

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUZDOLABI HAVA KANALLARINDA
YOĞUŞMANIN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Vasi Kadir ERTİŞ**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ISI-AKIŞKAN

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUZDOLABI HAVA KANALLARINDA
YOĞUŞMANIN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Vasi Kadir ERTİŞ
503051116**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. A. Cihat BAYTAŞ(İ.T.Ü.)
Doç. Dr. Lütfullah KUDDUSİ (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Seyhan Uygur ONBAŞIOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve destek olan Arçelik Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, başta Sn. Cemil İNAN ve Sn. Fatih ÖZKADI' nın şahsında teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen Sn. Dr. Levent AKDAĞ' a, değerli fikirleri ve eleştirileriyle Sn. Dr. Kemal SARIOĞLU' na ve Sn. Yalçın Güldalı' na, deneysel çalışmalarındaki katkılarından dolayı Sn. Çetin LALE, Sn. Nihat KANDEMİR, Sn. Mehmet MARAŞLI' ya ve tüm ARGE Akışkanlar Dinamiği Teknolojisi Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen AİLEME ve tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2007

Vasi Kadir ERTİŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1 GİRİŞ	11
2 LİTERATÜR ve PATENT ARAŞTIRMASI	21
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
3.1 Deney Düzeneginin ve Deney Metodolojisinin Tanıtılması	26
3.1.1 Deney Düzenegi	26
3.1.2 Termokuplların ve Nem Sensörlerinin Yerleşim Noktaları	28
3.2 Deneyler	31
3.2.1 10 °C Deneyleri	31
3.2.2 32 °C Deneyleri	38
3.2.3 Ara Kanal İzolasyonu Deneyleri	41
3.3 Yeni Kanal Tasarımı	42
4 SAYISAL ÇALIŞMALAR	48
4.1 Çalışmalarda Kullanılan Modellerin ve Sınır Şartların Tanıtılması	48
4.1.1 Modeller	48
4.1.2 Sınır Şartları	49
4.2 Mevcut Kanal ile Yeni Kanal Tasarımı Arasındaki Farkların Yorumlanması	53
4.3 Sayısal Çalışmaların Sonuçları	57
5 SONUÇ	59
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	64

KISALTMALAR

FF	: Taze Besin Bölmesi
FRZ	: Dondurucu Bölmesi
R134a	: Tetra Flor Etan
R600a	: İzobütan
LDA	: Laser Doppler Anemometry
CFC	: Kloro Floro Karbon
CFD	: Computational Fluid Dynamics

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1: Emiş kanalı çıkışı üzerinden okunan değerler	32
Tablo 3.2: Termostat kutusunun emiş kanalından alınan sıcaklık değerleri	33
Tablo 3.1: Taze besin bölmesi basma kanalı bölgesi	34
Tablo 3.4: Ara kanal ortası (derin dondurucudan taze besin bölmesine), dondurucu ve taze besin bölmesi orta raflar bölgesi (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi, FRZ: Dondurucu (Freezer) bölmesi)	35
Tablo 4.1: Deneysel çalışmalar sonucunda emiş kanallarında elde edilen veriler....	57
Tablo 4.2: Sayısal çalışmalar sonucunda emiş kanallarında elde edilen veriler	57
Tablo 5.1: İki dolabın çalışma süreleri	60
Tablo 5.2: Isıtıcıların bir gün boyunca dolaba getirdiği ısı yük hesabı.....	60
Tablo 5.3: Isıtıcıların kaldırılması ile elde edilen kazanç	60

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 : No-Frost tipi bir buzdolabında soğutma çevrimi	13
Şekil 1.2 : Dondurucu bölmesi patlatılmış resmi	14
Şekil 1.3 : Taze besin bölmesi patlatılmış resmi	15
Şekil 1.4 : Kompresör grubunun patlatılmış resmi	16
Şekil 1.5 : Termostat kutusu ve parçaları (FF: Taze besin bölmesi (Fresh Food))....	17
Şekil 1.6 : Evaporatör straforu ve ısıtıcıların kullanıldığı emiş kanalı çıkışları.....	17
Şekil 1.7 : Mevcut emiş kanal yapısına ait akış alanı	18
Şekil 1.8 : Isıtıcıların çalıştığı zamanki durum	19
Şekil 1.9 : Isıtıcıların çalışmadığı zaman oluşan buzlanma	20
Şekil 2.1 : Duvarları ıslak dikey kanal içerisindeki hava akışının analizi	21
Şekil 2.2 : Yatay soğuk bir levha üzerinde yoğunlaşma	22
Şekil 2.3 : Buz tabakasının gelişiminin incelenmesi.....	22
Şekil 2.4 : Taze besin bölmesi emiş kanalı ile dondurucu bölmesi emiş kanalı arasında ısıtıcı konulması	23
Şekil 2.5 : Evaporatörün ara bölmeye yerleştirilmesi	24
Şekil 2.6 : Emiş kanalı içerisine ısıtıcı konulması	24
Şekil 3.1 : Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanlar.....	27
Şekil 3.2 : Deneylerde kullanılan buzdolapları	27
Şekil 3.3 : Dolaplardaki nem yükleme şekli	28
Şekil 3.4 : Emiş kanalları çıkışına yerleştirilen sensörler	29
Şekil 3.5 : Dondurucu bölmesi ortamına ve ara kanala yerleştirilen sensörler.....	29
Şekil 3.6 : Termostat kutusu içine yerleştirilen sensörler (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi.).....	30
Şekil 3.7 : Basma kanalı çıkışına ve termostat kutusu alt yüzeye yerleştirilen sensörler (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi.).....	30
Şekil 3.8 : Taze besin bölmesine ve termostat kutusu dış yüzeyine yerleştirilen sensörler	31
Şekil 3.9 : Dondurucu bölmesi emiş kanalı ve klape üzerinden okunan sıcaklık değerleri (FRZ: dondurucu (Freezer) bölmesi)	32
Şekil 3.10 : Dondurucu bölmesi emiş kanalı ve klape üzerinden okunan bağıl nem değerleri (FRZ: dondurucu (Freezer) bölmesi)	33
Şekil 3.11 : Termostat kutusundaki emiş kanalı üzerinden okunan sıcaklık değerleri (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi.)	33
Şekil 3.12 : Termostat kutusundaki emiş kanalı üzerinden okunan bağıl nem değerleri (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi.)	34
Şekil 3.13 : Basma kanalından ve taze besin bölmesinden alınan sıcaklık verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi.)	34
Şekil 3.14 : Basma kanalından ve taze besin bölmesinden alınan bağıl nem verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi.)	35
Şekil 3.15 : Ara kanaldan ve dondurucu bölmesinden alınan sıcaklık verileri(FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi, FRZ: dondurucu (Freezer) bölmesi).....	36

Şekil 3.16 : Ara kanaldan ve dondurucu bölmesinden alınan bağıl nem verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü, FRZ: dondurucu (Freezer) bölümü) ..	36
Şekil 3.17 : Isıtıcısız dolapta, ısıtıcılı dolaptaki sıcaklık değerlerine oranın, sıcaklık dağılımına göre değişimi (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü, FRZ: dondurucu (Freezer) bölümü)	37
Şekil 3.18 : Taze besin bölümünde bulunan çoklu kanal straforunda oluşan terleme	39
Şekil 3.19 : Sebzelik üstünde ve termostat kutusunda oluşan yoğuşmalar	40
Şekil 3.20 : Termostat kutusu içinde oluşan terleme	41
Şekil 3.21 : Ara kanal izolasyonu uygulanmış deney sonucu	42
Şekil 3.22 : Mevcut kanal yapısının 2-B görünümü	43
Şekil 3.23 : Yeni kanal yapısının 2-B görünümü	44
Şekil 3.24 : Termostat kutusunda yapılan değişiklikler	45
Şekil 3.25 : Dondurucu bölümünün tabanında yapılan değişiklikler	45
Şekil 3.26 : Dondurucu bölümüne ait sıcaklık verileri (FRZ: dondurucu (Freezer) bölümü.)	46
Şekil 3.27 : Basma kanalına ait sıcaklık verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü.)	47
Şekil 3.28 : Taze besin bölümüne ait sıcaklık verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü.)	47
Şekil 4.1 : Termostat kutusundaki emiş kanalının akış alanı	49
Şekil 4.2 : Yeni tasarıma ait emiş kanalının akış alanı	49
Şekil 4.3 : Emiş kanalı girişi için sayısal çözüm alanı	50
Şekil 4.4 : Mevcut kanala ait sınır şartları	52
Şekil 4.5 : Yeni tasarlanan kanala ait sınır şartları	52
Şekil 4.6 : Mevcut emiş kanalı içerisindeki hız vektörleri ile sıcaklık dağılımının gösterimi	53
Şekil 4.7 : Mevcut emiş kanalı içerisindeki hız dağılımının gösterimi	54
Şekil 4.8 : Mevcut emiş kanalına ait hız vektörlerinin sıcaklığa ve hıza göre renklendirilmiş analizleri	54
Şekil 4.9 : Mevcut emiş kanalına ait eş sıcaklık ve eş hız eğrileri	55
Şekil 4.10 : Yeni emiş kanalı içerisindeki hız dağılımının gösterimi	55
Şekil 4.11 : Yeni emiş kanalı içerisindeki hız vektörleri ile sıcaklık dağılımının gösterimi	56
Şekil 4.12 : Yeni emiş kanalına ait hız vektörlerinin sıcaklığa ve hıza göre renklendirilmiş analizleri	56
Şekil 4.13 : Yeni emiş kanalına ait eş sıcaklık ve eş hız eğrileri	57

SEMBOL LİSTESİ

k	: Türbülanslı Kinetik Enerji
ε	: Türbülanslı Disipasyon
Q	: Hacimsel Debi
V	: Hız
A_k	: Kesit Alanı
Ç	: Çevre
d_h	: Hidrolik Çap
Re	: Reynolds Sayısı
ν	: Kinematik Viskozite

BUZDOLABI HAVA KANALLARINDA YOĞUŞMANIN İNCELENMESİ

ÖZET

Enerji tüketimi son yıllarda birçok araştırma konusunun içeriğini oluşturmaktadır. Beyaz eşya sektöründe de minimum enerji tüketimi, sektörün en önemli çalışma konularından biridir. Beyaz eşya sektörünün öncü ürünü olan buzdolaplarında çeşitli sebeplerden dolayı, enerji sarfiyatında önemli yer tutan ısıtıcılar kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da bir ara bölmesiz no-frost buzdolabının hava kanallarında kullanılan ısıtıcıların hangi amaçla kullanıldığı ve nasıl kullanımdan kaldırılabilineceği irdelenmiştir.

Tez çalışmasının ilk bölümü deneysel çalışmalar ile ilgili olup mevcut kanal yapısında ısıtıcıların kullanılma amaçları incelenmiştir. Dolabın ısıtıcılı ve ısıtıcısız durumunda dolap içinde belirlenen noktalarında sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ile ısıtıcısız dolapta oluşan yoğuşma problemini engelleyecek bir kanal tasarımı üzerinde çalışılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci aşamasını ise sayısal analizler oluşturmaktadır. Bu analizler de dolap içindeki mevcut kanal ile yeni kanal tasarımının modelleri üzerinde çalışılmıştır. Deneyler ile belirlenen sınır koşulları ile kanallar içerisindeki akışın sıcaklık ve hız analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları deney verileri ile karşılaştırılarak, yeni kanal tasarımının etkinliği üzerinde durulmuştur.

Sonuç olarak, buzdolabının enerji tüketiminde büyük bir pay sahibi olan ısıtıcıların kullanılmasını engelleyecek yeni bir kanal yapısı tasarlanmıştır.

AN INVESTIGATION OF CONDENSATION AT REFRIGERATOR AIR CHANNEL

SUMMARY

The main content of many researches has been energy consumption in recent years. In white goods sector, minimal energy consumption is one of the main research topics, as well. In refrigerators, the pioneer product of white goods sector, the heaters which have an important role in energy consumption are used to prevent the condensation. In this thesis, the reasons why these heaters in air channels of no-frost refrigerators are used is studied and the ways that these heaters could be eliminated are searched.

The first part of the thesis is about experimental studies and in this part the reasons why these heaters are used in current channel framework are analyzed. The temperature and relative humidity are measured in particular points of the refrigerator with and without heaters. A new channel is designed to prevent condensation problem in heater-free refrigerator with the help of experimental studies.

The second part of the thesis contains numerical analysis. In this analysis, current channel in refrigerator and the new channel designs are examined. Through the boundary conditions obtained in the experiments, temperature and velocity analysis of the flow in channels are done. The performance of the new channel design is discussed by comparing the analysis and the experiment of data.

As a result, the new channel design framework will make the use of heaters, which have a big role in energy consumption, unnecessary.

1 GİRİŞ

İnsanoğlu için yiyeceklerin önemi ne kadar büyükse onların olabilecek en uzun süre bozulmadan muhafaza edilmesi de o kadar önemlidir. Günümüzde bilinen bir gerçek, gıda maddelerinin bozulmasına sebep olan bakteri faaliyetlerinin ve sebze ile meyve solunum faaliyetlerinin düşük sıcaklıklarda minimum seviyelere indiğidir. Bu durumda yapılacak olan, bozulmadan uzun süre saklanabilmesi istenen gıda maddelerinin, düşük sıcaklıktaki bir ortamda muhafaza edilmesidir. Bunu sağlamak amacıyla saklama mekanının genellikle çevre sıcaklığının altında bir değerde tutulması gerekmektedir. Buzdolabı, içerisindeki yiyecek ve içecekleri soğuk tutarak uzun süre, tüketilebilir halde muhafaza eden bir makinedir. Bir başka anlatımla buzdolabı, yapay soğuk üreticisidir.

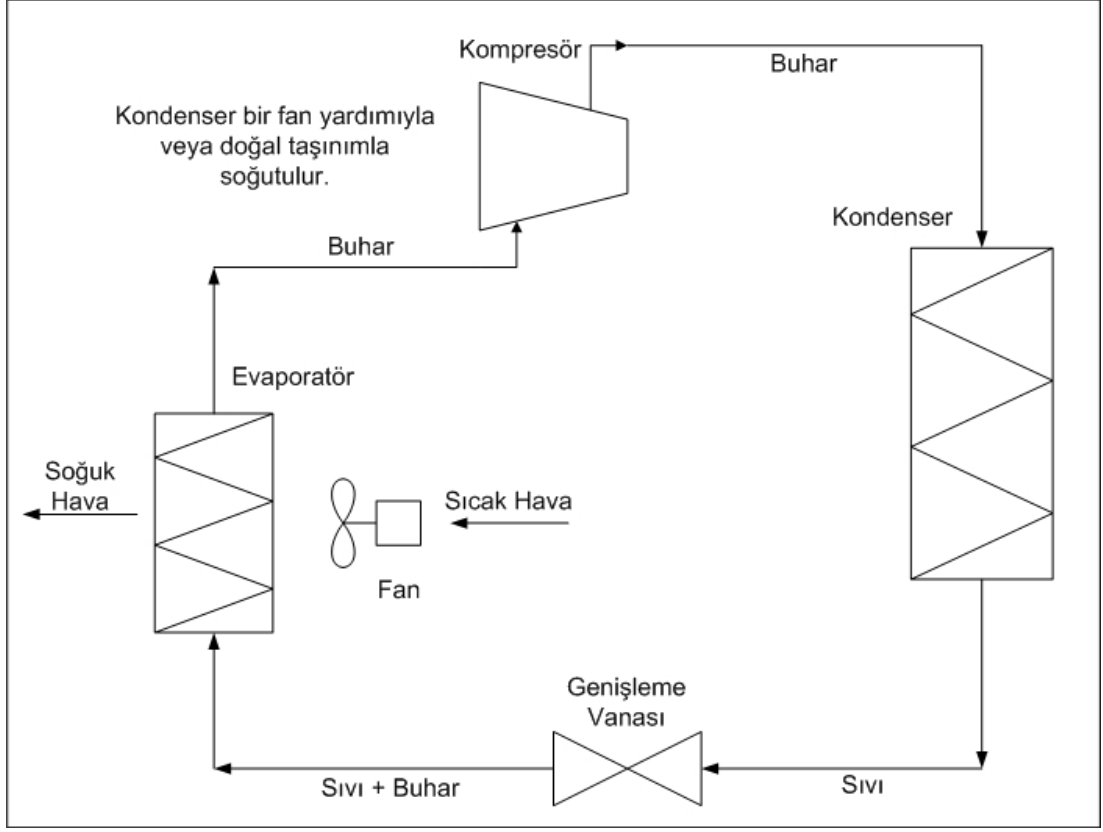
Buzdolabının tarihçesine bakacak olursak; insanoğlu toplu yaşama geçtikten sonra, en temel ve yaşamsal gereksinimi olan yiyecek elde etme sürecinde de toplumsal çözümler üretmiştir. Besinleri soğukta tutmanın onların bozulmasını yavaşlattığı asırlardır bilinmektedir. Mekanik soğutma sistemleri icat edilmeden önce insanlar, yiyeceklerini kar altına gömerek, ya da yüksek yerlerden taşıdıkları buz ve karlarla üzerlerini örtmek suretiyle soğuk tutarak, onların tazeliklerini korumaya çalışmıştır. Tarihteki ilk buzdolapları yerin altına kazılan içi buz veya karla doldurulmuş; saman ya da tahta parçalarıyla bölümlere ayrılmış kilerlerdi. Mekanik soğutma sistemleri ise bu amacı yiyeceklerin uzun süre bozulmayacağı suni bir ortam oluşturarak gerçekleştirir. Günümüzde soğutma tertibatlı kamyonlar, vagonlar, gemiler, uçaklar, besinleri uzak mesafelere taze olarak ulaştırabilmektedir. Besin işleme fabrikalarında dev soğutucular kullanılmaktadır. Soğutma ile buz üretiminin yanı sıra, havanın elverişli olmadığı yer ve zamanlarda yapay kar dahi yapılabilir. Kısaca, soğutucular hayatımızın önemli bir parçası olmuştur.

Kapalı bir alanın veya bir maddenin sıcaklığını, başka bir yere ısı aktarmak suretiyle düşürme işlemine soğutma denir. Isı, sıcak ortamdan, soğuk ortama kendiliğinden akarken; soğuk ortamdan sıcak ortama atılması için enerji lazımdır. Soğutmanın en

basit yolu, kendisi de bir enerji deposu olan bir kalıp buz kullanmaktır. Su, buz haline getirilirken, enerji kullanılmış ve bu enerji buzda saklı kalmıştır. Buz, etraftaki ısıyı emerek erir ve su haline gelir. Isıyı çekmenin başka bir yolu, buharlaşmayı sağlamaktır. Sıcak bir günde insanı serinleten, vücuttaki terin buharlaşmasıdır. Ter buharlaşırken etraftan ve vücuttan ısı alarak insanı serinletir. Bu işlem, yani “gazların hızlı genişmesi ile meydana gelen soğuma”, soğutucuların, buzdolaplarının temel çalışma prensibidir.

Tarihte bilinen ilk yapay soğutma mekanizması, 1748'de Glasgow Üniversitesi'nde William Cullen tarafından üretilmiştir. Fakat; Cullen bu icadını herhangi bir pratik amaca yönelik kullanmamıştır. İlk soğutma makinası ise, 1805'de Amerikalı mucit Oliver Evans tarafından tasarlanmıştır. Yine bir Amerikalı olan doktor John Gorrie, Evans'ı icadını 1844'te hummalı hastalarının ateşini düşürmekte gerekli olan buzun elde edilmesinde kullanmıştır.

