ve bağıl nemin kar gelişim oranına etkisi üzerine deneysel çalışmıştır. Deney koşulları aşağıdaki gibidir:

Kabin içi sıcaklığı : (-10 °C)-(0 °C)

Bağıl nem : % 85

Evaporasyon sıcaklığı : (-26 °C) - (-11 °C)

Hava hızı : (3 m/s) (6 m/s) (8 m/s)

Sanders karın ısı iletim katsayısı ve diğer fiziksel özellikleri ile ilgili modeller geliştirmiştir. Yaptığı çalışmanın sonucunda, kendilerinden sonraki diğer araştırmacılarında çalışmalarında kullandığı,

$$k_f = 1.202 \times 10^{-3} \times \rho_f^{0.963} \quad (3.2)$$

ρ_f : Karın yoğunluğu (kg/m³)

k_f : Karın ısı iletim katsayısı (W/mK)

eşitliğini bulmuştur.

Geniş kanat aralığına sahip serpantinlerden transfer olan ısı miktarının, dar kanat aralığına sahip serpantinlere göre daha iyi olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca geniş kanat aralığına sahip serpantinlerde, daha uzun çalışma periyodundan sonra defrosta gerek görülmekte olduğunu söylemiştir. Sıcak gaz soğutucu akışkan defrostu, sıcak sıvı soğutucu akışkan defrostu, elektrikli ısıtıcı ve ikinci borulama sistemleri gibi uygulanabilmesi mümkün olan defrost sistemleri üzerine çalışmıştır. Çalışmalarının sonucunda, sıcak gaz soğutucu akışkan sisteminin elektrikli ısıtıcı sisteme göre daha ekonomik olduğunu açıklamıştır.

Neiderer (1976) serpantinler üzerindeki karlanmanın ısı transferine etkisi ve defrost üzerine çalışmalar yapmıştır. Deneylerinde soğutucu akışkan olarak amonyak kullanılmış ve evaporasyon sıcaklığı -6.7 °C de sabit tutulmuştur. İç hava sıcaklığı 0 °C ve bağıl nem % 85 olarak alınmıştır. 8 sıralı kanatlı borulu evaporatörde dört farklı kanat yerleştirmesi üzerine çalışmıştır. İlk iki sıra için 1,57 kanat/cm, 2,36 kanat/cm, 1,18 kanat/cm ve son sıralarda 1,57 kanat/ cm. yerleştirmesi yapmıştır. Sonuçta Neiderer, serpantinler üzerindeki kar gelişiminden dolayı, hava tarafındaki ısı transfer katsayısının arttığını, serpantinler üzerinden geçen hava akış oranının azaldığını iddia etmiştir. Bu durum evaporatörlerdeki ısı transfer kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Neiderer kanat aralığı dar olan ısı değiştirgeçlerinde, geniş kanat aralığına sahip olanlara göre hava akış oranlarının azalmasının daha fazla olduğu sonucuna varmıştır. Neiderer deneyleri kapasiteyi düşürerek tekrarlayıp, ilk olarak hava akış oranının azalmasının etkilerine bakmıştır. Geniş kanat aralıklı serpantinlerde biriken kar miktarıyla, dar kanat aralıklı serpantinlerde biriken kar miktarının yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. Deneylerin tamamı süresince evaporatörün ilk iki sırasındaki kar birikiminin diğer sıralara göre daha çok olduğu görülmüştür. Elektrikli defrost deneyinde serpantinlere

defrost için verilen ısıнын, ancak % 15, % 25' i yoğuşmuş su ile dışarı taşınmakta olduğu, ısıнын geri kalan kısmının ise ilave yük olarak sisteme girdiği görülmüştür.

Tantakitti ve Howell (1986) havadan havaya ısı pompalarının dış ünitelerindeki serpantinlerde karlanma ve defrost üzerine çalışmalar yapmıştır. Bir dış ünite serpantininde karlanmanın etkisini araştırıp, bilgisayar programıyla simülasyon geliştirmiştir. Simülasyonda iç ünite, fan, termal genleşme valfi, dış ünite serpantinleri, kompresör ve ısı pompasının diğer ekipmanlarının verileri kullanılmıştır. Defrostu başlatan üç metot araştırılmıştır. Bunlar,

1. Serpantinlerdeki hava basıncı düşümü;
2. Kompresör çalışma zamanı ve hava sıcaklığının kombinasyonu;
3. Kompresör çalışma zamanı ve evaporasyon sıcaklığının kombinasyonudur.

Farklı hava sıcaklığı ve nem değerleri için serpantinlerde biriken kar miktarı ve günlük defrost sayısı belirlenirken farklı set değerleri kullanılmıştır. Tantakitti çalışmanın sonucunda, yıllık defrost sayısını düşürmek ve aynı zamanda enerji tüketimini azaltmak için, basınç düşüm metodunun kullanılmasını önermiştir. En fazla kar birikiminin 0 °C çevre sıcaklığı ve yüksek bağıl nemlerde olduğunu söylemiştir.

Cole (1989) sıcak gaz defrostu üzerine analitik olarak çalışmalar yapmıştır. Serpantinler üzerindeki karın tamamen erimesi sonucu, sudan geri dönen enerji oranıyla defrost verimliliğini tanımlamıştır. Buna göre verimi % 20 olarak bulmuştur. Defrost veriminin cihazın konfigürasyonuna, ölçülerine, malzemesine ve biriken kar miktarına bağlı olarak değişebileceğini, sağlanabilecek maksimum defrost verimliliğinin % 60, %70 olabileceği sonucuna varmıştır. Defrost ısısının bir kısmının drenaj kabında, donmuş metal kasada, soğutucu borularda ve valflerde absorbe edildiğini söylemiştir.

4. UYGULAMALI ÇALIŞMA

4.1 Deneyde Kullanılan Ekipmanlar

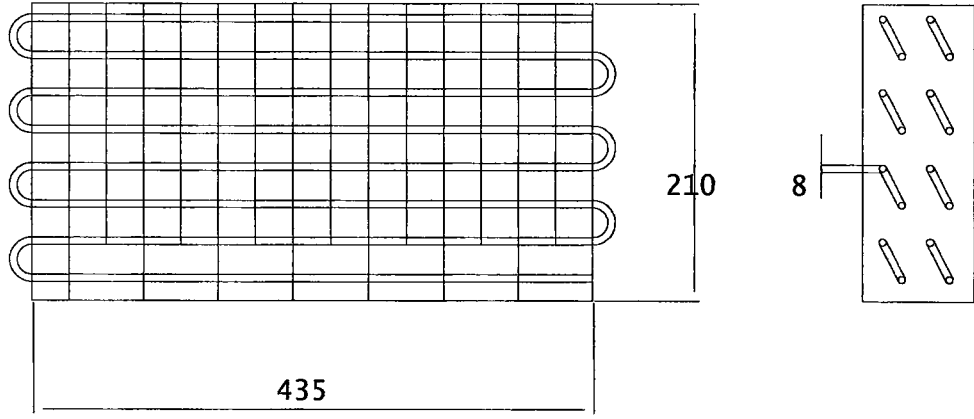
4.1.1 Buzdolabı Kabini

Deneylerde 5086 orbital no-frost buzdolabı kullanılmıştır. Buzdolabının teknik özellikleri aşağıda verilmiştir:

Boyutlar	: 187x70x66 cm
Elektrik tüketimi	: 1,61 kWh/24h (Çevre sıc. 25 °C)
	: 2,23 kWh/24h (Çevre sıc. 32 °C)
Brüt hacim	: 435 lt
Buzluk hacmi (net)	: 80 lt
Soğ. Bölme hacmi (net)	: 345 lt
Sebzelik hacmi	: 32 lt
İklim sınıfı	: T
Yıldız sınıfı	: ****
Mikro işlemci kontrollü	

4.1.2 Evaporatör

Modelde levha kanatlı borulu tür no-frost buzdolabı evaporatörü kullanılmıştır. Evaporatörde hava akışına dik yönde 2 adet, hava akışı yönünde 11 adet ve farklı kanat aralığına sahip bölgede hava akışı yönünde 3 adet boru bulunmaktadır. Evaporatör genişliği 430 mm, kanat genişliği 50 mm ve kanat aralığı 10 mm'dir. Hava akışı yönünde ilk 3 boru kanat aralığı 20 mm'dir. Boru dış çapı 8 mm iç çapı ise 6,58 mm' dir. Hava akışı boruların içerisinden geçen soğutucu akışkana dik yönde gerçekleşmektedir. Hava akışı bu şekilde olan evaporatörler, çapraz akışlı ısı değiştirgeci olarak isimlendirilirler. Evaporatörün geometrisi Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Evaporatörün ön ve sol yan görünüşü

4.1.3 Terazı

Mettler / PJ12 marka kullanılmıştır.

Ölçüm belirsizliği oranı $> 4 (1/4)$

% 95 Güvenirlilik aralığı, $k=2$

4.1.4 Su Kapları

Defrostan sonra, eriyen kar miktarını ölçmek amacıyla plexiglasstan yapılmış kaplardır. Bu kapların boş ve dolu kütleleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

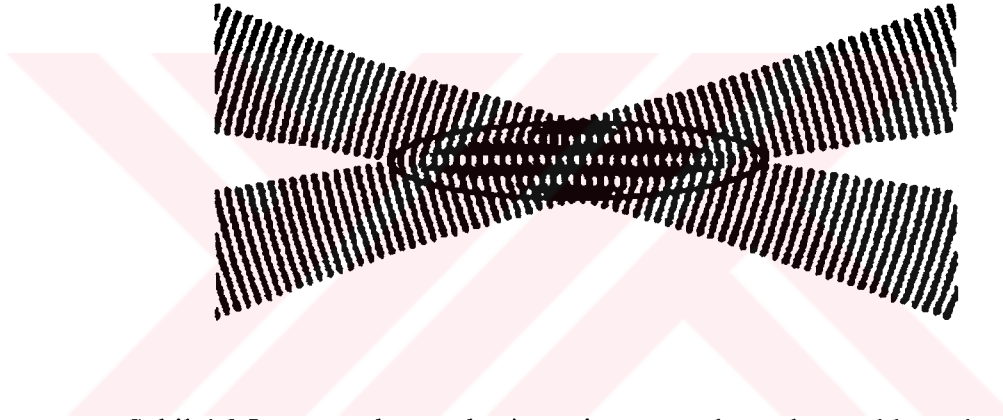
Çizelge 4.1 Kapların boş ve dolu kütleleri

Tipi	Boş kütle (g)	Dolu kütle (g)
A	10,9	37,0
B	10,5	28,3
C	7,1	19,0
D	7,6	19,2
T	337	
Beher	110	

4.1.5 Lazer Doppler Anemometre (LDA) Sistemi

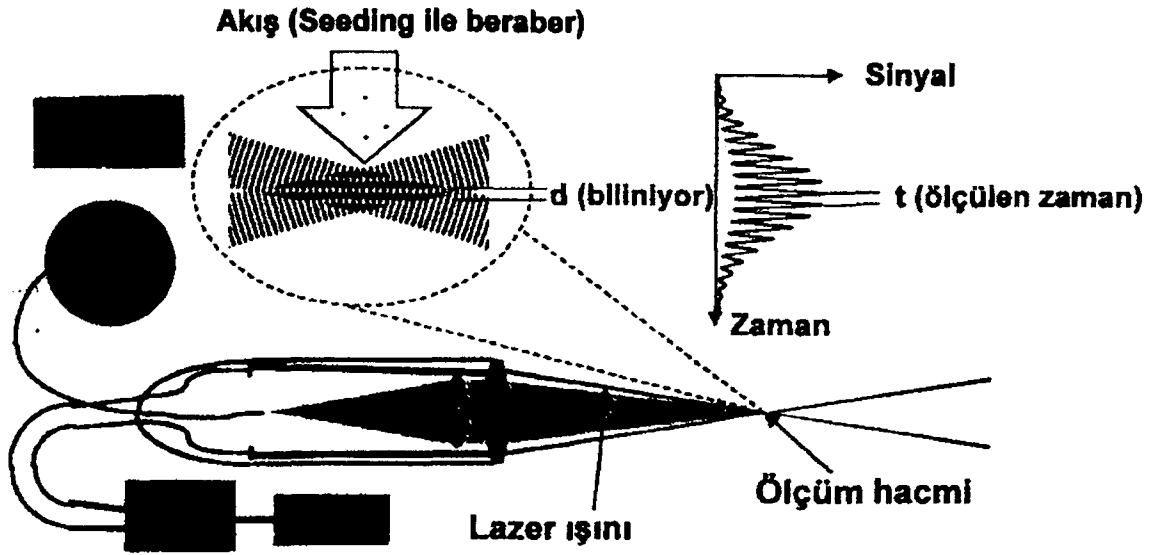
LDA sistemi, gaz veya sıvı parçacıkların hızlarını ölçmek amacı ile kullanılan bir ölçüm sistemidir. Sistemin temeli, herhangi bir akış ortamındaki parçacıkların, akış alanı içine gönderilen lazer ışınının saçımını sağlamasına ve bu saçınım sonucu lazer ışınının frekansının değişimine dayanmaktadır. Frekansta meydana gelen bu değişim, optik yöntemler ve elektronik işlemciler kullanılarak hıza dönüştürülmektedir. Aşağıda ölçüm sisteminin prensipleri detaylı olarak anlatılmıştır.

LDA sisteminin ölçüm alabilmesi için, her bir boyuta ait bir giden birde gelen ışın olmak üzere, toplam iki ışının akış alanı içerisinde kesiştirilmesi gereklidir. Örnek olarak, üç boyutlu bir ölçümde, toplam altı adet ışının akış alanı içerisinde tek bir noktada kesiştirilmesi gereklidir. Kesişim noktasında, ışınların girişimi sonucu bir ölçüm hacmi oluşur. Bu hacim parlak ve karanlık noktalardan oluşmaktadır.



Şekil 4.2 Lazer ışınlarının kesişmesi sonucu oluşan kontrol hacmi

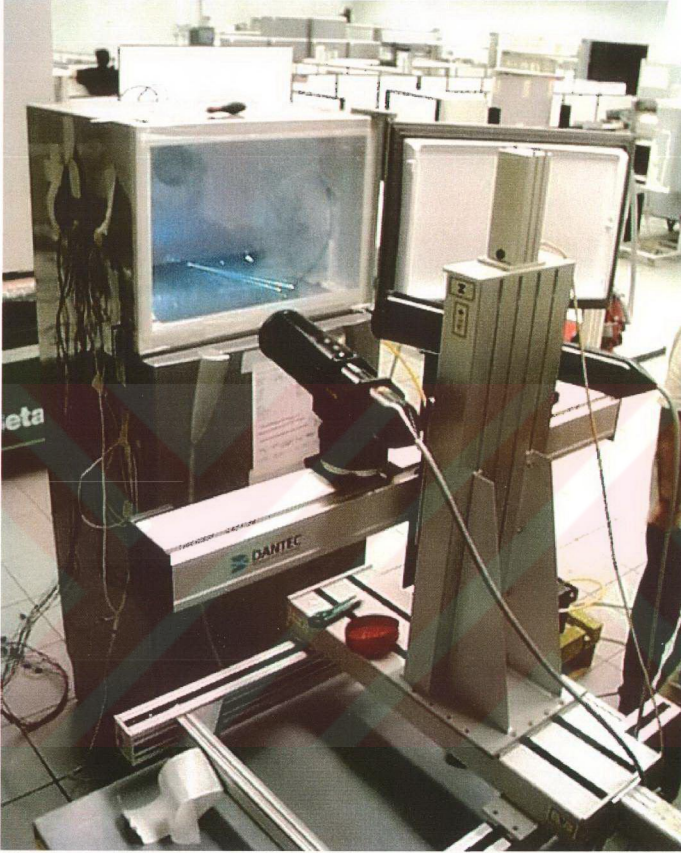
Işınlar kesiştirildikten sonra, LDA sisteminin ölçüm alabilmesi için gerekli olan parçacıklar, akış alanına akışla beraber gönderilir. Optik detektörler, oluşan kontrol hacmindeki aydınlık ve karanlık noktalar arasındaki mesafeyi ölçebilmektedirler. Kontrol hacminden parçacık geçtiği anda, ışın demeti saçıldığından dalga boyu değişir. Bu durumda, elektronik işlemciler frekansta meydana gelen değişimi bir sinyal olarak algırlar. Dolayısıyla, parçacığın iki aydınlık bölgeyi kat ettiği süre belirlenir. İki aydınlık bölge arasındaki mesafe bilindiğinden mesafenin kat etme süresine oranı, o parçacığın o noktadaki hızını vermektedir.



Şekil 4.3 LDA ölçüm yöntemi

Bu ölçüm yönteminin çok sayıda avantajı bulunmaktadır.

- Bu yöntemle akış alanı bozulmadan ölçüm yapılabilmektedir.
- LDA, hızı ölçülecek akışkanın termofiziksel özelliklerinden bağımsızdır, böylece farklı akışkanlar için farklı konfigürasyonlara ihtiyaç bulunmamaktadır.
- Hız vektörlerinin farklı boyuttaki komponentlerini ölçmek amacıyla kullanılabilir. (1,2 veya 3 boyutlu hız ölçümü)
- Akış hızından kaynaklanan çok yüksek frekans farklılıkları izlenebilmektedir.
- Sistemin kalibrasyona ihtiyacı yoktur.



Şekil 4.4 LDA ölçüm sistemi ile emişteki hava hızlarının ölçümü.

4.1.6 Manometre

Evaporatör fanı üzerinden geçen havanın basınç farkını okuyabilmek için 0-200 Pa arasında ölçüm yapabilen, % 0.25 oranında hassasiyete sahip mikro manometre kullanılmıştır.

Modeli : FCO510 Mikro manometre

4.1.7 Nem Ölçümü

Buzdolabı kabini içerisinde ki bağıl nemi ölçmek için, %0-100 arasında bağıl nem ölçebilen nem sensörü kullanılmıştır.

Ölçüm belirsizliği oranı $>4 (1/4)$

% 95 Güvenirlilik aralığı, $k=2$

4.1.8 Veri kaydedici (Datalogger)

Tipi : 1093 AMC-2M

Seri No : EL-5301

Toplam 72 kanal

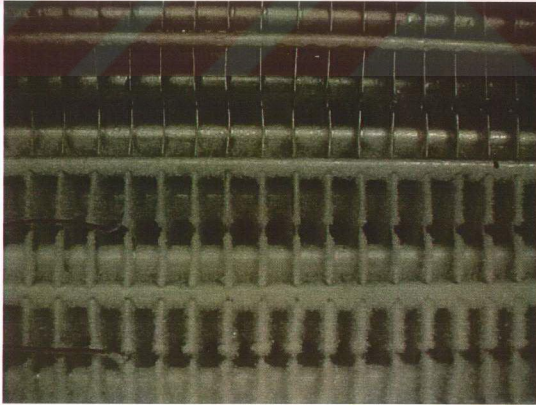
1-64 kanal : termoeleman

65-72 kanal : Volt / akım

73 kanal : Darbe sayımı

4.1.9 Termoelemanlar

Sıcaklık ölçümünde $\pm 0,05$ °C ölçüm hassasiyeti olan T tipi termoelemanlar ve (-40 ile + 60 °C) arası hassas ölçüm yapabilen RTD'ler kullanılmıştır. Çizelge 4.2' de deneyde kullanılan termoelemanların listesi verilmiştir. Şekil 4.5' de kar birikiminin en fazla gözleendiği kanat üzerinde eşit aralıklarla, termoelemanların yerleştirilmesi ve sıcaklık ölçümü görülmektedir.