Gelişmiş buzdolabı tasarımlarının ilk patentleri ise, 1871'de ve 1891'de yine Amerikalılar tarafından alınmıştır. Bu yıllardan 1929'a kadar buzdolaplarında, amonyak, metil klor ve kükürt dioksit kullanılıyordu. Bu akışkanlar sızdırmazlığın o dönemdeki teknoloji nedeni ile tam sağlanamamasından kaynaklanan kazalara neden oldu. Bunun üzerine üç Amerikan şirketi daha az tehlikeli bir soğutma için ortak çalışma yaptılar ve Freon gazı keşfedildi. Ancak; yıllarca sonra, kloroflorokarbonlardan (CFC) oluşan Freon grubu gazların ozon tabakasını incelten reaksiyonlara neden oldukları anlaşıldı ve soğutma sektörü zaten zor olan görevinin çevre boyutuyla da tanışmış oldu. Bugün soğutma alanında hız kazanan çalışma konularından biri Freon gazı kadar etkin kullanılacak, ancak ozona zarar vermeyen alternatif akışkanların keşfi ya da geliştirilmesi ile bu akışkanlara uygun kompresör tasarımı üzerinedir. Alternatif akışkanlar üzerinde çalışmalar (CO₂, R600a, v.s.) yoğun bir şekilde devam etmesine rağmen bugün, soğutma sektöründe, freon grubu gazlar, kullanılan en yaygın akışkanlardır [1]. Şekil 1.1 'de yukarıda belirtilen soğutucu akışkanların kullanıldığı bir no-frost dolabına ait soğutma çevrimi görülmektedir.



Şekil 1.1 : No-Frost tipi bir buzdolabında soğutma çevrimi

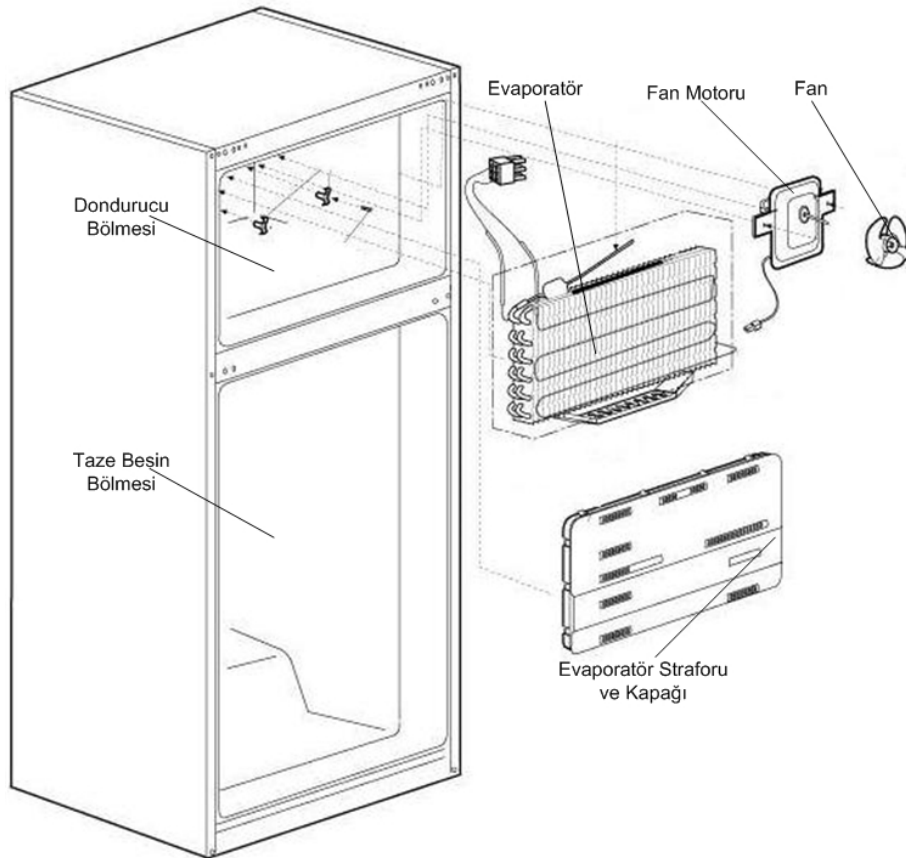
No-frost buzdolaplarını, konvansiyonellerden ayıran en temel özellik, dolap içindeki ısı taşınım şeklidir. Konvansiyonel buzdolaplarında, bölmelerin soğutulması, bölmelerin belirli yüzeyine yerleştirilen evaporatörler üzerinden doğal taşınım yoluyla havanın geçmesi ile gerçekleşmektedir. No-frost buzdolaplarında bölmelerin soğutulması için zorlanmış taşınım kullanılmaktadır. Havanın zorlanmış hareketi için, dolabın belirlenen bir noktasına fan yerleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 1.1). Fan; genelde dolap tasarımına göre evaporatörden önce veya sonra olabilmektedir. Fan sayesinde soğumuş ve nemi alınmış olan havanın dolap içine dağıtımının sağlanması için uygun hava kanallarının tasarlanması gerekmektedir. Dolabın soğumasını sağlayan bu kanalların tasarımı, dolabın soğutma etkinliği üzerinde çok önemli bir rolü vardır.

No-frost buzdolapları da kendi aralarında ikiye ayrılmaktadır: Bu ayırım hava kanallarının tasarımı ile belirlenmektedir. Ara bölmeli no-frost buzdolabı olarak sunulan buzdolabında, taze besin bölmesinden ve dondurucu bölmesinden emilen hava, dondurucu ve taze besin bölmesi arasındaki kanallardan evaporatöre yönlendirilmektedir. Buna karşın, ara bölmesiz olarak ifade edilen dolaplarda emilen

hava için kanal tasarımı sadece taze besin bölümünde bulunmaktadır. Tez çalışmasının konusu da ara bölmesiz no-frost buzdolaplarında kanal tasarımı ile ilgilidir. No-frost buzdolaplarında, hava kanallarının hiçbir tıkanıklıkla karşılaşmadan tasarımı, etkin soğutmanın gereği olarak büyük bir öneme sahiptir.

No-frost buzdolabı başlıca şu ana bölümlerden oluşmaktadır:

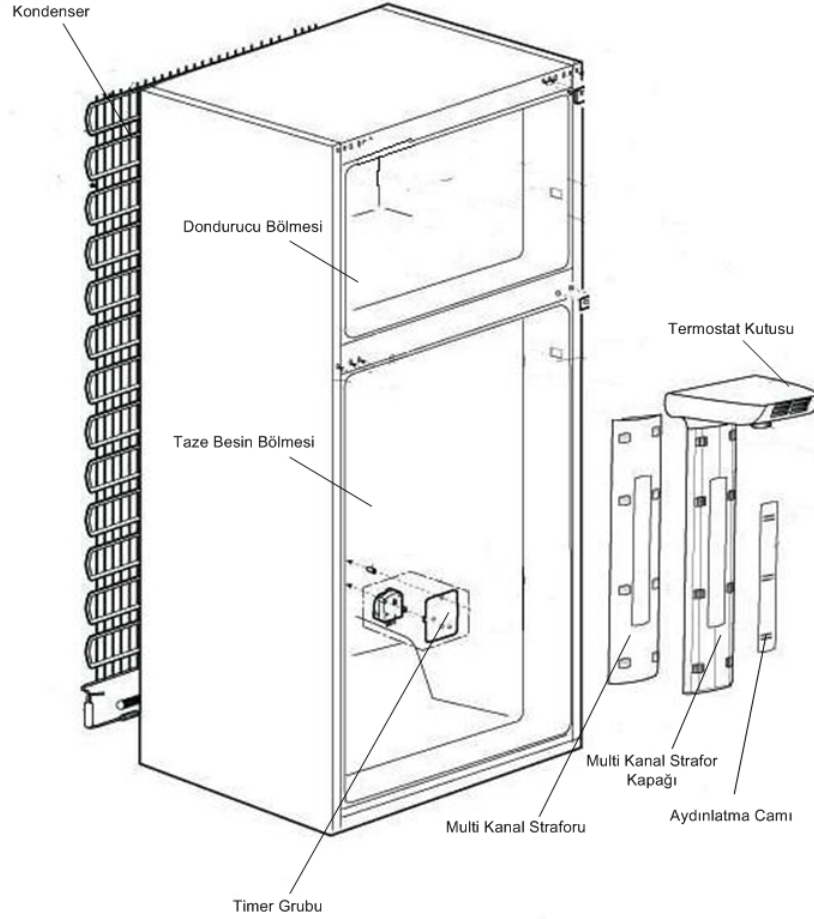
Buzdolabının önemli parçalarından biri olan evaporatör, dondurucu bölümünün arka duvarına konumlandırılmıştır (Şekil 1.2). Evaporatörün üstünde bulunan fan ve fan motor grubu, dolap içinde ısınan ve nem değeri yükselen havanın, kanallardan geçerek evaporatöre ulaşmasını sağladığı gibi, soğuk havayı dolabın içine istenen sıcaklıkların sağlanması için yönlendirir. Evaporatör straforu, emiş kanallarının çıkışını üzerinde bulundurduğu gibi fanın bastığı havayı dondurucu bölmesine ve taze besin bölmesine ileten hava kanallarına sahiptir.



Şekil 1.2 : Dondurucu bölümü patlatılmış resmi

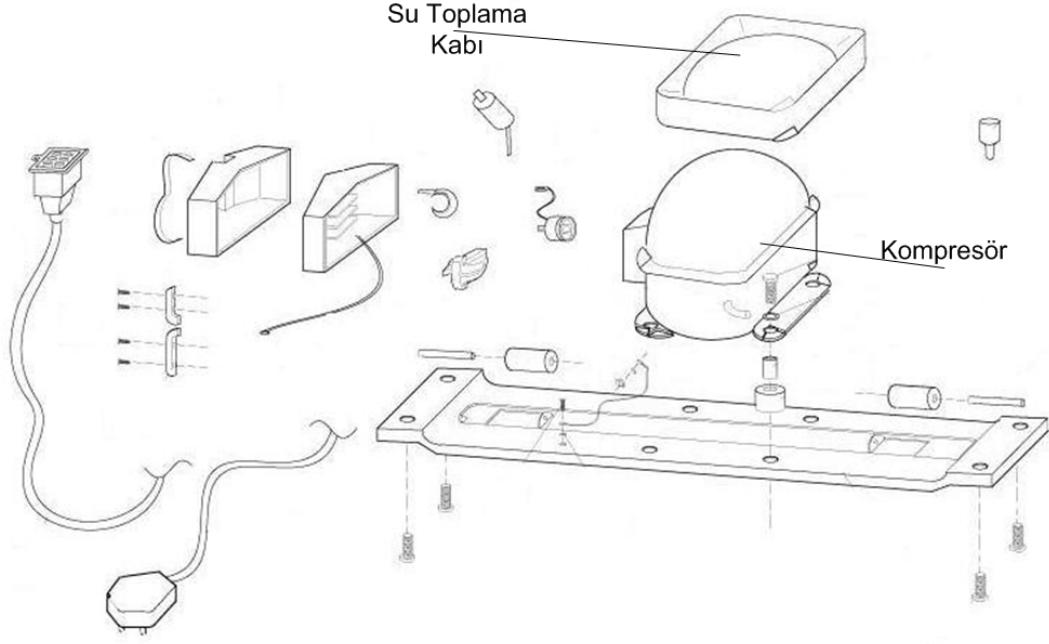
Termostat kutusu, buzdolabının hızlı veya yavaş çalışmasını ayarlayan termostatı ve aynı zamanda taze besin bölümünden emilen sıcak ve nemli havanın taşındığı emiş

kanallarını bünyesinde bulundurmaktadır. Taze besin bölümünün soğutulması, bu bölmede bulunan multi kanal straforu ile olmaktadır. Fanın evaporatör straforuna yönlendirdiği hava, ara kanaldan geçerek termostat kutusuna ulaşmakta ve buradan multi kanal straforuna geçmektedir. Ayrıca taze besin bölümünde, buzdolabının defrost süresini belirleyen bir zamanlayıcı (timer grubu) bulunmaktadır. (Şekil 1.3)



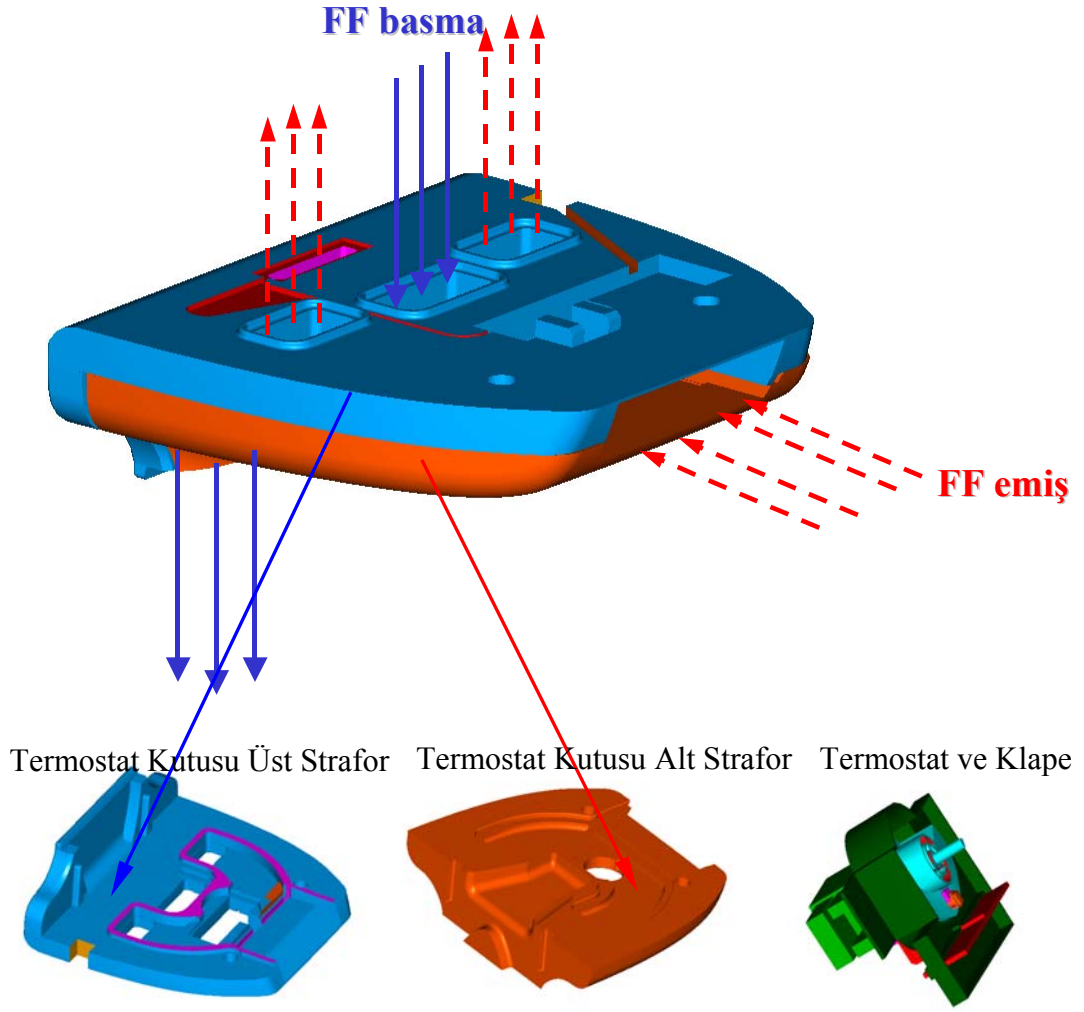
Şekil 1.3 : Taze besin bölümü patlatılmış resmi

Kompresör (Şekil 1.4), soğutkanı, düşük basınçtan (evaporatör basıncı), yüksek basınca (kondenser basıncı) basmaktadır.

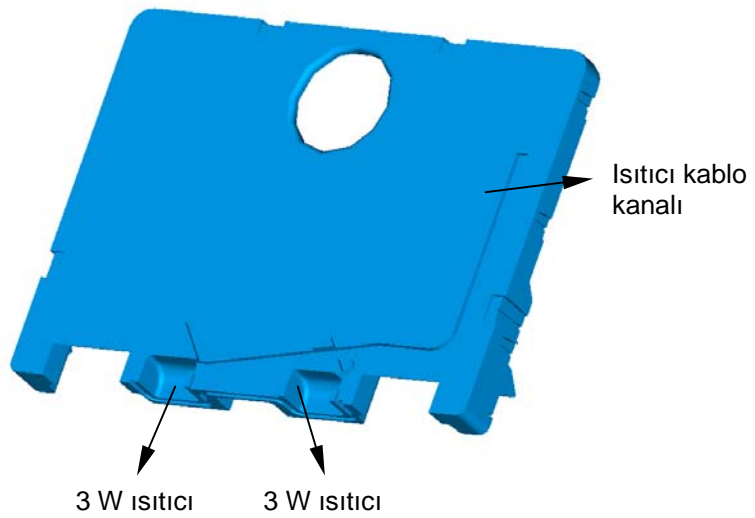


Şekil 1.4 : Kompresör grubunun patlatılmış resmi

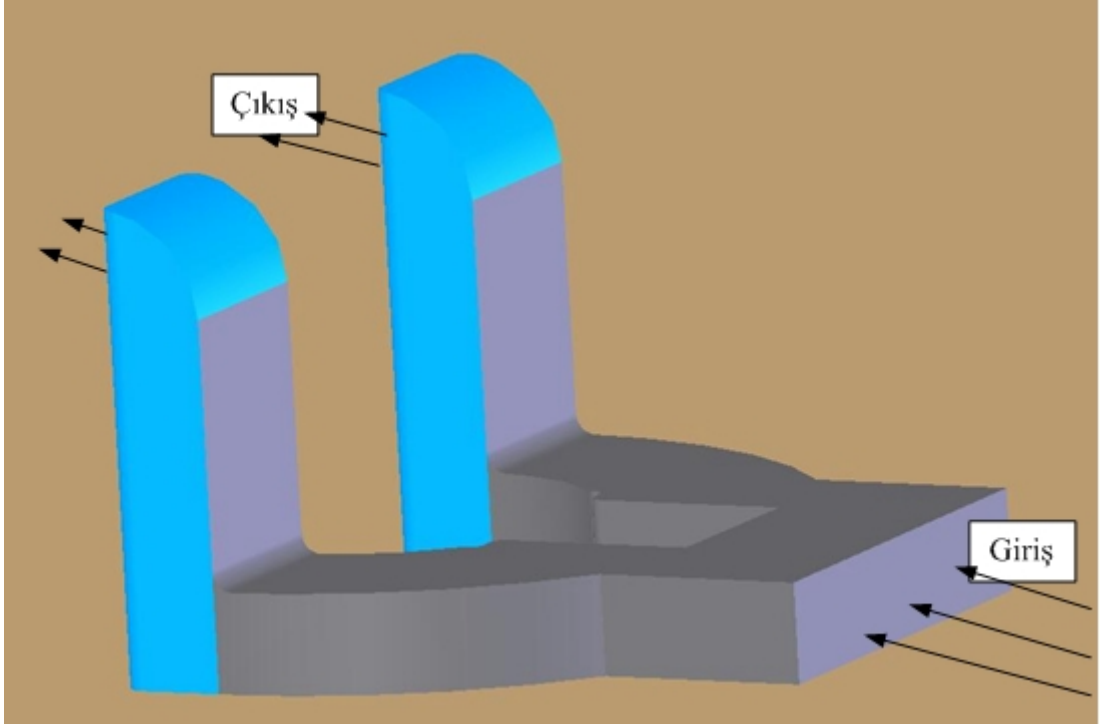
Taze besin bölmesinin tavanında bulunan termostat kutusu, üç parçadan (alt strafor, üst strafor ve termostat kutusu kapağı) ve bir termostattan oluşmaktadır. Termostat kutusu; bu bölümler arasında emiş kanallarını ve basma kanalının bir kısmını bulundurarak, dolap içindeki hava hareketinde etkin bir rol oynamaktadır. Evaporatör straforu, emiş kanallarının çıkışını ve basma kanalına ait ara kanalı bulundurmaktadır. 3W+3W gücündeki ısıtıcıların bulunduğu emiş kanalı çıkışları (Şekil 1.5, 1.6 ve 1.7), oluşan yoğuşma problemi açısından çok önemlidir.