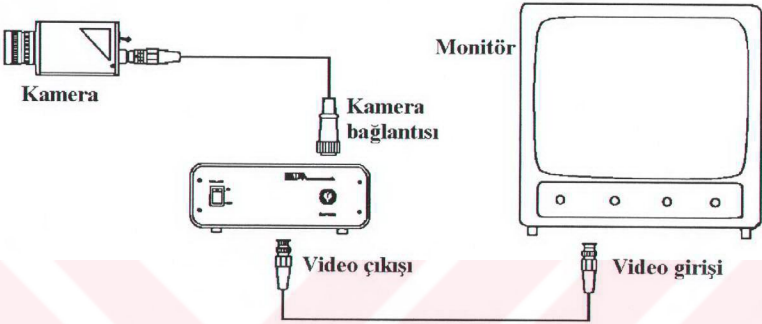
Şekil 4.5 Termoelemanlarla kanat üzerinde sıcaklık ölçümü

Çizelge 4.2 Termo eleman listesi

Kanal numarası	T / C ismi	Açıklama
1	t _{eva1}	Evaporatör giriş borusu üzeri
2	t _{eva2}	Evaporatör boru üzeri
3	t _{eva3}	Evaporatör boru üzeri
4	t _{eva4}	Evaporatör boru üzeri
5	t _{eva5}	Evaporatör boru üzeri
6	t _{eva6}	Evaporatör boru üzeri
7	t _{eva7}	Evaporatör boru üzeri akü girişi
8	t _{eva8}	Akünün üzeri
9	t _{eva9}	Akünün çıkışı
10	t _{eva10}	Evaporatör dönüş boru üzeri
11	t _{FF1}	Kabin içi en üst
12	t _{FF2}	Kabin içi orta
13	t _{FF3}	Kabin içi orta
14	t _{FF4}	Kabin içi en alt
15	t _{ort.sol}	Ortam sıcaklığı sol taraf
16	t _{ort.sağ}	Ortam sıcaklığı sağ taraf
17	t _{fin1}	Kanat ile boru temas yeri
18	t _{fin2}	Kanat üzeri
19	t _{fin3}	Kanat üzeri
20	t _{fin4}	Kanat üzeri
21	t _{fin5}	Kanat üzeri
22	t _{fin6}	Kanat üzeri
23	t _{fin7}	Kanat üzeri
24	t _{fin8}	Kanat üzeri
25	t _{fin9}	Kanat üzeri
26	t _{esol}	Fan emme sol
27	t _{esağ}	Fan emme sağ
28	t _{e12}	Hava emme kanalı sol üst
29	t _{e13}	Hava emme kanalı sağ üst
30	t _{e14}	Hava emme kanalı sol alt
31	t _{e15}	Hava emme kanalı sol alt
32	t _{e16}	Hava emme kanalı sağ alt
33	t _{e17}	Hava emme kanalı sağ alt
34	t _{üfleme}	Hava üfleme kanalı

4.1.10 Endoskopik Kamera

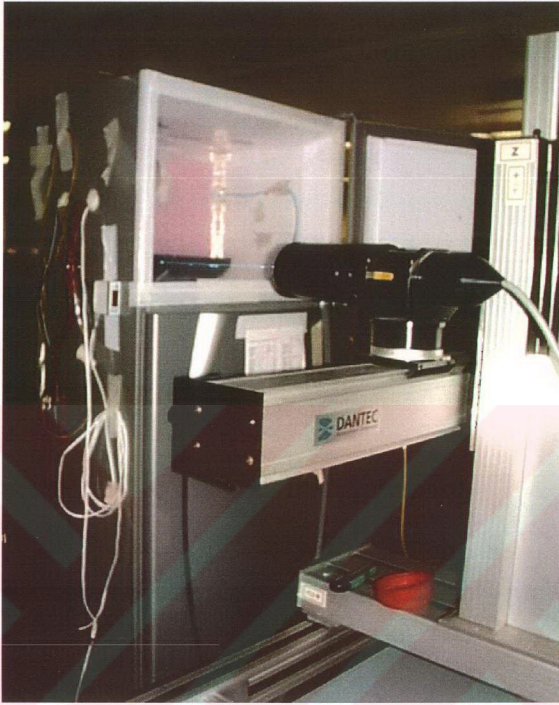
Defrost prosesinin izlenmesi için, bir adet monitör, 150 W'lık soğuk ışık kaynağı, kamera ve güç kaynağından oluşan endoskopik kamera kullanılmıştır.(Şekil 4.6)



Şekil 4.6 Endoskopik kamera sistemi elemanları

4.1.11 Deney Düzeneklerinin Hazırlanması

Deneyler, Arçelik üretimi olan NF 5086 orbital buzdolabı kabininde, taze gıda ve dondurucu arasında bulunan bölme kaldırılarak yapılmıştır. Aradaki bölmenin kaldırılmasıyla, buzdolabı kabininin tamamı taze gıda şartlarına getirilmiş ve evaporatör üzerinde gerçek çalışma koşullarına yakın karlanma oluşturulmuştur. Deneylerde evaporatöre kontrollü olarak kar yüklenebilmesi amacıyla, buzdolabı içerisine içi su dolu bir kap yerleştirilmiştir. Suyun sıcaklığını belli bir değerde tutmak için, kabin içerisine dışarıdan kontrol edilebilen ısıtıcılar konulmuştur. Ayrıca deney süresince buharlaşan su miktarını kontrol edebilmek amacıyla, su kabının altına terazi yerleştirilmiştir. Deney süresince buzdolabının kapısı açılmamıştır. Buzdolabının kapısını açmadan teraziden ölçüm değerlerini okuyabilmek için, buzdolabı kapısı üzerine gözetleme camı konulmuştur. Deney süresince zamana bağlı buharlaşma miktarı, suyun kütlesi buradan okunabilmektedir. Şekil 4.7' de deney düzeneklerinin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.7 Deney düzeneğinin fotoğrafı

Buzdolabı içerisindeki hava dağılımını sağlayabilmek ve homojen bir sıcaklık dağılımı oluşturabilmek amacıyla, evaporatör fan çıkışından, havayı kabinin alt taraflarına yönlendiren kanal kullanılmaktadır. Deneylerde en fazla kar oluşumunun gözlemlendiği kanat arkasına ölçek yerleştirilerek, kar kalınlığı ölçülmüştür. Karlanma ve defrost deneyleri süresince evaporatör üzerine, seçilen kanat üzerine ve buzdolabı kabini içindeki değişik bölgelere termoelemanlar yerleştirilmiş ve sürekli olarak sıcaklık değerleri verikaydedici (datalogger) aracılığıyla, bilgisayara kaydedilmiştir. Deneylerde defrost prosesini detaylı olarak izlemek amacıyla endoskopik kamera kullanılmıştır. Endoskopik kamera evaporatör kabini içerisine hiçbir hava akımına sebep olmayacak şekilde etrafı izole edilerek yerleştirilmiştir.

4.2 Deneylerin Yapılışı

Deneyler karlanma ve defrost olmak üzere iki kısımda yapılmıştır. Deneylerin birinci kısmında, evaporatör üzerinde oluşan karlanmanın etkilendiği parametreler ve karın yapısı incelenerek, seçilen kanat üzerindeki kar kalınlığı ölçülmüştür. Deneylerin ikinci kısmında, kapalı bir sistemin içerisine yerleştirilen endoskopik kamera ile defrost prosesi izlenerek, karın erime süreci ve erimenin öncelikle başladığı yerler detaylı olarak gözlenmiştir. Buna göre deneyde sabit tutulan değerler Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Sabit test şartları

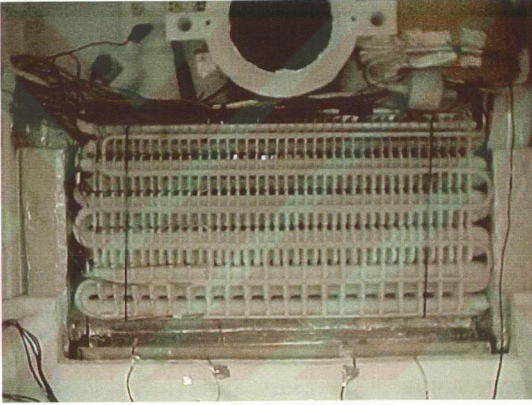
Parametreler	Değerler
Kabin iç sıcaklığı	5 °C
Su sıcaklığı	9 °C
Evaporasyon sıcaklığı	- 25 °C
Hava debisi	13 lt/s
Deney süresi	5 h

Deneylerde buzdolabı kompresörünün % 100 çalışmasıyla, 5 saat süresince soğutma yapılmıştır. 5 saat’ lik çalışma sonucunda kompresör durup, defrost ısıtıcısı devreye girmiştir. Defrost bittikten sonra, evaporatör boru ve kanatları üzerinden suyun süzülmesi için 5 dakika beklenmiştir. Seçilen kanattaki eriyen kar miktarını ölçmek için, ayrı kaplar kanatların altına yerleştirilmiştir. Defrost tamamlandığında, kaplar terazide tartılarak eriyen kar miktarı ölçülmüştür. 20 Haziran 2001 tarihinde yapılan deneyden alınan sıcaklık ölçümleri Ek 1’ de verilmiştir.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

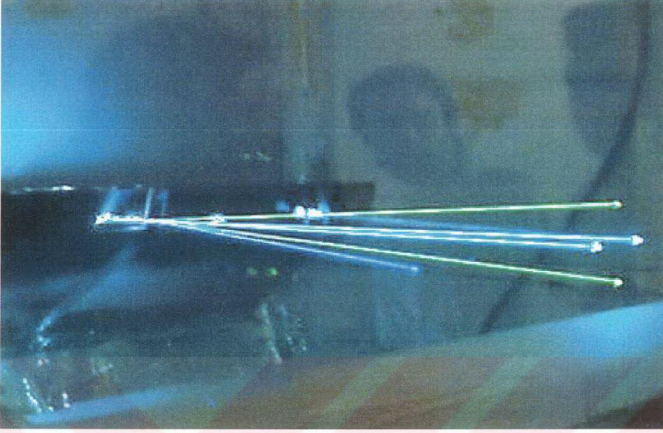
5.1 Evaporatör Üzerinde Kar Oluşumunun İncelenmesi

Yapılan deneylerde, evaporatör üzerinde 5 saat soğutma sonucu oluşan karlanma, fotoğraf çekilerek incelenmiştir. Buna göre evaporatör üzerinde altlarda fazla, üstlerde daha az kar olan üçgen formda bir yapının oluştuğu gözlenmiştir. Evaporatörün solunda ve sağında simetrik üniform bir karlanma görülmektedir. Oluşan bu kar fazla yoğun olmayıp, iğneli yapıdadır. Evaporasyon sıcaklığı -35°C gibi daha düşük sıcaklıklara geldiğinde, evaporatör üzerinde oluşan karın iğneli yapıda değil, daha yoğun olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.1’ de -25°C evaporasyon sıcaklığında, 5 saat soğutma sonucu evaporatör üzerinde oluşan karın fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 5.1 Karlanmış evaporatörün görünümü

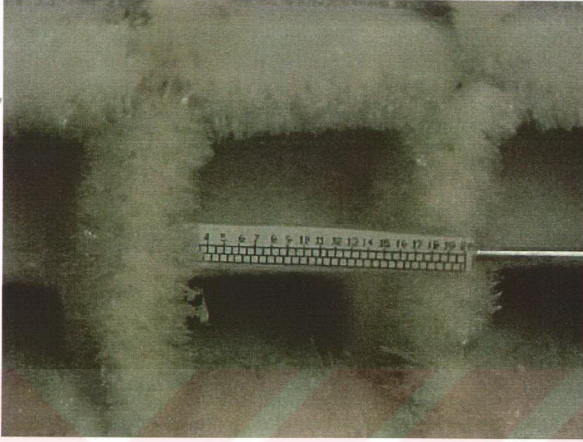
Evaporatör üzerinde üçgen yapının görülme sebebi ise, iki yandaki hava kanallarından giren havanın öncelikle alt paslarda nemini bırakıp, yoğunlaşmaya başlaması ve hava akımının üst ortada bulunan fana doğru olmasıdır. Her iki yanda bulunan emiş kanallarındaki hava hızı lazerle yapılan ölçümler sonucu, $(0,4 - 0,5 \text{ m/s})$ olarak ölçülmüştür. Üfleme hava hızı 5 m/s olarak ölçülmüştür. Şekil 5.2’ de lazerle yapılan emiş kanallarındaki hava hızı ölçümü görülmektedir.



Şekil 5.2 Emiş hava hızı ölçümü

Giriş hava hızının 1,4 – 1,5 m/s gibi daha yüksek olduğu durumlarda, emiş hava kanallarından giren havanın nemini ilk paslarda bırakmadan, yukarıya doğru bir yol izlediği görülmektedir. Bunun sonucunda da karlanma 1–2 pas yukarıya doğru ötelenmektedir.

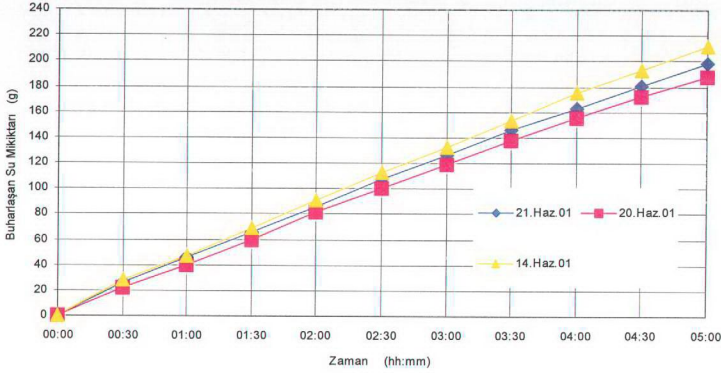
Kar kalınlığı ölçümü için, kanat arkasına ölçek yerleştirilmiştir. Dijital fotoğraf makinesiyle fotoğraf çekilerek, kar kalınlığı 3.7mm olarak okunmuştur. Şekil 5.3' de kanat üzerinde kar kalınlığı ölçümü görülmektedir.



Şekil 5.3 Kanat üstündeki kar kalınlığı ölçümü

Deneylerde, buzdolabı içerisinde buharlaşan su miktarının zamanla değişimi de gözlenmektedir. Karlanma deneyi süresince buzdolabının kapısı açılmamaktadır. Daha önceki bölümde de anlatıldığı üzere, evaporatör üzerine kar yüklemesi buzdolabı içerisine konulan su dolu kap ile yapılmaktadır. Suyun sıcaklığını belli bir değerde tutup, buharlaşmasını sağlamak için, kabin içerisine dışarıdan kontrol edilebilen ısıtıcılar yerleştirilmiştir.

Gözlem sonuçlarına göre evaporatör üzerinde kar birikim oranını 5 saat' lik test periyodu içerisinde zamanla sabit bir düzeye ulaşmaktadır. Buharlaşma miktarının sabit olmasından, evaporatör üzerinde biriken kar miktarının da zamanla lineer artış gösterdiği sonucuna gidilebilir. Buharlaşan su miktarı – zaman grafiği Şekil 5.4'de verilmektedir.



Şekil 5.4 Zamana bağlı buharlaşan su miktarı

Ayrıca aynı şartlarda tekrarlanan 3 deneyin sonucunda buharlaşan su miktarı ile defrostan sonra eriyen kar miktarı ölçüldüğünde birbirinden farklı sonuçlar alınmış ve eriyen su miktarının daha fazla olduğu görülmüştür. Bu başlangıçta kabin içinde bulunan nemin, evaporatör üzerinde yoğunlaşmasıyla açıklanabilir. Bu durum aşağıda verilen hesapla irdelenmiştir. Deneyler süresince kabin içindeki bağıl nem değerleri ölçülmüştür. Buna göre başlangıçta kabin içinde % 77 bağıl nem ölçülmüş, soğutmanın başlamasıyla kısa zamanda bu değer % 47 düzeyine düşmüştür. Daha sonra deney süresince bağıl nem % 45 - % 50 arasında değişim göstermiştir.

Deney süresince bağıl nem değişiminden dolayı evaporatör üzerinde yoğunlaşan su buharı miktarının bulunması:

$$m_w = m_h \cdot (\omega_1 - \omega_2) \quad (5.1)$$

ω_1 : Deneyin başlangıcındaki mutlak nem

ω_2 : Deneyin bitişindeki mutlak nem

m_h : Buzdolabının içindeki hava miktarı

$\omega_1 = 0,009 \text{ kg / kg kuru hava}$

$\omega_2 = 0,0028 \text{ kg / kg kuru hava}$

Buzdolabının içindeki hava miktarının (m_h) bulunması

$$m_h = \rho_h \cdot V_h \quad (5.2)$$

ρ_h : Buzdolabı içindeki havanın yoğunluğu

V_h : Buzdolabı kabin içi hacmi

$$V_h = 0,425 \text{ m}^3$$

Buzdolabı içindeki havanın yoğunluğunun (ρ_h) bulunması

v_1 : Deneyin başlangıcındaki özgül hacim

v_2 : Deneyin bitişindeki özgül hacim

$$v_1 = 0,842 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (Psikrometrik diyagramdan okundu)}$$

$$\rho = 1 / v \quad (5.3)$$

$$\rho_1 = 1 / v_1$$

$$\rho_1 = 1 / 0,842 = 1,17 \text{ kg/m}^3$$

$$v_2 = 0,790 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (Psikrometrik diyagramdan okundu)}$$

$$\rho_2 = 1 / v_2 = 1 / 0,790 = 1,26 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_2 = 1 / 0,790 = 1,26 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{h \text{ ort}} = (\rho_1 + \rho_2) / 2 \quad (5.4)$$

$$\rho_{h \text{ ort}} = (1,17 + 1,26) / 2$$

$$\rho_{h \text{ ort}} = 1,22 \text{ kg/m}^3$$

$$m_h = 1,22 \times 0,425$$

$$m_h = 0,518 \text{ kg}$$

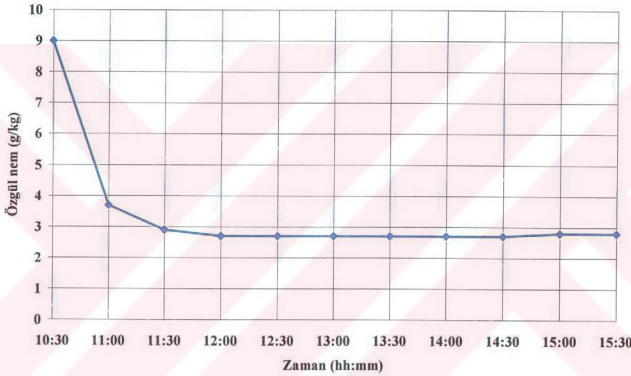
$$m_w = 0,518 \times (0,009 - 0,0028)$$

$$m_w = 0,0032 \text{ kg} = 3,2 \text{ g}$$

Deney süresince bağıl nem değişiminden dolayı evaporatör üzerinde yoğuşan, hava içerisindeki su buharı miktarı 3,2 g olarak bulunmuştur.

Gerçek koşullarda, buzdolabında kabin içindeki bağıl nemin % 30 –35 civarında olduğu bilinmektedir. Deneyde bağıl nemin % 45 – 50 arasında daha yüksek bir düzeyde seyretmesinin nedeni olarak, evaporatöre kar yüklemek amacıyla kabin içinde bulunan suyun buharlaşması düşünülmektedir.

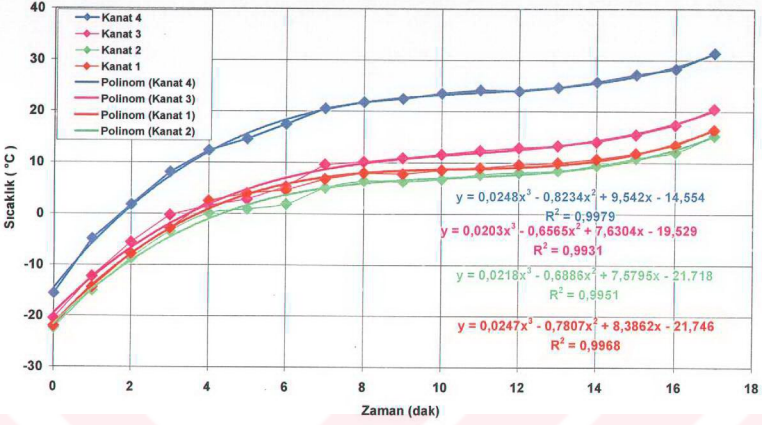
Şekil 5.5’ de buzdolabı içerisindeki havanın zamana bağlı özgül nem değişimi verilmiştir. Şekilde soğutmanın başladığı ilk 30 dakika, özgül nem değerinde hızlı bir azalma olduğu gözlenmiştir. Soğutmanın başlamasından 1.5 saat sonra deney sonuna kadar, özgül nem değeri sabit kalmıştır.



Şekil 5.5 Zamana bağlı özgül nem değişimi

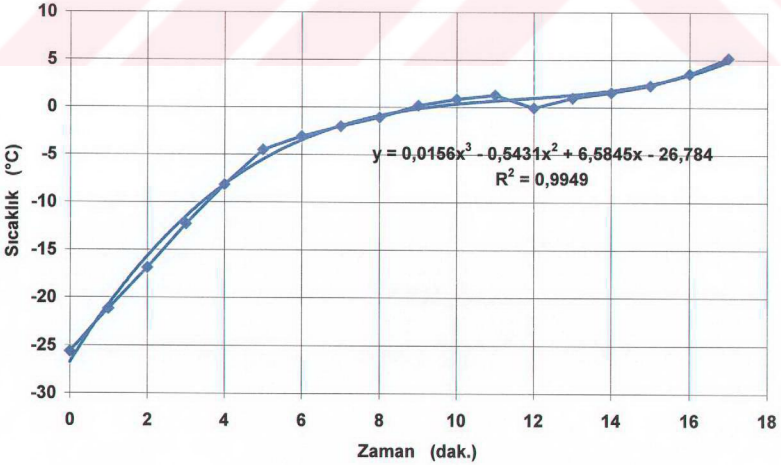
5.2 Defrost Sürecinin İncelenmesi

Deneyde defrost prosesini spesifik olarak incelemek amacıyla, evaporatör üzerinden bir kanat seçilmiştir. Bu kanat üzerine eşit aralıklarla 4 adet termoeleman yerleştirilmiştir. Defrost ısıtıcılarının devreye girmesiyle beraber, kanat üzerindeki sıcaklık değerleri veri kaydedici (datalogger)’ye kaydedilmiştir. Kanat üzerindeki 4 noktanın sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 5.6’ da verilmiştir. Buna göre kanat üzerindeki sıcaklık değerlerinin zamana göre 3.dereceden bir polinoma uygun şekilde artış gösterdiği sonucuna varılmıştır. (Bakınız Ek 2) Ayrıca grafikten kanat üzerindeki sıcaklık değişimlerine bakarak sistemin yaklaşık 3. dakikadan itibaren kararlı rejime girdiği görülmektedir.



Şekil 5.6 Zamana bağlı kanat sıcaklığı değişimi

Ayrıca defrost prosesi süresince, evaporatörün bulunduğu kabin sıcaklığı da veri kaydedici (datalogger)'ye kaydedilmiştir. Şekil 5.7' de kabin içi sıcaklığın zamana göre değişimi verilmiştir. Bu tablodan görüleceği gibi kabin içi sıcaklığının da kanat sıcaklığı dağılımına paralel olarak zamana göre 3.dereceden bir polinoma uygun şekilde artış gösterdiği sonucuna varılabilir. Kabin içi sıcaklığının 1.ve 2. dereceden polinomlara uygunluğu Ek 2' de verilmiştir



Şekil 5.7 Zamana bağlı kabin içi sıcaklığı değişimi

Defrost süreci aynı zamanda endoskopik kamera ile de takip edilmiştir. Buna göre endoskopik kamerayla çekilen defrost görüntülerinde erime beklenildiği üzere ilk olarak, ısıtıcı temas yerlerinde, son olarak da kanat ile boru birleşim yerlerinde görülmektedir. Defrost başladıktan 7 dakika sonra kanat uçlarında kar görülmemektedir. Defrost aşamasında kanat üzerindeki kar hareketi ayrıntılı olarak incelendiğinde, erimenin iç tarafta başladığı ve kar kütlelerinin bu yöne (içe) doğru hareket ettiği görülmektedir. Kanat üzerindeki kar kalınlığı zamanla azalmaktadır.

Genel olarak evaporatöre bakıldığında, bazı bölgelerde, özellikle boru üzerinden, tabaka halinde karın düşmesi dikkat çekmektedir. Ayrıca evaporatörün üst kısımlarında bulunan kar tabakası bu bölgedeki ısıtıcı yoğunluğu düşük olmasına rağmen, alt kısımlara göre daha çabuk erimektedir. Üst kısımlarda daha çabuk erimenin evaporatör kabini içerisinde ısınan havanın etkisi sonucu meydana geldiği düşünülmektedir. Bu nedenle ileride yapılacak çalışmalarda, evaporatör kabini sıcaklık dağılımının ölçümlerle bulunulması düşünülmektedir.

5.3 Deneylerin Tekrarlanabilirliği ve Güvenilirliği

Deneylerin tekrarlanabilir olması için, farklı zamanlarda ve aynı koşullarda yapılan deneylerin sonuçlarının aynı olması gerekmektedir. Bu amaçla 14 Haziran 2001, 20 Haziran 2001 ve 21 Haziran 2001 tarihlerinde deneyler yapılmış ve Çizelge 4.3' deki test şartları sabit olarak tutulmuştur.

Çizelge 4.3 Sabit test şartları

Parametreler	Değerler
Kabin iç sıcaklığı	5 °C
Su sıcaklığı	9 °C
Evaporasyon sıcaklığı	- 25 °C
Hava debisi	13 lt/s
Deney süresi	5 h

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, deneylerden alınan ölçümlerin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca deneyde yapılan ölçümlerin güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla, evaporatör üzerinde biriken kar miktarı hesaplanmıştır. Hesapla bulunan kar miktarı deneyde alınan ölçümlerle karşılaştırılmış ve deneylerin hata payı bulunmuştur.

Evaporatör üzerinde yoğunlaşan su buharı miktarının bulunması

$$m_w = m_h \cdot (\omega_1 - \omega_2) \quad (5.1)$$

ω_1 : Deneyin başlangıcındaki mutlak nem

ω_2 : Deneyin bitişindeki mutlak nem

m_h : Buzdolabının içindeki hava miktarı

$\omega_1 = 0,009 \text{ kg / kg kuru hava}$

$\omega_2 = 0,0028 \text{ kg / kg kuru hava}$

Buzdolabının içindeki hava miktarının (m_h) bulunması

$$m_h = \rho_h V_h \quad (5.2)$$

ρ_h : Buzdolabı içindeki havanın yoğunluğu

V_h : Buzdolabı kabin içi hacmi

$V_h = 0,425 \text{ m}^3$

Buzdolabı içindeki havanın yoğunluğunun (ρ_h) bulunması

v_1 : Deneyin başlangıcındaki özgül hacim

v_2 : Deneyin bitişindeki özgül hacim

$v_1 = 0,842 \text{ m}^3/\text{kg}$ (Psikrometrik diyagramdan okundu)

$$\rho = 1 / v \quad (5.3)$$

$\rho_1 = 1 / v_1$

$\rho_1 = 1 / 0,842 = 1,17 \text{ kg/m}^3$

$v_2 = 0,790 \text{ m}^3/\text{kg}$ (Psikrometrik diyagramdan okundu)

$\rho_2 = 1 / v_2 = 1 / 0,790 = 1,26 \text{ kg/m}^3$

$$\rho_2 = 1 / 0,790 = 1,26 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{h \text{ ort}} = (\rho_1 + \rho_2) / 2 \quad (5.4)$$

$$\rho_{h \text{ ort}} = (1,17 + 1,26) / 2$$

$$\rho_{h \text{ ort}} = 1,22 \text{ kg/m}^3$$

$$m_h = 1,22 \times 0,425$$

$$m_h = 0,518 \text{ kg}$$

$$m_w = 0,518 \times (0,009 - 0,0028)$$

$$m_w = 0,0032 \text{ kg} = 3,2 \text{ gr}$$

Ürünlerden gelen su miktarı : 212 gr

Buzdolabı içerisindeki havadan gelen su miktarı : 3,2 gr

Hesapla bulunan evaporatör üzerinde toplanan kar miktarı : 215,2 gr

Deneyde ölçülen evaporatör üzerinde toplanan kar miktarı : 214,7 gr

Hata payı (%) : 0,2

Bu sonuç deneyde yapılan ölçümlerin sağlıklı ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

6. TEORİK ANALİZ

6.1 Giriş

Bu bölümde evaporatör üzerinde birikmiş olan karın defrost sürecinde erimesi hususu teorik olarak ele alınmakta ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmaktadır. Oluşturulacak modelde ilk aşama, evaporatör üzerinde yoğunlaşan kar miktarının hesaplanmasıdır. Bu amaçla kullanılan denklemler 6.2' de verilmektedir. İkinci aşama ortalama kar yoğunluğunun hesaplanması (6.4) denklemini kullanarak olmaktadır.

Karın ısı iletim katsayısı çok önemli bir parametre olup, literatür taraması bölümünde de anlatıldığı gibi çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen çok sayıda ısı iletim katsayısı ifadesi bulunmaktadır.(Bakınız Bölüm 3)

Bu çalışmada Sanders' ın (1975) ısı iletim katsayısı ifadesi deney koşullarına en uygun olması nedeniyle tercih edilmiş olup, analizlerde kar için kullanılan ısı iletim katsayısı denklem (6.8)' de verilmiştir.

Çalışmanın devamında karın erime prosesinde enerji dengesi incelenip, ısı akısı, kar kalınlığı ve kar yoğunluğu parametreleri arasında bağıntı kurularak defrost süresi hesaplanmaktadır. Teorik analizin sonucunda ısı akısı kar kalınlığı, kar yoğunluğu ve defrost süresi parametreleri arasında optimizasyon çalışması yapılmıştır.

6.2 Evaporatör Üzerinde Yoğuşan Kar Miktarının Hesaplanması

$$m_h = \rho \cdot V \quad (6.1)$$

ρ : Buzdolabı içindeki havanın yoğunluğu (kg/m³)

m_h : Buzdolabı içindeki hava miktarı (kg)

$$m_{wh} = m_h \cdot (\omega_1 - \omega_2) \quad (6.2)$$

m_{wh} :Soğutma süresince havanın içerisinden gelen su buharı miktarı (kg)

ω_1 : Deneyin başlangıcındaki mutlak nem (kg/kg kuru hava)

ω_2 : Deneyin bitişindeki mutlak nem (kg/kg kuru hava)

$$m_t = m_{wh} + m_{wü} \quad (6.3)$$

$m_{wü}$:Ürünlerden gelen su buharı miktarı (kg)

m_t :Evaporatör üzerinde yoğuşan toplam su buharı miktarı (kg)

6.3 Karın Ortalama Yoğunluğunun Bulunması

$$\rho_f = m_f / V_f \quad (6.4)$$

m_f : Kanat üzerinde biriken kar miktarı (kg)

V_f : Kanat üzerinde biriken karın hacmi (m^3)

ρ_f : Karın yoğunluğu (kg/m^3)

$$V_f = a.b.x \quad (6.5)$$

a : Kanadın genişliği (m)

b: Kanadın boyu (m)

x: Kanat üzerindeki kar kalınlığı (m)

6.4 Karın Isı İletim Katsayısının Bulunması

Karın ısı iletkenliğinin tespiti için, literatürde yapılan çalışmalar sonucunda iletkenliğin, doğal ya da zorlamalı konveksiyon koşullarında kar yoğunluğunun ve sıcaklığının fonksiyonu olduğu ortaya çıkmıştır. Literatürde karın ısı iletkenliği,

$$k_f = k_i + k_v + k_r \quad (6.6)$$

k_f : karın ısı iletim katsayısı (W/mK)

k_i : buz kristallerinden oluşan yapının ısı iletim katsayısı (W/mK)

k_v : su buharı ısı iletim katsayısı (W/mK)

k_r : kar tabakası içindeki radyasyon ısı iletim katsayısı (W/mK)

olarak açıklanmıştır. Deitenberger, k_r değerinin karın ısı iletkenliğinin yanında çok küçük olduğundan ihmal edilebileceğini göstermiştir. Bu nedenle bu çalışmada karın ısı iletkenliği,

$$k_f = k_i + k_v \quad (6.7)$$

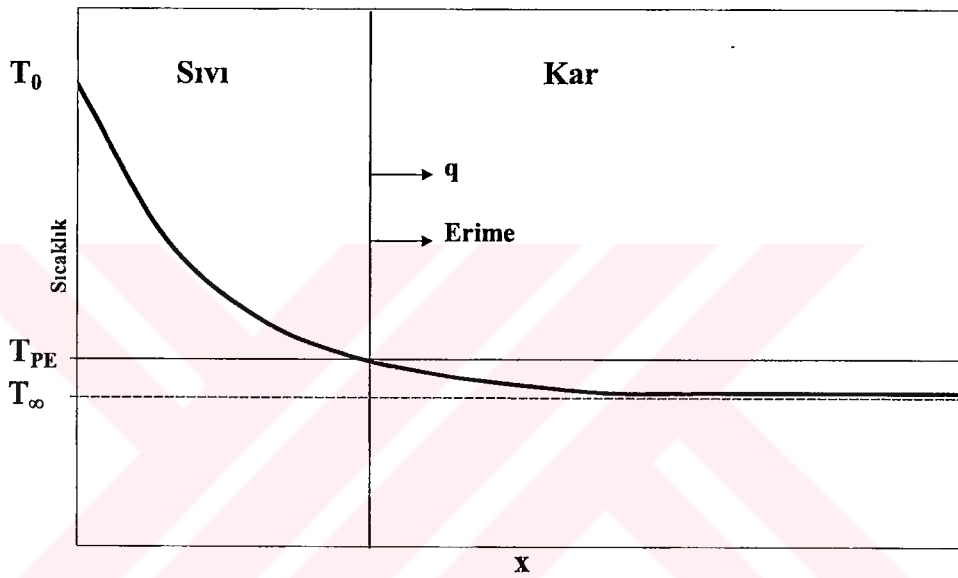
şeklinde tanımlanmış olup, deney koşullarına en uygun olması nedeniyle Sanders' ın kar ısı

iletim katsayısı ifadesi kullanılmıştır.

$$k_f = 1.202 \times 10^{-3} \times \rho_f^{0.963} \quad (\text{Sanders}) \quad (6.8)$$

6.5 Karın Erimesinde Enerji Dengesi

Karın erimesi problemi faz değişim problemi ya da hareketli sınır problemi olarak adlandırılır. Katı ve sıvı faz arasındaki bölgede gizli ısı alışverişi olduğundan, sınır tam olarak bilinmemekle birlikte hareket halindedir. Şekil 6.1’ de erime prosesinde sıcaklık değişimi ve hareketli sınır gösterilmektedir.



Şekil 6.1 Erime prosesinde sıcaklık değişimi

Deney sırasında kamera ile yapılan gözlemlere göre, defrost süresince kanat ile kar arasında eriyen su aşağıya düşmekte ve kar kanada doğru hareket etmektedir. Ayrıca kanat üzerindeki kar alttan erimeye başlayınca, belli bir zaman sonra kar tabaka halinde düşebilmektedir. Karın erime süresini hesaplamak için muhafazakar bir yaklaşımla, karın tabaka halinde düşmesi gözönüne alınmamıştır. Kar ve ortam sıcaklıkları çok düşük olması sebebiyle, kar içerisinde sıcaklık dağılımı olacaktır. Ancak kar içerisinde sıcaklık değişiminin olduğu dx mesafesi bilinmemektedir. Kanat sıcaklığı $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' nin üzerine çıktıktan sonra kar erimeye başlamaktadır. Bu nedenle kanat sıcaklığı $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' nin üzerine çıktıktan sonra, deneyde ölçülen sıcaklık değerlerine göre her dakika için çözüm yapılmış ve bulunan ısı akısı $Q\text{ (W/m}^2\text{)}$, deneyde verilen ısı akısına $Q\text{ (W/m}^2\text{)}$ yakın çıkmıştır. Buna göre tek boyutlu olarak çözülecek denklem;

$$-k_w \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_w = \rho_f \cdot Q_L \cdot \frac{dx}{d\tau} - k_f \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_f \quad (6.9)$$

k_w : Suyun ısı iletim katsayısı (W/mK)

Q_L : Erime gizli ısısı (J / kg)

$\frac{dx}{d\tau}$: Karın erime hızı (m/s)

Yapılan kabuller aşağıda özetlenmiştir:

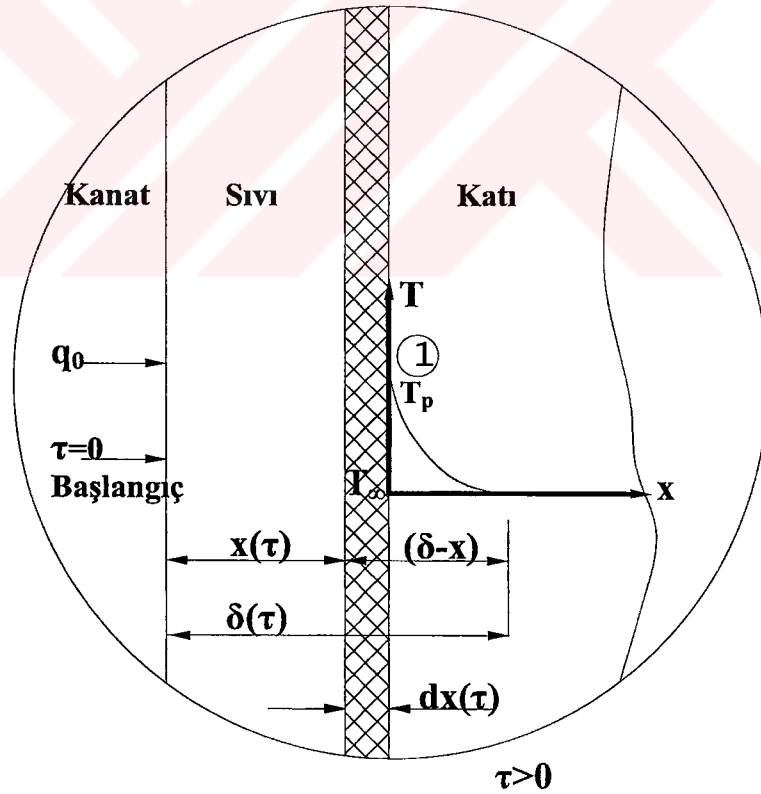
Tek boyutlu ısı transferi düşünülmüştür.

Yarı kararlı hal

Defrost ısıtıcısı ile kar arasındaki radyasyon ısı transferi ihmal edilmiştir.

Özellikler sabit kalmaktadır.

6.6 Kanat Üzerindeki Karın Erime Zamanı



Şekil 6.2 Kanat üzerindeki kar erime detayı

Kanat üzerindeki karın erime zamanının iki adımda hesaplanması düşünülmüştür. Birinci adımda verilen ısı akısında Alüminyum kanat sıcaklığının 0°C' nin üzerine çıkması için geçen zaman hesaplanmaktadır.

$$q_0 \tau_1 = \rho c_p l \Delta T \quad (6.10)$$

ρ_{Al} : Al yoğunluğu (kg/m³)

$c_{p, Al}$: Al. ısınma ısısı (J/kg K)

τ_1 : Kanat sıcaklığının yaklaşık 0 °C' ye gelmesi için geçen zaman (sn)

q_0 : Isı akısı (W / m²)

l : Kanat kalınlığı (m)

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

T_1 : Karın erime sıcaklığı (-273 K)

T_2 : Kanadın defrost başlamadan önceki sıcaklığı (K)

İkinci adımda, kanattan kara olan ısı transferiyle, karın erimesi için geçen zaman hesaplanmaktadır.

Proses süresince $\frac{dx}{d\tau} \rightarrow \text{sabit}$, $(\delta - x) \rightarrow \text{sabit}$ olduğunda kararlı hal çözümü yapılır. Buna göre,

$$\frac{dx}{d\tau} = A = \frac{q_0 / 2}{\rho_f (Q_L + c_f \cdot v_p)} \quad (6.11)$$

formülünden hesaplanır.

c_f : Karın ısınma ısısı (J / kg K)

v_p : Sıcaklık farkı (K)

$$V_p = T_1 - T_\infty \quad (6.12)$$

T_1 : Karın erime sıcaklığı (K)

T_∞ : Kar sıcaklığı (K)

dx : Kanat üzerinde biriken kar kalınlığı (m)

τ_2 : Karın erimesi için geçen zaman (s)

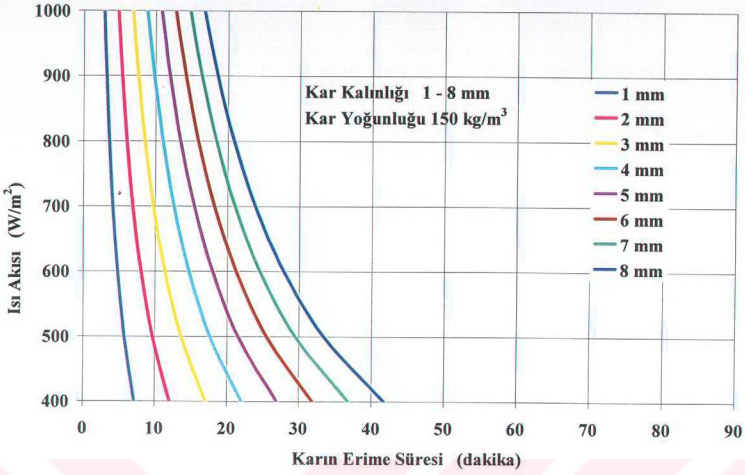
$$\tau = \tau_1 + \tau_2 \quad (6.13)$$

τ : Isıtıcı çalıştıktan sonra kanattaki karın erimesi için geçen toplam zaman (s)

6.7 Isı Akısı, Kar Kalınlığı ve Erime Süresi İlişkisinin Grafiklerle Gösterilmesi

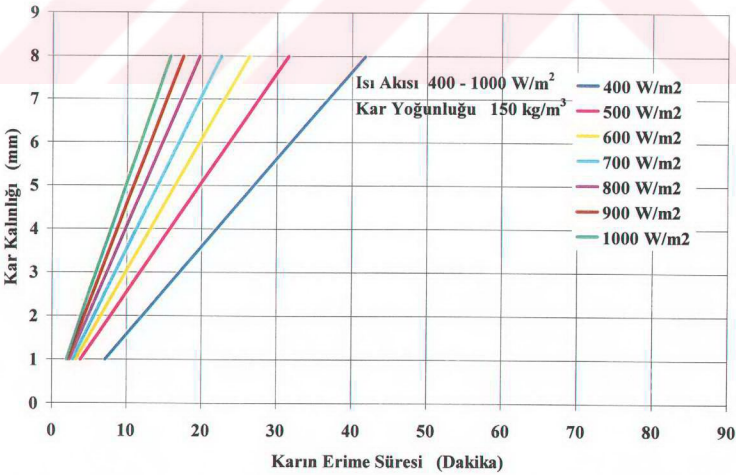
No-frost buzdolabı, $t_{ort.} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\phi_{ort} = \% 65$ ortam koşullarında çalıştırıldığında ve evaporasyon sıcaklığı $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda, evaporatör üzerindeki kar yoğunluğu $\rho = 152 \text{ kg/m}^3$ olarak bulunmuştur. Yapılan deneylerde evaporasyon sıcaklığı düştükçe, evaporatör üzerinde oluşan karın iğneli yapıdan, daha yoğun bir yapıya geçtiği görülmektedir. Bu nedenle defrost süresi hesaplamaları iki ayrı kar yoğunluğu 150 kg/m^3 ve 200 kg/m^3 için çeşitli ısı akıları ($400 - 1000 \text{ W/m}^2$) kullanılarak, 1 mm ile 8 mm arasındaki kar kalınlıklarında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.3 – 6.8’ de gösterilmektedir.





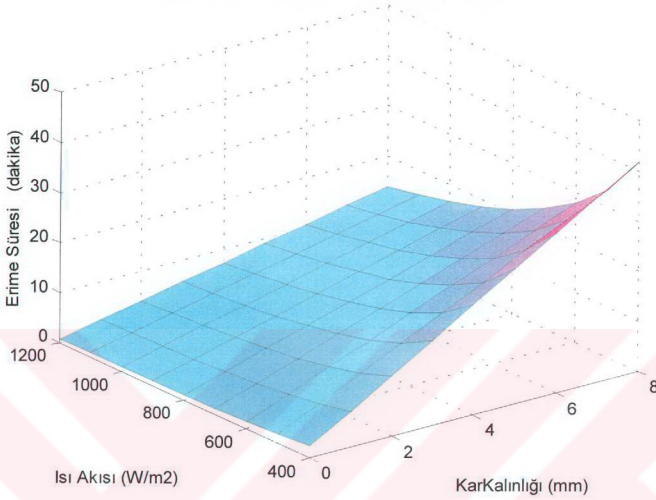
Şekil 6.3 Isı akısına bağlı olarak karın erime süresi (Kar yoğunluğu $150 kg/m^3$)

Şekil 6.3' den görüleceği gibi kar kalınlığı azaldıkça ısı akısının artması defrost süresini çok etkilememektedir. Örneğin 1 mm kalınlığındaki kar $600 W/m^2$ ısı akısında 4 dakikada erirken $1000 W/m^2$ ısı akısında bu değer belki 3 dakikaya düşebilmektedir. Ancak 8 mm kalınlığındaki bir kar birikimi $600 W/m^2$ ısı akısında 28 dakikada erirken, ısı akısı $1000 W/m^2$ ye çıktığında defrost süresi 16 dakikaya düşmektedir.



Şekil 6.4 Kar kalınlığına bağlı olarak karın erime süresi (Kar yoğunluğu $150 kg/m^3$)

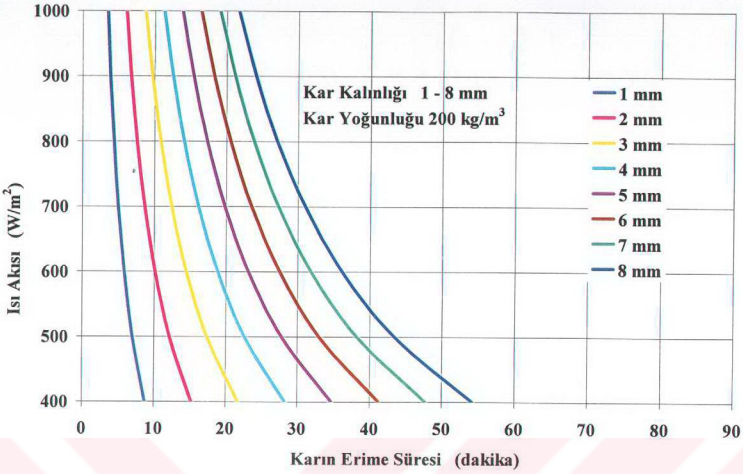
Şekil 6.4' den kar kalınlığı arttıkça, karın erime süresinin arttığı görülmektedir.