Şekil 1.5 : Termostat kutusu ve parçaları (FF: Taze besin bölmesi (Fresh Food))



Şekil 1.6 : Evaporatör straforu ve ısıtıcıların kullanıldığı emiş kanalı çıkışları



Şekil 1.7 : Mevcut emiş kanal yapısına ait akış alanı

Yoğuşma, gaz fazında bulunan akışkanın, sıvı fazına geçme işlemidir. Örneğin, belirli bir karışım ve özellikteki hava-su buharı karışımı kendi çığlenme sıcaklığından daha düşük bir yüzeye karşılaştığı zaman karışım içindeki buhar, sıvı faza geçerek soğuk yüzey üzerinde bir sıvı filmi veya buz tabakası oluşturmaktadır. No-frost tipi buzdolaplarında bu tarz bir yoğuşmanın kontrollü olarak evaporatör yüzeyinde gerçekleşmesi istenir. Evaporatör yüzeyi, çığlenme sıcaklığının çok altında bir mertebede olması sebebiyle, yüzeyde yoğuşan nem kısa zamanda karlanmakta ve evaporatör kanatçıkları arasında kalan boşlukları doldurmaktadır. Kar ile kaplanan evaporatör belirli bir süre sonunda elektriksiz ısıtıcıların kullanımı ile eritilerek sistemin dışına atılmaktadır.

No-frost buzdolaplarında, taze besin bölmesi, seçilen termostat konumuna göre 4-5° C sıcaklık değerine sahipken, dondurucu bölmesinin sıcaklığı, besinlerin istenen özellikte olması için ortalama -18° C olmak zorundadır. No-frost dolaplarda belirtilen sıcaklık değerlerinin sağlanması için, iki ayrı hattan oluşan hava kanallarına gereksinim duyulmaktadır. Bu kanallardan biri, taze besin bölmesinden emilen nispeten sıcak ve nemli havayı evaporatöre ulaştıran emiş kanalı, diğeri ise evaporatör boyunca soğutulan ve nemi alınan soğuk havanın dondurucu ve taze besin bölmesine iletilmesini sağlayan basma kanalıdır.

Buzdolabının tasarımına göre bu bahsi geçen iki kanal birbirlerine çok yakın olabilmektedir. Böyle bir tasarım dolap içerisinde istenilmeyen bölümlerde problemler yaşanmasını sağlayabilmektedir. Bunların en önemlisi ise, dolap içinde bir bölgede soğuk yüzey oluşmasıdır. Kontrol dışı oluşan bu soğuk yüzey hava içinde gaz fazında bulunan suyun bu yüzeyde yoğunlaşmasını sağlamaktadır. Eğer bu soğuk yüzey, hava kanallarından biri içinde gerçekleşecek olursa, dış ortam koşullarına göre hava kanalının tıkanmasını ve dolabın işlevini kaybetmesini sağlar.

Yukarıda belirtilen şekilde oluşan yoğunlaşma ve donma problemlerini önleyebilmek için dolap içinde kritik bölümlere ısıtıcılar yerleştirilmektedir. (Bkz. Şekil 1.8 ve 1.9) Isıtıcıların görevi, problemin olduğu yüzeylerin sıcaklığını çığ noktası sıcaklığının üstünde tutmaktır. Bu pratik yöntemin en büyük sorunu, soğutulmaya çalışılan bir bölmeye fazladan ısı verilmesidir. Enerji tüketiminin çok önemli olduğu günümüz koşullarında, ısıtıcılar için harcanan güç ve ısıtıcıların soğutulan hacme vermiş olduğu ısı yük, dolapların enerji tüketiminde büyük bir yer tutmaktadır.



Şekil 1.8 : Isıtıcıların çalıştığı zamanki durum



Şekil 1.9 : Isıtıcıların çalışmadığı zaman oluşan buzlanma

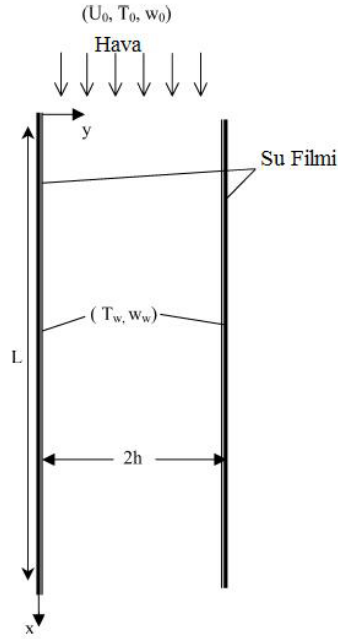
Bu çalışmanın amacı, emiş kanalının evaporatöre açılan kısmında oluşan karlanma problemini irdelemek ve bu kanal çıkışında yoğuşmanın oluşmaması için, konulan 3W+3W gücündeki ısıtıcıların kaldırılmasını sağlamaktır.

Emiş kanalı, evaporatörün üzerinde bulunan fanın, taze besin bölmesinden emdiği sıcak ve nemli havayı evaporatöre taşımaktadır. Genel olarak evaporatör dışında oluşan herhangi bir yoğuşma, “terleme” terimi ile ifade edilmektedir. Emiş kanalı çıkışında, çeşitli sebeplerden dolayı oluşan soğuk yüzey üzerinde terleme meydana gelmektedir ve yüzeyin çok soğuk olması sebebiyle, bu terleme dış ortam sıcaklığına bağlı olarak karlanmaya dönüşmekte ve kısa zamanda emiş kanalını tıkamaktadır. Tez çalışmasının ilk aşamasında, emiş kanalı çıkışında oluşan bu terleme probleminin sebepleri belirlenmiştir. Bu safhada dolabın ve kritik görülen bazı bölümlerin sıcaklık ve bağıl nem verileri alınmıştır ve çeşitli ortam koşullarında önceden belirlenmiş standart deneyler yapılmıştır.

Çalışmanın devamında, mevcut emiş kanallarının düzeltilmesi için farklı bir tasarım denenmiştir ve bu tasarımla ilgili sonuçlar üzerinde çalışılmıştır. Deneysel çalışmaların takibinde emiş kanalının belirli bir bölümünde CFD (Computational Fluid Dynamics) çalışmaları yapılmış olup, kanal içindeki akışın yapısı sayısal olarak saptanmaya çalışılmıştır. Deneysel veriler ile sayısal sonuçların karşılaştırılarak bir sonuca ulaşılması ile emiş kanalında meydana gelen terleme problemini ortadan kaldıracak yeni bir kanal tasarımı saptanmıştır.

2 LİTERATÜR ve PATENT ARAŞTIRMASI

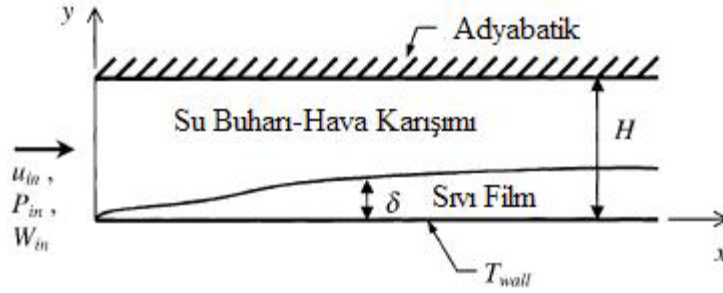
Buzdolaplarında yoğuşma konusu üzerine birçok çalışma yapılmıştır ve bu araştırmalar genel olarak kanal içindeki akış ve levha üzerindeki akış olarak iki kısımda incelenmiştir. Hammou ve arkadaşlarının [2] 2003 yılında yaptıkları çalışma, duvarları ıslak dikey bir kanal içindeki yoğuşmayı ve buharlaşmayı içermektedir (Şekil 2.1). Kanal içerisinden geçen laminer yapıdaki hava-buhar karışımının davranışı, eliptik denklemler kullanılarak nümerik olarak incelenmiştir. Tez içeriğinde yapılan çalışmada ise, su buharına sahip türbülanslı havanın kuru duvarlı kanallar içerisindeki hareketi incelenmiştir.



Şekil 2.1 : Duvarları ıslak dikey kanal içerisindeki hava akışının analizi

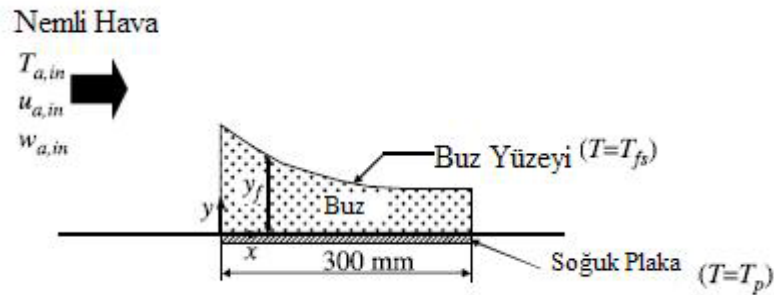
Yatay bir levha (Şekil 2.2) üzerinde iki fazlı akışların incelenmesi de yoğuşma konusunda yapılan çalışmalara örnek oluşturmaktadır. 2002 yılında, Siow vd., [3], yatay konumdaki kanallar içerisindeki buhar-hava karışımının oluşturduğu yoğuşma sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada; su buharı-hava ve R134a-hava karışımları,

girişteki gaz konsantrasyon değeri, Reynolds sayısı, basınç ve girişle duvar arasındaki sıcaklık farkı gibi dört bağımsız parametrenin kullanılması ile karşılaştırılmıştır. Aynı şartlar altında yapılan çalışmalara rağmen R134a-hava karışımının levha üzerinde oluşturduğu film tabakasının kalınlığı, su buharı-hava karışımına oranla daha kalın olmuştur. Ayrıca, daha düşük ısı transferi oranı ve basınç gradyanının daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür.



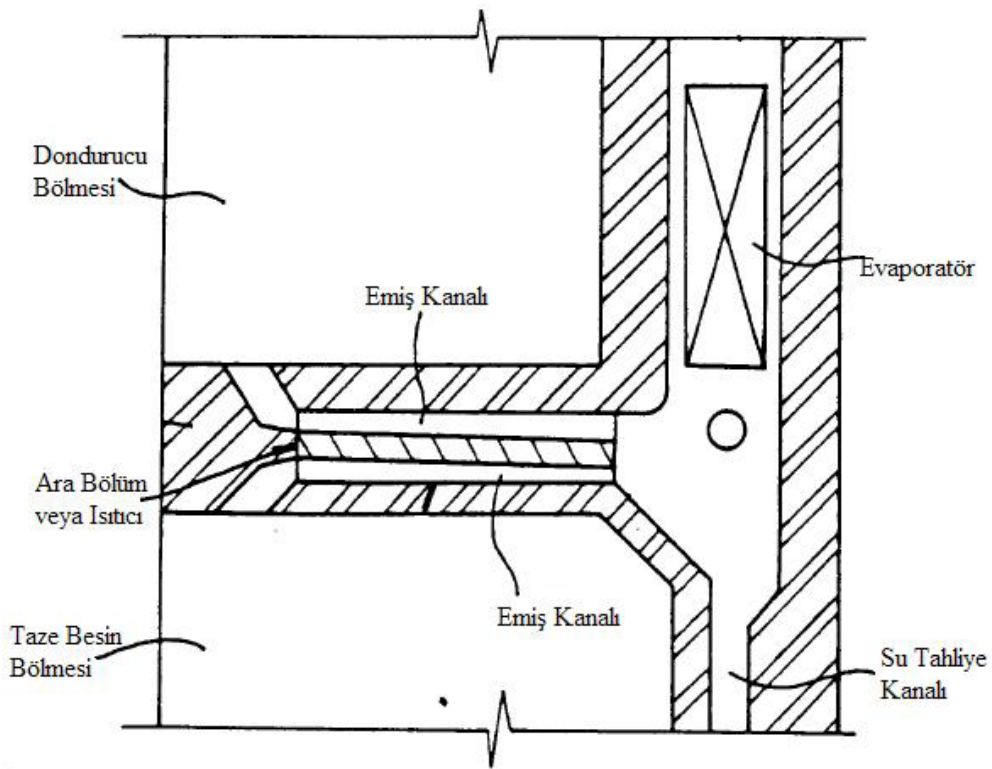
Şekil 2.2 : Yatay soğuk bir levha üzerinde yoğuşma

Buzdolabı içerisinde hava-su buharı karışımının yoğuşması ile oluşan sıvı filmi uygun şartlar dâhilinde faz değiştirerek donmaktadır. Tez konusu içinde incelenen bu olay ile ilgili 2006 yılında türbülanslı akış ortamında soğuk bir yüzey üzerindeki buzlanmanın yapısı incelenmiştir. (Şekil 2.3) Bu çalışma standart k-ε modelini ve buz tabakası için difüzyon denklemlerini içeren bir model üzerinedir. Sayısal çalışmalar, buz tabakasının, türbülanslı akış altında laminar akışa göre daha fazla büyüdüğünü göstermiştir. Ayrıca, türbülanslı akışta hızdaki artışlar kütle transferini çok az etkilerken, laminar akışta hızdaki artış buz kalınlığını etkilemektedir. Çalışmada ulaşılan bir başka sonuç ise, sabit bağıl nem değerinde, buz tabakasının kalınlığı sıcaklığın düşmesi ile artmaktadır [4].



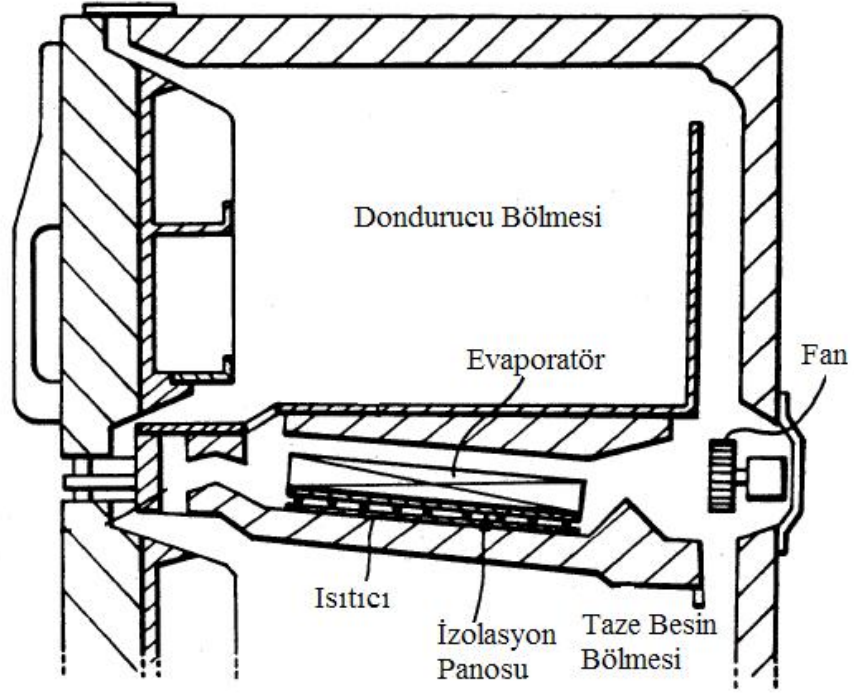
Şekil 2.3 : Buz tabakasının gelişiminin incelenmesi

Dae woo elektronik firmasının 1995 yılında almış olduğu EP0644385 numaralı patentte [5] ise, buzdolabı içerisinde havayı soğutan evaporatörün bulunduğu soğutma devresinin verimi, sirküle eden havanın tekrar evaporatöre gelmeden neminin alınmasıyla iyileştirilmesinden bahsetmektedir. Bu bakış açısıyla, dondurucu bölümündeki hava ile taze besin bölümündeki hava, evaporatöre hava ileten geri dönüş hava kanalına iletilirler (Şekil 2.4). Bu hava kanalı boyunca uzanan bölme, iki bölümden gelen akışa zıt yüzeylerinde karşılayarak ısı değiştiricisi gibi davranır. Havanın nem içeriğini düşüren bu parça, iletim katsayısı çok yüksek bir malzemeden yapılmalı veya ısıtıcı içermelidir.



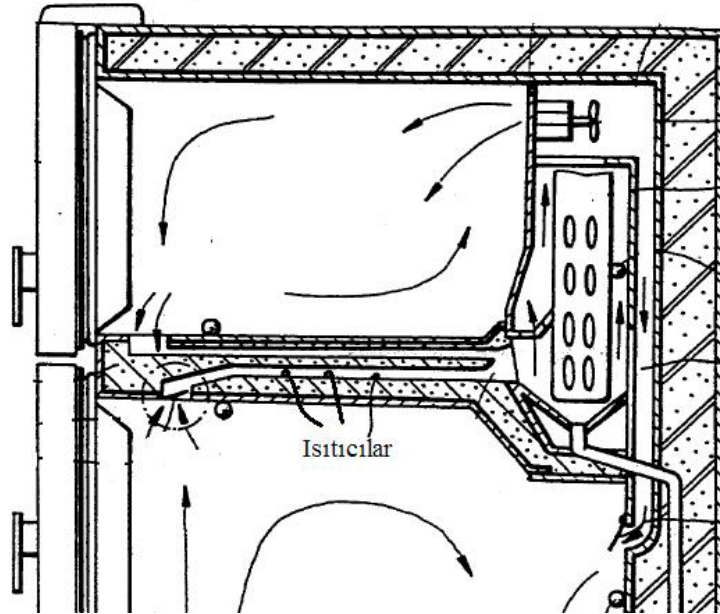
Şekil 2.4 : Taze besin bölümü emiş kanalı ile dondurucu bölümü emiş kanalı arasında ısıtıcı konulması

Beyaz eşya sektöründe etkin bir rolü olan Samsung firması, defrost montajı adlı başlıkla aldığı patentinde [6], evaporatörün ara bölmeye konulmasını; evaporatör altına bir ısıtıcı ve ısı izolasyon panosu yerleştirilmesini önermektedir (Şekil 2.5) . Dolap içinden emilen hava nemini burada bırakır ve ısıtıcının belirli çalışma koşulları içinde oluşan kar eritilerek su tahliye kanalına iletilir. Bu patentin uygulanması ile, ara kanalda, bir tıkanıklık veya kullanıcıyı rahatsız edecek bir yoğunlaşma oluşmamaktadır.



Şekil 2.5 : Evaporatörün ara bölme yerleştirilmesi

Ara kanallarda yoğuşmanın oluşmasını engellemek için kullanılan en pratik yöntem, kanallar içerisine belirli güçlere sahip ısıtıcı konulmasıdır. Dae woo firması bu tarz bir uygulamayı us5433086 sayılı patentinde [7] önermiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Emiş kanalı içerisine ısıtıcı konulması

Tez çalışmasında duvarları kuru olan bir kanal çıkışındaki yoğuşma problemi deneysel olarak incelenmiştir ve oluşan problemi daha iyi kavrayabilmek için sayısal çalışmalar yapılmıştır.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Emiş kanalları çıkışında meydana gelen yoğuşmanın ve donmanın neden oluştuğunu anlayabilmek için çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların ilk amacı, problemin sebeplerini, ısıtıcılı dolabın ve ısıtıcısız dolabın belirli ortam koşulunda sıcaklık ve nem haritalarını oluşturarak, saptamaktır. Bundan sonraki aşama ise, yoğuşmayı tetikleyen sistemleri içeren ek çalışmalar ile yeni kanal tasarımını kapsayan deneyleri içermektedir.

3.1 Deney Düzenineğinin ve Deney Metodolojisinin Tanıtılması

Bu bölümde, deneye başlamadan önce yapılan hazırlıklar, deney düzenineği, deneyin işleyiş metodu, dolaplara yapılan yüklemeler, nem sensörlerinin ve termokupulların yerleşim bölgeleri anlatılacaktır.