Şekil 6.5 Kar kalınlığına ve ısı akısına bağlı olarak karın erime süresi
(Kar yoğunluğu 150 kg/m^3)

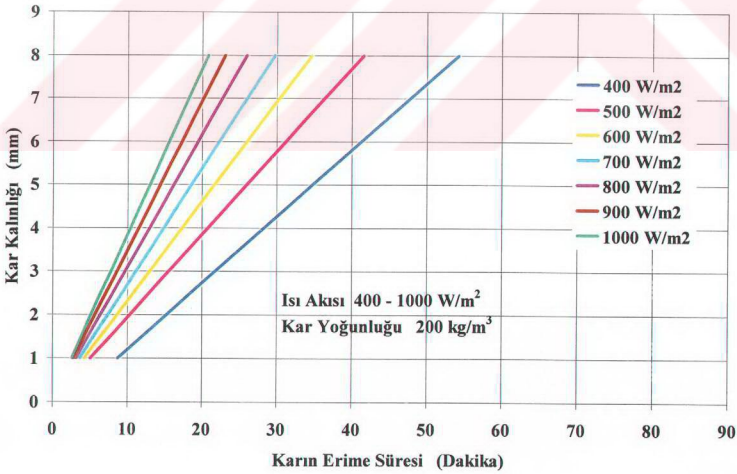
Şekil 6.5 ısı akısı, kar kalınlığı ve erime süresi ilişkisinin daha açık görülmesini sağlamaktadır. Buna göre kar kalınlığı arttıkça, erime süresi artmakta, ısı akısı arttıkça erime süresi azalmaktadır. Bu şekiller kullanılarak buzdolabı defrost ısıtıcısı tasarımı yapılırken, çalışabilecek kriterlere karar verilebilir.

Şekil 6.6, 6.7 ve 6.8' de düşük evaporasyon sıcaklıklarında ulaştığımız 200 kg/m^3 gibi daha yüksek kar yoğunluğu için, ısı akısı, kar kalınlığı ve erime süresi arasında optimizasyon çalışması yapılmıştır.



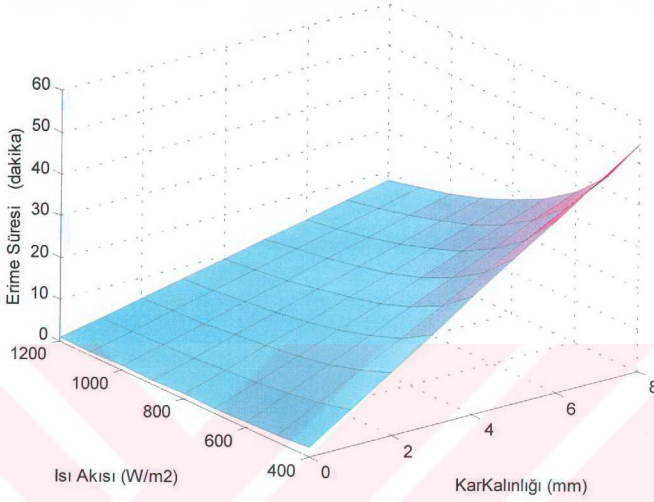
Şekil 6.6 Isı akısına bağlı olarak karın erime süresi (Kar yoğunluğu $200 kg/m^3$)

Şekil 6.6 dan ısı akısı arttıkça defrost süresinin azaldığı görülmektedir. Ancak kar kalınlığı azaldıkça ısı akısının artması defrost süresini çok etkilememektedir.



Şekil 6.7 Kar kalınlığına bağlı olarak karın erime süresi (Kar yoğunluğu $200 kg/m^3$)

Şekil 6.6 ile Şekil 6.3 arasında karşılaştırma yapıldığında kar yoğunluğunun artmasının, defrost süresini de arttırdığı sonucuna gidilmektedir.



Şekil 6.8 Kar kalınlığına ve ısı akısına bağlı olarak karın erime süresi
(Kar yoğunluğu 200 kg/m^3)

Şekil 6.8 ısı akısı, kar kalınlığı ve erime süresi ilişkisinin daha açık görülmesini sağlamaktadır. Şekle göre kar kalınlığı arttıkça, erime süresi artmakta, ısı akısı arttıkça erime süresi azalmaktadır.

6.8 Teorik Model Sonuçları ile Deneyde Ölçülen Değerlerin Karşılaştırılması

Defrost ısıtıcısının ısı akısı 572 W/m^2 ve kar yoğunluğunun ortalama olarak 152 kg/m^3 olduğu deneyde, endoskopik kamera ile yapılan gözlem sonucu karın erime süresi 14 dakika olarak saptanmıştır. Teorik çalışmada öncelikle kar miktarı, kar yoğunluğu, kar ısı iletim katsayısı gibi defrost süresini etkileyen parametreler hesaplanıp, kanat üzerindeki karın erime zamanını hesaplayan matematik model hazırlanmıştır.

Model iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda kanadın karı eritebilme sıcaklığına gelme süresi (τ_1) hesaplanmaktadır. İkinci kısımda kanattan kara olan ısı transferiyle, kanat üzerindeki karın erime süresi (τ_2) hesaplanmaktadır. Teorik model sonuçlarının deneyde

ölçülen değerlerle karşılaştırılması aşağıda verilmiştir.

Aluminyum kanat sıcaklığının $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkması için geçen zamanın (τ_1) hesaplanması

$$q_0 \tau_1 = \rho c_p l \Delta T$$

$$q_0 = 572\text{ W / m}^2$$

$$\rho_{Al} : 2787\text{ kg/m}^3, c_{Al} : 883\text{ J/kgK}$$

$$l : 0,001\text{ m}, \Delta T = 22\text{ K}$$

$$\tau_1 = 94,2\text{ s}$$

Kanattan kara olan ısı transferiyle karın erimesi için geçen zamanın (τ_2) hesaplanması

$$\frac{dx}{d\tau} = A = \frac{q_0 / 2}{\rho_f (Q_L + c_f v_p)}$$

$$x : 0,0037\text{ m}, \rho_f : 152\text{ kg/m}^3$$

$$Q_L : 331892\text{ J / kg}$$

$$v_p : 14\text{ K}, c_f : 2010\text{ J / kgK}$$

$$\tau_2 = 707,97\text{ s}$$

Isıtıcı çalıştıktan sonra kanattaki karın erimesi için geçen toplam zamanın (τ) hesaplanması

$$\tau = \tau_1 + \tau_2$$

$$\tau = 94,2 + 707,97$$

$$\tau = 802,17\text{ s}$$

Kanat üzerindeki karın erimesi için geçen toplam zaman (hesaplanan) : 802,17 s

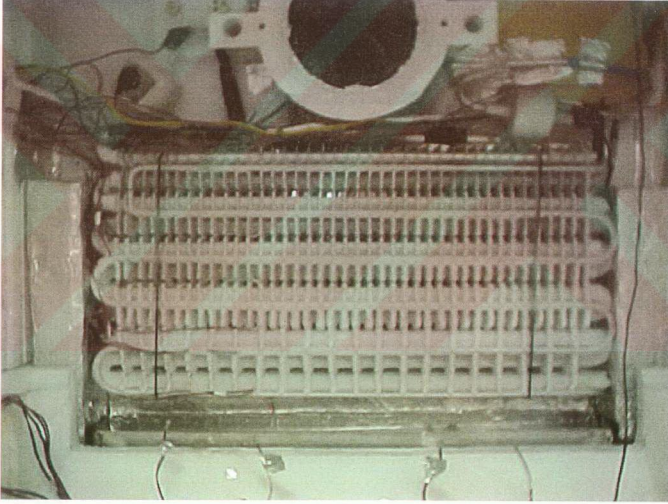
Kanat üzerindeki karın erimesi için geçen toplam zaman (deneyde ölçülen) : 840 s

Hata payı : % 4,7

Modelle hesaplanan sonuçlar ile deneyden alınan ölçümler arasında % 4,7 hata payı bulunmaktadır.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında no frost buzdolabı evaporatörünün, karlanma ve defrost süreci deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deneyler no-frost buzdolabının çalışma aralığı olan -25°C ve deneysel çalışma koşullarında erişilebilen en düşük sıcaklık olan -35°C evaporasyon sıcaklıklarında yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde (Yonko ve Sepsy, 1973, Jones ve Parker, 1975, Hayashi vd., 1977), deneylerin genel olarak -25°C ile -34°C evaporasyon yada plaka yüzey sıcaklığı aralığında yapıldığı görülmüştür. Deneylerin birinci kısmında, evaporatör üzerinde oluşan karlanmanın etkilendiği parametreler ve karın yapısı incelenmiştir. Şekil 5.1' de -25°C evaporasyon sıcaklığında, 5 saat soğutma sonucu karlanmış evaporatörün fotoğrafı görülmektedir.



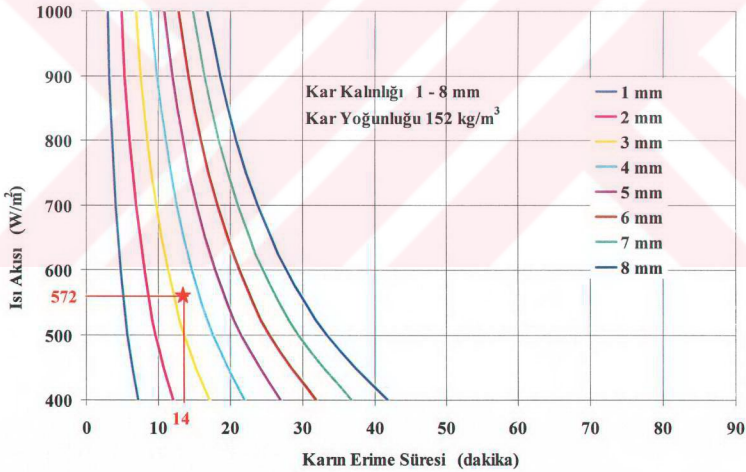
Şekil 5.1 Karlanmış evaporatörün görünümü

Buna göre evaporatör üzerinde altlarda fazla, üstlerde daha az kar olan üçgen formda bir yapının oluştuğu gözlenmiştir. Evaporatörün solunda ve sağında simetrik üniform bir karlanma görülmektedir. Oluşan bu kar fazla yoğun olmayıp, iğneli yapıdadır. Evaporasyon sıcaklığı -35°C gibi daha düşük sıcaklıklara geldiğinde, evaporatör üzerinde oluşan karın iğneli yapıda değil, daha yoğun olduğu gözlenmiştir.

Deneylerin ikinci kısmında ise, kapalı bir sistemin içerisine hiçbir hava akımına sebep olmayacak şekilde etrafı izole edilerek yerleştirilen endoskopik kamera ile defrost prosesi izlenerek, karın erime süreci ve erimenin öncelikle başladığı yerler gözlenmiştir. Bunlara ilave olarak, kanat boyunca yerleştirilen termoelemanlarla, sürekli olarak sıcaklık ölçümleri alınmış ve bilgisayara kaydedilmiştir.

Çalışmanın teorik kısmında, kanat üzerindeki karın erime süresini hesaplayan, matematik model hazırlanmıştır. Bu model erime sürecini esas itibarıyla yarı kararlı hal koşullarında tek boyutlu olarak hesaplamaktadır. Model iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda kanadın eritebilme sıcaklığına gelme süresi hesaplanmaktadır. İkinci kısımda kanattan kara olan ısı transferiyle, kanat üzerindeki karın erime süresi hesaplanmaktadır.

Şekil 7.1' de deneyden aldığımız sonuçlar ile teorik model sonuçlarının karşılaştırılması gösterilmektedir. Bölüm 6.8' de açıklandığı üzere deney ölçüm sonuçları ile teorik model sonuçları arasındaki hata payı % 4,7 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.1 Teorik model sonuçları ile deneyden aldığımız ölçümlerin karşılaştırılması

Çalışmadan çıkan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Evaporasyon sıcaklığı -25 °C olan deneylerde, karın fazla yoğun olmadığı, iğneli yapıda olduğu, buna karşın evaporasyon sıcaklığının -35 °C değerinde olduğu deneylerde ise, evaporatör üzerinde oluşan karın iğneli yapıda olmadığı ve daha yoğun olduğu gözlenmiştir. Evaporasyon sıcaklığının düşmesi karın yapısını değiştirmekte ve

yoğunluğunu arttırmaktadır. Bu gözlemler, Hayashi vd., 1977 kar gelişim tiplerini sınıflandırma çalışmalarıyla uyum içerisinde. Düşük evaporasyon sıcaklıklarında karın yoğun olması nedeniyle, ısı iletim katsayısı daha yüksek olmakta ve evaporatörün soğutma performansı içine yapıya göre daha iyi olmaktadır. Ancak düşük evaporasyon sıcaklıklarında daha çok kar birikimi olup kar kalınlığının daha fazla olabileceği ve bu durumda soğutma performansına ters etki yapacağı hususu da dikkate alınmalıdır. Evaporasyon sıcaklığının kar gelişimi ve soğutma performansı üzerine etkilerini incelemek için, -25°C ile -35°C aralığında kademeli olarak deneyler yapılarak sonuçların irdelenmesi önerilmektedir.

2. Deneylerde evaporatörün üzerindeki kar kütlesinin Şekil 4.8' den de anlaşılacağı üzere üçgen şeklinde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni iki yandaki hava kanallarından evaporatör kabinine giren hava, öncelikle alt paslarda nemini bırakıp, yoğunlaşmaya başlamakta ve hava akımı üst ortada bulunan fana doğru olmaktadır. Fan ve hava emiş kanallarının yerleri değiştirilerek, evaporatör üzerinde daha farklı bir karlanma oluşturulup, defrost açısından ideal bir karlanma formu oluşturulabilir. Defrost prosesi sırasında, endoskopik kamerayla yapılan gözlemler sonucu, ısıtıcı yoğunluğunun alt paslarda fazla olmasına rağmen, evaporatörün üst tarafındaki boru ve kanatları üzerindeki karın daha çabuk eridiği görülmektedir. Bunun sebebi ise evaporatörün üst kısımlarındaki kar kalınlığının daha düşük olması ve defrost ısıtıcısının devreye girmesiyle birlikte, alt kısımlardaki kar eriyene kadar ısınan havanın yükselmesi ve evaporatör kabin içi sıcaklığının artmasıdır.
3. Deneylerde evaporatör kabini hava emiş kanallarındaki hız $0,4 - 0,5$ m/s olarak ölçülmüştür. Emiş kanallarındaki hızın $1,4 - 1,5$ m/s gibi daha yüksek olduğu durumlarda, evaporatör kabinine giren hava nemini ilk paslarda bırakmadan, yukarıya doğru bir yol izlediği gözlenmektedir. Bunun sonucunda karlanmanın 1-2 pas yukarıya doğru ötelendiği görülmektedir.
4. Deneylerde buzdolabı kabini içerisinde buharlaşan su miktarının zamanla değişimi gözlenmiştir. Buna göre 5 saatlik test periyodu boyunca zamanla buharlaşma miktarı sabit olmakta, evaporatör üzerinde biriken kar miktarı da zamanla lineer artış göstermektedir. Ayrıca aynı şartlarda tekrarlanan farklı deneylerin sonucunda, buharlaşan su miktarı ile defrosttan sonra eriyen kar miktarı ölçülüp, birbirleriyle karşılaştırıldığında, eriyen su miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, başlangıçta buzdolabı kabini içerisinde bulunan nemin evaporatör üzerinde yoğunlaşmasıdır.

5. Matematik modelle hesaplanan kanat üzerindeki karın erime süresi sonuçları ile deneyden alınan ölçümler karşılaştırıldığında sonuçların % 4,7 hata payı ile birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Deneyde ölçülen erime süresi ile matematik modelle hesaplanan erime süreleri arasındaki fark, ısıtıcının kanada tam temas etmemesi gibi imalattan kaynaklanan nedenlere dayanmaktadır.
6. Matematiksel modelle yapılan çalışmalar sonucunda, aynı kalınlıktaki iki kar tabakasından, yoğunluğu fazla olanın defrost süresinin diğerine göre daha uzun olduğu görülmektedir.

Yukarıda belirtilen sonuçlar ışığı altında;

- Evaporatörü bölgelere ayırıp farklı ısıtıcılar kullanarak ayrı ayrı defrost yapılabilir.
- Soğutucu akışkanın geçtiği boru boyutları yeniden düzenlenerek ya da vana kullanarak evaporatörün alt kısımlarındaki karlanmayı daha da arttırıp, sadece bu kısımda defrost yapılabilir.
- Buzdolaplarında defrost süresi belli bir sürenin üstüne çıkmamalıdır. Çünkü defrost sırasında buzdolabı soğutması durmakta ve aynı zamanda kabin içine defrost ısıtıcısının ilave ısıyı girmektedir. Bu da kabin içindeki sıcaklığın artmasına sebep olmaktadır. Kabin içi sıcaklığı belli bir değerin üstüne çıktığında saklanan gıda maddelerinde bozulmalar başlayacaktır. Erime süresini azaltmak için, ısı akısını makul bir değere kadar arttırmak gereklidir.

Bu çalışmanın devamı olarak aşağıdaki çalışmalar yapılabilir.

1. Defrost ısıtıcısının yeri değiştirilerek veya birden fazla ısıtıcı kullanılarak, enerji tasarrufu açısından farklı çözümler üretilebilir.
2. Farklı defrost metotları denenip, ekonomikliliği araştırılabilir.
3. Karlanmayı belli bir bölgeye toplayıp, defrostu sadece o bölgede yapmak için çözümler üretilebilir.
4. Buzun ısı iletim katsayısının karın ısı iletim katsayısından daha yüksek olması sebebiyle, evaporatör boru ve kanatları yüzeyinde kar yerine buz oluşması soğutma performansı açısından daha iyidir. Bu sebeple buzdolabı soğutma yaparken, arada defrost ısıtıcılarının çalıştırılması karı buz haline getirecektir. Bu konu üzerine de çalışmalar yapılabilir.
5. Evaporatörün üst kısımlarında defrost daha çabuk gerçekleşmektedir. Bu durumu irdelenecek çalışmalar yapılmalı, özellikle evaporatör kabiniçi sıcaklık dağılımına bakılabilir.

KAYNAKLAR

- Bansal, P.K., Kruger, R., (1995), "Test Standarts for Household Refrigerators and Freezers I: Preliminary Comparisons", *International Journal of Refrigeration*, 18:4-20.
- Bilge, M., (1988), "Doğal Konveksiyon Koşullarında, Düşey Borularda Karlanma Sürecinin Teorik ve DeneySEL Tesbiti", Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Chen, H., Besant, R.W., Tao, Y.X., (1995), "Frost Characteristics and Heat Transfer on a Flat Plate Under Freezer Operating Conditions PartII, Numerical Modelling and Comparison with Data", *Ashrae Transactions*, 105: 252-259
- Chen, H., Besant, R.W., Tao, Y.X., (1999), "Frost Characteristics and Heat Transfer on a Flat Plate Under Freezer Operating Conditions Part I, Experimentation and Correlations", *Ashrae Transactions*, 105: 231-251
- Cole, R. A., (1989), "Refrigeration Loads in a Freeze Due to Hot Gas Defrost and Their Associated Costs", *Ashrae Transactions*, 225-230
- De-Lima-Silva, W., Wrobel, L.C., (1995), "A Front Tracking BEM Formulation for One Phase Solidification / Melting Problems", *Engineering Analysis with boundary Elements*, 16: 171-182
- Dossat, R. J., (1997), *Principles of Refrigeration*, Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall
- Eckert, E., Drake, R., *Analysis of Heat and Mass Transfer*, McGraw-Hill Book Company, USA
- Hayashi, Y., Aoki, A., Adachi, S., Hori, K., (1977), "Study of Frost Properties Correlating with Frost Formation Types", *Journal of Heat Transfer*, 99:239-245
- Henderson, H.I., Khattor, M., (1999), "Measured Impacts of Supermarket Humidity Level on Defrost Performance and Refrigerating System Energy Use", *Ashrae Transactions: Symposia*, 105:508-520
- Horton, W., Groll, E., (1993), "Effects of Frost Formation on the External Heat Transfer Coefficient of a Counter- Crossflow Display Case Air Coil", 283-288
- Ismail, K., Salinas, C., Gonçalves, M., (1997), "Frost Growth Around a Cylinder in a Wet Air Stream", *International Journal of Refrigerator*, 20:106-119
- Ismail, K., Salinas, C., (1999), "Modelling of Frost Formation Over Parallel Cold Plates", *International Journal of Refrigerator*, 425-441
- ISO – 5155, (1995), *Household Refrigerating Appliances-Frozen Food Storage Cabinets and Food Freezers – Characteristics and Test Methods*
- ISO–8187, (1991), *Household Refrigerating Appliances - Refrigerator - Freezers Characteristics and Test Methods*
- İnan, C., (2000), *Evaporator Performance Under Frosted Conditions and Evaluation of Heat*

and Mass Transfer in a Domestic Refrigerator, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

James, S.J., Evans, J., (1992), "The Temperature Performance of Domestic Refrigerators", *International Journal of Refrigeration*, 15: 313-319

Jones, B., Parker, J., (1975), "Frost Formation with Varying Environmental Parameters", *Journal of Heat Transfer*, 255-259

Kaviany, M., (1995), *Principles of Heat Transfer in Porous Media*, Mechanical Engineering Series, Newyork

Kim, C., Kaviany, M., (1990), "A Numerical Method for Phase Change Problems", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 33: 2721-2734

Knoop, D., Tershok, A., Thienemon, M., (1988), "An Adaptive Demand Defrost and Two Zone Control and Monitor System for Refrigeration Products", *IEEE Transactions on Industry Applications*, 24:337-342

Kondepudi, S., O'Neal, D.L., (1993), "Performance of Finned Tube Heat Exchangers Under Frosting Conditions I. Simulation Model", *International Journal of Refrigeration*, 16:175-179

Kondepudi, S., O'Neal, D.L., (1993), "A Simplified Model of Pin Fin Heat Exchangers Under Frosting Conditions", *Ashrae Transactions*, 754-761

Kondepudi, S., O'Neal, D.L., (1987), "To Effects of Frost Growth on Extended Surface Heat Exchanger Performance", *Ashrae Transactions*, 93, Part 2:258-270

Krakow, K., Lin, S., Oskarsson, S., (1991), "A Method for Determining the Effects of Coil Geometry and Fan Type on Evaporator Frosting", *Ashrae Transactions*, 393-399

Kwan-Soo, L., Woo-Seung, K., Tae-Hee, L., (1997), "A One Dimensional Model for Frost Formation on a Cold Flat Surface", *International Journal of Heat Mass Transfer*, 40: 4359-4365

Lee, J., Lee, T., Ham, S., Oh, S., Cho, K., (2000), "A Study on New Tri-Tube Type Evaporators in Domestic Refrigerators / Freezer", *Eighth International Refrigeration Conference At Purdue University*, 2000

Madi, M., Johns, R.A., Heikal, M.R., (1991), "Performance Characteristics Correlation for Round Tube and Plate Finned Heat Exchangers", *International Journal of Refrigerator*, 21:507-517

Mao, Y., Besant, R.W., Folk, J., (1993), "Measurement and Correlations of Frost Properties with Laminar Airflow at Room Temperature Over a Flat Plate", *Ashrae Transactions Symposium*, 1993, 99, Part I: 739-745

Mutawa, N.K., Sherif, S., Mathur, G., Tiedeman, J., Urlaub, J., (1998), "Determination of Coil Defrosting Loads: Part I – Experimental Facility Description", *Ashrae Transactions*, 268-288

- Mutawa, N.K., Sherif, S., Mathur, G., Steadham, J.M., West, J., Harker, R., Tiedeman, J., (1998), "Determination of Coil Defrosting Loads: Part II- Instrumentation and Data-Acquisition Systems", *Ashrae Transactions*, 289-302
- Mutawa, N.K., Sherif, S.A., Mathur, G., (1998), "Determination of Coil Defrosting Loads: Part III – Testing Procedures and Data Reduction, *Ashrae Transactions*, 303-312
- Mutawa, N.K., Sherif, S.A., Steadham, J.M., (1998), "Determination of Coil Defrosting Loads: Part IV – Refrigeration / Defrost Cycle Dynamics", *Ashrae Transactions*, 313-343
- Mutawa, N.K., Sherif, S.A., (1998), "Determination of Coil Defrosting Loads: PartV – Analysis of Loads", *Ashrae Transactions*, 344-355
- Niederer, R.H., (1986), "Frosting and Defrosting Effects on Coil Heat Transfer", *Ashrae Transactions*, 467-473
- Nutter, D.W., O' Neal, D., Payne, W.V., (1994), "Impact of the Suction Line Accumulator on the Frost / Defrost Performance of an Air-Source Heat Pump with a Scroll Compressor", *Ashrae Transactions: Research*, 284-290
- Ogawa, K., Tonaka, N., Takeshito, M., (1993), "Performance Improvement of Plate Fin and Tube Heat Exchangers Under Frosting Conditions", *Ashrae Transactions*, 762-771
- Oskarsson, S.P., Krakow, K.I., Lin, S., (1990), "Evaporator Models for Operation with Dry, Wet and Frosted Finned Surfaces Part I: Heat Transfer and Fluid Flow Theory, *Ashrae Transactions*, 96, Part I: 373-380
- Oskarsson, S.P., Krakow, K.I., Lin, S., (1990), "Evaporator Models for Operation with Dry, Wet and Frosted Finned Surfaces Part II: Evaporator Models and Verification", *Ashrae Transactions*, 96, Part II: 381-392
- Östin, R., Andersson, S., (1991) "Frost Growth Parameters in a Forced Air Stream", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 34: 1009-1017
- Radcenco, V., Vargas, J., Bejan, A., Lim, J.S., (1995), "Two Design Aspects of Defrosting Refrigerators", *International Journal of Refrigeration*, 18, 2: 76-86
- Raju, S.P., Sherif, S.A., (1993), "Frost Formation and Heat Transfer on Circular Cylinders in Cross-flow", *International Journal of Refrigerator*, 16, 6: 390-402
- Rite, R.W., Crawford, R.R., (1991), "A Parametric Study of the Factors Governing the Rate of Frost Accumulation on Domestic Refrigerator-Freezer Finned-Tube Evaporator Coils", *Ashrae Transactions*, 97, Part 2: 438-444
- Rite, R.W., Crawford, R.R., (1991), "The Effect of Frost Accumulation on the Performance of Domestic Refrigerator-Freezer Finned-Tube Evaporator Coils", *Ashrae Transactions*, 97, Part1: 428-436
- Sanders, C.T., (1975), "The Influence of Frost Formation and Defrosting on the Performance of Air Coolers", PhD Thesis, Delf Technical University

- Sami, S.M., Duong, T., (1995), "Mass and Heat Transfer During Frost Growth", *Ashrae Transactions*, 158-165
- Schneider, H.W., (1978), "Equation of the Growth Rate of Frost Forming on Cooled Surfaces", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 21 :1019-1024
- Sherif, S.A., Raju, S.P., Padki, M.M., Chan, A.B., (1993), "A Semi Empirical Transient Method for Modelling Frost Formation on a Flat Plate", *International Journal of Refrigerator*, 16, 5:321-329
- Simonson, C.J., Besant, R.W., (1998), "Heat and Moisture Transfer in Energy Wheels During Sorption, Condensation and Frosting Conditions", *Journal of Heat Transfer*, 120: 699-708
- Stamm, R.H., (1985), "Industrial Refrigeration Frost Removal", *Heating / Piping / Air Conditioning*, 73-80
- Şeker, D., (1999), No-Frost Buzdolabı Evaporatörlerinde Karlanmanın Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Şeker, D., (2000), Laser Doppler Anemometry Sisteminin Ölçüm Belirsizliğinin Hesaplanması, ARN-144, Arçelik Araştırma Raporu
- Tantakitti, C., Howell, R.H., (1986), "Air to Air Heat pumps Operating Under Frosting Conditions on the Outdoor Coil", *Ashrae Transactions*, 827-842
- Tao, Y.-X., Besant, R.W., Mao, Y., (1993), "Characteristics of Frost Growth on a Flat Plate During the Early Growth Period", *Ashrae Transactions Symposium*, 746-753
- Tassau, S.A., Datta, D., (1999), "Influence of Supermarket Environmental Parameters on the Frosting and Defrosting of Vertical Multideck Display Cabinets", *Ashrae Transactions Symposia*, 105: 491-496
- Thomas, L., Chen, H., Besant, R.W., (1999), "Measurement of Frost Characteristics on Heat Exchangers Fins Part I : Test Facility and Instrumentation", *Ashrae Transactions*, 105: 283-293
- Orkun, T., (1996), "Ice Thickness Measurement and Instrumentation for No-frost Refrigeration", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Özışık, M.N., (1968), *Boundary Value Problems of Heat Conduction*, International Text Book Company, Scranton
- Vick, B., Nelson, D.J., Yu, X., (1998), "Freezing and Melting with Multiple Phase Fronts Along the Outside of a Tube", *Transactions of the Asme*, 120: 422-429
- Vick, B., Nelson, D.J., (1993), "The Boundary Element Method Applied to Freezing and melting Problems", *Numerical Heat Transfer, part B*, 24: 263-277
- Wrobel, L.C., Brebbia, C.A., (1992), *Boundary Element Methods in Heat Transfer*, USA

Yonko, J.D., Sepsy, C.F., (1973), "An Investigation of the Thermal Conductivity of Frost While Forming on a Flat Horizontal Plate", Ashrae Transactions, x.1.1.- x.1.10

Yu, X., Nelson, D.J., Vick, B., (1995), "Phase Change with Multiple fronts in Cylindrical systems Using the Boundary Element Method", Engineering Analysis with Boundary Elements, 16: 161-170

Yujiro, H., Kazuo, A., Hiroshi, Y., (1993), "Study of Frost Formation Based on a Theoretical Model of the Frost Layer", Transactions Japan Society Mechanical Engineering, 340, Part 1&2: 885-889



EKLER

Ek 1 Deneyden Alınan Ölçümler

Ek 2 Zamana Bağlı Kanat ve Kabiniçi Sıcaklık Değişiminin 1. ve 2. Dereceden Polinomlara Uygunluğu

Ek 3 Deney Hata Analizi

Ek 4 Termoeleman Ölçüm Yerlerinin Gösterimi



Ek 1 Deneyden Alınan Ölçümler

Tarih : 20 Haziran 2001

Zaman	t _{eva1}	t _{eva2}	t _{FF1}	t _{ort.sol}	t _{fin1}	t _{fin2}	t _{fin3}	t _{fin4}	t _{fin5}	t _{fin6}	t _{fin7}	t _{fin8}	t _{fin9}	t _{esol}	t _{el2}
hh:mm:ss	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
10:31:04	14,1	13,9	23,1	22,6	14,1	14,3	14,1	13	14,6	14,4	13,8	13,6	14,4	14,5	17,9
10:32:04	15,7	15,5	23,1	22,6	15,3	15,1	15,1	14,8	15,8	15,7	15,1	15,1	15,7	15,1	17,9
10:33:04	16,4	16,2	22,8	22,8	15,9	16	15,9	14,9	16,3	16,3	15,8	15,8	16,4	15,8	17,7
10:34:04	9,9	12,6	22,6	22,8	13,8	13,5	14,3	12,6	13,8	13,1	12,9	12,5	12	15,1	17,5
10:35:04	-20,9	4,9	22,5	22,6	14,5	14,4	14,5	12,8	14,5	13,3	7,4	-3	-7,8	5,5	17,3
10:36:04	-21,7	-17,4	22,4	22,9	13,6	13,3	13,4	13	13,3	10,1	-1,9	-7	-10,6	-1,7	17
10:37:04	-20,6	-19,4	22,1	22,9	12,4	12	12,1	11,6	11	5,1	-7,1	-9,5	-12,6	-5,7	16,5
10:38:04	-20,8	-19,7	22	22,5	10,5	10,6	10,2	9,5	7,3	-3,4	-8,2	-11,5	-12,8	-8,2	16,3
10:39:04	-19	-18,1	21,8	22,8	7,4	6,4	6,3	5,4	-4,4	-10	-11	-12,8	-12,7	-9,8	15,8
10:40:04	-18,2	-17,5	21,6	22,6	-9,4	-9,3	-7	-6	-9,8	-11,4	-12,8	-13,6	-13,1	-10,8	15,1
10:41:04	-18,2	-17,8	21	22,5	-11,6	-11,9	-9,8	-8,7	-10,6	-12,2	-13,9	-13,8	-13,8	-11,9	14,5
10:42:04	-18,1	-17,5	20,8	22,4	-11,8	-12	-10,6	-9,4	-11,9	-13,4	-14,3	-14,8	-14,7	-12,8	14,1
10:43:04	-18,3	-17,9	20,5	22,4	-11,6	-11,9	-10,3	-9,5	-12	-13,9	-15,6	-16,2	-15,9	-13,9	13,8
10:44:04	-18,7	-18,5	20,1	22,5	-12	-12,7	-11,2	-10,4	-13	-14,6	-16,3	-17,5	-17,9	-15,1	13,3
10:45:04	-19,3	-18,9	19,8	22,5	-12,4	-12,7	-11,4	-10,4	-12,6	-14,8	-16,8	-18,1	-18,5	-16	12,9
10:46:04	-19,8	-19,8	19,3	22,5	-12	-12,4	-11,4	-10,7	-12,7	-15,5	-17,4	-18,6	-19,1	-16,7	12,5
10:47:04	-20,4	-20,1	19	22,6	-12,8	-12,8	-11,6	-12,7	-13	-15,6	-17,8	-19,1	-19,8	-17,4	11,9
10:48:04	-20,6	-20,5	18,5	22,6	-12,7	-13	-11,6	-11,1	-13,2	-16	-18,2	-19,5	-19,8	-17,7	11,8
10:49:04	-21	-20,6	18,4	22,5	-13,2	-13,6	-12,4	-11,6	-13,9	-16,2	-18,3	-19,8	-20,2	-18,1	11,4
10:50:04	-22	-21,4	17,8	22,6	-13,1	-13,6	-12,4	-11,8	-14,2	-16,7	-18,5	-20	-20,4	-18,6	10,9
10:51:04	-22,7	-21,7	17,4	22,9	-13,9	-14,6	-13,1	-12,7	-15	-17,2	-18,7	-20	-20,1	-18,6	10,6
10:52:04	-22,8	-21,9	17,2	22,9	-14,3	-15	-13,5	-12,7	-15,1	-17,8	-19	-20,1	-20,1	-18,7	10,4
10:53:04	-23,1	-22	16,8	22,8	-14,6	-15,1	-13,8	-13	-15,4	-18,1	-18,9	-20	-20	-18,7	10,1
10:54:04	-22,9	-22,3	16,4	22,6	-14,4	-15,1	-13,6	-12,8	-15,4	-17,9	-19,3	-20,2	-20,4	-19	9,9
10:55:04	-22,8	-22,1	16	22,9	-14,3	-14,8	-13,6	-13,1	-15,2	-18,1	-19,5	-20,4	-20,4	-19,1	9,6
10:56:04	-22,8	-22,4	15,8	22,5	-14,4	-15,1	-13,6	-13,1	-15,8	-18,1	-19,8	-21	-21	-19,5	9,4
10:57:04	-22,8	-22,5	15,4	22,6	-14,6	-15,2	-13,9	-13,1	-15,5	-18,1	-20	-21,2	-21,2	-19,7	9,1
10:58:04	-22,8	-22,4	15,1	22,8	-14,6	-15,4	-13,9	-13,1	-15,8	-17,9	-20,1	-21,4	-21,7	-20	8,8
10:59:04	-22,9	-22,7	14,8	22,8	-14,4	-14,8	-13,8	-13,9	-15,8	-17,9	-20	-21,6	-22	-20,1	8,7
11:00:04	-22,9	-22,5	14,3	22,8	-14,6	-15,1	-14	-13,4	-15,9	-18,3	-20,4	-21,9	-22,1	-20,4	8,5
11:01:04	-23,1	-22,8	14	22,8	-14,8	-15,5	-14,3	-13,5	-16,2	-18,5	-20,5	-21,9	-22,3	-20,5	8,3
11:02:04	-23,1	-22,8	13,6	22,9	-14,8	-15,6	-14,3	-13,6	-16,2	-18,5	-20,4	-21,9	-22,4	-20,5	8
11:03:04	-23,4	-22,9	13,3	22,8	-15	-15,8	-14,3	-13,6	-16,3	-18,3	-20,5	-22,1	-22,5	-20,6	7,8
11:04:04	-23,4	-23,1	13,1	22,8	-15,1	-15,8	-14,3	-13,8	-16,4	-18,6	-20,6	-22,3	-22,5	-20,6	7,6
11:05:04	-23,5	-23,1	12,8	22,5	-15,1	-15,9	-14,6	-15	-16,6	-18,6	-20,8	-22,3	-22,7	-20,8	7,4
11:06:04	-23,6	-23,4	12,3	22,8	-15,2	-15,8	-14,7	-14	-16,6	-19	-20,9	-22,3	-22,8	-21	7,2
11:07:04	-23,9	-23,1	12,1	22,8	-15,5	-15,9	-14,7	-14	-16,7	-18,6	-20,6	-22,3	-22,9	-21	7,1
11:08:04	-23,8	-23,5	11,9	22,8	-15,5	-16,3	-15	-14,3	-16,6	-18,9	-20,9	-22,5	-22,9	-21	6,9

11:09:04	-24	-23,6	11,6	22,9	-15,5	-16,3	-15	-14,3	-16,8	-19	-21,2	-22,7	-23,2	-21,4	6,7
11:10:04	-24	-23,8	11,5	22,9	-15,5	-16,2	-15	-14,3	-17,1	-19,1	-21,2	-22,8	-23,1	-21,3	6,6
11:11:04	-24	-23,8	11,3	22,8	-15,8	-16,6	-15,4	-14,4	-17,2	-19,1	-21,3	-22,7	-23,4	-21,4	6,4
11:12:04	-24,2	-23,9	11	22,9	-15,6	-16,6	-15,2	-14,6	-17,2	-19,3	-21,4	-22,8	-23,4	-21,6	6,3
11:13:04	-24,3	-24,2	10,6	22,9	-16,2	-17	-15,4	-14,8	-17,4	-19,7	-21,6	-23,2	-23,5	-21,9	5,9
11:14:04	-24,4	-24,2	10,2	22,9	-16,3	-17,1	-15,8	-15	-17,7	-19,5	-21,7	-23,2	-23,8	-22	5,8
11:15:04	-24,3	-24,2	10,2	22,9	-16,2	-16,8	-15,8	-15	-17,7	-19,7	-21,6	-23,2	-23,5	-21,9	5,9
11:16:04	-24,3	-24	10,1	23	-16,3	-17,1	-15,8	-15	-17,8	-20	-21,7	-23,2	-23,8	-22	5,7
11:17:04	-24,4	-24,2	9,6	22,9	-16,6	-17,4	-16	-15,2	-18,1	-20	-21,7	-23,4	-23,8	-22,1	5,4
11:18:04	-24,4	-24,3	9,7	22,9	-16,7	-17,7	-16,2	-15,5	-18,1	-20,2	-22	-23,4	-23,8	-22,3	5,3
11:19:04	-24,7	-24,3	9,2	22,9	-16,6	-17,5	-16,4	-16	-18,3	-20,1	-22	-23,4	-23,8	-22,3	5,1
11:20:04	-24,6	-24,6	9	23,1	-16,7	-17,4	-16,3	-15,6	-18,5	-20,4	-22,1	-23,6	-23,9	-22,4	5
11:21:04	-24,9	-24,6	8,8	23	-16,8	-17,7	-16,6	-17,1	-18,6	-20,5	-22,4	-23,8	-24	-22,5	4,9
11:22:04	-24,7	-24,4	8,8	22,9	-16,6	-17,4	-16,3	-15,6	-18,3	-20,4	-22,3	-23,8	-24	-22,4	5,3
11:23:04	-24,9	-24,7	8,6	22,8	-16,7	-17,4	-16,2	-15,4	-18,3	-20,4	-22,3	-23,8	-23,9	-22,5	5,9
11:24:04	-24,4	-24,2	8,3	23,1	-16,6	-17,4	-16	-15,2	-18,1	-20,1	-22	-23,4	-23,8	-22,3	6,8
11:25:04	-24,3	-24,2	8,5	23	-16,2	-17,1	-15,9	-15	-17,8	-19,8	-21,7	-23,2	-23,6	-22,3	6,7
11:26:04	-24,4	-24,2	8,3	23,1	-16,4	-17,5	-16	-15,9	-17,9	-20	-22	-23,4	-23,6	-22,3	6,2
11:27:04	-24,4	-24,3	8,2	23	-16,6	-17,7	-16,3	-15,4	-18,3	-20,2	-22,1	-23,5	-24	-22,3	5,7
11:28:04	-24,7	-24,3	8,2	22,9	-16,8	-17,9	-16,6	-16,2	-18,5	-20,2	-22,3	-23,6	-24,2	-22,5	5,3
11:29:04	-24,7	-24,7	8	23	-17,1	-18,2	-16,6	-15,9	-18,7	-20,6	-22,5	-23,8	-24,2	-22,5	5
11:30:04	-24,9	-24,6	8	22,9	-17,4	-18,5	-17,1	-16,4	-19	-20,6	-22,7	-24	-24,3	-22,7	4,8
11:31:04	-24,9	-24,7	7,8	23	-17,2	-18,2	-17	-16	-19	-20,8	-22,5	-23,9	-24,3	-22,8	4,5
11:32:04	-25	-24,9	7,7	23	-17,1	-18,2	-17	-17,1	-19	-20,9	-22,7	-23,9	-24,3	-22,8	4,8
11:33:04	-25	-24,4	7,6	22,9	-17,2	-18,2	-16,7	-15,8	-18,9	-20,6	-22,5	-23,9	-24,3	-22,9	5,7
11:34:04	-24,7	-24,6	7,7	22,9	-16,8	-17,9	-16,4	-15,4	-18,3	-20,1	-22,1	-23,5	-24	-22,7	6,4
11:35:04	-24,6	-24,4	7,6	23	-16,7	-17,7	-16,2	-15,2	-18,2	-20	-22	-23,2	-23,9	-22,5	6,7
11:36:04	-24,7	-24,6	7,3	23	-16,7	-17,8	-16,4	-15,5	-18,3	-20,5	-22,3	-23,6	-23,8	-22,4	6
11:37:04	-24,7	-24,4	7,3	22,9	-17	-18,1	-16,7	-15,8	-18,7	-20,5	-22,5	-23,8	-24,2	-22,5	5,4
11:38:04	-24,9	-24,7	7,2	23	-17	-18,2	-17	-15,9	-18,9	-20,6	-22,4	-23,8	-24	-22,7	5,1
11:39:04	-24,9	-24,9	7,2	23	-17,4	-18,5	-17,1	-16,2	-19	-20,9	-22,7	-24	-24,4	-22,8	4,8
11:40:04	-25,1	-24,9	7,1	23	-17,5	-18,6	-17,4	-16,4	-19,3	-21,3	-22,9	-24,3	-24,3	-23,1	4,4
11:41:04	-25,1	-25	6,9	23	-17,2	-18,6	-17,2	-16,4	-19,1	-21	-22,9	-24,3	-24,4	-23,1	4,5
11:42:04	-25,3	-25,1	7,1	23,2	-17,2	-18,3	-17	-15,9	-19	-21	-22,7	-24	-24,4	-22,9	5,4
11:43:04	-25	-24,7	7,2	23,1	-17	-18,1	-16,7	-15,6	-18,7	-20,4	-22,4	-23,8	-24,4	-22,9	6
11:44:04	-24,9	-24,4	7,1	23	-16,8	-17,8	-16,3	-15,4	-18,3	-20,2	-22,1	-23,6	-24,2	-22,8	6,6
11:45:04	-24,9	-24,7	6,9	23,1	-16,7	-17,9	-16,4	-15,5	-18,3	-20,4	-22,3	-23,6	-24	-22,7	6,2
11:46:04	-24,9	-24,7	6,9	23	-17	-18,1	-16,7	-15,8	-18,7	-20,6	-22,5	-23,9	-24,3	-22,8	5,4
11:47:04	-25	-24,9	6,7	23,1	-17,1	-18,5	-17	-16	-19,1	-20,9	-22,8	-23,9	-24,2	-22,8	5
11:48:04	-25	-24,9	6,7	23	-17,4	-18,5	-17,2	-16,3	-19,3	-20,9	-22,8	-24,2	-24,4	-22,8	4,8
11:49:04	-25,1	-24,9	6,7	23,1	-17,5	-18,5	-17,2	-16,3	-19,3	-21,2	-23,1	-24,2	-24,4	-22,9	4,4
11:50:04	-25,3	-25	6,6	23,1	-17,5	-18,6	-17,2	-17	-19,4	-21	-22,9	-24,3	-24,4	-23,1	4,5
11:51:04	-25,3	-25	6,4	23,1	-17,2	-18,5	-17,1	-16,2	-19,1	-20,9	-22,9	-24,3	-24,4	-23,2	5,1
11:52:04	-25,1	-24,7	6,7	23	-17,1	-18,1	-16,7	-15,9	-19,1	-20,8	-22,7	-23,9	-24,3	-22,9	5,9
11:53:04	-25	-24,7	6,7	23	-17	-17,8	-16,6	-15,5	-18,9	-20,6	-22,5	-24	-24,4	-22,9	6,3
11:54:04	-25	-24,7	6,7	23,1	-17,1	-18,2	-16,7	-15,6	-18,9	-20,6	-22,7	-24	-24,4	-22,9	6