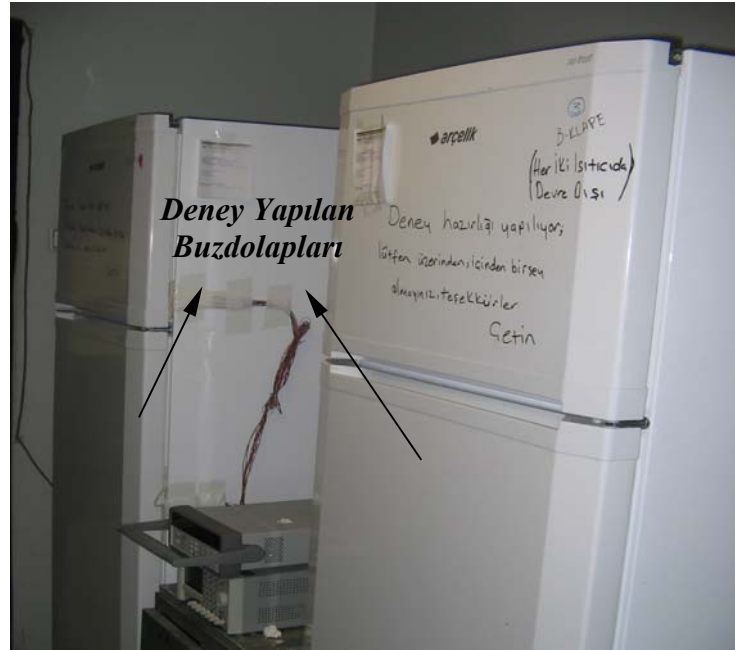
3.1.1 Deney Düzenineği

Deneylerin yapılabilmesi için veri toplayıcı, güç kaynağı, iki adet ara bölmesiz no-frost buzdolabı, bilgisayar ve sıcaklık ve nem değerleri kontrol edilebilen odalar kullanılmıştır. Deney yapılan dolaplardan bir tanesinin (dolap_1) emiş kanalı çıkışındaki ısıtıcılar devrede kalmıştır; diğer dolabın ise belirtilen bölgedeki ısıtıcıları devre dışı bırakılmıştır. Yapılan ilk ölçümlerdeki amaç, aynı klape konumları ve aynı ortamdaki dolaplar arasındaki belirlenen bölgelerde sıcaklık ve nem farklılıklarını görebilmektir.



Şekil 3.1 : Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanlar

Şekil 3.1’de görülen veri toplayıcıda 3 adet kart ve her bir kartta 20 kanal bulunmaktadır. Her bir dolapta bulunan 15 nem sensörü ve 15 termokupldan alınan (toplam 60 kanal) veriler, bu kartlar vasıtasıyla veri toplayıcıya, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Deney düzeneğinde kullanılan güç kaynağı ise bağlı nem sensörleri için gerekli olan gerilimi (5 V) sağlamaktadır.



Şekil 3.2 : Deneylerde kullanılan buzdolapları

Şekil 3.2’de gösterilen buzdolaplarında ortam sıcaklığı 10 °C ve 32 °C olan odalarda deneyler yapılmıştır. Elektrik kesintilerine bir önlem olarak dolaplar, güç kaynağı ve veri toplayıcı UPS sisteminden beslenmiştir.

Emiş kanalları içerisindeki yoğuşmayı ve donmayı görebilmek amacıyla, gerçek koşulları sağlayabilmek için Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, dolapların her birinin üçer rafına su ve sünger yüklemeleri yapılmıştır. Kapların her birinin ağırlığı yaklaşık 4 kg kadardır. Deneyler esnasında haftada iki kere kapların ağırlıkları yenilenmiştir ve süngerler ters çevrilmiştir. [8]

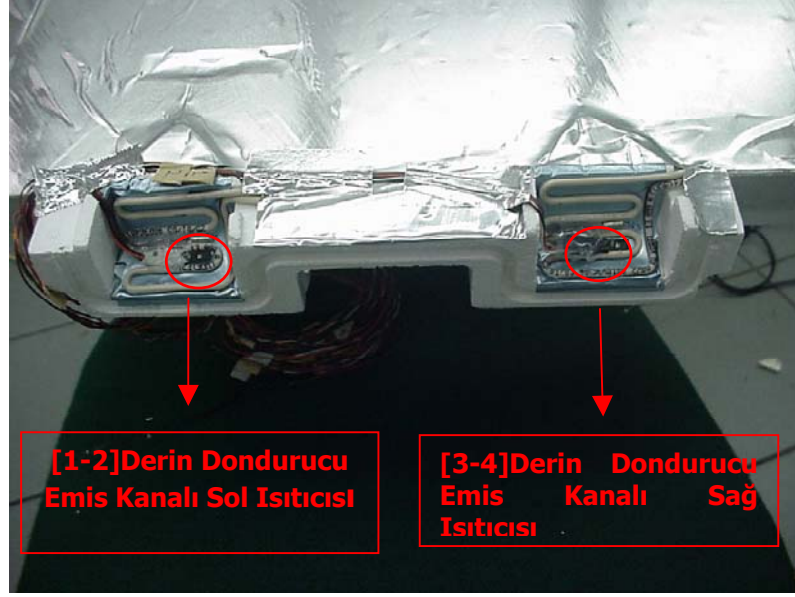


Şekil 3.3 : Dolaplardaki nem yükleme şekli

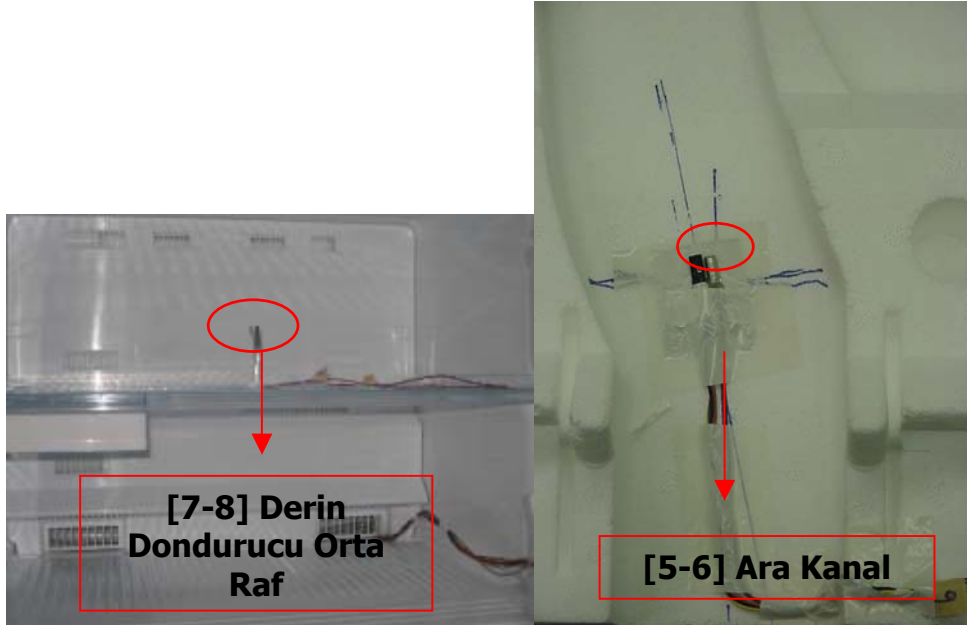
3.1.2 Termokuplların ve Nem Sensörlerinin Yerleşim Noktaları

Her iki dolapta önceden belirlenen noktalara 15 bağıl nem sensörü ve 15 termokupl yerleştirilmiştir. Noktalardan data değerleri birbirine yakın olanlar kendi içlerinde gruplara ayrılmıştır. Bu gruplar;

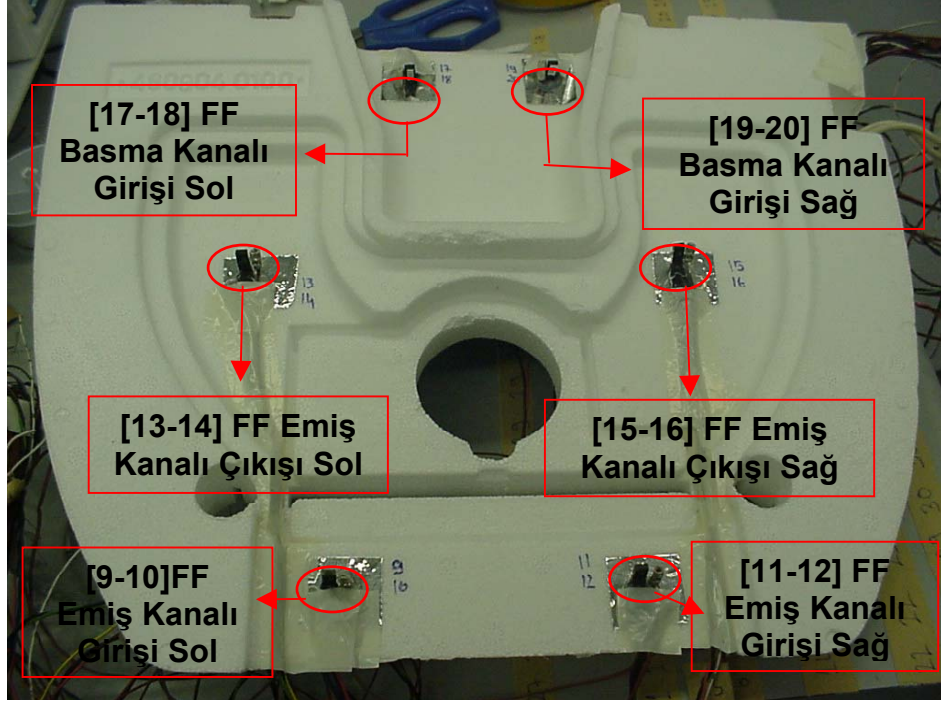
- I- Emiş kanalı çıkışı ve klape üzerindeki ısıtıcılar bölgesi. (Şekil 3.4 ve Şekil 3.7)
- II- Termostat kutusu içerisindeki basma kanalı bölgesi. (Şekil 3.6)
- III- Termostat kutusu emiş kanalları bölgesi. (Şekil 3.6)
- IV- Ara kanal ortası, dondurucu ve taze besin bölmesi, orta raflar bölgesi olarak belirlenmiştir. (Şekil 3.5 ve Şekil 3.8)



Şekil 3.4 : Emiş kanalları çıkışına yerleştirilen sensörler



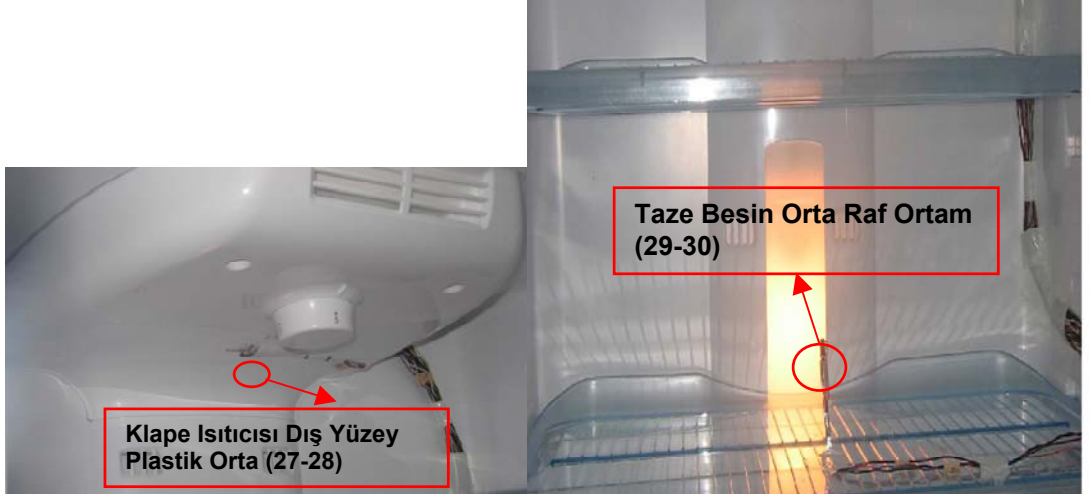
Şekil 3.5 : Dondurucu bölmesi ortamına ve ara kanala yerleştirilen sensörler



Şekil 3.6 : Termostat kutusu içine yerleştirilen sensörler (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi.)



Şekil 3.7 : Basma kanalı çıkışına ve termostat kutusu alt yüzeye yerleştirilen sensörler (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi.)



Şekil 3.8 : Taze besin bölmesine ve termostat kutusu dış yüzeyine yerleştirilen sensörler

3.2 Deneyler

Terleme deneyleri 10 °C ve 32 °C %85 bağıl nem ortamında yapılmaktadır. Bu iki farklı sıcaklığa ait özel koşullar aşağıdaki başlıklar altında ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

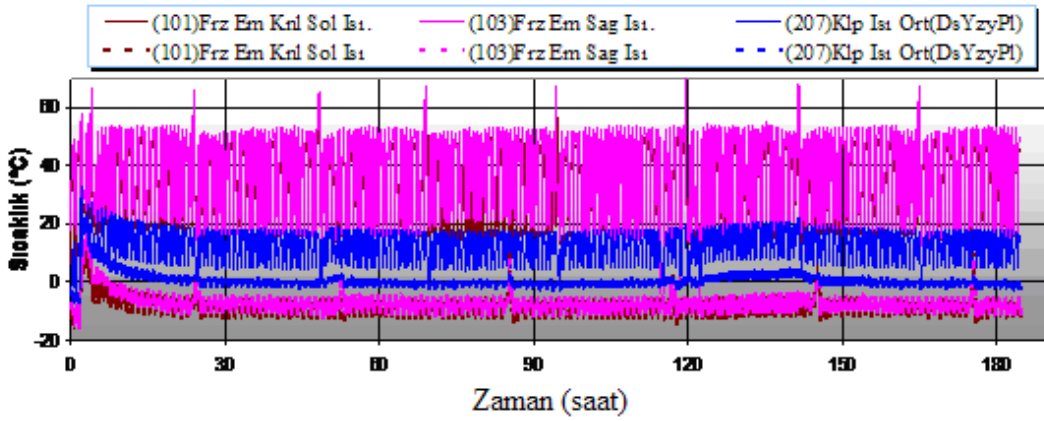
3.2.1 10 °C Deneyleri

10 °C ortam koşulunda yapılan deneylerde, dolaplar, düşük termostat konumuna ayarlanarak, raflarda belirtilen yükleme şekilleri ile kapıları açılmadan 5 gün süre ile yapılır. Bu ortam koşulunda dolap içinde oluşan terleme düşük sıcaklık değerleri yüzünden katı faza geçer ve kanal içinde buzlanma oluşur. Bu emiş kanalı çıkışında meydana gelen donma problemi zamanla kanal çıkışını kapatacak şekilde yoğunlaşır ve dolap içindeki hava çevriminin çalışmasını engeller. Ortam sıcaklığı 10 °C olan deneye ait veriler aşağıdaki tablo ve grafiklerde yer almaktadır.

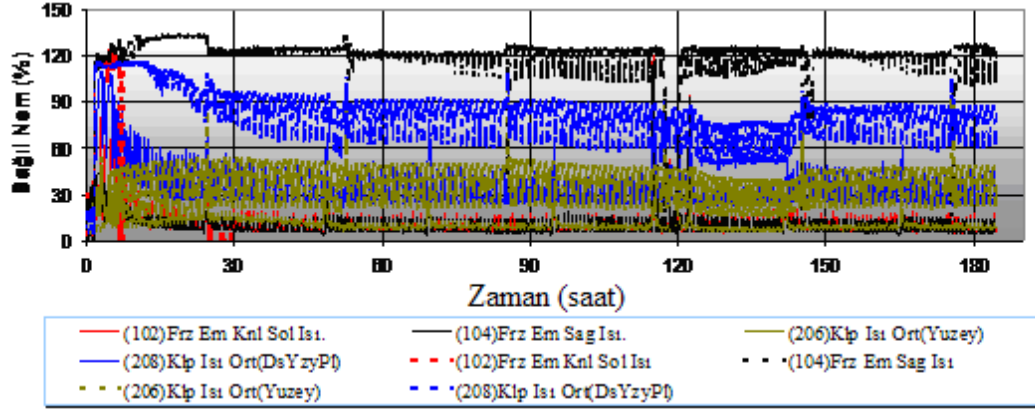
Tablo 3.1: Emiş kanalı çıkışı üzerinden okunan değerler

	Min (°C)	Maks (°C)
Dolap-I (Isıtıcılı)	0	5
Dolap-II (Isıtıcısız)	-12	-5

Bağıl nem değerleri ısıtıcılı dolapta % 5 ila % 15 arasında salınım yaparken, ısıtıcısız dolapta % 90 gibi oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu yüksek bağıl nem değeri, kanal boyunca havanın soğuduğunu belirten en önemli bulgudur. Isıtıcının devrede olduğu dolapta, hava sıcaklığı 0 °C'den yüksek olduğu için, yoğuşma olmamaktadır (şekil 3.9 ve şekil 3.10).



şekil 3.9 : Dondurucu bölmesi emiş kanalı ve klape üzerinden üzerinden okunan sıcaklık değerleri (FRZ: dondurucu (Freezer) bölmesi)

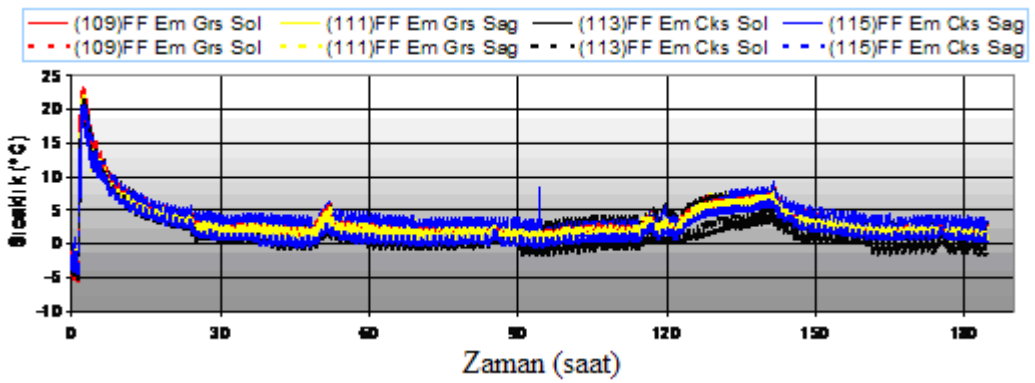


Şekil 3.10 : Dondurucu bölmesi emiş kanalı ve klape üzerinden okunan bağıl nem değerleri (FRZ: dondurucu (Freezer) bölmesi)

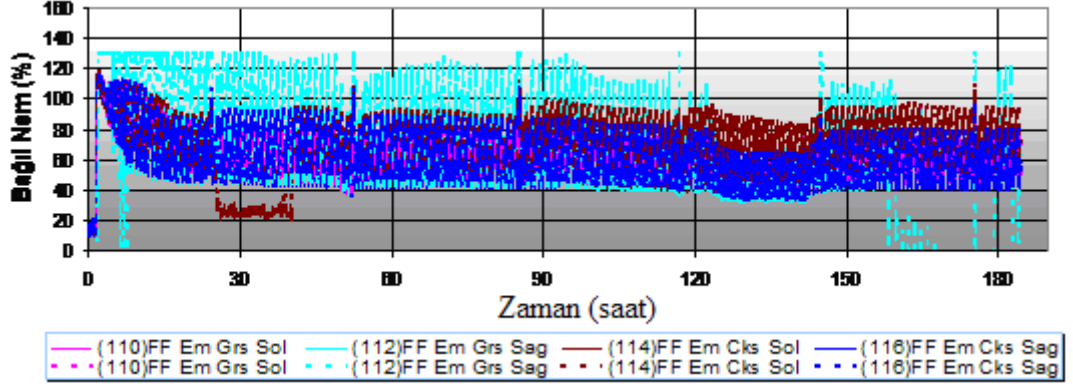
Tablo 3.2: Termostat kutusunun emiş kanalından alınan sıcaklık değerleri

	Min (°C)	Maks (°C)
Dolap-I (Isıtcılı) Emiş Kanalı Giriş-Çıkış	2,7 ; 2,5	3,5 ; 4
Dolap-II (Isıtcısız) Emiş Kanalı Giriş-Çıkış	1,2 ; -1,3	2,6 ; 0,7

Termostat kutusunun emiş kanalı bölgesinde ölçülen bağıl nem değerleri her iki dolapta da %40 ile %70 arasında değişmektedir (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12).



Şekil 3.11 : Termostat kutusundaki emiş kanalı üzerinden okunan sıcaklık değerleri (FF: taze besin (Fresh Food) bölmesi.)