11:55:04	-25,1	-24,9	6,7	23	-17,2	-18,3	-17	-16	-19,1	-20,8	-22,8	-24	-24,6	-22,9	5,3
11:56:04	-25	-25	6,6	23,1	-17,4	-18,5	-17,1	-16,2	-19,1	-21,2	-22,9	-24,2	-24,6	-22,9	4,9
11:57:04	-25,3	-25,3	6,4	23,1	-17,5	-18,9	-17,4	-16,6	-19,5	-21,2	-23,1	-24,3	-24,7	-23,2	4,4
11:58:04	-25,4	-25	6,3	23	-17,5	-18,9	-17,4	-16,6	-19,8	-21,2	-23,1	-24,4	-24,7	-23,2	4,2
11:59:04	-25,3	-25,1	6,4	23,2	-17,8	-18,9	-17,5	-16,8	-19,8	-21,2	-23,4	-24,4	-24,9	-23,2	4,5
12:00:04	-25,3	-25	6,3	23,1	-17,2	-18,6	-17,2	-16,3	-19,4	-21	-23,1	-24,3	-24,6	-23,2	5,3
12:01:04	-25,3	-24,9	6,4	23,2	-17,2	-18,5	-17	-16,2	-19,1	-20,8	-22,8	-24,2	-24,3	-23,2	5,8
12:02:04	-25,1	-24,9	6,4	23,1	-17,1	-18,2	-16,6	-15,8	-19	-20,6	-22,8	-24	-24,4	-23,1	6,3
12:03:04	-25	-24,9	6,4	23,2	-16,8	-18,1	-16,7	-15,6	-19	-20,8	-22,7	-23,9	-24	-22,9	6,3
12:04:04	-25,1	-25	6,4	23,2	-17,1	-18,3	-16,8	-16	-19	-20,9	-22,8	-24	-24,4	-22,9	5,4
12:05:04	-25,1	-25	6,4	23,4	-17,5	-18,6	-17,1	-16,3	-19,1	-20,9	-22,9	-24,3	-24,7	-22,9	4,9
12:06:04	-25,4	-25,1	6,4	23,2	-17,5	-18,6	-17,4	-16,4	-19,4	-21,2	-23,2	-24,4	-24,9	-23,1	4,4
12:07:04	-25,4	-25,3	6,4	23,1	-17,9	-19	-17,8	-16,8	-19,8	-21,3	-23,2	-24,4	-25	-23,4	4,2
12:08:04	-25,4	-25,3	6,3	23,1	-17,9	-18,9	-17,7	-16,7	-19,7	-21,4	-23,5	-24,6	-25	-23,5	4,2
12:09:04	-25,3	-25,1	6,2	23,1	-17,7	-18,7	-17,5	-16,4	-19,5	-21,3	-23,2	-24,4	-24,7	-23,5	5,1
12:10:04	-25,3	-25,1	6,2	23,1	-17,5	-18,6	-17,2	-16,4	-19,3	-21,2	-23,1	-24,3	-24,7	-23,4	5,7
12:11:04	-25,1	-25	6,3	23	-17,1	-18,3	-16,8	-16	-19	-20,8	-23,1	-24,2	-24,4	-23,1	6,3
12:12:04	-25	-24,9	6,3	23,2	-17	-18,2	-16,8	-15,8	-18,9	-20,8	-22,8	-23,9	-24,2	-22,9	6,4
12:13:04	-25,1	-24,7	6,4	23,1	-17,4	-18,5	-17,1	-16,2	-19,4	-20,9	-22,9	-24,2	-24,6	-22,9	5,7
12:14:04	-25,3	-25	6,3	23,4	-17,4	-18,6	-17,2	-17	-19,3	-21,2	-23,1	-24,3	-24,6	-23,1	5
12:15:04	-25,3	-25,1	6,3	23,2	-17,5	-18,7	-17,5	-16,6	-19,7	-21,4	-23,4	-24,4	-24,7	-23,1	4,6
12:16:04	-25,4	-25,3	6,4	23,4	-18,1	-19	-17,8	-16,8	-20	-21,4	-23,5	-24,6	-25	-23,2	4,4
12:17:04	-25,7	-25,4	6,2	23,4	-17,9	-19,1	-17,9	-17,1	-19,8	-21,6	-23,5	-24,7	-25	-23,5	4,1
12:18:04	-25,5	-25,4	6,2	23,4	-17,9	-19,1	-17,7	-17	-19,8	-21,7	-23,5	-24,6	-25,1	-23,5	4,9
12:19:04	-25,5	-25,1	6,2	23,1	-17,7	-18,7	-17,5	-16,6	-19,5	-21	-23,4	-24,6	-25	-23,5	5,7
12:20:04	-25,4	-25	6	23,2	-17,2	-18,6	-17,1	-16,3	-19,1	-21	-22,9	-24,2	-24,7	-23,2	6,2
12:21:04	-25,4	-25	6,2	23,4	-17,1	-18,2	-17	-16	-18,9	-20,9	-22,8	-24,2	-24,7	-23,1	6,3
12:22:04	-25,4	-25,1	6,2	23,2	-17,4	-18,7	-17,2	-16,6	-19,4	-21	-22,9	-24,3	-24,6	-23,1	5,7
12:23:04	-25,3	-25,1	6	23,4	-17,8	-19	-17,5	-16,7	-19,5	-21,6	-23,4	-24,6	-24,7	-23,1	5
12:24:04	-25,4	-25,3	6,2	23,2	-17,9	-19,3	-17,9	-17,1	-20,1	-21,6	-23,5	-24,6	-25	-23,2	4,5
12:25:04	-25,5	-25,4	6,2	23,5	-18,2	-19,3	-17,9	-17,2	-20	-21,6	-23,6	-24,7	-25	-23,4	4,2
12:26:04	-25,8	-25,5	6	23,4	-18,3	-19,4	-17,9	-17,4	-20,1	-21,7	-23,6	-24,7	-25,1	-23,5	4,2
12:27:04	-25,8	-25,3	6	23,4	-18,1	-19	-17,8	-17,5	-20	-21,7	-23,6	-24,9	-25,3	-23,5	4,9
12:28:04	-25,7	-25,7	6	23,4	-17,7	-19	-17,5	-16,8	-19,8	-21,6	-23,5	-24,7	-25,1	-23,5	5,5
12:29:04	-25,4	-25,3	6,2	23,4	-17,7	-18,7	-17,4	-16,6	-19,7	-21,4	-23,4	-24,6	-24,9	-23,4	6,2
12:30:04	-25,4	-25,3	5,9	23,6	-17,4	-18,5	-17,1	-16,6	-19,3	-21	-22,9	-24,2	-24,9	-23,2	6,4
12:31:04	-25,4	-25,3	6,2	23,2	-17,5	-18,7	-17,4	-16,7	-19,3	-21,2	-23,2	-24,4	-24,9	-23,2	5,7
12:32:04	-25,5	-25,3	6,2	23,4	-17,9	-19	-17,7	-16,8	-19,7	-21,3	-23,4	-24,4	-25	-23,2	5,1
12:33:04	-25,7	-25,5	6	23,4	-18,1	-19,3	-18,1	-17,4	-20,1	-21,7	-23,6	-24,6	-25,1	-23,5	4,5
12:34:04	-25,8	-25,7	6	23,5	-18,3	-19,3	-18,1	-17,4	-20	-21,9	-23,8	-24,9	-25,1	-23,4	4,4
12:35:04	-25,8	-25,7	6	23,2	-18,3	-19,3	-18,2	-17,5	-20,4	-22	-23,9	-24,9	-25,4	-23,6	4
12:36:04	-25,7	-25,7	6	23,2	-18,3	-19,3	-18,1	-17,5	-20,4	-21,9	-23,8	-24,9	-25,1	-23,6	4,8
12:37:04	-25,7	-25,5	6	23,1	-18,3	-19,3	-17,9	-17,2	-20,1	-21,6	-23,6	-24,9	-25,3	-23,6	5,4
12:38:04	-25,5	-25,3	6	23,2	-17,8	-18,7	-17,4	-16,8	-19,7	-21,4	-23,4	-24,6	-25	-23,4	6
12:39:04	-25,4	-25,3	6	23,2	-17,7	-18,9	-17,4	-17,4	-19,5	-21,4	-23,4	-24,4	-24,7	-23,4	6,4
12:40:04	-25,3	-25,1	6	23,4	-17,8	-18,9	-17,7	-16,8	-19,7	-21,3	-23,4	-24,4	-24,7	-23,4	6

12:41:04	-25,5	-25,4	6,2	23,2	-18,1	-19,1	-17,9	-17,2	-20	-21,4	-23,5	-24,7	-25,1	-23,4	5,3
12:42:04	-25,7	-25,5	6	23,2	-18,3	-19,4	-18,1	-17,4	-20,1	-21,7	-23,8	-25	-25	-23,4	4,6
12:43:04	-25,8	-25,7	5,9	23,4	-18,5	-19,7	-18,3	-17,8	-20,1	-22	-23,9	-25	-25,3	-23,5	4,5
12:44:04	-25,8	-25,5	6	23,4	-18,6	-19,5	-18,3	-17,8	-20,4	-21,9	-23,8	-25	-25,5	-23,6	4,1
12:45:04	-25,8	-26	5,9	23,4	-18,5	-19,4	-18,3	-17,7	-20,4	-22,1	-23,9	-25,1	-25,7	-23,8	4,5
12:46:04	-26	-25,7	5,8	23,4	-18,2	-19,3	-17,9	-17,7	-20,1	-21,9	-23,9	-25	-25,4	-23,6	5,4
12:47:04	-25,7	-25,7	5,9	23,2	-17,9	-19,1	-17,7	-17,5	-20	-21,7	-23,6	-24,9	-25,1	-23,8	5,9
12:48:04	-25,7	-25,4	5,9	23,2	-17,7	-19	-17,5	-17	-19,8	-21,6	-23,4	-24,7	-25,1	-23,4	6,3
12:49:04	-25,7	-25,4	6,2	23,2	-17,9	-18,9	-17,5	-17,8	-19,8	-21,3	-23,4	-24,6	-25	-23,4	6,2
12:50:04	-25,7	-25,5	5,9	23,5	-18,1	-19,3	-17,9	-17,4	-19,8	-21,7	-23,6	-24,9	-25,1	-23,5	5,5
12:51:04	-25,7	-25,5	6,2	23,2	-18,2	-19,3	-18,2	-17,4	-20	-21,7	-23,8	-25	-25,4	-23,5	4,8
12:52:04	-26	-25,5	6	23,2	-18,6	-19,5	-18,3	-17,7	-20,4	-21,9	-23,8	-24,9	-25,4	-23,6	4,5
12:53:04	-26	-25,7	6	23,1	-18,9	-19,8	-18,6	-18,1	-20,5	-22,3	-24	-25,3	-25,7	-23,8	4
12:54:04	-26,1	-26,1	5,8	23,5	-18,9	-20	-18,6	-18,2	-20,5	-22,5	-24,2	-25,1	-25,5	-23,9	4,1
12:55:04	-26,1	-26,1	6	23,4	-18,6	-19,5	-18,2	-17,8	-20,2	-22,1	-24,2	-25,3	-25,5	-23,9	5
12:56:04	-26	-26	5,9	23,5	-18,3	-19,3	-18,1	-17,5	-20	-22,1	-23,9	-25	-25,5	-23,9	5,8
12:57:04	-25,8	-25,5	5,9	23,5	-18,1	-19,3	-17,8	-17,4	-19,8	-21,9	-23,8	-24,9	-25,3	-23,8	6
12:58:04	-25,7	-25,5	6,2	23,5	-17,9	-19	-17,7	-17	-19,8	-21,7	-23,6	-24,7	-25,3	-23,6	6,3
12:59:04	-25,8	-25,7	6	23,5	-18,1	-19,1	-17,9	-17,2	-20	-22	-23,6	-24,9	-25,3	-23,5	5,5
13:00:04	-25,8	-25,7	5,9	23,5	-18,3	-19,4	-18,2	-17,7	-20,1	-22,1	-24	-25	-25,4	-23,6	4,9
13:01:04	-26	-25,7	5,9	23,4	-18,6	-19,7	-18,3	-17,8	-20,5	-22,3	-24,2	-25,1	-25,4	-23,8	4,6
13:02:04	-26,1	-26	6	23,5	-18,9	-19,8	-18,6	-18,1	-20,5	-22,4	-24,3	-25,4	-25,5	-23,8	4,4
13:03:04	-26,1	-26,2	6	23,2	-19	-20	-18,7	-18,3	-20,6	-22,7	-24,4	-25,4	-25,7	-23,9	4,1
13:04:04	-26,2	-26,1	5,9	23,5	-18,7	-19,8	-18,6	-18,1	-20,4	-22,5	-24,3	-25,4	-25,7	-23,9	4,8
13:05:04	-26,2	-26,1	5,8	23,4	-18,6	-19,5	-18,3	-17,9	-20,4	-22,4	-24,3	-25,4	-25,8	-24	5,3
13:06:04	-26	-25,8	6	23,4	-18,5	-19,1	-18,1	-18,6	-20,2	-22,4	-24,2	-25,1	-25,4	-23,9	6
13:07:04	-25,8	-25,7	6,2	23,2	-18,1	-19,3	-17,9	-17,4	-20	-22	-23,9	-25	-25,3	-23,8	6,6
13:08:04	-26	-25,7	6,2	23,4	-18,3	-19,3	-18,1	-17,5	-20,1	-22	-23,8	-25,1	-25,4	-23,6	6
13:09:04	-25,8	-25,8	6,2	23,4	-18,6	-19,5	-18,3	-17,8	-20,2	-22,3	-24,2	-25,1	-25,5	-23,8	5,3
13:10:04	-26	-26	6,2	23,4	-18,9	-19,8	-18,5	-18,1	-20,6	-22,7	-24,4	-25,3	-25,7	-23,9	4,6
13:11:04	-26,2	-26,1	6,2	23,4	-19,1	-20,1	-18,9	-18,2	-20,8	-22,7	-24,4	-25,4	-25,8	-23,9	4,4
13:12:04	-26,2	-26	5,9	23,4	-19,1	-20	-18,7	-19,5	-20,9	-22,8	-24,6	-25,5	-25,7	-24	4,2
13:13:04	-26,5	-26,2	6	23,2	-19,1	-20,2	-19	-18,5	-20,9	-22,7	-24,6	-25,7	-26,1	-24,2	4,5
13:14:04	-26,2	-26,1	6	23,4	-18,9	-19,8	-18,6	-18,1	-20,6	-22,8	-24,6	-25,4	-25,8	-24,3	5,3
13:15:04	-26,2	-26	6	23,4	-18,9	-19,8	-18,6	-17,9	-20,5	-22,7	-24,4	-25,4	-25,7	-24	5,9
13:16:04	-26	-25,8	6,2	23,4	-18,5	-19,4	-18,3	-17,8	-20,4	-22,5	-24,2	-25,1	-25,4	-23,9	6,4
13:17:04	-26	-25,8	6	23,4	-18,3	-19,4	-18,1	-17,7	-20,2	-22,4	-24,3	-25,1	-25,4	-23,9	6,4
13:18:04	-26	-25,8	6,2	23,4	-18,6	-19,4	-18,2	-18,2	-20,4	-22,5	-24,4	-25,4	-25,7	-23,8	5,7
13:19:04	-26,1	-26	6	23,4	-19	-20	-18,7	-18,2	-20,5	-22,7	-24,3	-25,5	-25,8	-23,9	5
13:20:04	-26,2	-26,1	6	23,4	-18,9	-20	-18,7	-18,2	-20,8	-22,8	-24,6	-25,7	-25,7	-23,9	4,6
13:21:04	-26,2	-26,2	5,9	23,5	-19,3	-20,4	-19	-18,6	-21	-23,2	-25	-25,8	-25,8	-24,2	4,4
13:22:04	-26,5	-26,2	5,9	23,5	-19,4	-20,5	-19,5	-18,7	-21	-23,1	-24,9	-25,8	-26,1	-24,2	4,1
13:23:04	-26,5	-26,4	5,9	23,5	-19,3	-20,5	-19	-18,6	-21,2	-23,2	-25	-25,8	-26	-24,3	4,5
13:24:04	-26,5	-26,4	5,9	23,4	-19	-20,1	-18,7	-18,3	-20,9	-23,1	-24,9	-25,8	-26,1	-24,4	5,3
13:25:04	-26,4	-26,2	6	23,5	-18,9	-19,8	-18,6	-17,9	-20,9	-23,1	-24,7	-25,5	-25,8	-24,3	5,8
13:26:04	-26	-26	6	23,5	-18,6	-19,7	-18,3	-17,8	-20,4	-22,8	-24,7	-25,4	-25,7	-24,3	6,4

13:27:04	-26,2	-25,8	6,2	23,2	-18,7	-19,8	-18,5	-17,8	-20,5	-22,4	-24,4	-25,5	-25,8	-23,9	6
13:28:04	-26,2	-26	6,2	23,4	-19	-19,8	-18,6	-18,1	-20,6	-22,7	-24,6	-25,5	-25,7	-24	5,4
13:29:04	-26,2	-26,1	6	23,4	-19	-20,1	-18,7	-18,3	-21	-23,2	-25	-25,7	-25,8	-24,2	4,8
13:30:04	-26,4	-26,2	6,2	23,4	-19,4	-20,4	-19	-19,1	-21	-23,1	-25	-25,8	-26,1	-24,3	4,5
13:31:04	-26,5	-26,4	5,9	23,4	-19,5	-20,5	-19,4	-18,7	-21,3	-23,6	-25,3	-26	-26,1	-24,4	4,2
13:32:04	-26,8	-26,6	5,9	23,4	-19,7	-20,8	-19,4	-19	-21,4	-23,6	-25,3	-26,1	-26,2	-24,6	4,1
13:33:04	-26,6	-26,5	5,9	23,5	-19,8	-20,5	-19,3	-18,9	-21,3	-23,4	-25,3	-26,2	-26,5	-24,7	4,6
13:34:04	-26,8	-26,5	5,9	23,5	-19,5	-20,4	-18,9	-19,8	-21	-23,2	-25	-25,8	-26,1	-24,4	5,5
13:35:04	-26,5	-26,2	5,9	23,5	-19	-20	-18,7	-18,3	-20,8	-23,4	-25	-26	-26,1	-24,6	6,2
13:36:04	-26,4	-26,1	5,9	23,6	-19	-20	-18,5	-17,9	-20,6	-23,1	-24,9	-25,8	-26,1	-24,4	6,3
13:37:04	-26,4	-26,1	5,9	23,5	-19	-19,8	-18,6	-17,9	-20,6	-23,1	-24,7	-25,5	-26	-24,3	5,9
13:38:04	-26,2	-26,2	6,2	23,6	-19,4	-20,4	-19	-18,5	-21	-23,1	-25	-25,7	-26,1	-24,3	5,1
13:39:04	-26,5	-26,4	5,9	23,5	-19,5	-20,4	-19,3	-18,7	-21,3	-23,5	-25,1	-26	-26,1	-24,3	4,8
13:40:04	-26,6	-26,4	6	23,4	-20	-20,6	-19,4	-19	-21,2	-23,4	-25,3	-25,8	-26,5	-24,6	4,2
13:41:04	-26,8	-26,6	6	23,5	-20	-20,6	-19,7	-20,1	-21,3	-23,8	-25,4	-26,1	-26,5	-24,6	4
13:42:04	-26,8	-26,6	6	23,6	-19,8	-20,8	-19,8	-19,1	-21,7	-23,6	-25,4	-26,2	-26,8	-24,7	4,2
13:43:04	-26,9	-26,5	5,8	23,5	-19,8	-20,8	-19,4	-20,1	-21,3	-23,5	-25,4	-26,1	-26,4	-24,9	5
13:44:04	-26,6	-26,5	5,9	23,7	-19,5	-20,4	-19	-18,5	-20,8	-23,6	-25,3	-26	-26,2	-24,7	5,8
13:45:04	-26,5	-26,2	6,2	23,6	-19,4	-20,1	-18,7	-18,3	-20,9	-23,2	-25,1	-25,8	-26,2	-24,6	6,3
13:46:04	-26,4	-26,2	6,2	23,6	-19,3	-20,2	-18,7	-18,5	-20,8	-23,1	-25,1	-25,8	-26,2	-24,6	6,2
13:47:04	-26,5	-26,5	5,9	23,6	-19,4	-20,5	-19	-18,6	-21	-23,4	-25,1	-25,7	-26,2	-24,6	5,4
13:48:04	-26,6	-26,5	6	23,7	-19,7	-20,6	-19,3	-18,7	-21,2	-23,5	-25,3	-26,1	-26,1	-24,4	5
13:49:04	-26,8	-26,6	6	23,6	-19,7	-20,6	-19,4	-19,1	-21,3	-23,6	-25,5	-26,2	-26,2	-24,6	4,6
13:50:04	-27,1	-26,8	5,8	23,6	-20,1	-21	-19,7	-19,3	-21,7	-23,9	-25,7	-26,4	-26,5	-25	4,1
13:51:04	-27,1	-26,9	5,8	23,5	-20,2	-21,2	-19,8	-19,4	-21,9	-23,9	-25,8	-26,6	-26,8	-24,9	4,1
13:52:04	-26,9	-26,9	6	23,6	-20,1	-20,9	-19,5	-20,2	-21,7	-23,8	-25,8	-26,5	-26,8	-25	4,8
13:53:04	-27,1	-26,9	5,8	23,6	-19,8	-20,9	-19,4	-18,9	-21,3	-23,9	-25,7	-26,4	-26,6	-25,1	5,3
13:54:04	-26,9	-26,9	6	23,6	-19,5	-20,4	-19,1	-18,7	-21,3	-23,6	-25,4	-26,2	-26,5	-25	6,3
13:55:04	-26,6	-26,5	6,2	23,5	-19,4	-20,2	-18,9	-18,3	-21	-23,4	-25,3	-26,1	-26,2	-24,7	6,6
13:56:04	-26,6	-26,5	6,3	23,4	-19,5	-20,5	-18,9	-18,5	-21,2	-23,5	-25,4	-26,1	-26,2	-24,7	6
13:57:04	-26,6	-26,6	6	23,5	-19,5	-20,5	-19,1	-18,7	-21,3	-23,8	-25,5	-26,2	-26,4	-24,7	5,4
13:58:04	-26,9	-26,8	6,2	23,5	-20	-20,8	-19,5	-19	-21,7	-23,9	-25,7	-26,5	-26,5	-24,9	4,8
13:59:04	-26,9	-26,9	6	23,5	-20,1	-21	-19,7	-19,1	-21,7	-24,2	-26	-26,5	-26,5	-24,9	4,6
14:00:04	-27,2	-26,9	6	23,5	-20,5	-21,2	-20	-20,2	-22	-24,2	-26	-26,6	-26,8	-25	4,4
14:01:04	-27,2	-27,2	6	23,5	-20,6	-21,4	-20,1	-19,7	-22,3	-24,3	-26,1	-26,8	-26,9	-25,1	4,1
14:02:04	-27,3	-27,2	5,8	23,6	-20,2	-21	-19,8	-19,3	-21,7	-24,4	-26	-26,6	-26,9	-25,1	4,8
14:03:04	-27,1	-27,1	6,2	23,7	-20,2	-20,9	-19,5	-19,1	-21,7	-24	-25,8	-26,5	-26,8	-25,1	5,5
14:04:04	-27,1	-27,1	5,9	23,5	-20	-20,9	-19,7	-18,9	-21,7	-24,2	-25,8	-26,6	-26,6	-25,1	6
14:05:04	-26,8	-26,8	6,2	23,9	-19,8	-20,5	-19,1	-18,5	-21,2	-23,9	-25,5	-26,2	-26,6	-25	6,6
14:06:04	-26,9	-26,8	6,2	23,7	-19,8	-20,6	-19,1	-19,1	-21,3	-23,9	-25,7	-26,2	-26,5	-24,9	6
14:07:04	-27,1	-27,1	6	23,7	-20,2	-20,9	-19,4	-19	-21,7	-24,3	-25,7	-26,4	-26,8	-25	5,1
14:08:04	-27,1	-26,9	6	23,6	-20,1	-21	-19,7	-19,1	-21,7	-24,3	-26	-26,6	-26,6	-25,1	4,8
14:09:04	-27,1	-27,2	6	23,7	-20,6	-21,3	-19,7	-19,4	-21,9	-24,4	-26,1	-26,8	-26,8	-25,3	4,4
14:10:04	-27,3	-27,3	6	23,7	-20,4	-21,2	-20,1	-19,5	-21,9	-24,3	-26,2	-26,9	-26,9	-25,3	4,2
14:11:04	-27,3	-27,1	6,2	23,6	-20,6	-21,3	-20	-19,5	-22,1	-24,6	-26,2	-26,9	-27,3	-25,4	4,1
14:12:04	-27,3	-27,2	6	23,7	-20,6	-21,3	-20	-19,5	-22,1	-24,4	-26,2	-27,1	-27,3	-25,4	4,6

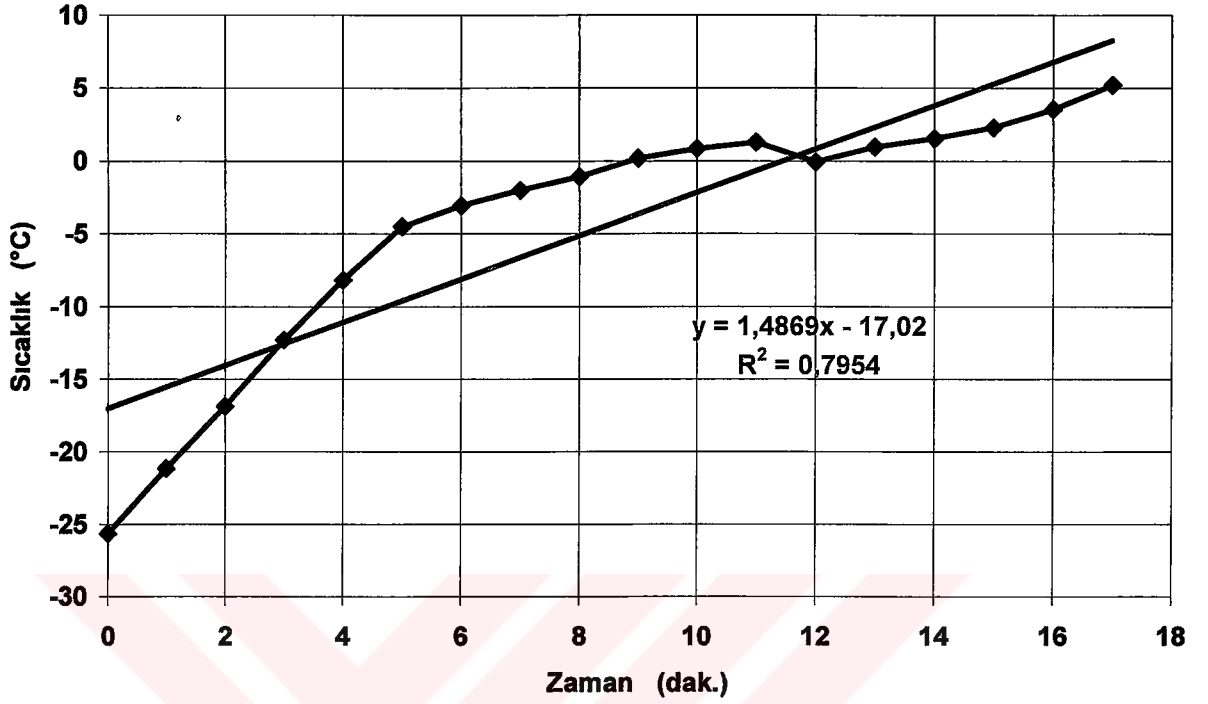
14:13:04	-27,3	-27,2	5,9	23,9	-20,2	-21	-19,7	-19,4	-21,7	-24,7	-26,2	-26,9	-27,1	-25,4	5,4
14:14:04	-27,2	-27,2	6,2	23,7	-20,2	-20,8	-19,5	-19	-21,9	-24,3	-26,2	-26,9	-26,9	-25,4	6
14:15:04	-27,1	-26,9	6	23,9	-20	-20,6	-19,3	-18,9	-21,6	-24,3	-25,8	-26,6	-26,8	-25,3	6,6
14:16:04	-27,1	-27,1	5,9	23,7	-20,4	-21,2	-19,5	-19,1	-21,7	-24,4	-26,1	-26,8	-26,8	-25,3	5,8
14:17:04	-27,2	-27,1	6	23,9	-20,4	-21	-19,7	-19,1	-22	-24,6	-26,1	-26,8	-26,8	-25,3	5,3
14:18:04	-27,3	-27,3	6,2	23,9	-20,6	-21,3	-20	-19,5	-22	-24,4	-26,2	-27,1	-27,1	-25,5	4,8
14:19:04	-27,3	-27,5	6	24	-20,8	-21,6	-20,2	-19,8	-22,1	-24,7	-26,5	-27,1	-27,1	-25,5	4,5
14:20:04	-27,3	-27,3	5,9	23,7	-21	-21,7	-20,2	-19,8	-22,5	-24,9	-26,5	-27,1	-27,2	-25,5	4,2
14:21:04	-27,5	-27,5	6	24	-21,3	-21,9	-20,5	-20,9	-22,7	-25	-26,6	-27,2	-27,3	-25,7	4,1
14:22:04	-27,6	-27,6	5,8	24	-21,2	-21,7	-20,5	-20	-22,7	-25	-26,6	-27,2	-27,3	-25,7	4,4
14:23:04	-27,6	-27,5	5,8	24	-21	-21,6	-20,1	-19,8	-22,3	-24,9	-26,8	-27,2	-27,5	-25,7	5,1
14:24:04	-27,5	-27,3	6,2	23,9	-20,5	-21	-19,8	-19,4	-22	-24,6	-26,4	-27,1	-27,2	-25,7	5,9
14:25:04	-27,3	-27,2	6,2	24	-20,2	-21	-19,5	-19,4	-21,9	-24,4	-26,2	-27,1	-27,1	-25,7	6,4
14:26:04	-27,2	-27,2	6,2	23,7	-20,6	-21,2	-19,8	-19,1	-22	-24,6	-26,2	-26,8	-27,1	-25,5	5,9
14:27:04	-27,3	-27,3	6,3	23,7	-20,6	-21	-19,7	-19,3	-22,3	-24,7	-26,5	-27,1	-27,2	-25,7	5,3
14:28:04	-27,5	-27,5	6,2	23,7	-20,8	-21,4	-20,1	-19,7	-22,5	-24,9	-26,5	-27,1	-27,1	-25,5	4,9
14:29:04	-27,6	-27,6	6,2	24	-20,9	-21,3	-20	-19,7	-22,5	-25	-26,6	-27,3	-27,3	-25,7	4,5
14:30:04	-27,5	-27,5	6	24,1	-20,9	-21,7	-20,2	-20	-22,8	-25,3	-26,6	-27,3	-27,2	-25,7	4,4
14:31:04	-27,6	-27,6	6	24,1	-21	-21,9	-20,5	-20,1	-22,8	-25,3	-26,9	-27,5	-27,3	-25,8	4,2
14:32:04	-27,8	-27,6	5,9	24,1	-21	-21,9	-20,5	-20,1	-22,8	-25,4	-27,1	-27,6	-27,5	-25,8	4,4
14:33:04	-27,6	-27,5	6	24,2	-20,8	-21,6	-20,4	-20	-22,7	-25,3	-26,8	-27,5	-27,3	-26	5
14:34:04	-27,8	-27,5	5,9	24,1	-20,6	-21,4	-20,2	-19,7	-22,4	-24,9	-26,6	-27,3	-27,3	-26,1	5,7
14:35:04	-27,5	-27,2	6	24	-20,5	-21,2	-20,1	-20,5	-22,3	-24,7	-26,5	-27,2	-27,3	-26	6,3
14:36:04	-27,5	-27,2	6,3	23,9	-20,5	-21	-19,7	-19,7	-22	-24,9	-26,5	-26,9	-27,2	-25,8	6,3
14:37:04	-27,5	-27,3	6,2	24	-20,6	-21,2	-20,1	-19,4	-22,3	-24,9	-26,5	-27,2	-27,1	-25,7	5,8
14:38:04	-27,5	-27,6	6,2	24,1	-20,9	-21,7	-20,4	-20,9	-22,5	-25,3	-26,8	-27,2	-27,3	-25,8	5,1
14:39:04	-27,6	-27,6	6,2	24,1	-21,2	-21,9	-20,5	-20	-22,9	-25,3	-26,8	-27,3	-27,3	-26	4,8
14:40:04	-27,9	-27,8	5,9	24,1	-21,2	-21,7	-20,4	-20	-22,8	-25,4	-26,9	-27,5	-27,6	-26,1	4,5
14:41:04	-27,8	-27,6	6	24	-21,2	-21,9	-20,5	-20,1	-23,1	-25,3	-26,9	-27,5	-27,8	-26,1	4,2
14:42:04	-27,8	-27,8	5,9	24	-21,4	-22,1	-20,9	-20,4	-23,2	-25,4	-27,1	-27,6	-27,6	-26,2	4,1
14:43:04	-27,9	-27,8	5,9	24,1	-21,3	-22,1	-20,6	-20,4	-23,1	-25,4	-27,1	-27,6	-27,8	-26,2	4,4
14:44:04	-28	-27,8	6	24	-21	-21,7	-20,4	-20,1	-22,9	-25,1	-27,1	-27,6	-27,8	-26,4	5,1
14:45:04	-28	-27,6	6,3	24	-20,9	-21,3	-20,2	-19,8	-22,7	-25,1	-26,8	-27,5	-27,8	-26,4	5,9
14:46:04	-28	-27,6	6	23,9	-20,6	-21	-20	-19,5	-22,4	-25,1	-26,8	-27,5	-27,6	-26,4	6,3
14:47:04	-27,9	-27,6	6,2	23,9	-20,6	-21,4	-20	-20,4	-22,8	-25,1	-26,9	-27,3	-27,6	-26,1	5,9
14:48:04	-27,9	-27,6	6,3	24	-20,9	-21,6	-20,2	-20	-22,8	-25,1	-27,1	-27,6	-27,5	-26,1	5,4
14:49:04	-28	-27,8	6,2	24,1	-21,3	-22	-20,6	-21,3	-23,1	-25,5	-27,1	-27,6	-27,6	-26,1	5,1
14:50:04	-28,2	-27,8	6,2	24,1	-21,3	-21,9	-20,6	-20,2	-22,9	-25,4	-27,3	-27,9	-27,8	-26,4	4,8
14:51:04	-28,3	-28	6,2	24	-21,9	-22,1	-21	-21,4	-23,1	-25,5	-27,3	-27,9	-27,9	-26,4	4,4
14:52:04	-28,2	-28	6	24,1	-21,7	-22,4	-20,9	-21,4	-23,6	-25,8	-27,5	-27,9	-28	-26,5	4,2
14:53:04	-28,3	-28,4	5,9	24,1	-21,7	-22,4	-20,9	-20,8	-23,5	-26	-27,6	-28,2	-28	-26,6	4,2
14:54:04	-28,2	-28,3	6	24,1	-22	-22,5	-21,2	-20,8	-23,6	-26	-27,6	-28	-27,9	-26,6	4,5
14:55:04	-28,4	-28,2	6	24	-21,4	-22,1	-20,6	-20,5	-23,2	-25,8	-27,5	-28,2	-28	-26,8	5,4
14:56:04	-28	-27,9	6,2	24	-21,4	-22	-20,6	-20,4	-23,4	-25,7	-27,3	-27,9	-27,9	-26,6	6
14:57:04	-28,3	-28	6	24,1	-20,9	-21,6	-20,2	-19,8	-22,8	-25,5	-27,1	-27,9	-27,6	-26,5	6,6
14:58:04	-28,2	-28	6	24,1	-21	-21,9	-20,4	-20,1	-23,1	-25,7	-27,2	-27,9	-27,6	-26,6	5,9

14:59:04	-27,9	-27,8	6	24,2	-21,2	-21,7	-20,4	-20,1	-23,2	-25,7	-27,3	-27,9	-27,8	-26,6	5,4
15:00:04	-27,9	-28	6,3	23,9	-21,4	-22,1	-20,8	-20,4	-23,4	-25,5	-27,3	-27,8	-28	-26,6	4,9
15:01:04	-28,3	-28,2	6	24,1	-21,6	-22,3	-20,9	-20,6	-23,4	-26	-27,6	-28	-28	-26,8	4,6
15:02:04	-28,3	-28,3	6	24,1	-21,6	-22,3	-20,8	-20,6	-23,5	-26	-27,5	-28	-28,2	-26,9	4,4
15:03:04	-28,4	-28,3	6	23,9	-21,9	-22,5	-21	-21	-23,6	-26	-27,6	-28,3	-28,3	-26,9	4,1
15:04:04	-28,4	-28,3	6	24,1	-21,9	-22,7	-20,9	-20,9	-23,9	-26,1	-27,6	-28,2	-28,2	-27,1	4
15:05:04	-28,4	-28,4	6	24	-22	-22,5	-21,2	-20,9	-23,9	-26,1	-27,8	-28,3	-28,4	-27,2	4,5
15:06:04	-28,6	-28,3	5,9	24,2	-21,7	-22,3	-20,9	-20,6	-23,5	-26,1	-27,6	-28,2	-28,3	-27,1	5,4
15:07:04	-28,6	-28,2	6	24	-21,3	-22	-20,5	-20,5	-23,5	-26	-27,6	-28,2	-28,3	-27,1	6,2
15:08:04	-28,3	-28,2	6,2	24,1	-21,3	-21,9	-20,5	-20,1	-23,4	-25,8	-27,5	-28	-28,2	-27,1	6,4
15:09:04	-28,4	-28	6	24,1	-21,3	-22,1	-20,8	-20,1	-23,4	-26	-27,6	-28	-28,2	-26,9	5,7
15:10:04	-28,4	-28,3	6	24,1	-21,6	-22,3	-20,9	-20,6	-23,8	-26,1	-27,5	-28,3	-28,2	-27,2	5,1
15:11:04	-28,4	-28,6	6	24,1	-21,9	-22,5	-21,2	-20,9	-23,9	-26,2	-27,9	-28,2	-28,2	-27,2	4,9
15:12:04	-28,7	-28,6	6	24	-22	-22,8	-21,2	-20,9	-23,9	-26,5	-27,9	-28,4	-28,4	-27,2	4,5
15:13:04	-28,7	-28,6	6	24	-21,9	-22,5	-21,2	-21,3	-23,9	-26,5	-28	-28,6	-28,4	-27,2	4,2
15:14:04	-28,7	-28,4	5,9	24,1	-22,1	-22,8	-21,3	-21,3	-24,2	-26,5	-27,9	-28,4	-28,4	-27,3	4,2
15:15:04	-28,7	-28,6	5,9	24,1	-22,4	-23,1	-21,6	-21,3	-24,3	-26,6	-28	-28,6	-28,6	-27,3	4,1
15:16:04	-28,9	-28,6	5,9	24	-22,4	-22,9	-21,4	-21	-24,2	-26,5	-28,2	-28,4	-28,7	-27,5	4,6
15:17:04	-28,7	-28,4	5,9	24	-21,7	-22,5	-21	-20,8	-24,2	-26,5	-27,9	-28,4	-28,3	-27,3	5,5
15:18:04	-28,7	-28,4	6	24	-21,7	-22,3	-20,6	-20,4	-23,8	-26,4	-27,9	-28,3	-28,6	-27,3	6,2
15:19:04	-28,6	-28,4	6	24	-21,3	-22,3	-20,5	-20,2	-23,6	-26,4	-27,6	-28,4	-28,3	-27,3	6,4
15:20:04	-28,6	-28,3	6,3	24	-21,6	-22,3	-20,6	-20,4	-23,9	-26,2	-27,6	-28,3	-28,3	-27,2	5,9
15:21:04	-28,7	-28,4	6	24,1	-21,9	-22,5	-20,9	-20,6	-23,8	-26,4	-27,9	-28,4	-28,4	-27,2	5,3
15:22:04	-28,6	-28,3	6,2	24	-22	-22,7	-21,2	-20,9	-24,3	-26,2	-27,9	-28,4	-28,4	-27,2	5
15:23:04	-28,9	-28,7	6	23,9	-22,1	-22,7	-21,3	-21	-24,2	-26,6	-28	-28,6	-28,6	-27,5	4,6
15:24:04	-28,9	-28,9	6	24,2	-22,4	-23,1	-21,6	-21,2	-24,3	-26,8	-28,2	-28,7	-28,4	-27,3	4,5
15:25:04	-29	-28,9	5,9	24	-22,4	-23,2	-21,7	-21,3	-24,7	-26,8	-28,3	-28,9	-28,7	-27,5	4,4
15:26:04	-29	-29	5,8	24	-22,5	-23,2	-21,9	-22,5	-24,9	-26,8	-28,3	-28,9	-28,7	-27,6	4,2
15:27:04	-29	-28,9	5,9	24	-22,4	-23,1	-21,6	-21,6	-24,4	-26,9	-28,3	-28,9	-28,9	-27,6	4,5
15:28:04	-29,1	-28,9	5,9	24	-22,3	-22,9	-21,4	-21	-24,6	-26,8	-28,2	-28,7	-28,9	-27,6	5,4
15:29:04	-29	-28,9	6	24	-22	-22,7	-21	-20,9	-24,4	-26,8	-28,3	-28,9	-28,6	-27,6	6
15:30:04	-29	-28,7	6	24,1	-21,9	-22,7	-21	-20,6	-24	-26,6	-28,2	-28,6	-28,6	-27,6	6,6
15:31:04	-28,7	-28,4	6,2	24,1	-21,9	-22,5	-21,2	-20,6	-24,2	-26,6	-28	-28,6	-28,4	-27,5	5,9
15:32:04	-28,9	-28,6	6,4	24,4	-21,9	-22,5	-21,2	-21,3	-24,3	-26,5	-28	-28,7	-28,7	-27,3	5,4
15:33:04	-26,6	-27,8	6,4	24,2	-22	-22,3	-20,5	-15,6	-25,3	-26,4	-27,2	-26,8	-26,2	-25,1	4,8
15:34:04	-20,4	-20,9	6,3	24,2	-14,4	-15	-12,3	-4,9	-19,5	-19,7	-19,7	-19,7	-19,5	-22,8	4,4
15:35:04	-14,2	-14,4	6,2	24,2	-7,8	-8,7	-5,6	1,8	-13,1	-13,5	-13,5	-13,4	-13,5	-20,2	4,9
15:36:04	-8,9	-8,9	6,3	24,2	-2,8	-3,4	-0,3	8,1	-7,8	-7,8	-7,9	-8,3	-7,9	-16,7	5
15:37:04	-4,3	-4,4	6,6	24,4	2,5	0,1	1,6	12,4	-3,2	-3,2	-3,9	-3,8	-3,6	-12,7	5,8
15:38:04	-1,3	-0,9	6,7	24,5	4	0,9	2,8	14,6	-0,3	-0,3	-0,8	-0,9	-0,4	-8,6	6,4
15:39:04	-0,6	-0,1	6,7	24,1	4,6	1,9	5,3	17,5	0,3	-0,1	-0,5	-0,5	-0,1	-6	6,3
15:40:04	-0,3	0	6,9	24,2	6,8	5,1	9,6	20,6	0,1	0,3	-0,5	-0,5	-0,1	-3,9	6,6
15:41:04	-0,1	-0,4	6,9	24,4	8	6,4	10,2	21,8	0,9	0,4	-0,4	-0,3	0,4	-2,5	6,9
15:42:04	-0,1	-0,4	6,9	24,2	7,8	6,3	10,9	22,5	1,2	0,7	0,1	0,3	1,8	-1,4	7,1
15:43:04	-0,1	-0,1	6,9	24,1	8,6	6,8	11,6	23,5	1,2	0,8	1	1,3	2,5	-0,8	7,3
15:44:04	0	-0,1	7,2	24,4	9	7,7	12,4	24,2	1,4	1,2	1,9	1,8	3,1	-0,5	7,8