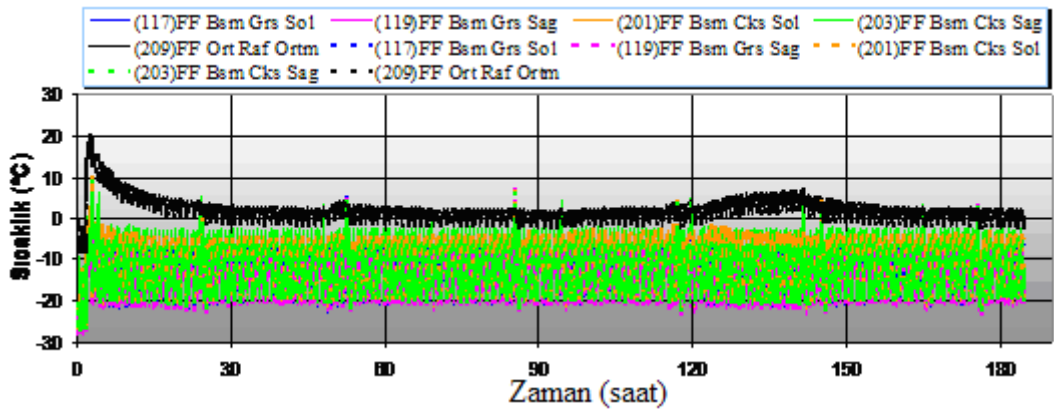


Şekil 3.12 : Termostat kutusundaki emiş kanalı üzerinden okunan bağıl nem değerleri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü.)

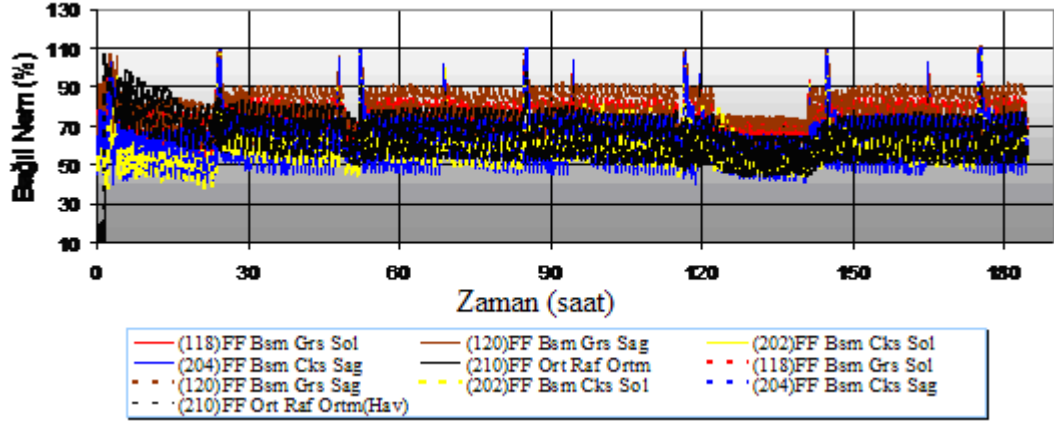
Tablo 3.1: Taze besin bölümü basma kanalı bölgesi

	Min (°C)	Maks (°C)
Dolap-I (Isıtıcı) Basma Kanalı Giriş-Çıkış	-20 ; -18	-5 ; -3
Dolap-II (Isıtıcısız) Basma Kanalı Giriş-Çıkış	-20 ; -20	-7 ; -7

Isıtıcı ve ısıtıcısız dolaplar arasında; sıcaklık, bağıl nem ve özgül nem değerleri için çok büyük farklılıklar görülmektedir. Bunun nedeni; bu kanallardan geçen havanın, nemini evaporatör üzerinde bırakmasıdır (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14).



Şekil 3.13 : Basma kanalından ve taze besin bölümünden alınan sıcaklık verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü.)

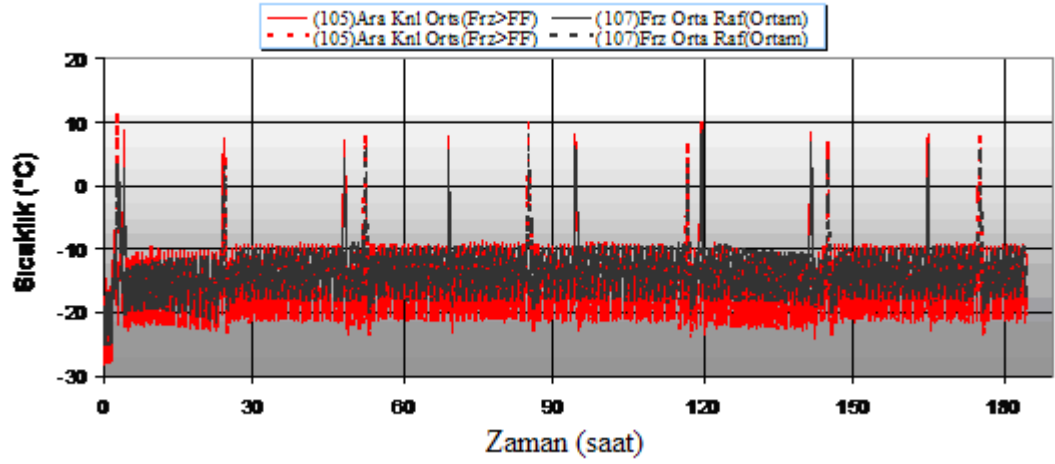


Şekil 3.14 : Basma kanalından ve taze besin bölümünden alınan bağıl nem verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü.)

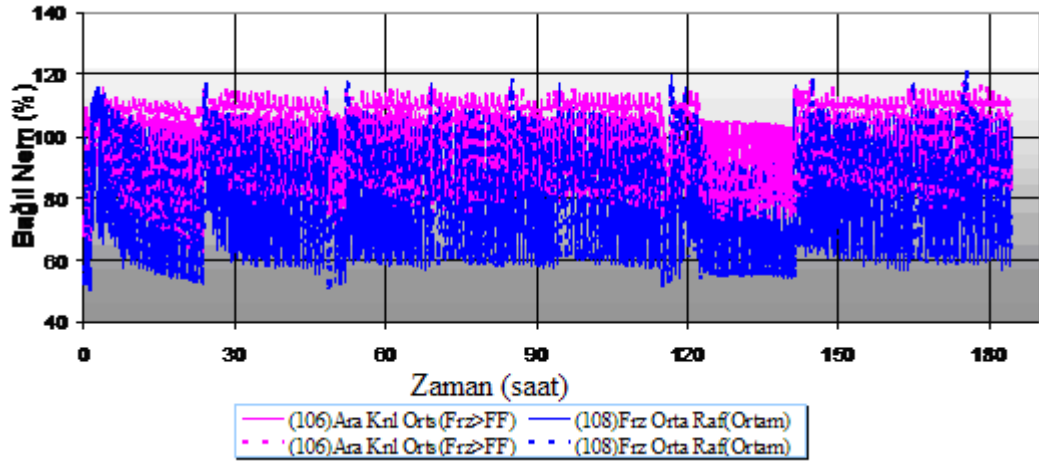
Tablo 3.4: Ara kanal ortası (derin dondurucudan taze besin bölümüne), dondurucu ve taze besin bölümü orta raflar bölgesi (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü, FRZ: Dondurucu (Freezer) bölümü)

	Min (°C)	Maks (°C)
Dolap-I (Isıtcılı) FF Orta Raf	-0,5	2,5
Dolap-II (Isıtcısız) FF Orta Raf	-2	-1,8
Dolap-I- II Ara Kanal Ortası	-21	-9
Dolap-I-II) FRZ Orta Raf	-17	-10

Dondurucu bölümü orta raf ve ara kanal ortası bağıl nem değerleri aynı olup, %60 ile %98 arasında değişmektedir (Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16).



Şekil 3.15 : Ara kanaldan ve dondurucu bölmesinden alınan sıcaklık verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü, FRZ: dondurucu (Freezer) bölümü)



Şekil 3.16 : Ara kanaldan ve dondurucu bölmesinden alınan bağıl nem verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü, FRZ: dondurucu (Freezer) bölümü)

Isıtıcıların dolap üzerindeki etkilerini daha iyi görebilmek için aşağıda bulunan grafikler incelenebilir: Bu grafiklerde belirtilen maksimum ve minimum değerler, aynı zamanda, dolap içinde sirküle eden havanın sıcaklık bakımından nasıl bir değişim geçirdiğini göstermektedirler.

3.2.2 32 °C Deneyleri

Terleme deneylerinin ikinci kısmı, ortam koşulları 32 °C sıcaklıkta ve %85 bağıl nem ortamında yapılmaktadır. Bu deneylerde dikkat edilen hususlar şunlardır:

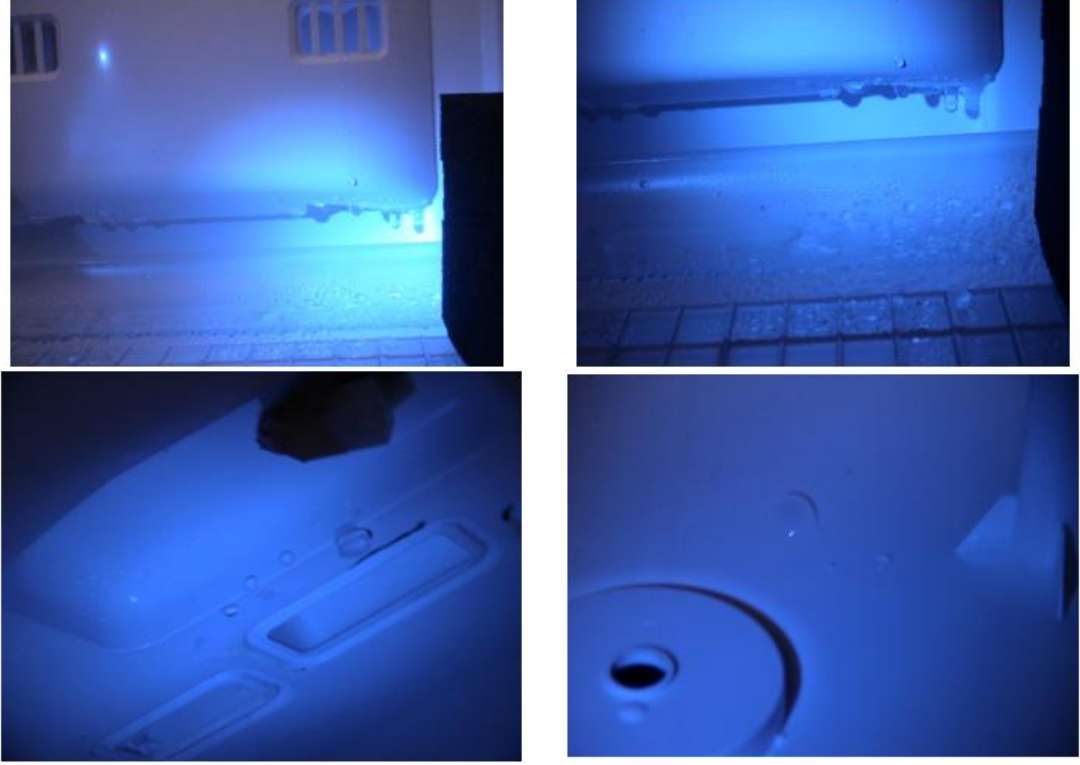
- Buzdolabının dondurucu bölmesine her 10 litre net hacim için 1 kg paket yerleştirilmiştir. Uygun ölçüde paketlerin birbiri ile temas etmemesi sağlanmıştır. 3” bakır uçluklu bloklar ile dondurucu bölmesinin yatay olarak geometrik ortasından sıcaklık ölçümü alınmıştır. Dondurucu raflar kullanılmıştır. Birden fazla raf olduğunda, orta raftan ölçüm alınmıştır.
- Taze besin bölmesinin her rafına ıslatılmış belirli boyutlardaki süngerler birbirine değmeyecek şekilde azami adette yerleştirilmiştir. Süngerler su dolu kovaya daldırılıp su emdirildikten sonra, suyunu damlatmayacak kadar sıkılmış ve raf üzerine su damlatılmadan yerleştirilmiştir. Süngerlerin yerleşim planında arka duvar, yan duvar ve kapıya temas olmamasına dikkat edilmiştir.
- Buzdolabı, ilk fişe takıldıktan sonraki “pull-down” ve sürekli çalışma süresi deneylere tabi değildir. Buzdolabı taze besin bölmesinin ve dondurucu bölmesinin kabin sıcaklıkları uygun şekilde ayarlandıktan sonra, dolabın rejime gelmesi beklenmiş ve belirli bir süre rejimde çalıştırılmıştır. Set veya termostat değerleri bu süre içinde değiştirildiğinde, tekrar rejime ulaşması için beklenilmiştir.
- Buzdolabı test koşullarına hazırlandıktan sonra taze besin bölmesi ve dondurucu bölmesi kapıları kapatılmış; gün boyunca 08:00 – 18:00 arasında her saat başı dondurucu bölmesi kapısı belirli bir süre boyunca açık tutulmuştur. Taze besin bölmesi kapısı ise her 30 dakikada belirli bir süre boyunca açık tutulmuştur.

Yukarıda belirtilen basamaklar takip edilerek, 5 veya 7 gün sonunda dolaplar içerisinde terleme probleminin olabileceği bölgeler incelenerek deneyler bitirilmiştir [9]. Bu çalışma içerisinde, üzerinde çalışılan ara bölmesiz dolabın ısıtıcıları yokken yapılan bu deneyde alınan sonuçlar aşağıdadır.



Şekil 3.18 : Taze besin bölümünde bulunan çoklu kanal straforunda oluşan terleme

Taze besin bölümünde, bulunan çoklu kanal straforun üzerindeki kanal çıkışlarında terleme nedeniyle oluşan buz parçacıkları görülmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.19 : Sebzelik üstünde ve termostat kutusunda oluşan yoğuşmalar

Çoklu kanal straforunun en alt kısmında oluşan terleme ile termostat kutusunun iç bölümünde oluşan yoğuşmalar gözlenmektedir (Şekil 3.19).



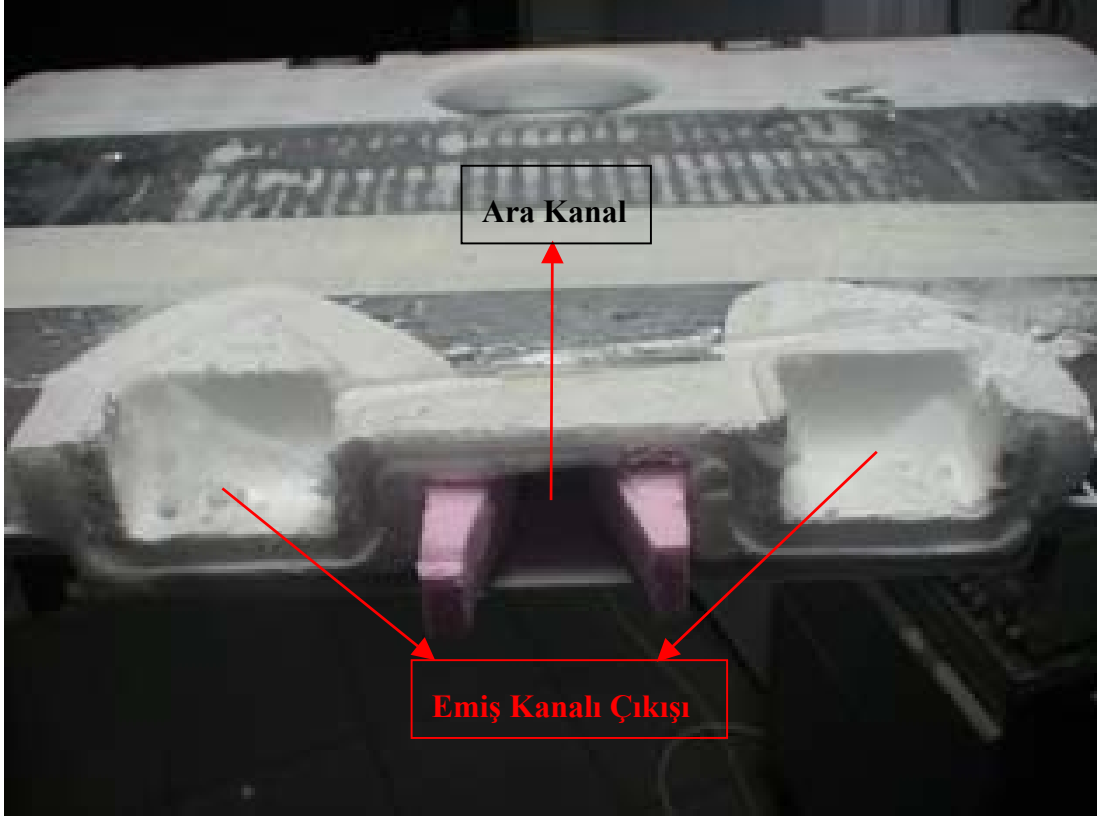
Şekil 3.20 : Termostat kutusu içinde oluşan terleme

Termostat kutusunda bulunan emiş kanalları içerisinde terleme sonucu oluşan su damlları tespit edilmiştir. Bununla birlikte görülen terlemenin ötesinde termostat kutusu içerisinde su birikmesi de olmuştur (Şekil 3.20).

Bu deneysel verilerin ışığında; emiş kanalı çıkışında emilen havanın, sadece ara kanal dolayısıyla oluşan ısı iletimi nedeniyle soğumadığı; emilen havanın kanal çıkışında soğumasını sağlayan bir diğer faktörün de no-frost buzdolaplarında kompresörle birlikte fanın da çalışması ile ilgili olduğu sonucuna varılmıştır [10].

3.2.3 Ara Kanal İzolasyonu Deneyleri

Ara kanalın emiş kanalı çıkışına denk gelen bölümlerine izolasyon malzemesi eklenerek iki kanal arasındaki ısı geçişinin önüne geçilmek istenmiştir (Şekil 3.21).

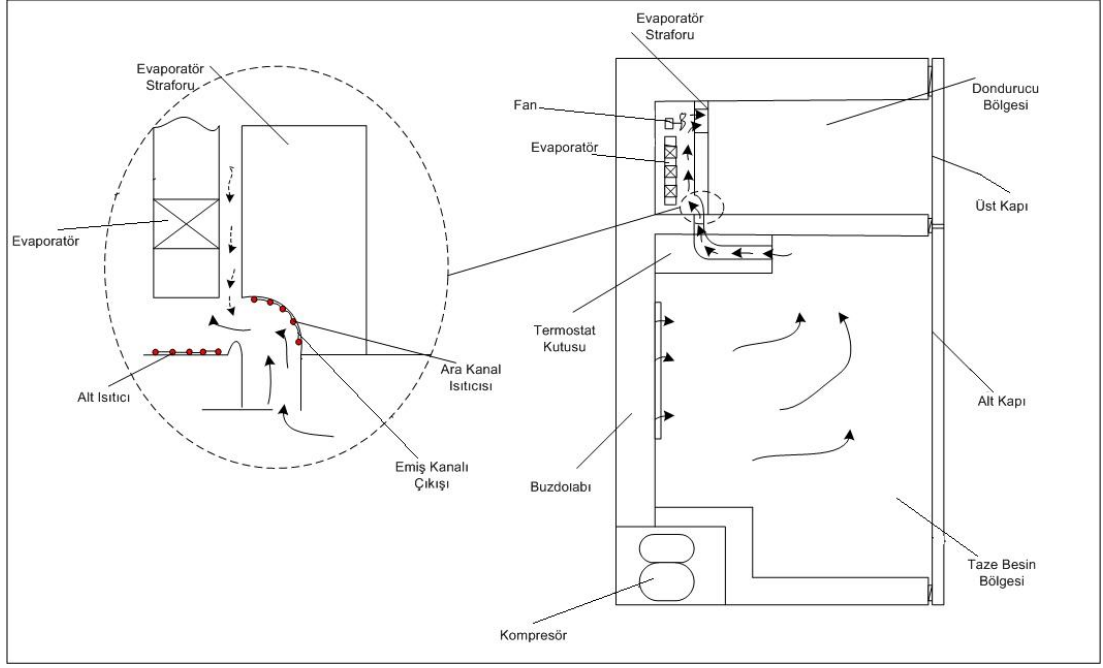


Şekil 3.21 : Ara kanal izolasyonu uygulanmış deney sonucu

Isıtıcısız dolaplarda yapılan deneylerde, kanal çıkışında oluşan buzlanmanın, ara kanala yakın noktalardan; ara kanala izolasyon konulması ile yapılan deneyler sonucunda ise kanal çıkışının ara kanala uzak bölgesinden başladığı saptanmıştır (Şekil 3.21). Kanal çıkışının diğer köşesinden başlayan buzlanma, bütün kanal boyunca yayılmaktadır. Bu deneyin sonucunda kanallar arasındaki ısı transferinin buzlanma ve yoğuşma üzerindeki etkisi belirlenmiş olmasına rağmen, sorunun çözümü için kesin bir yanıt bulunamamıştır [11].

3.3 Yeni Kanal Tasarımı

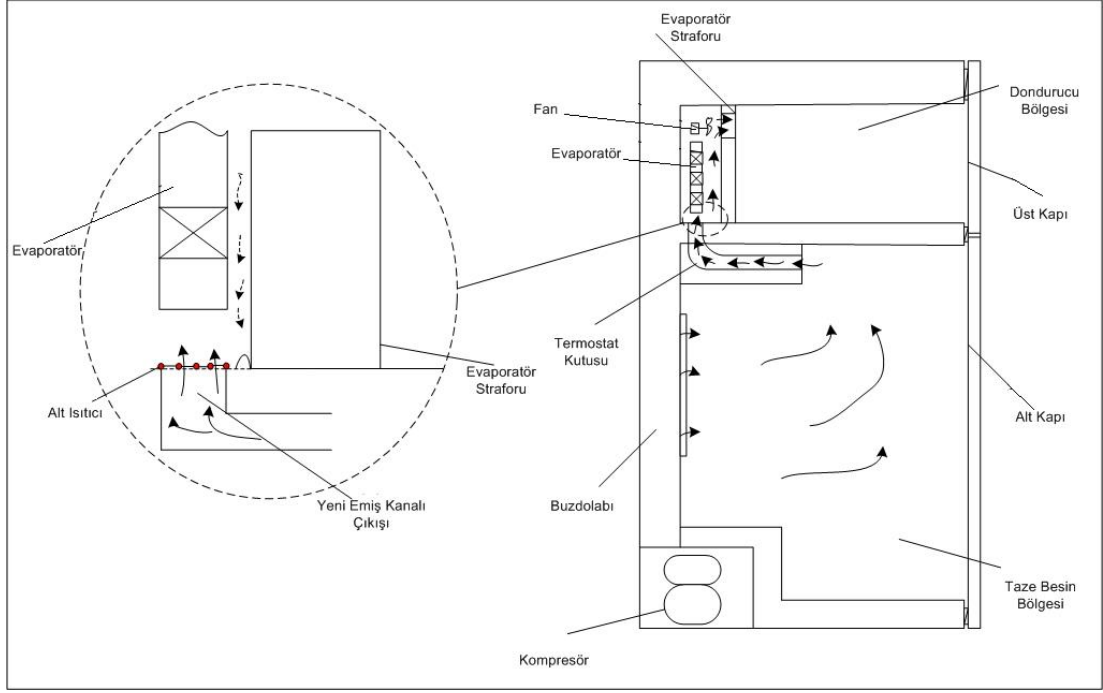
Mevcut kanal yapısı şekil 3.22’de görüldüğü gibi termostat kutusundan başlayarak evaporatör straforunda bitmektedir. Evaporatör straforunda emilen hava kanal doğrultusundan 90°’lik bir dönüşle evaporatöre yönlendirilmektedir.,



Şekil 3.22 : Mevcut kanal yapısının 2-B görünümü

Yapılan deneylerde ve görsel çalışmalarda tespit edildiği gibi kanal yapısının bu şekilde olması kanal çıkışında terlemeye sebep olmaktadır ve bu terleme düşük sıcaklıktaki ortam koşullarında, kanalın buzla tıkanmasına; yüksek sıcaklıktaki ortam koşullarında ise, termostat kutusu içerisinde su birikintisi oluşmasına neden olmaktadır.

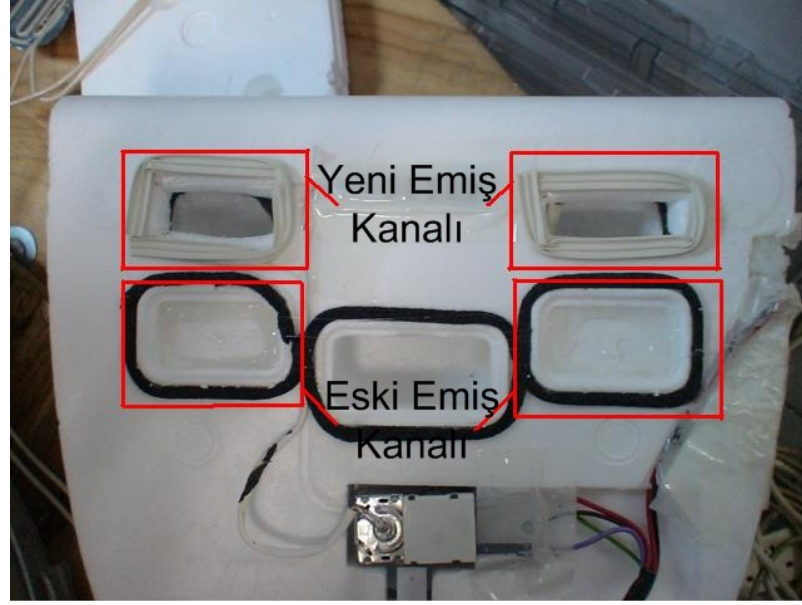
Çeşitli denemeler sonunda kanal yapısında Şekil. 3.23'te gösterildiği gibi bir değişiklik yapılmıştır.



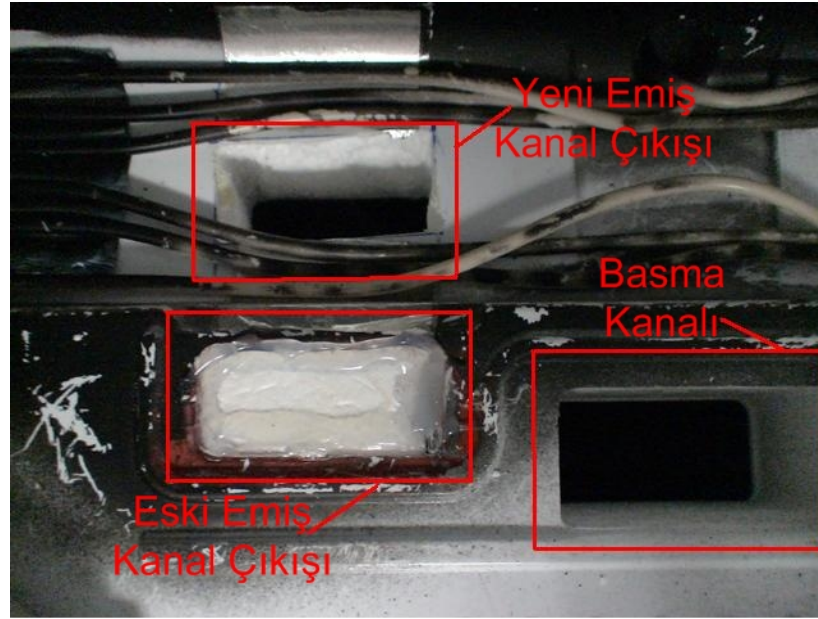
Şekil 3.23 : Yeni kanal yapısının 2-B görünümü

Emiş kanalının çıkışı yeni tasarım ile yaklaşık 2 cm kadar dolabın arkasına ötelenerek evaporatörün altına alınmıştır. Bu değişiklik aynı zamanda termostat kutusu içerisinde yer alan straforlarda da yapılarak yeni kanal yapısı oluşturulmuştur [11].

Şekil 3.24 ve 3.25'te yeni tasarım için dolap üzerinde yapılan değişiklikler gösterilmektedir.



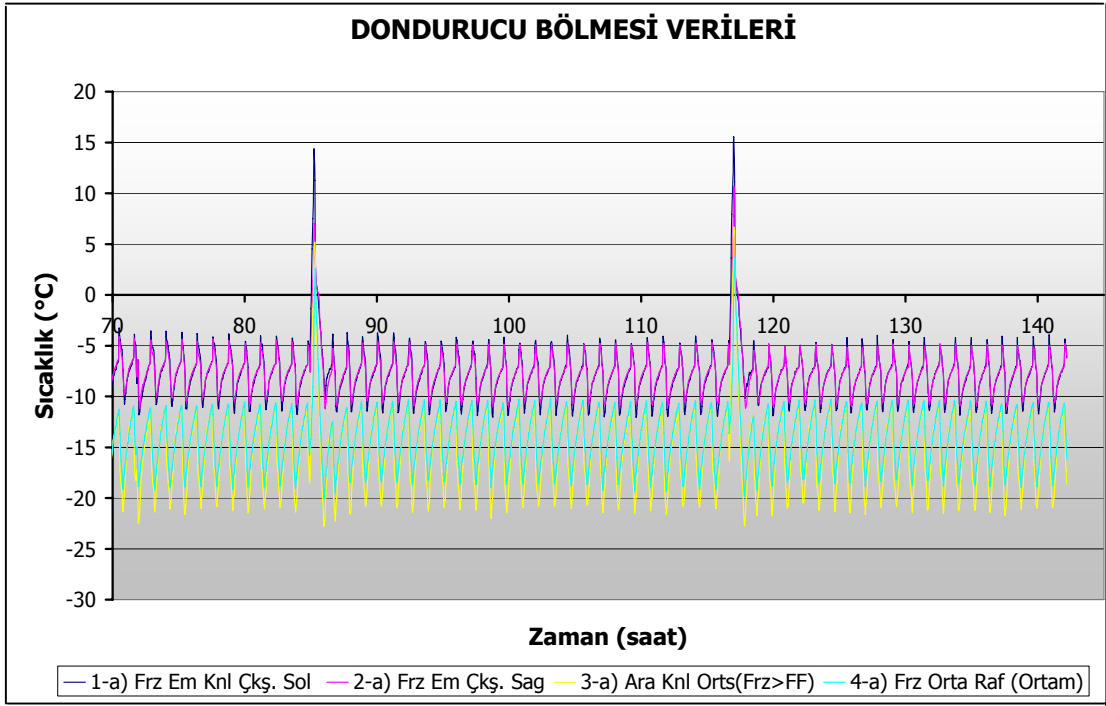
Şekil 3.24 : Termostat kutusunda yapılan değişiklikler



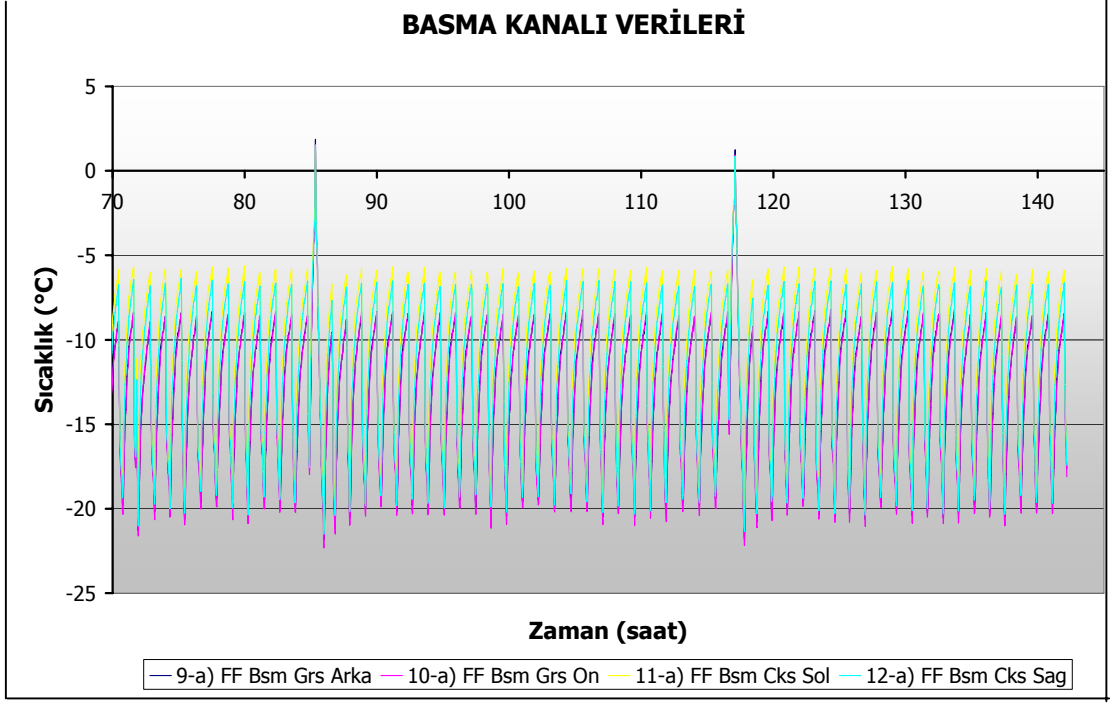
Şekil 3.25 : Dondurucu bölmesinin tabanında yapılan değişiklikler

Yeni kanal tasarımına sahip dolapta 10 °C dış ortam koşulunda yapılan deney verileri Şekil 3.26, 3.27 ve 3.28’de gösterilmektedir. Ölçülen sıcaklık değerleri ısıtıcısız dolabın verileri ile örtüşmektedir. Deney verilerinin benzerliğine rağmen görsel olarak alınan sonuçlar birbirinden farklıdır. Şekil 3.25’te yeni tasarımın deney sonrası görüntüsü ile Şekil 1.9’daki deney sonrası görüntüleri ile farklılıklar gözetmektedir. Yeni tasarıma sahip dolapla yaklaşık 3 ay boyunca yapılan deneylerde emiş kanalları içerisinde hiçbir tıkanıklık olmamıştır. Böyle iyi bir sonuç

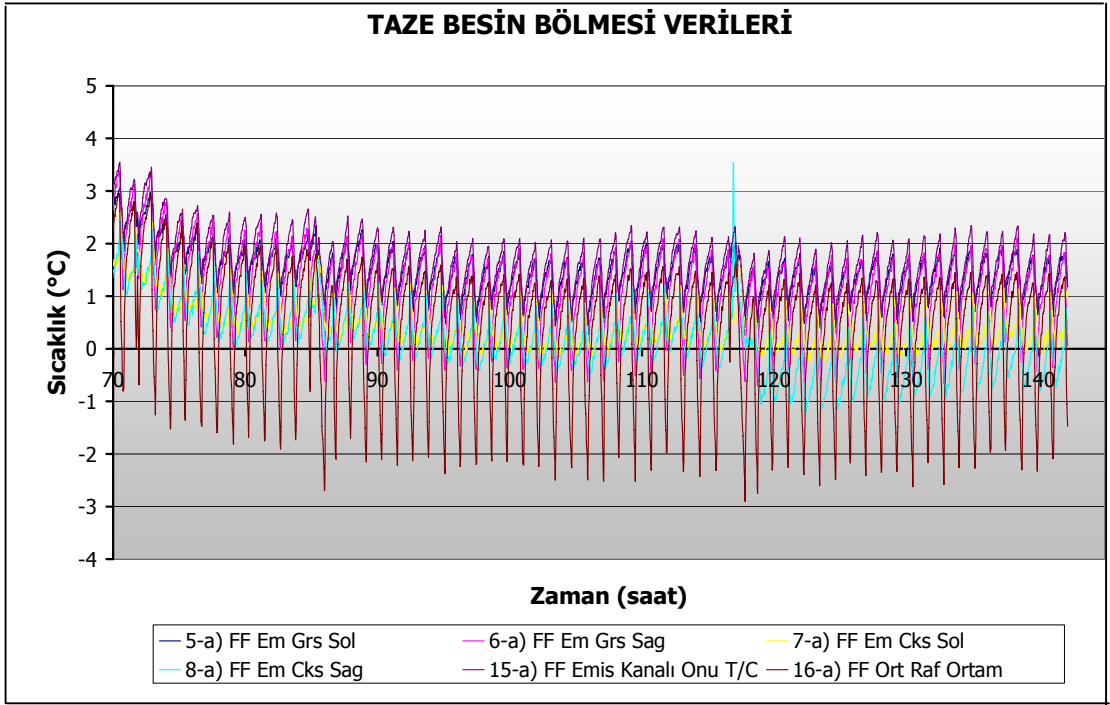
alınması, mevcut kanalda yoğuşma probleminin oluşumunun yeni tasarım ile engellendiği gözükmektedir. Sonuç olarak, yeni kanal tasarımı ile kanal içinde dolabın performansını olumsuz yönde etkileyecek bir yoğuşmaya veya donmaya rastlanmamıştır. Yeni tasarımın bir başka olumlu etkisi ise emiş kanallarında kullanılan ısıtıcıların etkilerini ortadan kaldırmış olmasıdır.



Şekil 3.26 : Dondurucu bölümüne ait sıcaklık verileri (FRZ: dondurucu (Freezer) bölümü.)



Şekil 3.27 : Basma kanalına ait sıcaklık verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü.)



Şekil 3.28 : Taze besin bölümüne ait sıcaklık verileri (FF: taze besin (Fresh Food) bölümü.)

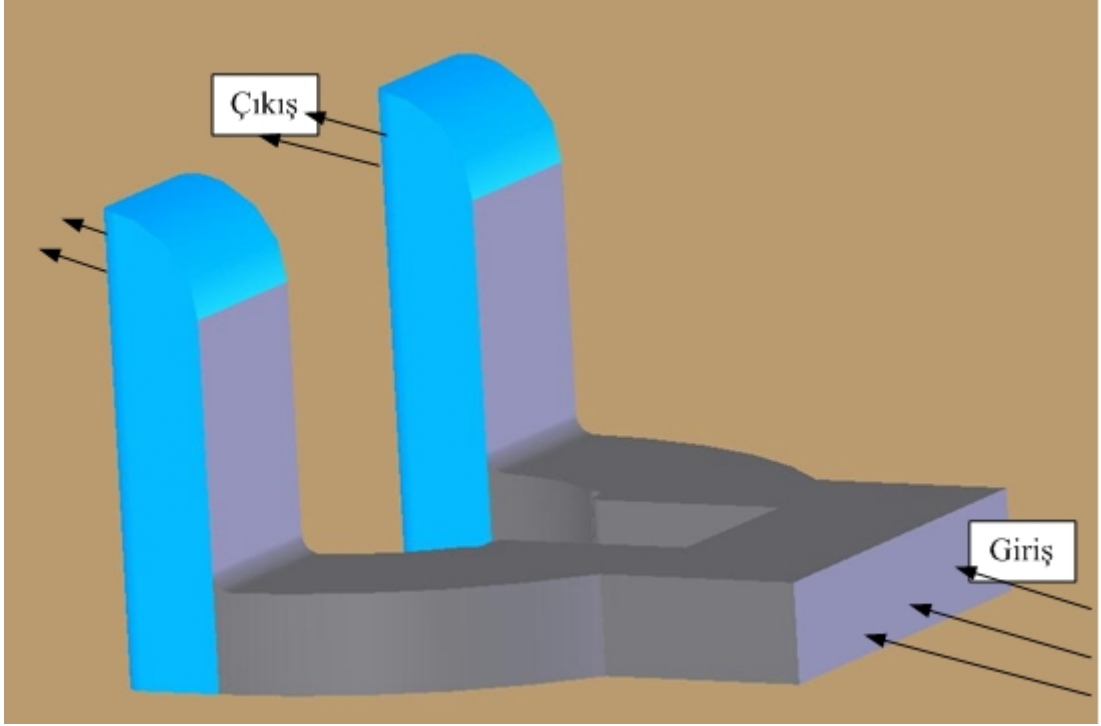
4 SAYISAL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmaların yapılmasında zaman ve mali zorluklar dolayısıyla, günümüzde sayısal yaklaşım ile yapılan çalışmaların önemini daha da arttırmıştır. Bu çalışmada termostat kutusu içerisindeki emiş kanalının ve yeni tasarımın geometrik özellikleri kullanılarak oluşturulan modellerde FLUENT® paket programı kullanılarak çeşitli analizler yapılmıştır.

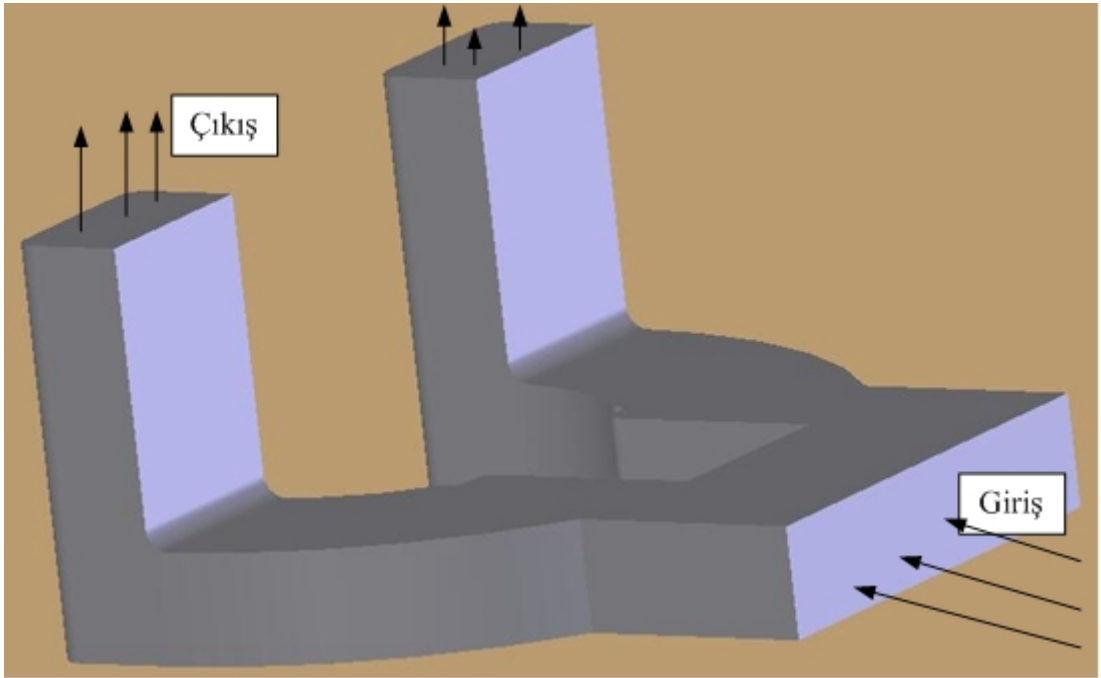
4.1 Çalışmalarda Kullanılan Modellerin ve Sınır Şartların Tanıtılması

4.1.1 Modeller

Mevcut emiş kanalı ve yeni tasarım için gerekli olan geometrik modeller, termostat kutusu içindeki akış alanının çıkarılması ile elde edilmiştir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'deki analizlerde kullanılan yeni ve eski akış alanları gözükmektedir.



Şekil 4.1 : Termostat kutusundaki emiş kanalının akış alanı

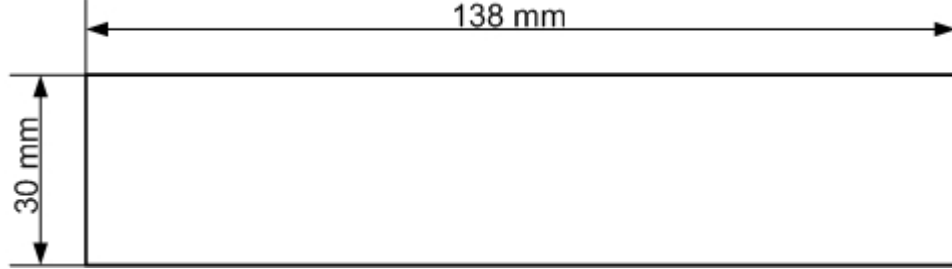


Şekil 4.2 : Yeni tasarıma ait emiş kanalının akış alanı

4.1.2 Sınır Şartları

Analizler için gerekli olan sınır şartları için deneysel çalışma sonuçları kullanılmıştır. Buzdolabının rejim halindeki çalışması esnasında termostat kutusunda emiş kanalı

üzerinden yüzey ve hava sıcaklıkları okunmuştur, ayrıca emiş kanalı girişindeki hızı hesaplayabilmek için LDA (laser doppler anemometry) yöntemi ile taze besin bölmesine gönderilen havanın miktarı ($Q=2,5$ l/s) hesaplanmıştır. Bu değerden emiş kanalı girişindeki hız hesaplanabilmiştir.



Şekil 4.3 : Emiş kanalı girişi için sayısal çözüm alanı

Emiş kanalı içinde akışın yapısını belirleyebilmek için Reynolds sayısının değeri hesaplanmıştır. Kanal girişi kesit alanı

$$A_k = 30 \times 138 = 4140 \text{ mm}^2 = 0,00414 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$

Girişteki hız değeri

$$V = \frac{Q}{A_k} = 0,6 \text{ m / s} \quad (4.2)$$

Girişin çevresi

$$\zeta = (30 + 138) \times 2 = 336 \text{ mm} = 0,336 \text{ m} \quad (4.3)$$

Hidrolik çap

$$d_h = \frac{4 \times A_k}{\zeta} = \frac{4 \times 0,00414}{0,336} = 0,049 \text{ m} \quad (4.4)$$

Reynolds sayısı

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d_h}{\nu} = \frac{0,6 \times 0,049}{1,33 \times 10^{-5}} = 2211 \quad (4.5)$$

Yukarıda belirtilen sınır şartlarıyla birlikte analizler 3 boyutlu ve parçalı (segregated) olarak yapılmıştır. Reynolds sayısının 2300 e çok yakın olması nedeniyle akış yapısı

türbülanslı olarak seçilmiştir. Kanal içi akışlarda standart k-ε modelinin diğer modellere göre daha efektif olması nedeniyle bu modelin kullanımı tercih edilmiştir.

Standart k-ε modeli, türbülans modelleri arasında en yaygın modeldir. İki denklemden oluşan bu model, akışın türbülans özelliklerini gösterebilmek için fazladan iki denkleme sahiptir. Bu iki denklemin kullanımı ile türbülans enerjisinin taşınımı ve difüzyonu çözümlerde göz önüne alınır. İlk değişken türbülans kinetik enerjidir (k), ikincisi ise türbülans disipasyonudur (ε). Epsilon türbülansın ölçeğini belirlerken, k türbülanstaki enerjiyi belirler.[12] Standart k-ε modeline ait denklemler şunlardır: [13]

k için

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (4.6)$$

ε için

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (P_k + C_{3\varepsilon} P_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (4.7)$$

k- ε modeli için türbülanslı viskozite şu şekilde modellenmiştir:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.8)$$

k'nın üretimi

$$P_k = -\rho u_i u_j \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (4.6a)$$

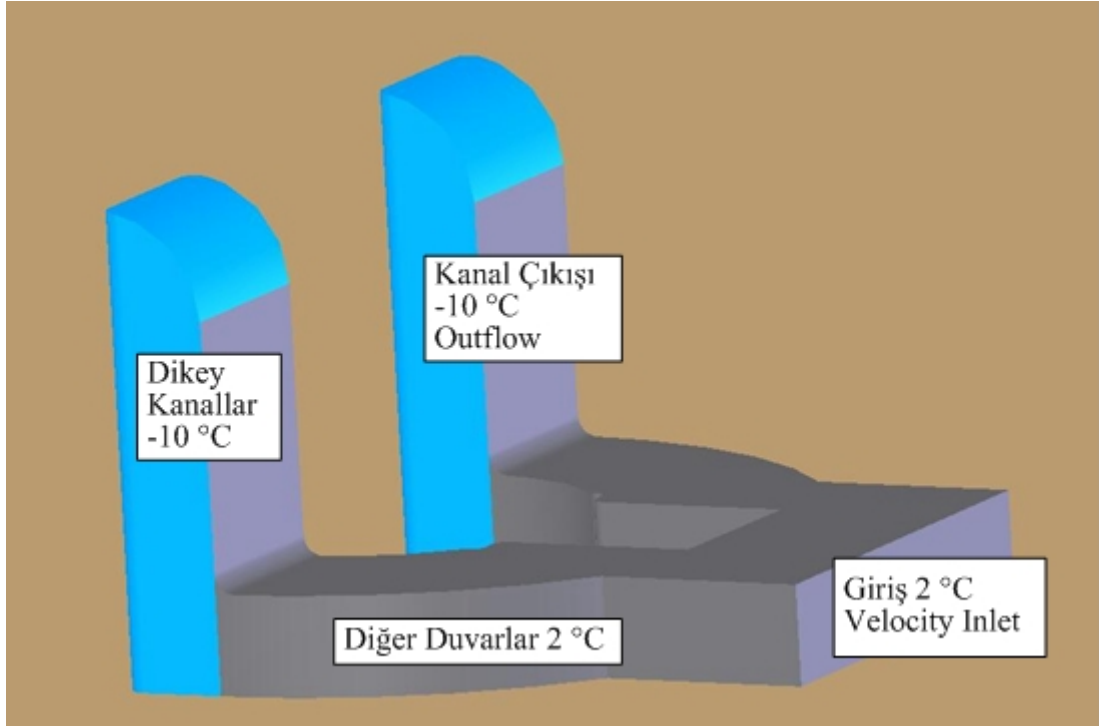
Kaldırma kuvvetinin etkisi

$$P_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (4.6b)$$

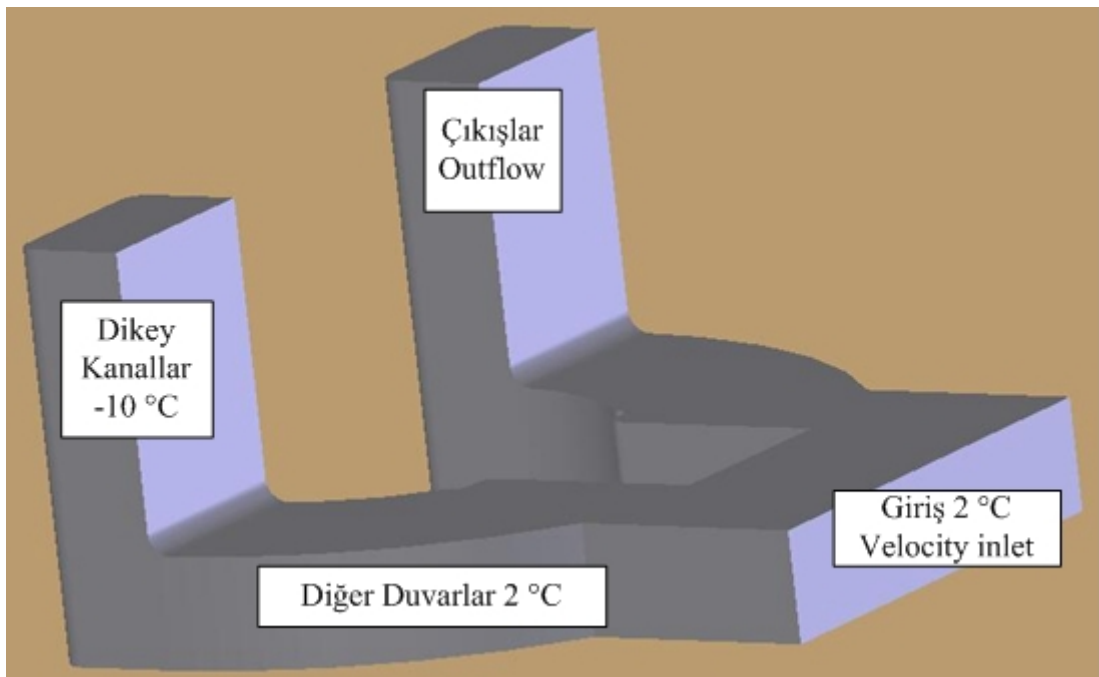
Model sabitleri

$$C_{1\varepsilon} = 1,44 \rightarrow C_{2\varepsilon} = 1,92 \rightarrow C_{\mu} = 0,09 \rightarrow \sigma_k = 1 \rightarrow \sigma_{\varepsilon} = 1,3$$

Enerji analizi için duvar ve akış sıcaklıkları her iki model için Şekil 4.4 ve 4.5'te gösterildiği gibi verilmiştir.



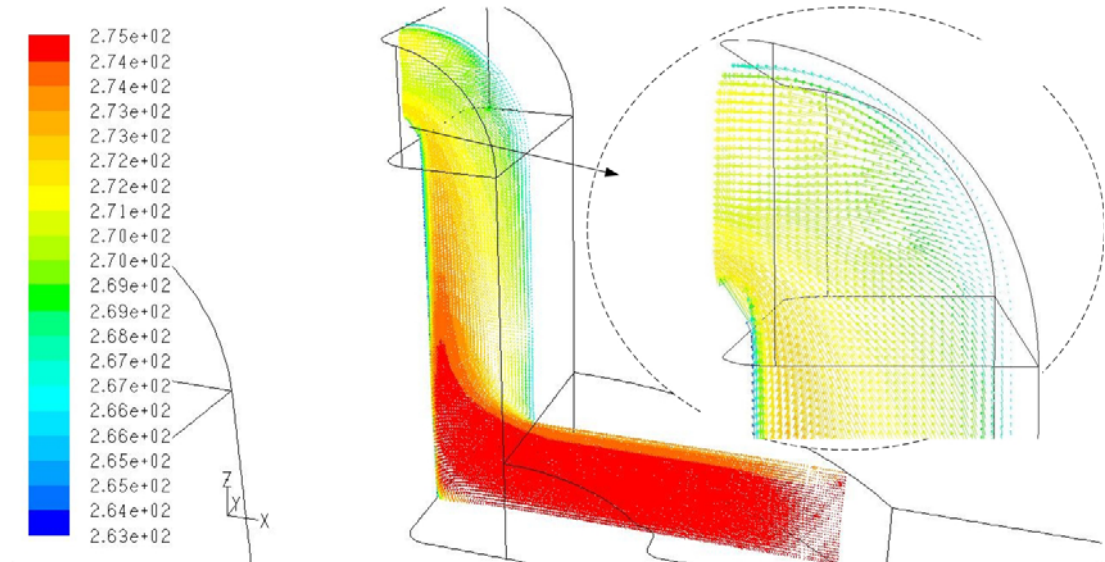
Şekil 4.4 : Mevcut kanala ait sınır şartları



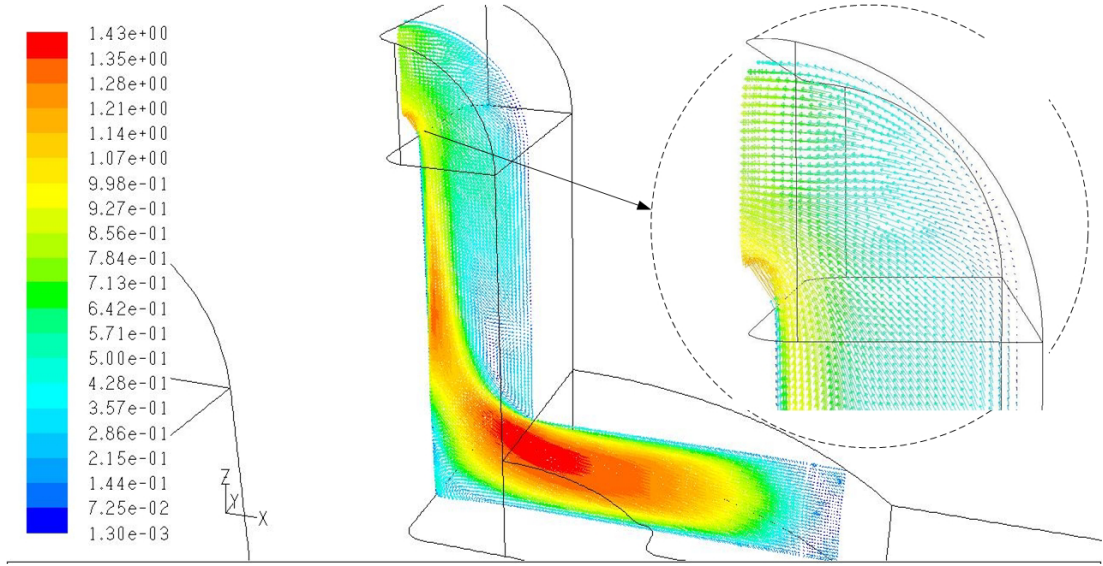
Şekil 4.5 : Yeni tasarlanan kanala ait sınır şartları

4.2 Mevcut Kanal ile Yeni Kanal Tasarımı Arasındaki Farkların Yorumlanması

Mevcut emiş kanallarında yapılan analizler aşağıda gösterilmektedir. Şekil 4.6'da emiş kanalındaki en kritik bölgeye ait sıcaklığa göre renklendirilmiş hız vektörleri gösterilmektedir. Kanal içindeki havanın çıkışa geldiği zamanki değişimi net bir şekilde gösterilmiştir. Yukarı yönlü akan akış, kısa bir mesafede dönerek evaporatöre yönlenmektedir. Bu keskin dönüş anında akış eğrisel yüzey üzerinde durarak hızlı bir şekilde soğumaktadır. Hızlı soğuma yukarıdaki deneylerde belirtildiği gibi bağıl nem değerinin kısa bir zaman diliminde yükselmesini sağlamaktadır. Bağıl nemin bu ani yükselişi, kanal çıkışındaki yoğuşmayı hızlandırmaktadır.

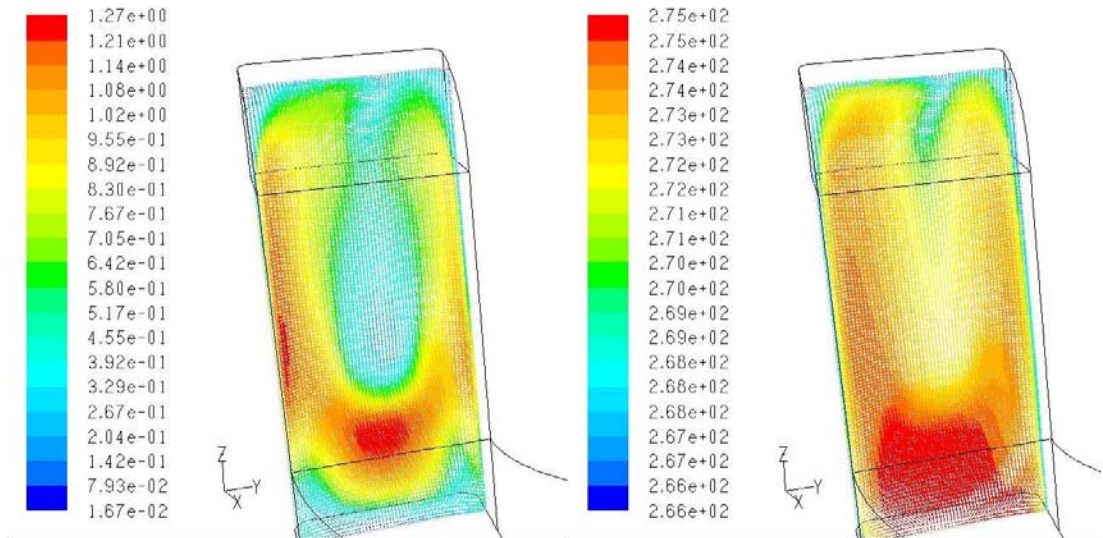


Şekil 4.6 : Mevcut emiş kanalı içerisindeki hız vektörleri ile sıcaklık dağılımının gösterimi

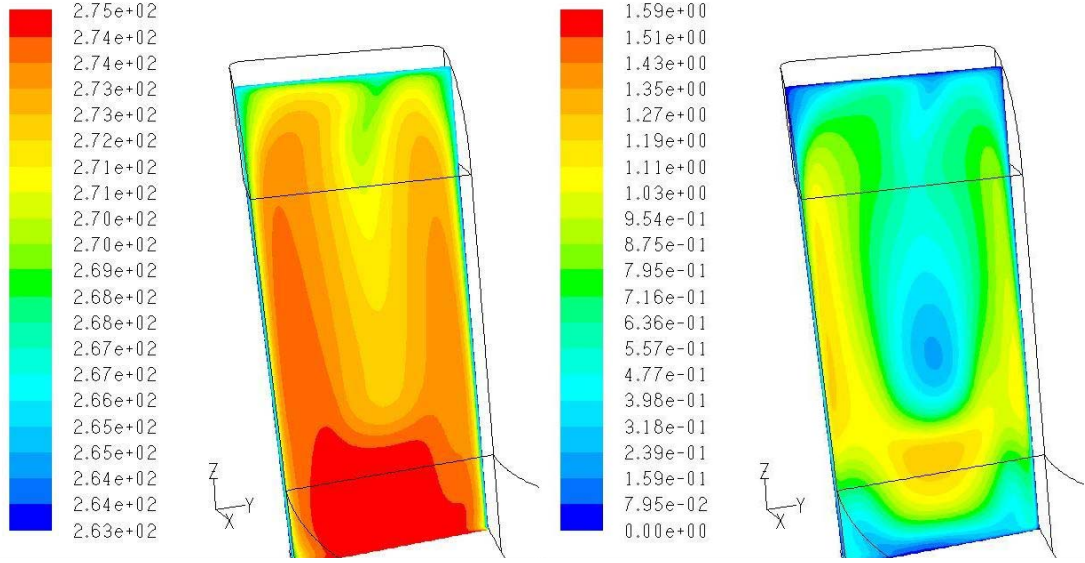


Şekil 4.7 : Mevcut emiş kanalı içerisindeki hız dağılımının gösterimi

Emiş kanalına bir başka açıdan baktığımız zamanda aynı hızlı değişimi görmekteyiz, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterildiği gibi akış ara kanalın olumsuz etkisinden dolayı yukarı çıkarken soğumaktadır ve çıkış ağzındaki eğrisel yüzey üzerinde ısısını kaybetmektedir.

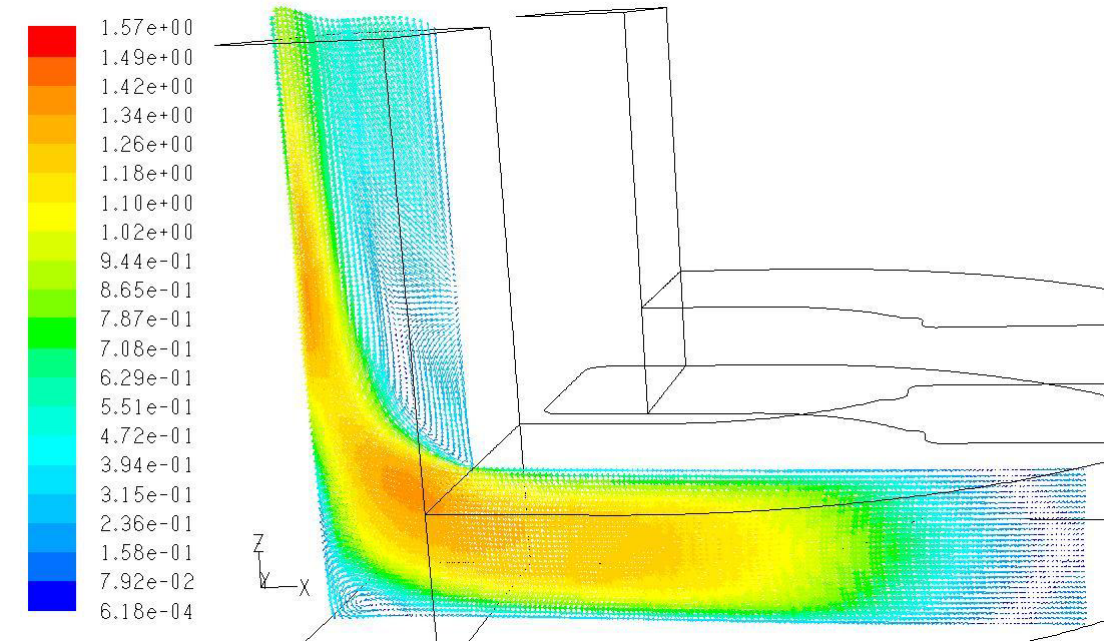


Şekil 4.8 : Mevcut emiş kanalına ait hız vektörlerinin sıcaklığa ve hıza göre renklendirilmiş analizleri

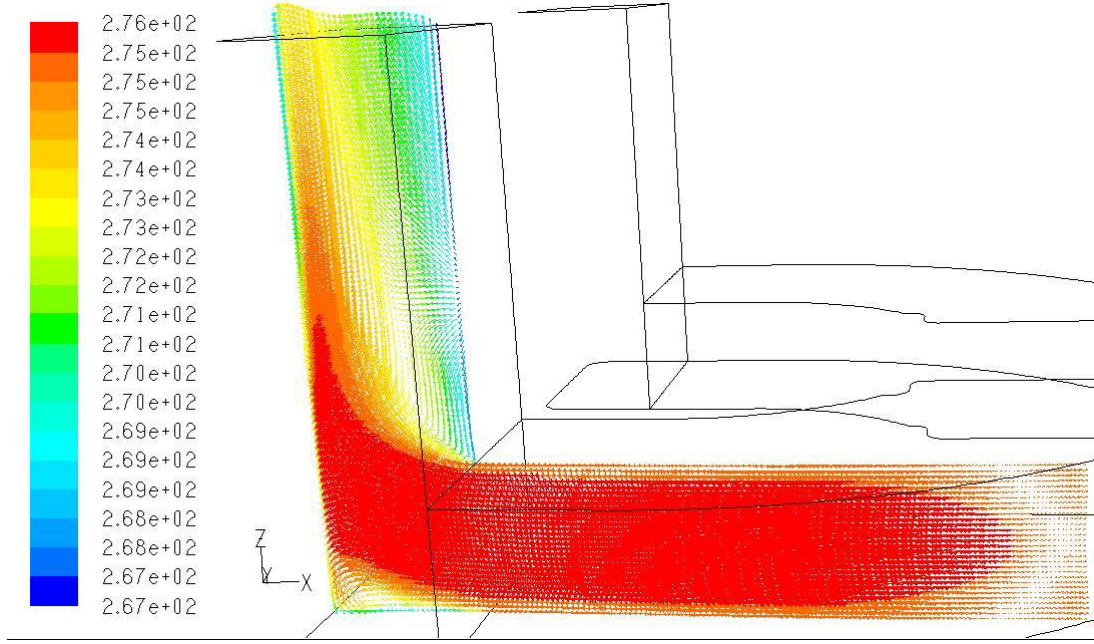


Şekil 4.9 : Mevcut emiş kanalına ait eş sıcaklık ve eş hız eğrileri

Yeni tasarımın en büyük avantajı hemen hemen aynı sınır şartlarına sahip olmasına rağmen kanal çıkışının herhangi bir yönlendirmeye maruz kalmadan evaporatöre açılmasıdır. Kanalda yapılan küçük bir değişiklik Şekil 4.10 ve 4.11’de görüldüğü gibi akışın kanal çıkışındaki yapısını çok değiştirmektedir. Ayrıca kanalın uzaması da kanal içindeki hız dağılımını etkilemiştir.

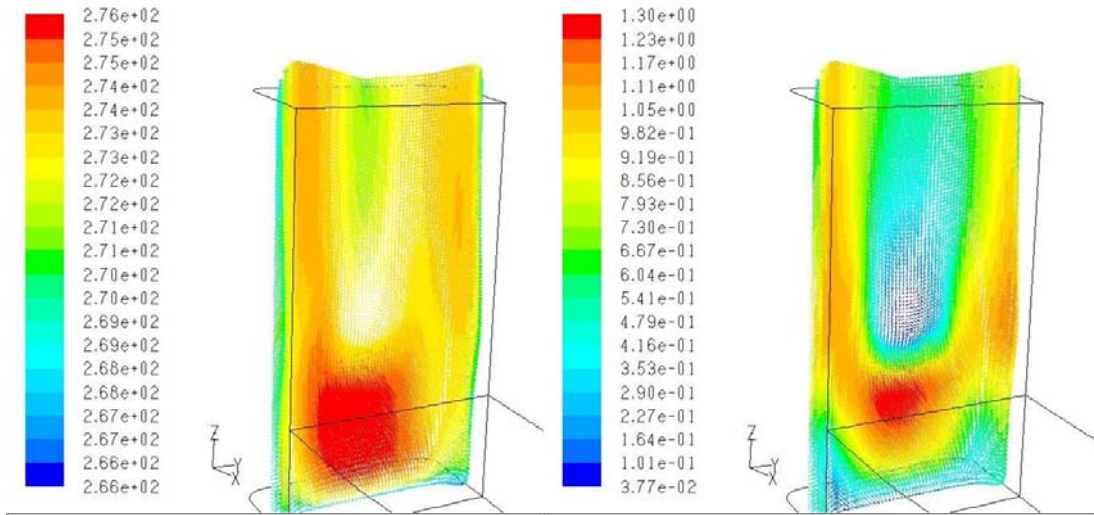


Şekil 4.10 : Yeni emiş kanalı içerisindeki hız dağılımının gösterimi

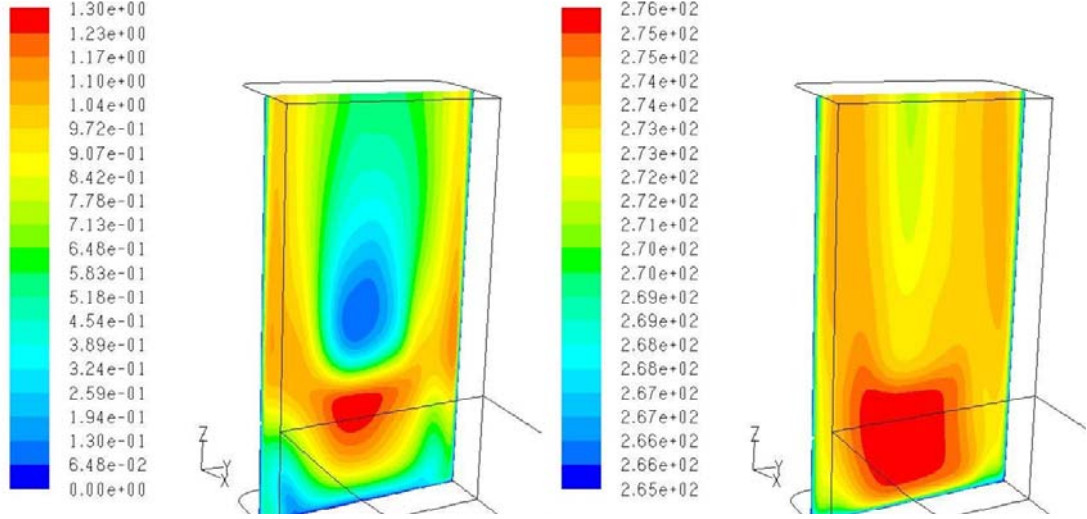


Şekil 4.11 : Yeni emiş kanalı içerisindeki hız vektörleri ile sıcaklık dağılımının gösterimi

Şekil 4.12 ve 4.13'te belirtilen sonuçlar mevcut kanal yapısının sonuçları ile uyumluluk göstermesine rağmen, iki kanal yapısının çıkışlarının birbirlerinden farklı olması yeni tasarımın ne kadar doğru bir seçim olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.12 : Yeni emiş kanalına ait hız vektörlerinin sıcaklığa ve hıza göre renklendirilmiş analizleri



Şekil 4.13 : Yeni emiş kanalına ait eş sıcaklık ve eş hız eğrileri

4.3 Sayısal Çalışmaların Sonuçları

Deneysel çalışmalar ve sayısal çalışmaların sonuçları birbirlerine çok yakın çıkmıştır. (Tablo 4.1 ve Tablo 4.2) Emiş kanalının çıkışından alınan deneysel veriler ile sayısal sonuçlar arasında büyük farklılıklar vardır. Bunun yanı sıra, emiş kanalının termostat kutusu içinde kalan ölçüm noktalarından alınan değerler arasındaki farklar çok düşük mertebededir.

Tablo 4.1: Deneysel çalışmalar sonucunda emiş kanallarında elde edilen veriler

Deneysel Sonuçlar	Emiş Kanal Çıkışı (°C)	Termostat Kutusuna Giriş(°C)	Termostat Kutusundan Çıkış (°C)
Mevcut Kanal Yapısı	-7	1,9	-0,3
Yeni Tasarım	-6	1,9	0

Tablo 4.2: Sayısal çalışmalar sonucunda emiş kanallarında elde edilen veriler

Sayısal Analiz Sonuçları	Emiş Kanal Çıkışı (°C)	Termostat Kutusuna Giriş(°C)	Termostat Kutusundan Çıkış (°C)
Mevcut Kanal Yapısı	-2	2	-0,5
Yeni Tasarım	-4	2	-1

Emiş kanalları çıkışında alınan değerlerin özellikle mevcut kanal yapısında çok farklı olması, deneysel çalışmalar bölümünde bahsedilen kompresörün durma anında fanın etkisini ortaya koymaktadır.

Mevcut kanal ve yeni kanal üzerine yapılan deneyler emiş kanallarının ara kanaldan uzak tutulmasını ve mevcut kanaldaki çıkış yapısının nasıl olumsuz sonuçlar doğurduğunu göstermiştir. Sayısal çalışmaların sonucu da deneysel sonuçları doğrular niteliktedir. Sonuç olarak, emiş kanalı çıkışındaki eğrisel yapının akışı ne kadar olumsuz etkilediği gösterilmiştir.

5 SONUÇ

Enerji tüketimi son yıllarda birçok araştırma konusunun içeriğini oluşturmaktadır. Beyaz eşya sektöründe de minimum enerji tüketimi, sektörün en önemli çalışma konularından biridir. Beyaz eşya sektörünün öncü ürünü olan buzdolaplarında çeşitli sebeplerden dolayı, enerji sarfiyatında önemli yer tutan ısıtıcılar kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da bir ara bölmesiz no-frost buzdolabının hava kanallarında kullanılan ısıtıcıların hangi amaçla kullanıldığı ve nasıl kullanımdan kaldırılabilineceği irdelenmiştir.

Tez çalışmasının ilk bölümü deneysel çalışmalar ile ilgili olup mevcut kanal yapısında ısıtıcıların kullanılma amaçları incelenmiştir. Dolabın ısıtıcılı ve ısıtıcısız durumunda dolap içinde belirlenen noktalarında sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ile ısıtıcısız dolapta oluşan yoğuşma problemini engelleyecek bir kanal tasarımı üzerinde çalışılmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda yeni kanal tasarımına sahip prototip dolapta herhangi bir yoğuşma problemi görülmemiştir. Alınan bu iyi sonuç ile mevcut dolaplarda kullanılan ısıtıcıların kaldırılması için hiçbir sıkıntı görülmemiştir.

Isıtıcıların kaldırılması dolabın çalışma sürelerinde çok farklı değişiklikler olmuştur. Tablo 5.1’de de görüldüğü gibi dolabın defrost aralığı ve çalışma süresinin aralığı artmıştır. Bu da dolayısıyla dolabın enerji tüketimine önemli bir katkıda bulunmuştur.

Tablo 5.1: İki dolabın çalışma süreleri

	Defrost Süreleri		On-Off Süreleri	
	Yükleme Öncesi	Yükleme Sonrası	Yükleme Öncesi	Yükleme Sonrası
Mevcut Dolap	17 saat	25 saat	24-33 dk	15-33 dk
Prototip	20 saat	32 saat	22-38 dk	18-54 dk

Enerji tüketimi hesaplanırken; ısıtıcıların bir tam gün boyunca tükettiği enerji ile dolaba verdiği ısı yük, dolabın deklarasyon değerinden düşülmüştür. Isıtıcılar, buzdolabına belirli bir güçte ısı verdikleri için dolabın daha geç soğumasını sağlarlar. Bu ısı değerinin enerji tüketimine katkısını belirleyebilmek için ısıtıcının güç değeri 0,8 gibi bir katsayı ile çarpılır ve ısıtıcının toplam tükettiği enerjiye eklenir [14] (Tablo 5.2 ve Tablo 5.3). Dolabın enerji tüketiminden %14 kadar bir kazanç sağlanmıştır.

Tablo 5.2: Isıtıcıların bir gün boyunca dolaba getirdiği ısı yük hesabı

Enerji Kazancı Hesabı	Güç (watt)	Çalışma Süresi	Isıl Yük Kts.	Toplam Harcanan
Emiş Kanalı Çıkışındaki Isıtıcılar	6	24	1,8	259,2

Tablo 5.3: Isıtıcıların kaldırılması ile elde edilen kazanç

Deklarasyon Değeri (Wh/24h)	1800
Isıtıcıların Etkisi	259,2
Kazanç (%)	14,4

Tez çalışmasının ikinci aşamasını ise sayısal analizler oluşturmaktadır. Bu analizlerde dolap içindeki mevcut kanal ile yeni kanal tasarımının modelleri üzerinde çalışılmıştır. Deneyler ile belirlenen sınır koşulları ile kanallar içerisindeki akışın sıcaklık ve hız analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları deney verileri ile karşılaştırılarak, yeni kanal tasarımının etkinliği üzerinde durulmuştur.

Sayısal alışmalar kullanılarak başka çalışmalar çerçevesinde mevcut kanal yapısında oluşan yoğuşma ve karlanma olayları modellenerek yapılacak tasarımlara daha fazla katkı sağlanabilir.

Sonuç olarak, buzdolabının enerji tüketiminde büyük bir pay sahibi olan ısıtıcıların kullanılmasını engelleyecek yeni bir kanal yapısı tasarlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Onbaşıoğlu, H.**, 2003. Soğutma Sistemleri, *Best Dergisi*, **20**.
- [2] **Hammou, A.A., Benhamou, B., Galanis, N., and Orfi, J.**, 2004. Laminar mixed convection of humid air in a vertical channel with evaporation or condensation at the wall, *Int. Journal of Thermal Sciences*, **43**, 531-539.
- [3] **Siow, E.C., Ormiston, S.J., Soliman, H.M.**, 2002. Fully coupled solution of a two-phase model for laminar film condensation of vapor-gas mixture in horizontal channels, *Int. Joournal of Heat and Mass Transfer*, **45**, 3689-3702.
- [4] **Yang, D.K., Lee, K.S., Cha, D.J.**, 2006. Frost formation on a cold surface under turbulent flow, *Int. Journal of Refrigeration*, **29**, 164-169.
- [5] **Dae Woo Electronics**, 1995. System for reducing frost in a refrigerator, *Europen Patent*, No: 0644385 dated 22.03.1995.
- [6] **Samsung Electronics**, 1993. Defrost assembly, *United States Patent*, No: 5255536 dated 26.10.1993.
- [7] **Dae Woo Electronics**, 1995. Refrigerator having independent temperature control of plural compartments, *United States Patent*, No: 5433086 dated 18.07.1995.
- [8] **Sarioğlu, K., olpa, B.O.**, 2006. ANN-784 B920 Modeli Ara Bۆlmesinde Oluşan Karlanma Probleminin İrdelenmesine Yۆnelik Yapılan Fizibilite alışmaları, Arçelik A.ř., İstanbul.
- [9] **Demiray, F.**, 2007. Terleme-Karlanma Deney Talimatı, Arçelik A.ř., Eskişehir.

- [10] **Ertiş, V.K., Sarioğlu, K.**, 2006. ANN-816 B920 Modeli Buzdolabı Ara Bۆlmesinde Oluşan Karlanma Probleminin özۆmlenmesine Yۆnelik Yapılan alışmalar-I, Arçelik A.ř., İstanbul.
- [11] **Ertiş, V.K., Sarioğlu, K.**, 2006. ANN-816 B920 Modeli Buzdolabı Ara Bۆlmesinde Oluşan Karlanma Probleminin özۆmlenmesine Yۆnelik Yapılan alışmalar-II, Arçelik A.ř., İstanbul.
- [12] **Chen, C.J., Jaw, S.Y.**,1997. Fundamentals of Turbulence Modeling, Taylor&Francis, New York.
- [13] **Fluent 6.3** Documentation, Fluent Inc., 2006.
- [14] **Gۆldalı, Y.,Sarioğlu, K., Ertiş, V.K.**, 2006. Kişisel Gۆrۆřme.

ÖZGEÇMİŞ

Vasi Kadir Ertiş, 1982 yılında Eskiřehir' de doğdu. 2000 yılında orta öğrenimini H.Ahmed Yesevi Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında İ.T.Ü. Makina Fakóltesi'nden Makina Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isı-Akışkan Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen İ.T.Ü. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrencisidir. 2006 yılı boyunca Üniversite-Sanayi İşbirliği Projesi Kapsamında ARÇELİK A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'nde proje yardımcısı olarak çalışmalarını yapmıştır. şubat 2007 tarihinden bu yana Arçelik A.Ş. AR-GE Merkezi Akışkanlar Dinamiği Teknolojisi Ailesinde Ar-Ge mühendisi olarak çalışmaktadır.