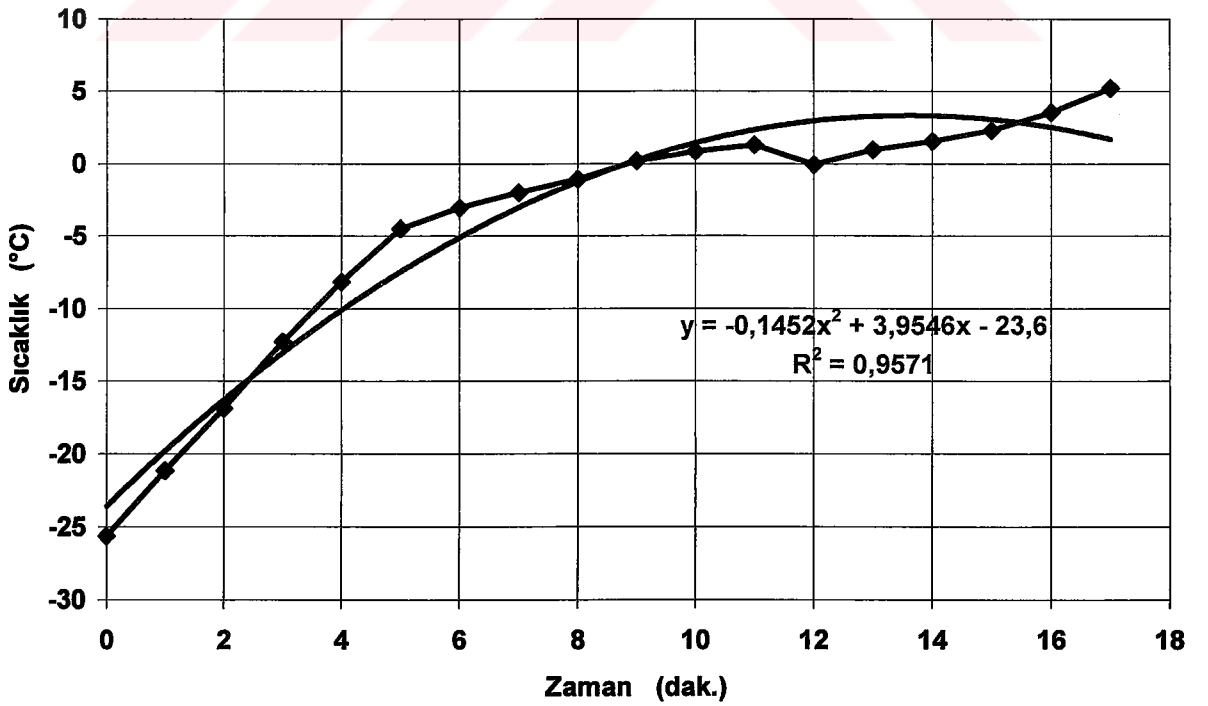
15:45:04	0	0	7,2	24,4	9,6	8,1	12,9	24	1,6	1,3	2,1	2,1	3,2	0	8
15:46:04	0,4	0,3	7,6	24,5	10	8,5	13,3	24,7	1,7	2,2	2,3	2,6	3,9	0,7	7,7
15:47:04	1	0,9	7,6	24,6	10,7	9,5	14,1	25,8	2,6	2,8	3,1	3,9	5	1,3	8,1
15:48:04	2,2	2,1	7,4	24,4	11,8	10,9	15,5	27,2	6,6	3,7	4,1	5,1	6	2,1	8,1
15:49:04	4,2	4,1	7,8	24,5	13,4	12,1	17,4	28,3	8,3	5,9	6,7	7,2	7,6	3,5	7,7
15:50:04	8	7,8	7,8	24,5	16,4	15,3	20,5	31,4	13	11	10,5	9,9	10,4	5,3	8,6
15:51:04	11,5	11,4	8	24,5	19,3	18,7	24	35,1	16,8	15,4	14,4	13,6	13,6	8,6	8,2
15:52:04	14,3	14	8,1	24,5	18,3	17,4	19,8	23,7	17,8	16,8	15,8	15,3	15,7	12	8,5
15:53:04	14,5	14,3	8,2	24,5	15,3	14,9	15,8	16,5	15,4	15,1	14,6	14,5	14,8	13,4	8,3
15:54:04	14,3	14	8,3	24,5	14	13,9	14,5	14,9	14,4	14,5	14	13,9	14,3	13,5	8,5
15:55:04	13,8	13,6	8,6	24,5	13,4	13,5	13,9	13,5	13,8	14,1	13,6	13,6	14	13,4	8,6
15:56:04	13,3	13,4	8,6	24,4	12,3	12,4	13	12,8	13,4	13,5	13,1	13,1	13,4	13,1	8,5
15:57:04	13	13,1	8,7	24,6	11,6	11,8	12,5	12,3	13,1	13,3	12,8	12,8	13,3	12,9	8,7
15:58:04	12,8	12,8	9,1	24,4	11,3	11,3	12	11,8	12,9	12,9	12,5	12,5	13,1	12,6	8,6
15:59:04	12,5	12,6	9,1	24,4	10,9	11	11,8	11,4	12,6	12,8	12,3	12,3	12,8	12,3	8,7
16:00:04	12,4	12,3	9,1	24,2	10,5	10,5	11,3	11,1	12,3	12,5	12	12	12,5	12,1	8,7
16:01:04	12,1	12,1	9,2	24,4	10,2	10,4	11,1	10,9	12,1	12,1	11,9	11,9	12,4	11,9	8,6
16:02:04	11,8	11,8	9,5	24,4	10,1	10,2	10,7	10,7	11,9	12	11,6	11,6	12,1	11,6	8,7
16:03:04	11,6	11,9	9,6	24,4	10	10,1	10,7	10,6	11,8	11,9	11,4	11,5	11,8	11,5	8,7
16:04:04	11,5	11,6	9,7	24,4	9,9	10,1	10,7	10,5	11,5	11,6	11,3	11,3	11,8	11,3	8,7
16:05:04	11,5	11,6	9,9	24,4	9,9	10,1	10,6	10,4	11,4	11,5	11	11,1	11,6	11,1	8,7
16:06:04	11,1	11,3	10,1	24,1	9,7	10,2	10,4	10,2	11,4	11,5	11	11	11,5	11	8,8
16:07:04	11,1	11,3	10,1	24,1	9,6	9,9	10,4	10,1	11,1	11,3	10,7	10,9	11,5	10,9	8,7
16:08:04	10,9	11,1	10,9	24,2	10	10,5	10,6	10,4	11	11	10,5	10,6	11,3	10,9	11,3
16:09:04	11,1	11,1	12,5	24,2	10,4	10,9	10,9	10,6	11	11,1	10,7	11	12	12,5	11,5
16:10:04	11,4	11,4	14	24,2	10,5	10,9	11	10,7	11,3	11,4	11,1	11,8	12,6	13,6	10,7
16:11:04	11,4	11,8	15	24,4	10,6	10,9	11,4	10,9	11,8	11,8	11,5	12,1	13	14,1	17,8
16:12:04	11,6	12,4	15,9	24,2	11	11,1	11,6	11,3	12	12,1	12	12,8	13,6	15	21,9
16:13:04	12,4	12,8	16,9	24,4	12	12,5	12,5	12,1	13,3	13,3	13,3	13,9	14,5	15,8	23,5
16:14:04	13	13,6	17,7	24,7	12,5	12,5	12,9	12,8	13,8	13,9	13,9	14,4	15	17	23,2
16:15:04	13,4	14,3	18,3	25	13	13	13,5	13,1	14	14,4	14,3	14,6	15	18	20,6
16:16:04	13,8	14,6	18,9	25	13,3	13,5	13,5	13,6	14,4	14,5	14,5	14,8	15,3	18,9	19,2
16:17:04	13,9	14,8	19,5	25,1	13,5	13,5	13,8	13,8	14,5	14,8	14,8	15	15,3	18,9	18,3
16:18:04	14,3	15	20	25	13,8	13,8	14	13,9	14,8	14,9	14,9	15	15,5	19,3	18
16:19:04	14,4	15,1	20,5	25,1	14,1	14	14,1	14,3	15	15,1	15	15,1	15,7	19,8	17,8
16:20:04	14,5	15,3	20,9	25,1	14,3	14,1	14,3	14,4	15,1	15,3	15,1	15,3	15,7	19,9	17,7
16:21:04	14,8	15,4	21,3	25	14,4	14,4	14,4	14,5	15,3	15,4	15,3	15,4	15,8	20,4	17,8
16:22:04	14,9	15,5	21,5	25	14,5	14,4	14,5	14,8	15,4	15,5	15,4	15,4	15,8	20,3	17,5
16:23:04	15	15,5	21,9	25,1	14,6	14,5	14,5	14,9	15,4	15,7	15,4	15,7	15,9	20,6	17,4
16:24:04	15,1	15,7	22,1	25	14,6	14,6	14,6	14,9	15,5	15,7	15,5	15,5	15,9	20,9	17,3
16:25:04	15,1	15,5	22,5	25	14,9	14,9	14,9	15	15,7	15,5	15,4	15,7	15,9	21	17,4
16:26:04	15,3	15,7	22,8	25	14,9	15	15,1	15,3	15,8	15,8	15,7	16,4	16,3	21,1	17,4
16:27:04	15,4	15,8	22,9	25	15	15	15	15,1	15,8	15,8	15,7	16,3	16,2	21,3	17,4
16:28:04	15,5	15,8	23,2	25	15,1	15	15,1	15,3	15,9	15,9	15,7	16,4	16,2	21,3	17,3
16:29:04	15,7	15,9	23,4	25,1	15,1	15,3	15,3	15,5	16	16	15,9	16,8	16,3	21,6	17,4
16:30:04	15,7	15,9	23,5	25,1	15,3	15,3	15,3	15,4	16	16	15,8	16,5	16,3	21,4	17,2

16:31:04	15,8	15,9	23,7	25,2	15,5	15,4	15,4	15,5	16,2	16	15,8	16,5	16,3	21,3	17,4
16:32:04	16	16	23,9	25,3	15,4	15,4	15,5	15,7	16,3	16,2	15,9	16,8	16,5	21,9	17,5
16:33:04	16,2	16,4	24,1	25,3	15,5	15,5	15,7	15,8	16,3	16,3	16,2	16,9	16,5	21,9	17,7
16:34:04	16,2	16,3	24,1	25,3	15,5	15,5	15,5	15,7	16,3	16,3	16,2	17	16,7	22	17,5
16:35:04	16,4	16,5	24,1	25,5	15,7	15,7	15,5	15,8	16,3	16,3	16	17	16,7	21,8	17,4
16:36:04	16,7	16,5	24,5	25,3	16	15,8	15,9	16	16,5	16,4	16,2	16,8	16,7	21,5	17,8
16:37:04	16,5	16,4	24,6	25,3	15,9	15,8	15,9	16	16,4	16,4	16	16,5	16,5	21,1	17,9
16:38:04	16,7	16,3	24,6	25,3	15,9	15,8	15,8	16	16,4	16,3	15,9	16,5	16,5	21,1	17,9
16:39:04	16,7	16,3	24,7	25,3	15,8	15,8	15,8	15,9	16,4	16,3	15,9	16,5	16,7	21,1	17,9
16:40:04	16,8	16,4	24,8	25,2	15,8	15,7	15,7	15,9	16,4	16,3	15,9	16,7	16,8	21,1	17,8
16:41:04	17	16,3	25	25,3	15,8	15,7	15,8	15,9	16,3	16,4	16	16,7	16,8	21,4	17,8
16:42:04	17	16,3	25,1	25,3	15,8	15,8	15,8	15,9	16,3	16,4	16	16,7	16,8	21,5	17,8
16:43:04	17,2	16,4	25,1	25,3	15,8	15,8	15,8	15,9	16,3	16,3	16	16,7	16,8	21,5	17,8
16:44:04	17,3	16,4	25,2	25,3	15,9	15,8	15,8	15,9	16,4	16,4	16,2	16,8	16,9	21,6	17,8
16:45:04	17,3	16,3	25,1	25,3	15,8	15,8	15,8	15,9	16,4	16,4	16	16,8	16,8	21,6	17,8
16:46:04	17,5	16,4	25,3	25,5	15,9	15,8	15,8	16	16,4	16,4	16	16,7	16,8	21,6	19,4
16:47:04	17,3	16,3	25,5	25,5	15,8	15,7	15,8	15,8	16,3	16,3	16	16,5	16,5	20,6	23,2
16:48:04	17,5	16,4	25,6	25,2	15,8	15,7	15,7	15,8	16,3	16,4	16	16,5	16,5	20,4	22,5
16:49:04	17,7	16,5	25,5	25,5	15,9	15,8	15,8	16	16,3	16,4	16	16,5	16,8	20,4	21,4
16:50:04	17,7	16,5	25,6	25,5	15,8	15,8	15,8	15,9	16,3	16,3	16,2	16,5	16,5	20,1	20,5
16:51:04	17,8	16,5	25,5	25,5	15,8	15,8	15,8	15,9	16,3	16,4	16	16,5	16,8	20	21
16:52:04	17,8	16,7	25,5	25,7	15,8	15,8	15,8	15,9	16,3	16,4	16	16,5	16,7	20,1	20,8
16:53:04	17,9	16,5	25,5	25,7	15,8	15,8	15,8	15,9	16,3	16,3	16	16,5	16,7	20	20,4
16:54:04	17,9	16,7	25,5	25,6	15,8	15,8	15,8	16	16,3	16,3	15,9	16,5	16,8	19,9	20,1
16:55:04	17,9	16,7	25,5	25,5	15,8	15,8	15,8	15,9	16,5	16,4	16,2	16,7	16,7	19,9	20
16:56:04	17,9	16,5	25,5	25,6	15,8	15,8	15,8	15,9	16,3	16,3	16	16,7	16,8	19,8	19,8
16:57:04	17,9	16,5	25,5	25,5	15,8	15,8	15,8	15,9	16,4	16,5	16,2	16,8	16,8	19,8	19,8
16:58:04	18	16,7	25,3	25,5	15,8	15,8	15,8	16	16,5	16,4	16,2	16,8	16,8	19,8	19,8
16:59:04	17,9	16,5	25,3	25,6	15,8	15,8	15,9	15,9	16,4	16,5	16,2	16,9	16,9	19,8	19,6
17:00:04	18	16,7	25,2	25,7	15,8	15,8	15,8	16	16,4	16,4	16,2	16,8	16,9	19,6	19,6

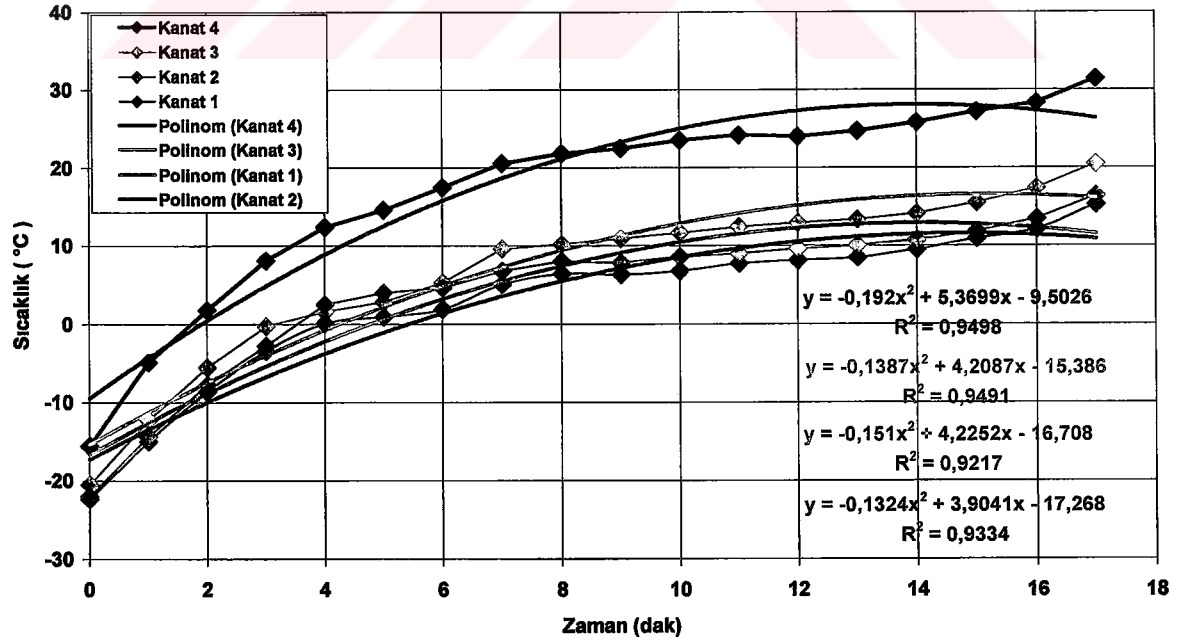
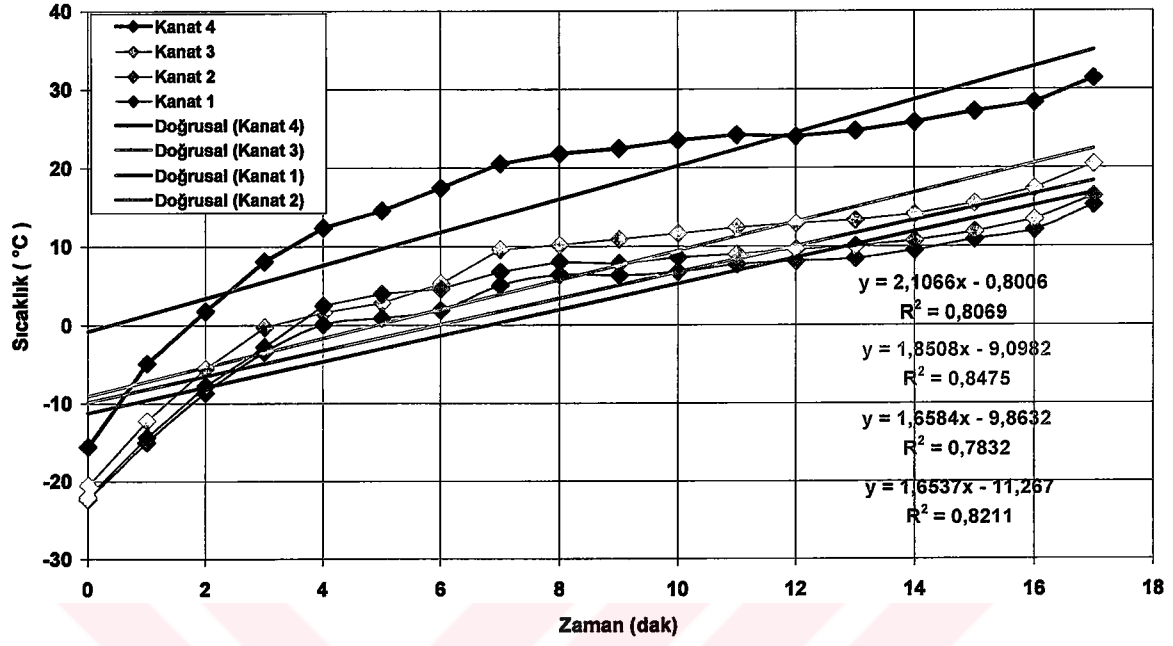
Ek 2 Zamana Bağlı Kanat ve Kabin içi Sıcaklık Değişiminin 1. ve 2. Dereceden Polinomlara Uygunluğu



Şekil 1 Zamana bağlı kabin içi sıcaklığı değişiminin 1. dereceden polinoma uygunluğu



Şekil 2 Zamana bağlı kabin içi sıcaklığı değişiminin 2. dereceden polinoma uygunluğu



Ek 3 Deney Hata Analizi

Termoeleman hata analizi :

Deneyisel çalışmada kanat yüzey sıcaklığını ölçmek için kullanılan termoeleman ile ölçüm yapılan yüzey arasında tam temas olmasa bile, lokal termodinamik denge nedeniyle, ölçüm için yeterli süre alındığında yapılabilecek hatalar aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir. Ayrıca karlı halde ölçülen yüzey sıcaklığına radyasyonun etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir.

$$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL} = \frac{T_{x=L} - T_{\infty}}{T_b - T_{\infty}} \quad (1)$$

$$\frac{\cosh m(L-L)}{\cosh mL} = \frac{T_{x=L} - T_{\infty}}{T_b - T_{\infty}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\cosh mL} = \frac{T_{x=L} - T_{\infty}}{T_b - T_{\infty}} \quad (3)$$

L:Termoeleman ölçüm noktası ile veri kaydedici arasındaki mesafe

L = 1 m

T_{∞} : Çevre sıcaklığı

T_b : Veri kaydedici ölçüm sıcaklığı

T_x : Gerçek sıcaklık

$$m = \sqrt{hP/kA} \quad (4)$$

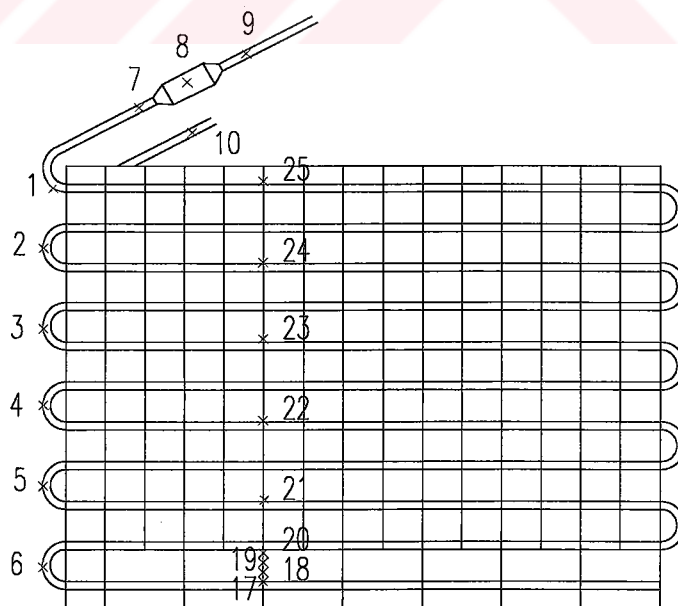
ifadesinden hesaplanır. Termoelemanlardan kaynaklanan hata %1 ile %3 arasında değişmektedir.

Kar kalınlığı ölçümünde hata analizi :

Kar kalınlığı ölçümünde kalibre edilmiş cetvel kullanıldı. Bu cetvelde en küçük bölüm aralığı 0,25 mm olduğu için, göz okumasından kaynaklanan hata 0,25 mm olabilir. Kar kalınlığı 3,7 mm okunduğundan,

Yapılabilecek hata :

$$\frac{0,25}{3,7} \equiv 0,067 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 30.12.1972

Doğum Yeri Ankara

Lise 1983-1989 Deneme Lisesi

Lisans 1989-1993 Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi
Makina Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1993-1995 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı,
Isı Proses Programı

Doktora 1996-2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı,
Isı Proses Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1994-1995 İmtak Makina Ltd. Şti.

1995-1996 Form A.Ş.

1996-Devam ediyor YTÜ Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi