



T.C.

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makine Mühendisliği Programı

**BUZDOLABI CONTASININ ISI KAYIPLARININ
DENEYSEL İNCELENMESİ VE DIŞ YOĞUŞMAYI
ÖNLEMELİK İÇİN YENİ BİR CONTA KESİTİNİN
TASARLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mümin GÜLMEZ

166501113

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Deniz YILMAZ

İstanbul, 2019



T.C.

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makine Mühendisliği Programı

**BUZDOLABI CONTASININ ISI KAYIPLARININ
DENEYSEL İNCELENMESİ VE DIŞ YOĞUŞMAYI
ÖNLEMELİK İÇİN YENİ BİR CONTA KESİTİNİN
TASARLANMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan: **Mümin GÜLMEZ**

KABUL VE ONAY

Mümin Gülmez tarafından hazırlanan “Buzdolabı Contasının Isı Kayıplarının Deneysel İncelenmesi Ve Dış Yoğuşmayı Önlemek İçin Yeni Bir Conta Kesitinin Tasarlanması” başlıklı bu çalışma, Savunma Sınavı tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Tezin/Raporun Türü olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Deniz YILMAZ (İstanbul Arel Üniversitesi)

Üye: Dr. Öğr. Üyesi İ. Timuçin İNCE (İstanbul Arel Üniversitesi)

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Barış Yılmaz (Marmara Üniversitesi)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve şekillerin kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

YEMİN METNİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Buzdolabı Contasının Isı Kayıplarının Deneysel İncelenmesi Ve Dış Yoğuşmayı Önlemek İçin Yeni Bir Conta Kesitinin Tasarlanması” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullandıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Mümin GÜLMEZ

ONAY

Tezimin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- Tezim sadece İstanbul Arel yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- Tezimin 5 yıl süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

Mümin GÜLMEZ

ÖZET

BUZDOLABI CONTASININ ISI KAYIPLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ VE DIŞ YOĞUŞMAYI ÖNLEMEK İÇİN YENİ BİR CONTA KESİTİNİN TASARLANMASI

Mümin GÜLMEZ

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Deniz YILMAZ

Ekim, 2018 - 52 sayfa

Yüksek neme sahip ortamlarda soğutucu cihazların dış yüzeylerinde yoğuşma meydana gelmektedir. Özellikle buzdolabı kapı contası yalıtım ve esneklik kabiliyeti iyi tasarlanması gereken bir parçadır. Bu yüksek lisans tezi ile bir buzdolabı contasının termal sıcaklık dağılımı ve kritik noktaları deneysel incelemeler ile modellenmiş olup, yeni bir tasarımın parametreleri yapılan analizlerle netleştirilmiştir. Sıcaklık dağılımının yapısını belirli noktalarda etkilemek için conta kesitinde çeşitli hava odacıkları oluşturulmuştur. Bu hava odacıklarının konumu ve ortalama sıcaklıklarının, conta dışındaki sıcaklıklara etkisi gözlemlenmiş ve olası yoğuşma bölgesinin sıcaklığının artırılması sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Buzdolabı Contası, Dış Yüzey Yoğuşması, Deneysel Modelleme.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HEAT LOSSES OF THE REFRIGERATOR GASKET AND DESIGNING A NEW GASKET SECTION TO PREVENT EXTERNAL CONDENSATION

Mümin GÜLMEZ

Master Thesis, Mechanical Engineering Department

Supervisor: Assistant Professor Deniz YILMAZ

January, 2019 - 52 pages

Condensation may occur on the outer surfaces of the cooling devices in high humidity ambient. Especially the refrigerator door gasket insulation and flexibility is really critical and that needs to be designed well. This master's thesis was modeled by experimental analysis of the thermal temperature distribution and critical points of a refrigerator gasket. In order to influence the structure of the temperature distribution at certain points, various air chambers have been formed in the seal section. The effect of these air chambers' location and average temperatures on the outside of the gasket was observed and the temperature of the potential condensation zone was increased.

Key Words: Refrigerator Gasket, External Surface Condensation, Experimental Modeling.

ÖNSÖZ

Buzdolabı günümüz yaşantısının değişmez bir parçasıdır. Piyasada birçok farklı modelini barındıran buzdolabı sektörü, özellikle son yıllarda ankastre ürünler açısından büyüme göstermektedir. Ankastre ürünlerin sahada karşılaştığı en büyük problemlerden biri, bir mobilya ile kaplı olduklarından dış yüzeylerinde bir yoğunlaşma (terleme) meydana gelmesi diğer modellere nazaran daha kolay olmaktadır. Firmalar ürünlerini geliştirirken olabildiğince ortak parça kullanmaya çalışarak maliyetlerini düşürmek istemektedir. Ancak kimi zaman yüksek neme sahip ülkeler ve mutfaklarda buzdolabı contalarında terleme meydana gelmektedir. Bu hem bir güvenlik açığı doğurmakta hem de cihazın kullanımını açısından istenmeyen bir görüntü oluşturmaktadır.

Bu çalışma ile sahada problem yaşanan bir durum değerlendirilmiş olup, en az çaba ile problemin çözümü için izlenecek yöntem ve değiştirilecek tasarım kısıtları belirlenmiştir. Çalışma temelde bir dizi deneysel modelleme ve buradan elde edilen sonuçlarla simülasyon çıktılarını içermektedir.

Bu çalışmada, yoğun akademik çalışmalarını arasında zamanını ayırarak bana yol gösteren ve yardımcı olan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Deniz Yılmaz'a ilgi ve desteğinden ötürü teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmam boyunca bana destek olan aileme ve tüm meslektaşlarıma yardımlarından ötürü sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez BSH Ev Aletleri A.Ş. Soğutucu Fonksiyonel Geliştirme Birimi tarafından desteklenmiştir.

İSTANBUL, 2019

Mümin GÜLMEZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET -----	vi
ABSTRACT -----	vii
ÖNSÖZ -----	viii
KISALTMALAR LİSTESİ -----	xi
TABLolar LİSTESİ -----	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ -----	xiii
1. GİRİŞ -----	1
1.1. Problemin Tespiti -----	1
1.2. Çalışmanın Amacı -----	2
1.3. Araştırma Metodolojisi -----	4
2. MEVCUT DURUMUN ANALİZİ VE DAHA ÖNCE YAPILMIŞ DENEYSEL MODELLER -----	5
2.1. Giriş -----	5
2.2. Kapı Contasındaki Isı Kaybı Konusundaki Literatür Çalışmaları	5
2.3. Farklı Tipteki Buzdolapları ve Contalarının İncelenmesi -----	6
2.3.1. Statik Tip Buzdolabı -----	6
2.3.2. Havalandırmalı Tip Buzdolabı -----	7
2.4. Buzdolabı Yalıtım Verimliliğinin Ölçülmesi -----	8
3. MEVCUT CONTADAKİ SICAKLIK DAĞILIMININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ -----	14

3.1. Deneysel Model -----	15
3.2. Test Sistemi ve Özellikleri-----	16
3.3. Sayısal Modelleme-----	17
3.4. Sayısal Modelin Oluşturulması -----	19
3.4.1. Sınır Koşulları -----	20
3.4.2. Yönetici Denklemler-----	22
4. SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI-----	23
4.1. Örnek Buzdolabı Kesitinin Sıcaklık Dağılımı -----	23
4.2. Sonuçların Sayısal Ağ Yapısından Bağımsızlığının Kontrolü---	24
4.3. Yeni Conta Kesitinin Tasarlanması -----	25
4.3.1. Conta İçine Hava Odacıkları İnşa Etmenin Sıcaklık Dağılımına Etkisi	25
4.3.2. Yeni Tasarım Contanın Sıcaklık Dağılımı-1.Tasarım -----	27
4.4. Farklı Conta Kesiti Tasarımlarının Sonuca Etkisinin Değerlendirilmesi-----	28
4.5. Nihai Conta Tasarımının Gerçekleştirilmesi -----	30
4.6. Ulaşılan Nihai Conta Tasarımının Değerlendirilmesi -----	33
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME -----	34
KAYNAKÇA -----	36
ÖZGEÇMİŞ -----	38

KISALTMALAR LİSTESİ

EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
kxA	: Isı İletim Katsayısı Sabiti
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
TS	: Türk Standartları
EN	: Avrupa Standartları
DOM	: Ayrık Ordinat Metodu
LRN	: Düşük Reynolds Numarası
RSM	: Reynolds Stres Modeli
C	: Santigrat - *
K	: Kelvin - **

* : Belirli bir sıcaklığa atıfta bulunmak istendiğinde “C” kullanılmıştır.

** : Bir sıcaklık farkından bahsedildiğinde “K” kullanılmıştır.

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Kullanılan Malzemelerin Isıl Özellikleri.....	21
Tablo 3.2. Deneysel Çalışmadan Çıkarılan Sınır Koşulları.....	21



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünya Geneli Yıllık Ortalama Bağıl Nem Dağılımı [21]	3
Şekil 2.1. Buzdolabı Yalıtım Testi Kurulumu.....	9
Şekil 2.2. Buzdolabı Bölmelerinin Yalıtım Verimliliği Ölçümü	10
Şekil 2.3. Isı Transfer Mekanizması.....	11
Şekil 2.4. Çok Katmanlı Duvarda Isı Geçişi Boyunca Sıcaklık Düşümü	12
Şekil 2.5. Bölmelerin Yalıtım Sabitinin Ölçümü	13
Şekil 3.1. Mevcut Contanın Kesit Görüntüsü.....	14
Şekil 3.2. Mevcut Contanın Sıcaklık Dağılımının Termal Görüntüsü	15
Şekil 3.3. Mevcut Contanın Sıcaklık Ölçümü Deney Düzeneği	16
Şekil 3.4. Test Sistemi ve Deneyde Kaydedilen Bilgiler	17
Şekil 3.5. Örnek Buzdolabı Model Kesiti	18
Şekil 3.6. Mevcut Contanın Modeli	18
Şekil 3.7. Mevcut Contanın Sayısal Ağ Yapısı	19
Şekil 3.8. Mevcut Conta için Farklı Bir Sayısal Ağ Yapısı	20
Şekil 4.1. Mevcut Durum Sıcaklık Dağılımı	23
Şekil 4.2. Mevcut Conta Sıcaklık Dağılımı.....	23
Şekil 4.3. Yeni Sayısal Ağ Yapısı ile Sıcaklık Dağılımı.....	24
Şekil 4.4. Yeni Conta Tasarımı - 1.Tasarım.....	26

Şekil 4.5. Yeni Conta Tasarımının Sayısal Ağ Yapısı(1.Tasarım için)	27
Şekil 4.6. Yeni Conta Tasarımı - 1.Tasarımın Sıcaklık Dağılımı	27
Şekil 4.7. Yeni Conta Tasarımının Beşinci Tasarımının Sıcaklık Dağılımı	28
Şekil 4.8. Yeni Conta Tasarımının Altıncı Tasarımının Sıcaklık Dağılımı	28
Şekil 4.9. Yeni Conta Tasarımının Yedinci tasarımın Sıcaklık Dağılımı	29
Şekil 4.10. Yeni Conta Tasarımının Sıcaklık Dağılımı-9.Tasarım	30
Şekil 4.11. Conta Tasarımının Kesit Görünümü-10.Tasarım.....	31
Şekil 4.12. Yeni Conta Tasarımının Sıcaklık Dağılımı-10.Tasarım	32
Şekil 4.13. Yeni Conta Tasarımının Genel Sıcaklık Dağılımı-10.tasarım	32
Şekil 4.14. Yeni Conta Tasarımının Hızlı Prototipleme Çıktısı.....	33

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tespiti

Buzdolabının icadından sonra, ev aletleri kategorisinde en çok kullanılan cihaz olarak günlük hayatta yer alması buzdolabının enerji tüketimini önemli kılmaktadır. Neredeyse tüm ülkelerde birçok elektronik eşyada olduğu gibi buzdolabının da enerji tüketimini sınırlandırma ve iyileştirme için bir yönetmelik bulunmaktadır. Ülkemizde de geçerli olan bu konudaki yönetmelik TS EN 62552 [1] ile buzdolabı enerji tüketimi ve performansı izlenmekte ve kullanıcılara diğer cihazları karşılaştırabilmeleri için test sonuçlarından üretilen bazı enerji seviyeleri ortaya çıkmaktadır.

Buzdolabı enerji tüketimini etkileyen birçok faktör vardır. Bunların en başında cihazın yalıtımı gelmektedir. Cihazın yalıtımının iyileşmesi sayesinde cihazın enerji tüketimi ve performansı daha verimli bir hale gelmektedir. Yalıtımı etkileyen parametrelerden biri de cihazın kapağında bulunan contadır. Buzdolabı kapaklarında yer alan ve genelde esnek bir plastik malzemeden yapılan bu contalar, hem uzun süre aynı performansta sızdırmazlığı sağlamalı hem de cihazın içi ile dışı arasındaki sıcaklık farkında beklendiği gibi çalışabilmelidir.

Buzdolabının yalıtım için oluşturulmuş duvarlarının kalınlığı göz önüne alındığında contanın kalınlığı görece az ve kullanılan malzemenin esneklik gibi başka gereksinimleri de karşılaması gerektiğinden plastiğin bazı türlerinden yapılıyor olması, özellikle ısı kaçağı açısından bir dar boğaz oluşturmaktadır. Sonuç olarak cihazın içi ile dışı arasındaki belirgin sıcaklık farkı burada bir enerji transferi ve kaybına neden olmaktadır. Ayrıca contanın dış yüzeyinin cihazın içinden baskın bir şekilde etkilenmesi sonucu ortam sıcaklığı ve bağıl neme dayalı hesaplanan yoğuşma sıcaklığının (çiğ noktası) altında kalması durumunda dış yüzeyde su damlacıkları (terleme) görülmektedir. Bu çoğu dondurucu özellikli buzdolabının temel problemleri arasında yer almaktadır.

Contanın dış yüzeyinde meydana gelen düşük sıcaklık ve terleme ile başa çıkmak için birçok farklı yöntemler geliştirilmiştir. Yaygın olan görüş özellikle dondurucu bölmesinin contasının dış yüzeyinin ısıtılması ve buradaki yoğuşmanın giderilmesi şeklindedir. Ancak buradaki sıcaklık artışı cihazın enerji tüketimine etki etmekte ve bir hesaplama ile uygun conta yalıtımının sağlanması gerekmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma ile buzdolabı contasında meydana gelen ısı kaçaklarının en aza indirilmesi ve conta dış yüzeyinde oluşan yoğuşmanın giderilmesi hedeflenmiştir.

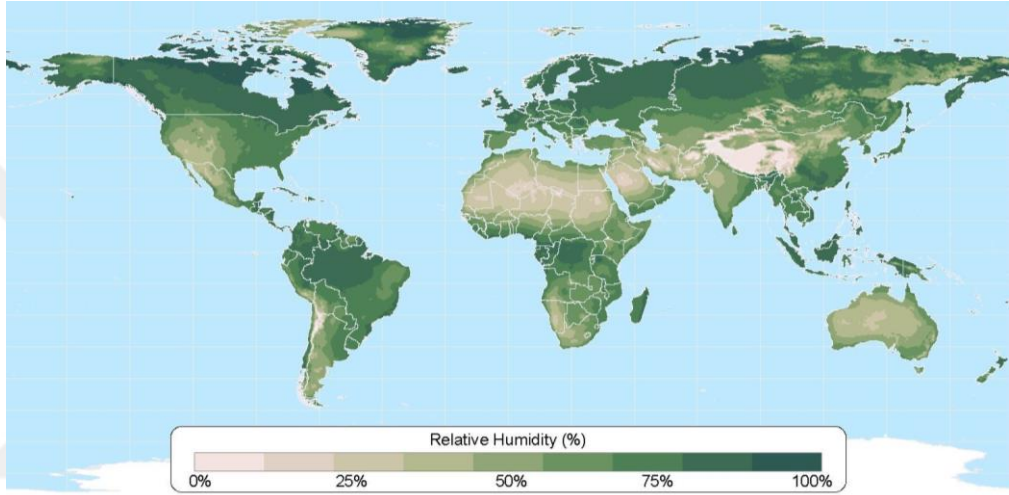
Günümüzde hâlihazırda satışta olan bir buzdolabı ve contasının terleme problemi bu çalışmada ele alınacak ve çözülmesi için yeni bir conta tasarımı deneyler ve analizler sonunda geliştirilecektir. Bahsi geçen buzdolabı özellikle seçkin bir kullanıcı grubuna hitap etmekte ve alışlagelmiş buzdolaplarından bazı farkları bulunmaktadır. Çalışmada incelenecek buzdolabı ankastre olarak tabir edilen ürün grubundadır. Mutfak tezgâhlarına gömülü olarak kurulan dolaplar dışardan bakıldığında mutfak mobilyası ve diğer dolaplardan farklı bir şekilde görünmemekte, ancak kapıyı açtığınızda alışık olunan buzdolabı ile karşılaşmaktadır.

Özellikle çalışmaya konu olan ürün grubunda cihazların bir mobilya ile kaplı olması, cihazların terlemesi konusunda daha fazla çözüm gerektiren bir mühendislik problemi ortaya çıkarmaktadır. Cihaz kapısı bir mobilya ile kaplı olduğunda cihaz kapısı dış ortam sıcaklığından direkt etkilenmemektedir. Mobilya kullanımı cihaz kapısı ile ortam arasında bir bariyer oluşturmakta ve cihaz kapısının dış yüzeyinin daha soğuk kalmasına sebep olmaktadır.

ISO 62552 numaralı standartta belirtilen dondurucu bölmesinin hedef sıcaklığı $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Yine aynı standartta mutfak koşulları $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ kabul edilmiştir. Bu da cihazın içi ile dışı arasında 43 K sıcaklık farkı anlamına gelmektedir. Özellikle yüksek neme sahip ortamlarda cihazların dış yüzeyinde yoğuşma

meydana gelmekte ve bu hem sağlık sorunları hem de cihaz kullanımı ile ilgili güvenlik sorunları ortaya çıkarmaktadır.

Dünya genelinde ve Türkiye yıllık ortalama bağıl nem dağılım haritası aşağıda Şekil 1.1 de verilmiştir. Haritadan görüleceği üzere denize yakın olan bölgelerin bağıl nemleri görece daha yüksektir. Bir buzdolabı üzerinde yoğuşma olmaması için parametreler belirlenirken, ilgili ülkenin yoğuşmayı oluşturabilecek en zorlu şartları seçilerek tasarım yapılmaktadır. Bu çalışmada bu değer %80 bağıl nem olarak belirlenmiştir.



Şekil 1.1. Dünya Geneli Yıllık Ortalama Bağıl Nem Dağılımını [21]

Kapının bir parçası olan conta dondurucu bölme ile ortam arasında hava sızdırmazlığını sağlamaktadır. 43 K sıcaklık farkına maruz kalan conta dış yüzeyinde yoğuşma oluşması istenmemektedir.

Buzdolabının 25 ° C dış sıcaklık ve %80 bağıl neme sahip bir ortamda çalıştığı düşünüldüğünde psikrometrik diyagrama [2] göre dış yüzeylerin terlememesi için 21.31 °C den daha sıcak olması gerekmektedir.

Ayrıca bu değer aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir [3]:

$$T_p = \left(\frac{f}{100}\right)^{1/8} (112 + 0,9T) + 0,1T - 112 \quad [1.1]$$

T_p : Yoğuşma Sıcaklığı

f : Bağlı Nem

T : Sıcaklık

Bu çalışma ile conta dış yüzeyinin 21.31 °C olan yoğuşma sıcaklığından daha yukarıda kalması hedeflenmektedir.

1.3. Araştırma Metodolojisi

Araştırma temelde iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm mevcut durumun belirlenmesi için deneyler yapılması, ikinci bölüm ise yapılan deneylerden elde edilen bulgular ışığında yeni contanın tasarlanmasıdır.

Araştırmanın ilk bölümünde conta terlemesinde etkin olan durumlar incelenecek ve mevcut contanın bir sıcaklık haritası çıkartılacaktır. Sıcaklık haritası çoğu zaman ısı akısının nereden daha fazla olduğu, nereye daha çok odaklanması gerektiğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Çalışmanın bu bölümünde buzdolabı ve contasının çalışma sırasında nasıl sıcaklık yüklerine maruz kaldığı sıcaklık ölçen sensörlerle kaydedilecek ve bu bilgiler sonlu elemanlar analiz programının sınır koşullarını belirlemede kullanılacaktır. Analiz sonucunda cihaz ve contanın sıcaklık dağılımı çıkartılacaktır.

Diğer bölümde ise mevcut durum sonucunda ortaya çıkan sonuçlar ışığında, conta kesitinde tasarım değişiklikleri yapılacak ve bu değişiklikler sonlu elemanlar analiz programında yeniden benzer sınır koşullarında test edilecek ve en uygun tasarım parametreleri belirlenmeye çalışılacaktır. Birçok analiz sonucunda belirlenen en uygun conta kesiti tasarımı 3 boyutlu yazıcılardan (hızlı prototipleme) çıktısı alınarak kapı üzerinde montaj denemesi yapılacaktır.

2. MEVCUT DURUMUN ANALİZİ VE DAHA ÖNCE YAPILMIŞ DENEYSEL MODELLER

2.1. Giriş

Kapı contasındaki ısı geçişiyle ilgili açık literatür oldukça sınırlıdır ve ısı kaybının yüzde kaçının kapı contasından ve etrafındaki bölgelerden kaynaklandığı konusunda bir değer evrensel olarak kararlaştırılmamıştır. Ayrıca, farklı araştırmacılar tarafından kullanılan çalışma yaklaşımı ve deneylerde kullanılan buzdolaplarının teknik özellikleri oldukça farklıdır. [4] Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı EPA (Environmental Protection Agency) tarafından sunulan bir rapora göre [5], kapı contasındaki ısı kaybı yaklaşık % 10 ile % 30 arasındadır. Boughton vd. lerinin yapmış olduğu çalışma, buzdolabının “kenarlarında” ısı kaybının toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30'unu oluşturduğunu göstermektedir [6]. Yine farklı bir araştırmada conta bölgesinin cihazın soğutucu bölmesinde, ısı yükün yaklaşık %25'ine karşılık geldiğini göstermektedir [7]. Ayrıca bu araştırmaya göre buzdolabının kapı ve duvarlarında meydana gelen kayıp % 35'e kadar çıkabilir. Hasanuzzaman vd.'lerinin araştırma sonuçlarına göre, kapı contaları cihaz toplam enerji tüketiminin yaklaşık %29'una karşılık gelen kayıplara neden olmaktadır [8].

Buzdolabının enerji tüketimini azaltmak amacıyla, buzdolabının kapı contasının verimliliğinin artırılmasına daha fazla dikkat edilmelidir. Kapı contasının enerji verimliliği ile ilgili çok fazla literatür çalışmanın olmamasının bir nedeni, büyük ölçüde farklı tiplerdeki dolap ve kapı tasarımlarının çeşitliliğine bağlıdır.

2.2. Kapı Contasındaki Isı Kaybı Konusundaki Literatür Çalışmaları

Buzdolabının contasındaki ısı kaybının sayısal simülasyonu hakkında açık literatür bulunmasına rağmen, ilerlemeyi vurgulayan bazı temsili araştırma çalışmaları vardır.

Kim vd.'lerinin yapmış olduğu çalışmada, buzdolabı içerisine, bir dizi termokupul yerleştirilerek deneyler yapılmış ve conta, iç-dış duvar ve kapı gibi bölümlerin sıcaklık ölçümleri kaydedilmiştir [9]. Araştırmada sabit bir taşınım katsayısı olduğu varsayılmıştır, fakat taşınım katsayısı gerçek şartlar altında tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle, çalışmanın sonuçlarının doğruluğu ve genelliği sınırlıdır.

Huelsz [10] araştırmasında, conta bölgesindeki ısı transferini analiz etmek için, üç boyutlu bir tasarım modeli oluşturmuştur. Sıkıştırılmaz bir laminer akışın, buzdolabı içerisindeki hava akışını arttırdığı ve buzdolabı içindeki basınç farkının ihmal edilebilir derecede küçük olduğu varsayılmaktadır. Bu yaklaşım, radyasyonun etkisi dikkate alınmadan buzdolabının kapı contasındaki ısı transfer mekanizmasını modellemek için kullanılabilir.

Bir başka çalışma, sıcaklık farkı sebebiyle iç ortam ve dış ortam arasında basınç farkı olduğu zaman hava akışı konusunda bilgi vermektedir [11].

2.3. Farklı Tipteki Buzdolapları ve Contalarının İncelenmesi

EPA [7] tarafından belirtildiği gibi, kapı contasının yakınındaki akış alanı ısı geçişi üzerinde iç oda akış alanından daha fazla etkiye sahiptir. Bu nedenle conta ve buzdolabındaki hava akış alanını bilmek önemlidir. Bu çalışmada; buzdolabının içerisindeki hava akış alanı iki tip buzdolabına uygun olarak incelenecektir: statik tip ve havalandırılmalı (No-Frost) tip.

2.3.1. Statik Tip Buzdolabı

Statik tipte bir buzdolabı, elektrikli fan olmadan bir buzdolabı olarak tanımlanır. Temelde buzdolabı içindeki bir duvar soğutulur ve içerde bu duvara temas halindeki hava soğutulmaya çalışılır. Soğuyan havanın yoğunluğunun artması ve oda içinde doğal taşınım ile ısı transferinin tetiklenmesi akabinde buzdolabı içinde hava akışı sağlanmış olur. Hava hareketinin hızı soğutulan duvar ile içerdeki havanın sıcaklık farkı ile ilişkilidir. Evaporatörlü duvarın

sıcaklığı diğer duvarlara göre daha soğuktur ve bu sıcaklık farkı doğal ısı transferi ile sonuçlanır.

Tian ve Karayiannis'in araştırmasına göre, buzdolabı içerisinde iki tip hava dolaşımı vardır [12]. Birinci tip, duvarlara yakın birincil hava sirkülasyon döngüsü ve ikincisi, sınır tabakaları ve boşluğun merkezi arasında yer alan küçük döngülerden oluşmaktadır. Rayleigh sayısı, statik buzdolabı içerisindeki akış alanının karakteristiğini belirlemede önemli bir değişkendir [13]. Yine, Laguerre [14] ve Bayer [15] 'in araştırma çalışmaları, radyasyona bağlı ısı transferinin buzdolabının içinde önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca radyasyon ısı transferinin etkisini değerlendirmek amacıyla konveksiyon modelinin bağıntısını inceleyen “Ayrık Ordinat Metodu (DOM)” araştırmacılar arasında yaygın olarak kullanılmaktadır [16].

Guo ve Hong [17] araştırmasında, cihaza bir fan monte edilmesi ile hava akışı sağlanmaktadır. Bu duvarlar ile raflar ve bölmeler arasındaki sıcaklık farklarını azaltmaktadır. Fark azaldığından dolayı, duvarlar boyunca akış hızı daha yavaş olmakta, bu da daha kalın sınır tabakaları ile sonuçlanmaktadır ve bu nedenle ısı transfer katsayısı daha da düşmektedir.

Laguerre vd'leri yaptıkları çalışmada, oluşan ısıl tabakanın ortalama kalınlığını deney sonuçlarından elde ettikleri verilere bağlı denklemler ile tahmin etmişlerdir. Ancak, bu denklemler, gerçek buzdolaplarının termal tabaka kalınlığını tahmin etme uygulamalarını sınırlayan basitleştirilmiş modellere dayanmaktadır.

2.3.2. Havalandırılmalı Tip Buzdolabı

Günümüzde yaygın olarak kullanılan bu buzdolabı tipinde, soğutulan iç hava, sürekli olarak bir fan vasıtasıyla hareket etmeye zorlanmaktadır. Özellikle zorlanmış bu hava akışının evaporatör ve çevresinden geçmesi sağlanarak taşınan havanın soğutulması ve soğutulan havanın buzdolabı içerisine dağıtılması prensibine dayanır. Ayrıca taşınan bu hava ile buzdolabı içerisindeki

nem, evaporatöre toplanmakta ve iç kısımlarda görece daha az nem kaldığından buzlanma görülmemektedir.

Zorlanmış taşınım tabii tutulan havada ortaya çıkan türbülanslı akış çizgileri çok daha karmaşıktır. Kai ve Wen [18] bunu yaptıkları çalışmada göstermiştir. Farklı türbülans modelleri araştırmacılar tarafından iç akış simülasyonunu araştırmak için kullanılmıştır. Çeşitli türbülanslı modeller (k - ε modeli, k-ω modeli, LRN modeli ve RSM modeli, vb.) literatürde ayrıntılı olarak ele alınmıştır [19]. Çoğu araştırmada buzdolabında bulunan hava akışını analiz ederken k-ε modeli ve k-ω modeli oldukça sık kullanıldığı görülmüştür.

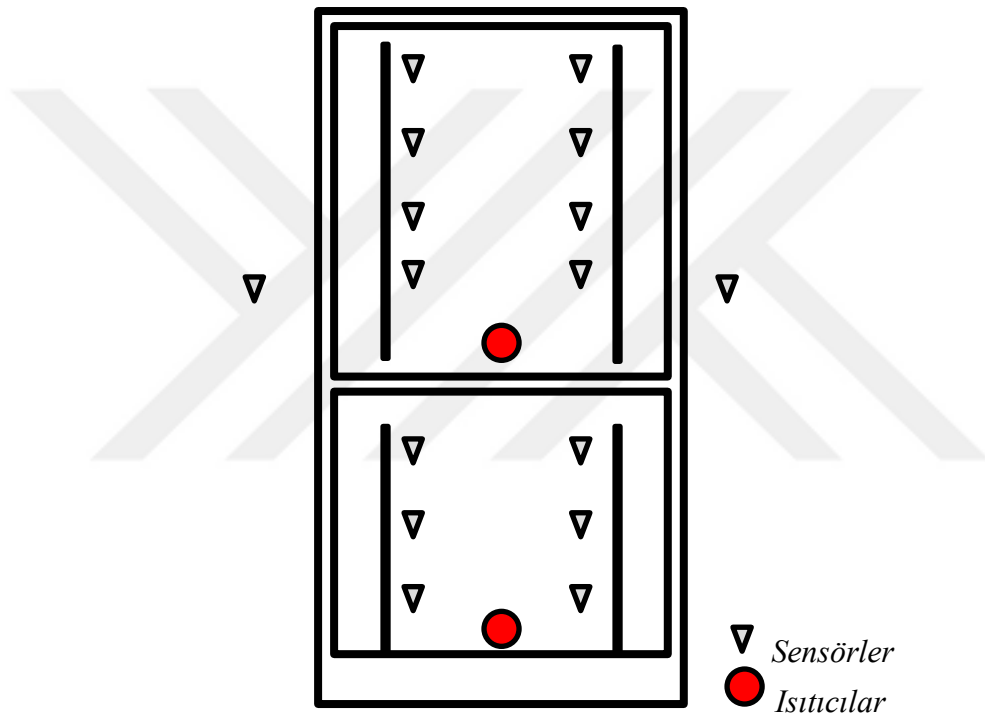
2.4. Buzdolabı Yalıtım Verimliliğinin Ölçülmesi

Soğutulan ortam ile dış ortam arasında bir sıcaklık farkı oluştuğunda, soğutulan ortamı yalıtım duvarları sürekli olarak dışarıdan içeriye bir ısı akışına maruz kalmaktadır. Temelde bu ısı akışının şiddeti, sıcaklık farkı ve malzemenin ısı iletim katsayısıyla bağıntılıdır. Isı akışının yönü ise ısı akışının değerinde etki sahibi değildir.

Soğutma yapmak ve buna gerçek anlamda harcanılan enerjiyi bulmak yerine çoğu zaman araştırmacılar iç ortamı ısıtmakta ve dış ortamı belli bir sıcaklıkta sabit tutmaktadır. İç ortamı ısıtmak için elektrikli ısıtıcılar kullanılmakta ve bu ısıtıcıların harcadığı enerjinin kaydı tutulmaktadır. Belirli bir süre sonunda denge şartı sağlandığında, iç ortam dış ortamdaki sıcaklık olacaktır. İki ortam arasındaki sabit kalan sıcaklık farkı, iç bölme ısıtan ısıtıcının çektiği güç ile kıyaslanabilir. Bu sayede cihazın içini dışarıdan, 1 K sıcaklık farkı oluşturacak şekilde yalıtım için ne kadar güç gerektiği, başka bir deyişle cihazın yalıtım performansı ölçülebilir.

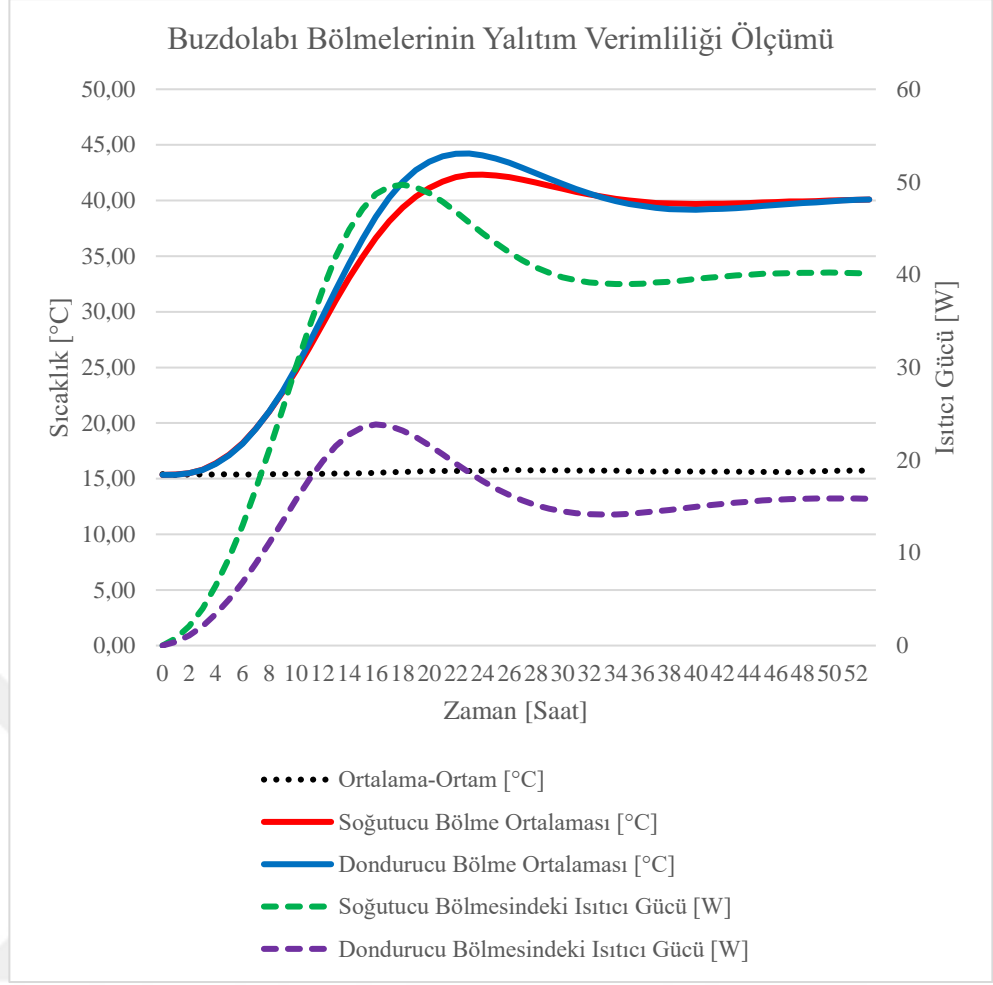
Özellikle birçok değişkenin etki sahibi olduğu durumlarda iki tasarım arasındaki fark bu yöntem ile ölçülebilir ve hangi durumun daha verimli olduğu belirlenebilir.

Bu çalışmada, kullanılan buzdolabı bölmelerinin ısı yalıtım değerleri, sıcaklığı 16°C olarak şartlandırılmış bir odada, test edilerek ölçülmüştür. Cihaz, şartlandırılmış odada Şekil 2.1 deki gibi hazırlanmıştır. Cihazın dışına çevresi boyunca (ön, arka, sağ ve sol) 4 adet sıcaklık sensörü, içine ise 15 cm aralıklarla iki yanı boyunca sensörler şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Bölme tabanlarına ise elektrikli ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Cihaz ve tüm donanım 24 saat boyunca 16°C'ye şartlandırılmış odada bekletildikten sonra tüm bölümleri test odası ile aynı sıcaklığa gelerek dengelenmiş ve tüm sensörlerden nerdeyse aynı sıcaklık değerleri okunmuştur.



Şekil 2.1. Buzdolabı Yalıtım Testi Kurulumu

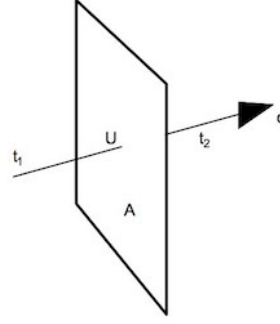
Test ölçüm grafiği Şekil 2.2'deki gibidir. Burada ölçüm sırasında ısıtıcıya uygulanan güç kademeli olarak arttırılmış ve cihazın içinin 40°C'de sabit sıcaklıkta dengeye gelmesi sağlanmıştır. Bu dengelenmeden sonra dışarı ile içerisi arasında sıcaklık farkı 2 saat boyunca gözlemlenmiş (grafikteki son iki saat) ve 2 saat boyunca 0.1K'i geçmeyen denge durumu oluştuğunda, cihazın yalıtım performansı hesaplanmıştır.



Şekil 2.2. Buzdolabı Bölmelerinin Yalıtım Verimliliği Ölçümü

Deney süresi boyunca ısıtıcıların çektiği güç kaydedilmiştir. Bu ısıtıcıların çektiği güç cihazın içerisinde dış ortamdaki 1K değerinde ayrıştırması için gerekli gücü hesaplamakta kullanılabilir. Bu sayede cihazın mevcut durumunun yalıtım performansı belirlenebildiği gibi cihazın çalışması için gerekli soğutma gücünü sağlayacak kompresör de bu değerler ile seçilebilir.

Cihazın ısı iletim kabiliyeti ile ifade edilir. Bu değer iki farklı sıcaklık arasında bir levha ve bu levha boyunca geçen ısı akısına karşı gösterilen direnç şeklinde özetlenebilir.



Şekil 2.3. Isı Transfer Mekanizması

Şekil 2.3’de gösterilen mekanizmanın hesaplaması aşağıdaki gibidir [20]:

$$q = U A dT \quad [2.1]$$

q = ısı transferi (W (J / s))

U = toplam ısı transfer katsayısı (W / (m²K))

A = duvar alanı (m²)

$$dT = (t_1 - t_2) \quad [2.2]$$

dT = duvardaki sıcaklık farkı (K)

Çok katmanlı bir duvar, boru veya ısı eşanjörü için genel ısı transfer katsayısı şu şekilde hesaplanabilir.

$$\frac{1}{U A} = \frac{1}{h_{ci} A_i} + \sum \frac{s_n}{k_n A_n} + \frac{1}{h_{co} A_o} \quad [2.3]$$

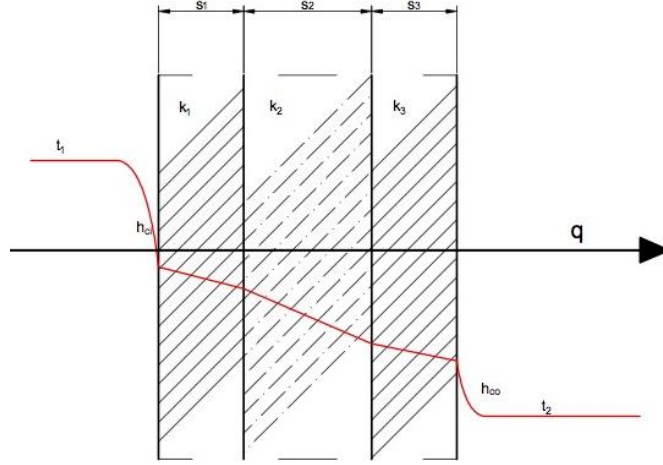
U = toplam ısı transfer katsayısı (W / (m² K))

k_n = n katmanındaki malzemenin ısı iletkenliği (W / (m K))

$h_{c i,o}$ = iç veya dış duvar sıvı taşınım ısı transfer katsayısı (W / (m² K))

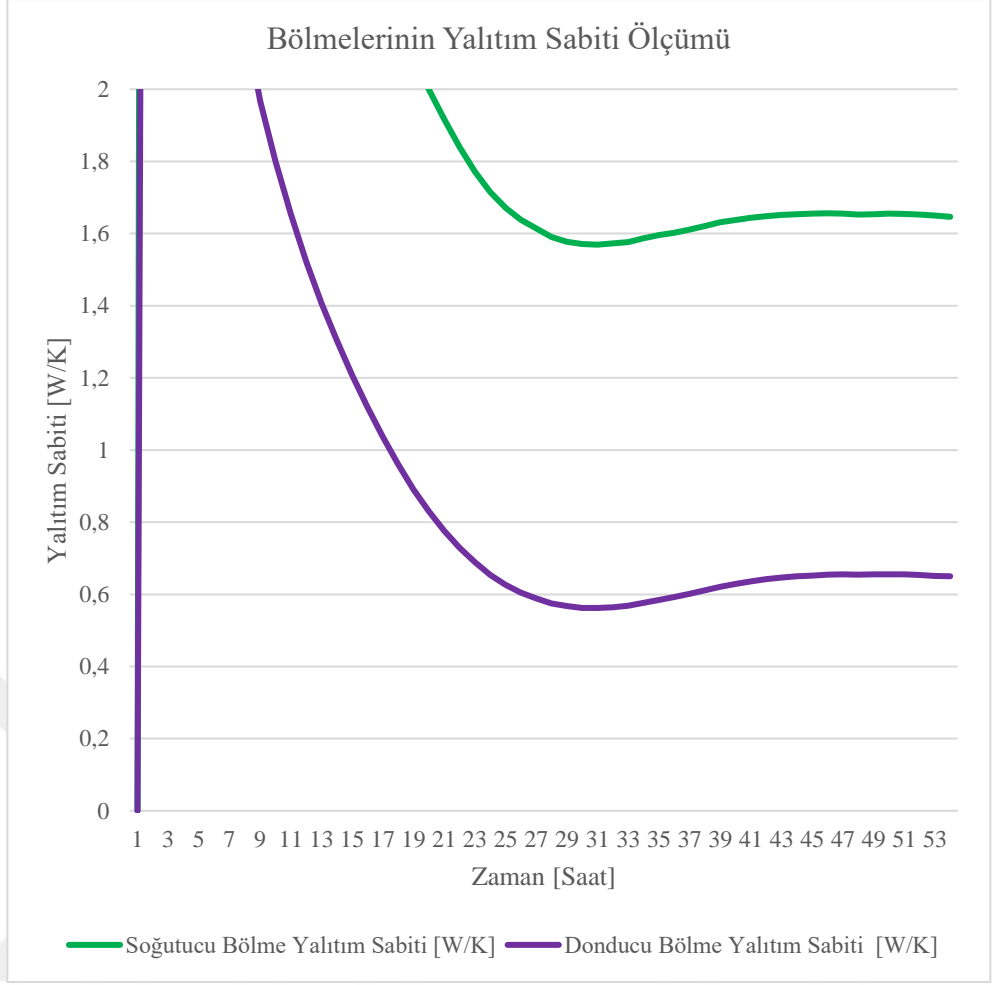
s_n = n tabakasının kalınlığı (m)

Buzdolabı duvarı gibi birçok malzemeden oluşmuş bir duvar için kalınlık boyunca ısı geçişi boyunca gerçekleşen sıcaklık düşümü Şekil 2.4'deki gibi özetlenebilir.



Şekil 2.4. Çok Katmanlı Duvarda Isı Geçişi Boyunca Sıcaklık Düşümü

Deney düzeneği ile gerçekleştirilen test sonucunda elde edilen değerlerle hesaplanan bölme tabanlı yalıtkanlık sabitleri Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Grafikte buzdolabı bölmelerinin deney süresi boyunca gerekli W/K'lik sabiti hesaplanmıştır. Burada son 2 saatlik değer bölmenin yalıtkanlık sabiti kabul edilmiştir.



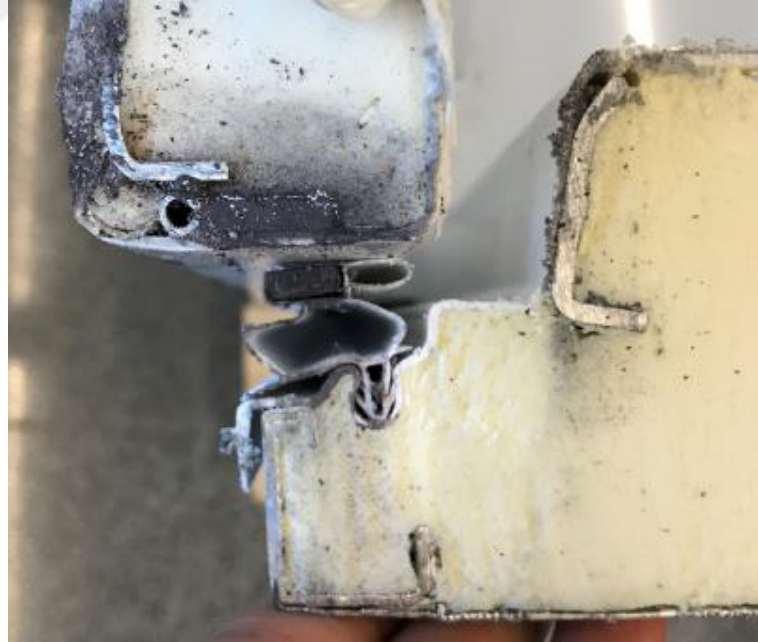
Şekil 2.5. Bölmelerin Yalıtım Sabitinin Ölçümü

3. MEVCUT CONTADAKİ SICAKLIK DAĞILIMININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mutfaklar genelde evlerin yüksek bağıl neme sahip ortamlarıdır. Özellikle sıcaklığın ve nemin yüksek olduğu ülkelerde iyi bir buzdolabı için en önemli özelliklerden biri kapak yüzeyinde ve contada yoğuşmanın oluşmamasıdır.

Bu çalışmada kullanılan buzdolabı tüm dünyada aynı tasarımla kullanıldığı için, yüksek bağıl neme sahip şehirlerde, conta kısmında terlemeler meydana geldiği kullanıcılar tarafından raporlanmıştır. Bu çalışmada terlemeyi meydana getiren dinamikler ve sıcaklık dağılımı mevcut durum için araştırılacaktır.

Bu araştırma esnasında, ön çalışmada ortaya çıkan sonuçlar göz önüne alınarak, terleyen bölgenin yaklaşık 15 cm'lik çevresi boyunca alınacak kesitini incelemek yeterli olacaktır.

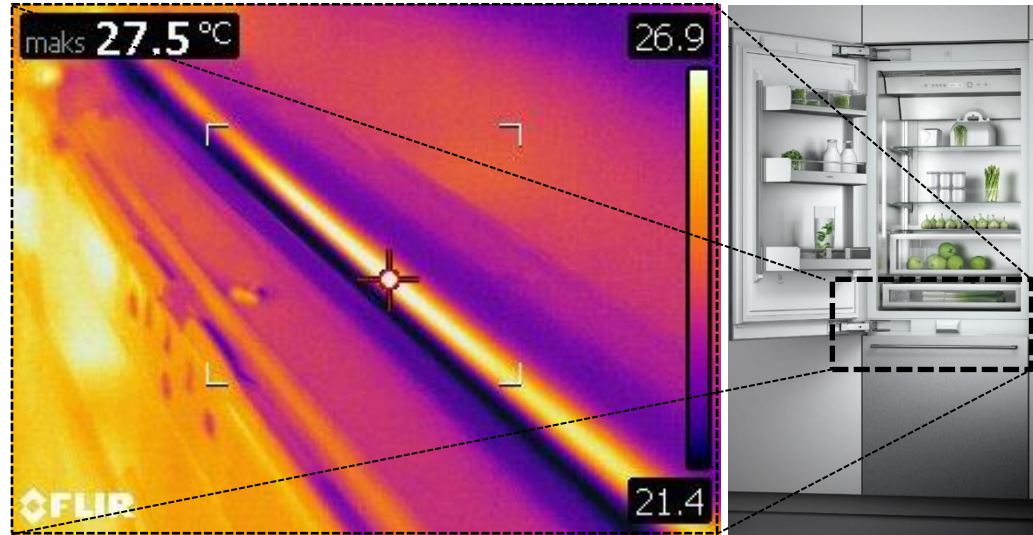


Şekil 3.1. Mevcut Contanın Kesit Görüntüsü

Araştırmanın yapılacağı kesit Şekil 3.1’de görülmektedir. Burada görülen beyaz conta hâlihazırda üretilen cihazlarda kullanılan mevcut conta ve kesitini göstermektedir. Contanın cihazın duvarına değdiği yerde yapışmayı sağlamak için fotoğrafta siyah renkte görülen mıknatıs vardır. Ayrıca mıknatısın solunda boru kesiti şeklinde görülen parça ise, conta dış yüzeyini ısıtan ısıtıcıdır. Bu ısıtıcı soğutma çevriminde kondenserden sonra yer almakta ve içinden geçen sıcak akışkan sayesinde ısınmaktadır. Ancak deneyler sırasında gözlemlendiği üzere bu sıcaklık yalnızca cihaz çalışırken yani soğutma yaparken sağlandığından yeterli olmamakta ve conta üzerinde terleme meydana gelmektedir

3.1. Deneysel Model

Deney sistemi, bahsedilen kesitin ve terleme bölgesinin çevresi boyunca önemli noktalardan sıcaklık ölçümü almak için termokupul yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Burada kritik olduğu değerlendirilen noktaları belirlemede termal kamera kullanılmıştır. Böylece sıcaklık dağılımı haritası çıkartılırken en hızlı değişimin olduğu noktalar belirlenmiş ve buralardan ölçüm sonuçları alınmaya çalışılmıştır. İlgili görüntü Şekil 3.2’deki gibidir.



Şekil 3.2. Mevcut Contanın Sıcaklık Dağılımının Termal Görüntüsü

Belirlenen noktalara yerleştirilen (şekil 3.3) sıcaklık sensörleri 15 saniye aralıklarla test sistemi tarafından kaydedilmiştir.



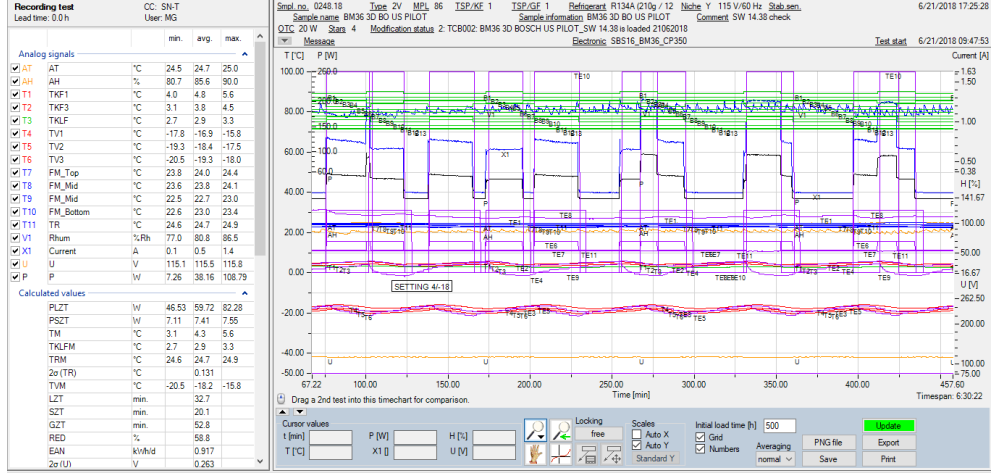
şekil 3.3. Mevcut Contanın Sıcaklık Ölçümü Deney Düzenegi

3.2. Test Sistemi ve Özellikleri

Test sistemi temelde bir bilgisayar ile sıcaklık sensörlerinden oluşan ve şartlandırılmış sıcaklığa sahip test odalarındaki bilgileri kaydeden bir veri kaydediciden oluşmaktadır.

Test sistemi ile deney sisteminden sabit zaman aralıkları boyunca (genellikle 15 sn. de bir) sıcaklık, bağıl nem, enerji tüketimi, voltaj, akım, hertz, atmosfer basıncı, soğutucu akışkan basıncı, titreşim, ses şiddeti ve hava hızı verileri kaydedilmekte ve uzaktan izlenebilmektedir.

Sıcaklık sensörü olarak 11 adet T tipi termokupullar kullanılmıştır. Bu sensörlerin sıcaklık ölçüm toleransı $\pm 0.01K$ olup yılda bir kez akredite bir kurum tarafından kalibrasyonu gerçekteşirilmifitir. Bağıl nem ölçümü SHT21 isminde bir elektronik modül ile gerçekteşirilmifitir. Bu sensörün ölçüm hassasiyeti ise $\pm 3\%$ dür.



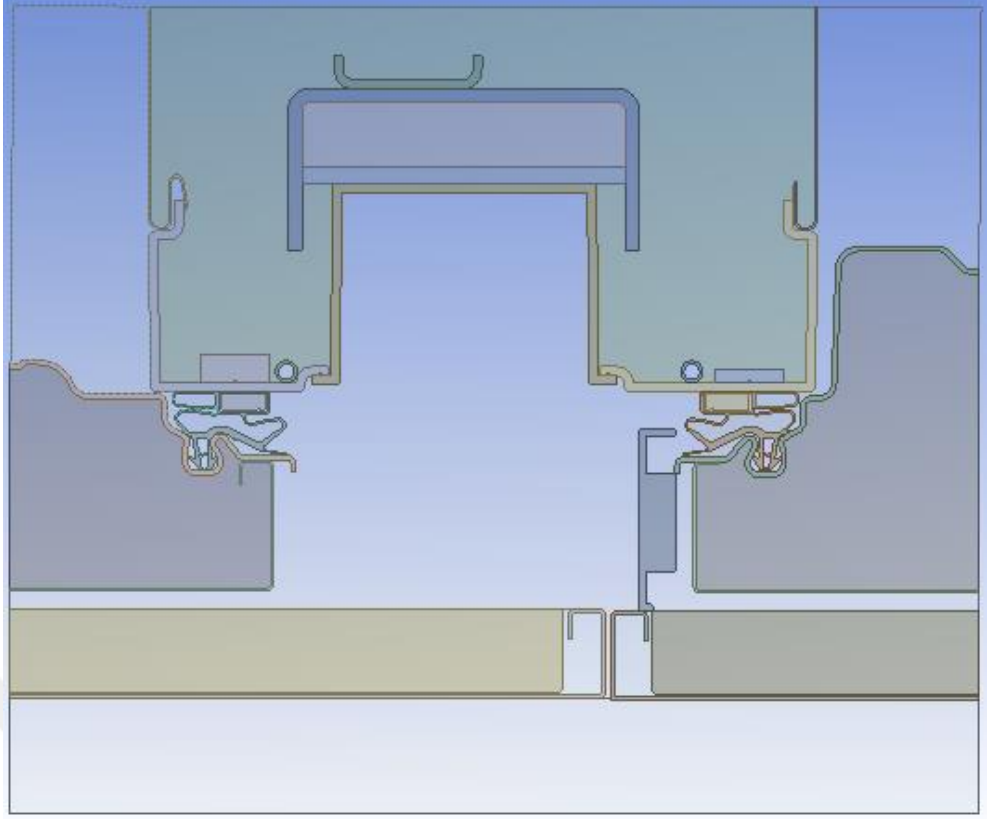
Şekil 3.4. Test Sistemi ve Denede Kaydedilen Bilgiler

Şekil 3.4'de gösterilen test sistemi tarafından kaydedilen veriler bir grafik ara yüz tarafından görselleştirilmektedir. Kaydedilen değerleri test sırasında ve sonrasında hem tabloda test sonuç değerleri şeklinde hem de grafik olarak çıktı almak mümkündür.

3.3. Sayısal Modelleme

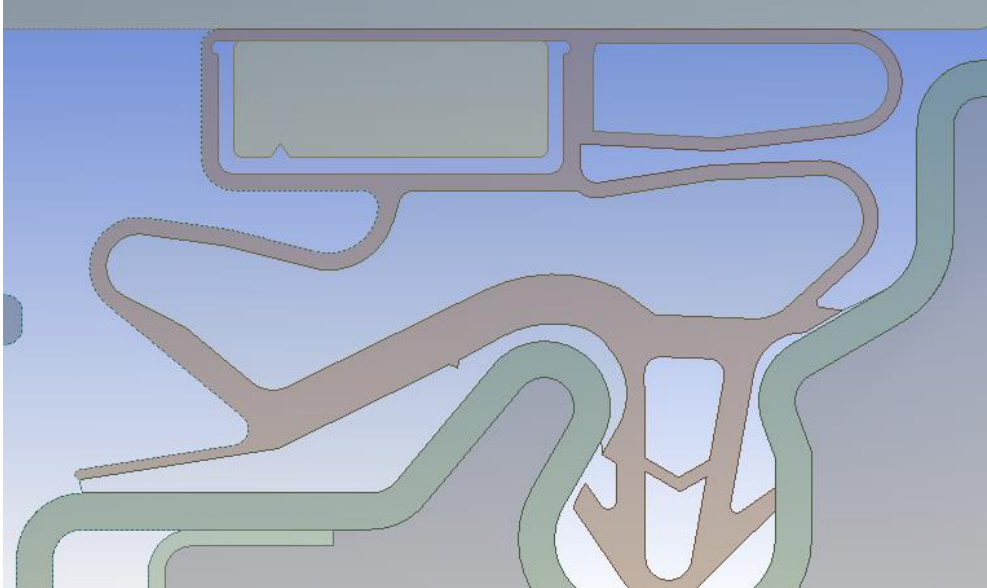
Buzdolabı ile sıcaklığı ve bağıl nemi şartlandırılmış odada gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen değerlerle conta kesiti boyunca sıcaklık dağılım haritasının çıkartılması sonlu elemanlar analiz programları ile mümkün olmaktadır. Bu değerler sonlu elemanlar analiz programının sınır koşullarını belirlemede kullanılmıştır.

Denede kullanılan cihazın 3 boyutlu modeli DesignModeler tasarım programları ile oluşturulmuştur. Araştırmanın odak noktası conta üzerindeki terlemenin giderilmesi olduğundan tasarım ve analiz conta ve çevresi ile sınırlı tutulmuştur. Şekil 3.5'de kullanılan modelin görünümü yer almaktadır. Burada soldaki bölme soğutucu kısmı sağdaki bölme ise dondurucu kısmı ifade etmektedir. Araştırma konusu cihaz ankastre olduğu için kapıların dışında mobilyadan oluşturulmuş giydirme bir kaplama mevcuttur.



Şekil 3.5. Örnek Buzdolabı Model Kesiti

Ayrıca conta için daha ayrıntılı görüntü Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Mevcut Contanın Modeli

3.4. Sayısal Modelin Oluşturulması

Örnek buzdolabı conta kesitinin ve hava boşluklarının 3 boyutlu modelleri çizilmiş ve sonlu elemanlar analiz programında (Ansys®) sayısal ağ yapısı oluşturulmuştur.

Conta gibi cidar kalınlığı (0.4 mm) oldukça az olan malzemelerde sayısal ağ işlemi uygulanırken koşulların iyi belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle araştırma konusu olan sıcaklık dağılımının incelendiği durumlarda cidar bölgesini doğru şekilde modelleyebilmek için, 0.1 mm kalınlığında sayısal ağ oluşturulmuştur.

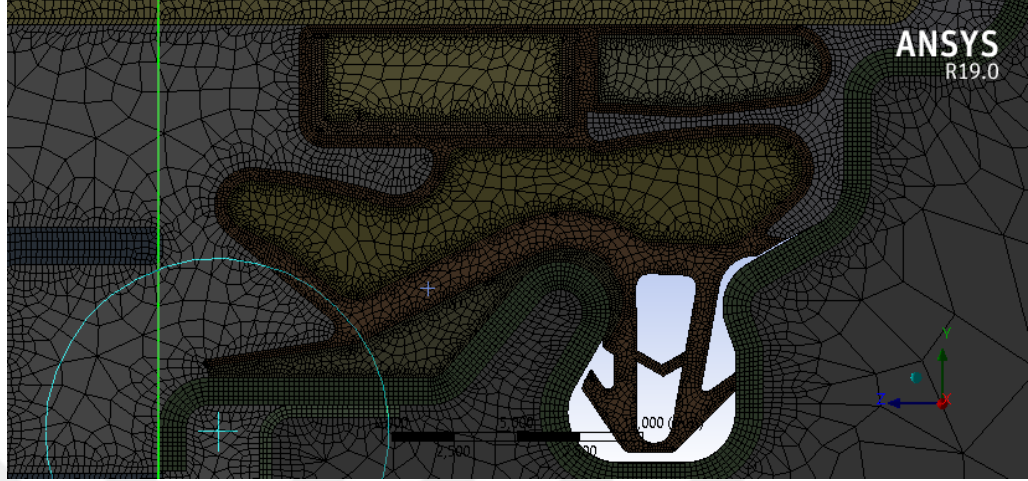


Şekil 3.7. Mevcut Contanın Sayısal Ağ Yapısı

Contanın sayısal ağ yapısı Şekil 3.7’de gösterildiği gibidir.

Sonlu elemanlar programlarında oluşturulan sayısal ağ yapısı sonrasında her bir eleman için yalnızca bir sıcaklık sonucu elde edilmektedir. Bu yüzden elemanların şekilleri, boyutları ve komşulukları oldukça önemlidir. Elde edilen sayısal ağ yapısının sonuçlara etkisini gözlemlemek için aynı sınır koşullarında ancak farklı bir sayısal ağ yapısı ile analizi tekrar edilmeli ve sonuçların benzer olup olmadığı kıyaslanmalıdır.

Sonuçların sayısal ağ yapısından bağımsızlığının kontrolü için, elemanları oluştururken belirlenmiş büyüme sınırı iki katına çıkarılarak daha farklı bir sayısal ağ yapısı Şekil 3.8’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Mevcut Conta için Farklı Bir Sayısal Ağ Yapısı

Yukarıda gösterilen yeni sayısal ağ yapısı ile aynı sınır şartlarında yeniden çalışılan analiz sonuçları ise Şekil 4.3’de gösterilmektedir.

3.4.1. Sınır Koşulları

Örnek buzdolabında kullanılan malzemelerin ısı özellikleri Tablo 3.1’de listelenmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan Malzemelerin Isıl Özellikleri

Malzeme	Yoğunluk	Özısı	Isıl İletkenlik
	(kg/m ³)	(J/kg.K)	(w/m.K)
Hava	1.225	1006.4	0.0242
Poliüretan	1265	1800	0.0220
Paslanmaz Çelik	7750	480	15.1000
Plywood	545	1215	0.1300
Yapısal Çelik	7850	434	60.5000
ABS	1050	1470	0.2500
Gri Dökme Demir	7200	447	52.0000
Conta	1220	1600	0.1500
Mıknatıs	8000	650	12.3900

Başlangıç sınır koşulu olarak tüm malzemelerin 25°C sıcaklıkta beklendiği varsayılmıştır. Ayrıca, Tablo 3.2’de görüleceği üzere deneysel çalışmanın çıktıları kullanılarak başlangıç sınır koşulları, programa girilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen rakamlar cihazın rejime ulaştığında ortaya çıkan ortalama sıcaklıkları ifade etmektedir.

Tablo 3.2. Deneysel Çalışmadan Çıkarılan Sınır Koşulları

Konum	Sıcaklık
	(°C)
Soğutucu Bölmesi	4
Dondurucu Bölmesi	-18
Dış Ortam Sıcaklığı	25
Soğutucu Contası Isıtıcısı	26
Dondurucu Contası Isıtıcısı	27

3.4.2. Yönetici Denklemler

Ansys R19.0 hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılarak, yönetici denklemler sayısal olarak çözülmüştür. Doğal taşınım problemleri momentum, kütle ve entalpi korunumu denklemlerinin eşzamanlı çözümünü gerektirir. Conta ve çevresindeki akış, Rayleigh sayısı belirli bir değerin altında kaldığından doğal konveksiyonla gerçekleşmektedir. Bu yüzden türbülans denklemleri kullanılmamıştır. Süreklilik ve hız bileşenleri için denklemler aşağıdaki formları alır:

- Süreklilik Denklemi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad [3.1]$$

- Momentum Denklemi

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + \rho g_i \quad [3.2]$$

- Enerji Denklemi

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i h) = u_i \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \tau_{ij} \frac{\partial \tau_i}{\partial x_j} \quad [3.3]$$

t zaman, ρ yoğunluk, u_i i-yönündeki hız bileşeni, P statik basınç, x_i bir kartezyen koordinat, τ_{ij} gerilme tensörü, g_i i-yönündeki yerçekimi ivmesi, h statik entalpi, k çalışma akışkanının termal iletkenliği ve T sıcaklıktır.

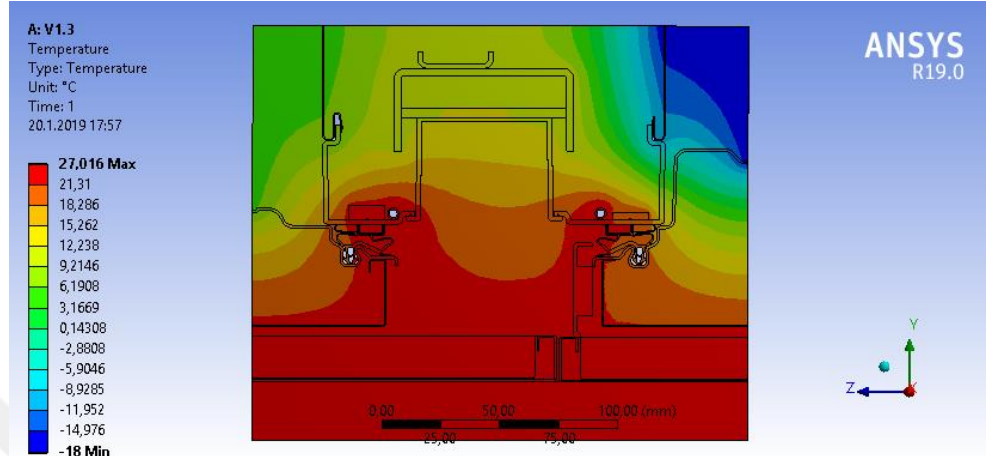
Aşağıdaki ifadeler denklemlerin hesaplanmasında göz önünde bulundurulmuştur:

- Akış laminer ve üç boyutlu olarak kabul edilmiştir.
- Akışkan Newtonian'dır.
- Akışkanların termofiziksel özellikleri, kaldırma kuvvetlerine yol açan sıcaklıkla yoğunluğun değişmesi dışında sabittir.

4. SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI

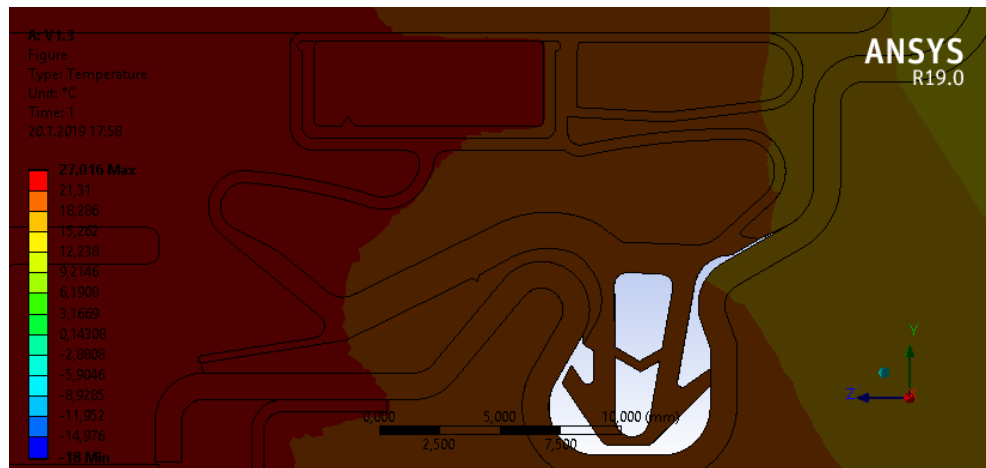
4.1. Örnek Buzdolabı Kesitinin Sıcaklık Dağılımı

Çalışma sonucu elde edilen sıcaklık dağılımı Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Mevcut Durum Sıcaklık Dağılımı

Genel görüntüsü yukarıda verilmiş sıcaklık dağılımının özellikle araştırmaya konu conta için yakınlaştırılmış modeli Şekil 4.2.’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Mevcut Conta Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.2’de sorunlu bölge daha yakından görülebilmektedir. Sıcaklık dağılımı haritasında turuncu ile gösterilen bölümler yoğuşma olan bölgelerdir.

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere yoğuşma sınırı neredeyse sol taraftan contanın dışına taşmak üzeredir. Yapılan analizde denge durumu ele alındığından conta ısıtıcısının ısıtmayı kesmesi durumunda terleme meydana gelecektir.

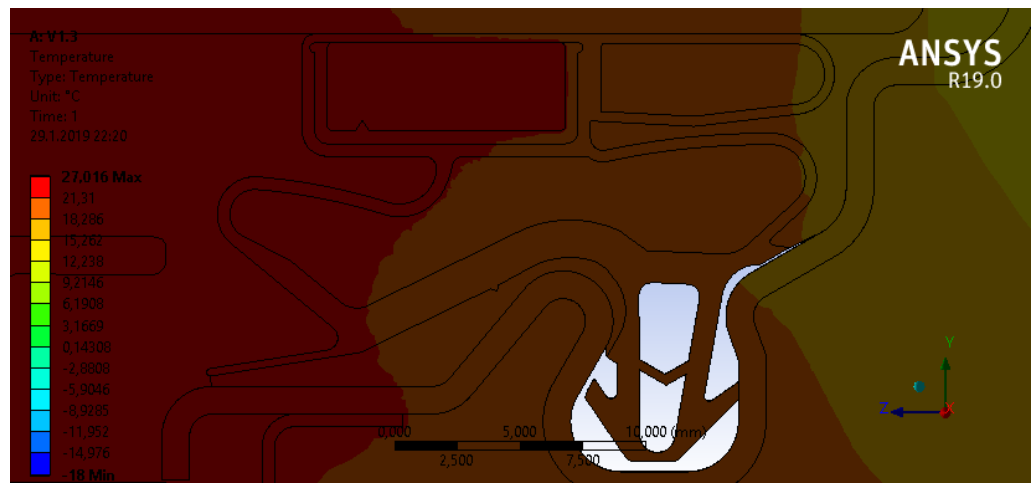
Bu çalışmanın asıl amacı, yoğuşma sınırını içeren bu bölgenin olabildiğince contanın dış kısmından uzaklaştırılması yani yoğuşma sınır hattının olabildiğince içeriye (sağ tarafa) taşınmasını sağlamaktır.

4.2. Sonuçların Sayısal Ağ Yapısından Bağımsızlığının Kontrolü

Sonlu elemanlar programlarında oluşturulan sayısal ağ yapısı sonrasında her bir eleman için yalnızca bir sıcaklık sonucu elde edilmektedir. Bu yüzden elemanların şekilleri, boyutları ve komşulukları oldukça önemlidir. Elde edilen sayısal ağ yapısının sonuçlara etkisini gözlemlemek için aynı sınır koşullarında ancak farklı bir sayısal yapı ile analiz tekrar edilmeli ve sonuçların benzer olup olmadığı kıyaslanmalıdır.

Sonuçların sayısal ağ yapısından bağımsızlığının kontrolü için, elemanları oluştururken belirlenmiş büyüme sınırı iki katına çıkarılarak daha farklı bir sayısal ağ yapısı Şekil 3.8’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Yeni sayısal ağ yapısı ile aynı sınır şartlarında yeniden gerçekleştirilen simülasyon sonuçları ise Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Yeni Sayısal Ağ Yapısı ile Sıcaklık Dağılımı

Yeni sayısal ağ yapısı ile gerçekleştirilen analiz çıktısı sıcaklık dağılımından görüleceği üzere Şekil 4.2 ile Şekil 4.3 kabul edilebilir düzeyde aynı sıcaklık dağılımına sahiplerdir. Bundan sonra gerçekleştirilen analizler, ilk sayısal ağ yapısı kuralları korunarak gerçekleştirilmiştir.

4.3. Yeni Conta Kesitinin Tasarlanması

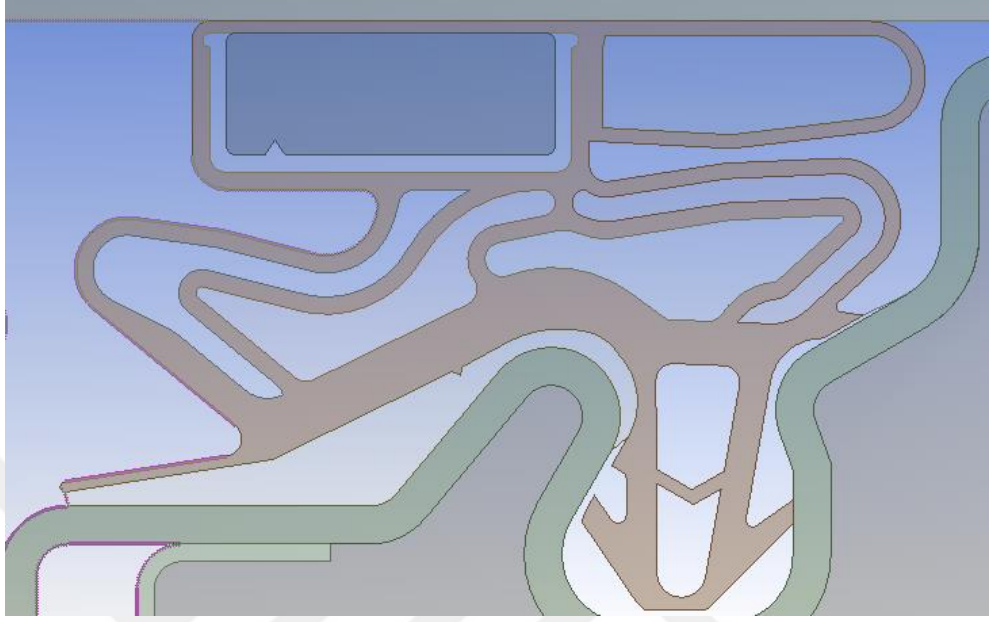
Bu bölümde yer alan çalışmalar sonlu elemanlar simülasyonları ile ev tipi buzdolabının contasındaki ısı kaybını araştırmak için yapılmış analizler ve bu çıktılara göre tasarımı güncelleyip yeniden analiz etme sürecine dayanmaktadır. Analize konu tasarım için örnek alınan kesit sonlu elemanlarda 2 boyutlu kabuk eleman olarak tanımlanmış ve sonsuz uzunlukta olduğu varsayılmıştır. Denge durumunun analiz sonuçları temel alınarak grafiklerde bu sonuçlar gösterilmektedir.

Araştırma öncesinde yapılan literatür taramasında endüstride ve birçok yüksek lisans tezinde conta yalıtımını ve sıcaklık dağılımını pozitif yönde iyileştirmek için conta içerisine hava odacıkları tasarlandığı görülmüştür. Mevcut conta tasarımında ise yalnızca ortada büyük bir hava odacığı olduğundan, bu hava odacığını başka küçük odacıklara bölünmüştür. Bu sayede içeriden dışarıya sıcaklıkları farklı hava cepleri oluşturulmuş ve bu yeni bir tasarım sonlu elemanlar programında aynı koşullarda analiz edilmiştir.

4.3.1. Conta İçine Hava Odacıkları İnşa Etmenin Sıcaklık Dağılımına Etkisi

Conta içinde yer alan hava odacığı tüm contalarda ortak bir tasarımdır ve içeriden dışarıya bir ara sıcaklık havuzu oluşturduğundan ısı akısını azaltmakta önemli bir tasarım parametresidir. Ancak oluşturulan hava odacığını sınırlayan malzeme yine conta malzemesinden yapılacağından ve bu malzemenin ısı transfer katsayısı, havanın ısı transfer katsayısından daha yüksek bir değere sahip olacağından tasarımın çevredeki sıcaklık şartlarına bağlı olarak dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir.

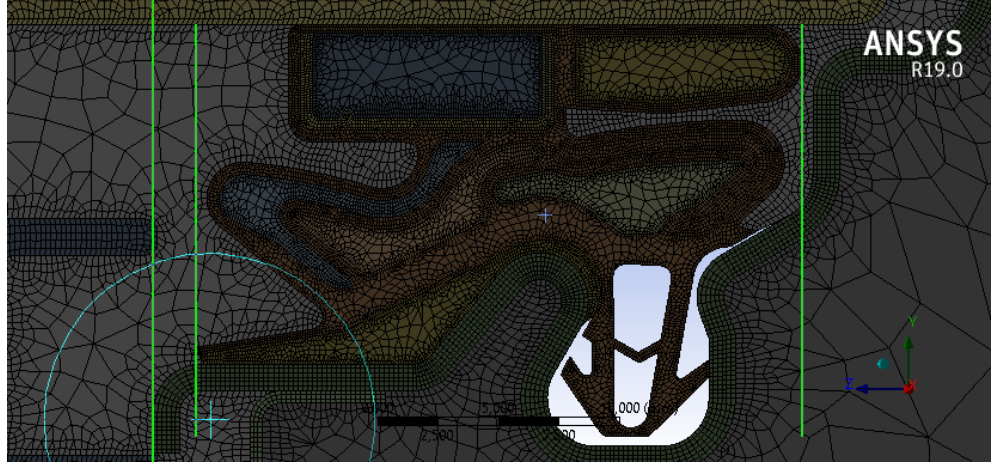
Öncelikle conta iç ve dış yüzeyine küçük ve bu yüzeyler boyunca yer alacak bir hava kesiti yapılması fikri denenmiş ve Şekil 4.4’de gösterilen tasarım oluşturulmuştur.



Şekil 4.4. Yeni Conta Tasarımı - 1.Tasarım

Şekil 4.4’de gösterilen yeni tasarım kesitine sahip conta mevcut conta ile aynı dış görünüşe sahiptir. Tüm montaj ve çalışma prensibi aynı olan contanın yalnızca içerisindeki hava odacığında farklı bir tasarım kullanılmış ve sıcaklık dağılımının istenilen ölçüde etkilenmesi sağlanmak istenmiştir.

Sonlu elemanlar programında yeni tasarım için sayısal ağ oluşturulurken daha önce Bölüm 3.4’de kullanılan aynı parametreler kullanılmıştır. Sayısal ağ işlemi sonucu her bir eleman program tarafından bir hücre olarak kabul edilecek ve temas ettiği / etmediği tüm diğer elemanlarla olan ısı transfer denklemleri belirli bir iterasyon sayısına kadar tekrar tekrar hesaplanacaktır. Şekil 4.5’de bahsedilen model için oluşturulmuş sayısal ağ yapısı verilmiştir.

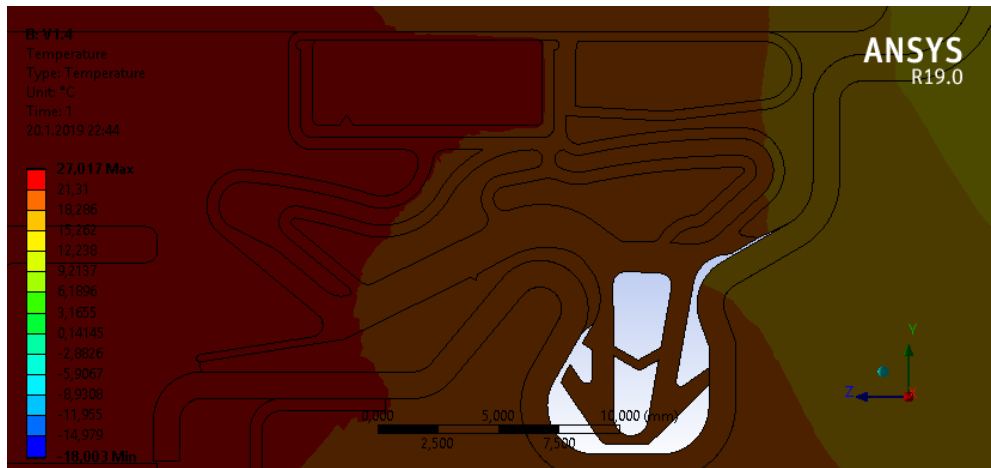


Şekil 4.5. Yeni Conta Tasarımının Sayısal Ağ Yapısı(1.Tasarım için)

Buzdolabı contalarının cidar kalınlığı genelde buradaki tasarımda da olduğu gibi incedir ve yaklaşık 0.4 mm'dir. Bu yüzden sayısal ağ yapısı işleminde özellikle sınırda yer alacak elemanların kenar kalınlıkları 0.1 mm ile sınırlı tutulmuş ve conta et kalınlığı boyunca en az 4 eleman oluşması sağlanmıştır.

4.3.2. Yeni Tasarım Contanın Sıcaklık Dağılımı-1.Tasarım

Bölüm 3.4.1 da kullanılan aynı sınır şartlarıyla yapılan sonlu elemanlar analizi sonucu Şekil 4.6'da görülmektedir.

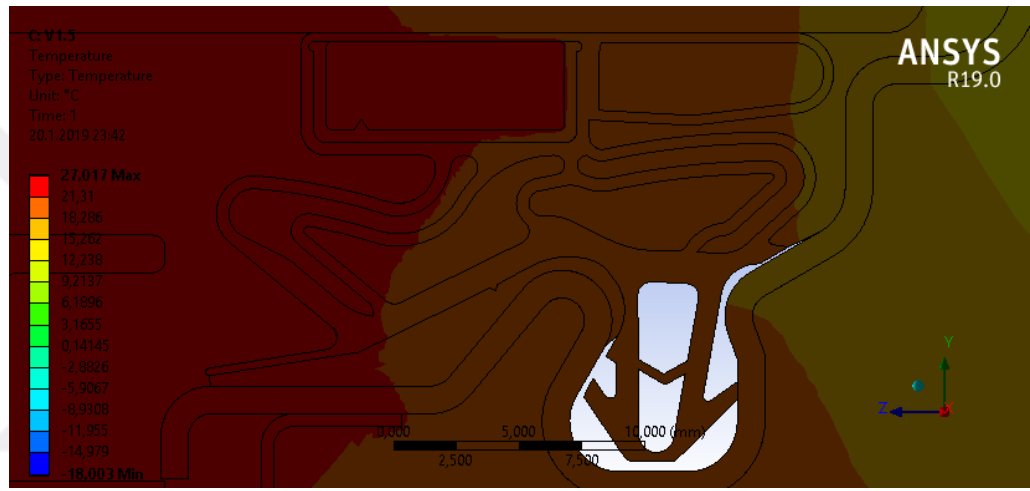


Şekil 4.6. Yeni Conta Tasarımı - 1.Tasarımın Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.6 de yer alan yeni conta tasarımı ile mevcut durumu içeren Şekil 4.2 karşılaştırıldığında sol tarafta yer alan yoğunlaşmanın olmayacağı, kırmızı alanın sağ tarafa doğru kaydığı / büyüdüğü gözlemlenmiştir.

4.4. Farklı Conta Kesiti Tasarımlarının Sonuca Etkisinin Değerlendirilmesi

Analiz sonuçlarına göre elde edilen bulgular ışığında yeni tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da farklı kesit tasarımlarının sıcaklık dağılımına etkisi gösterilmektedir.



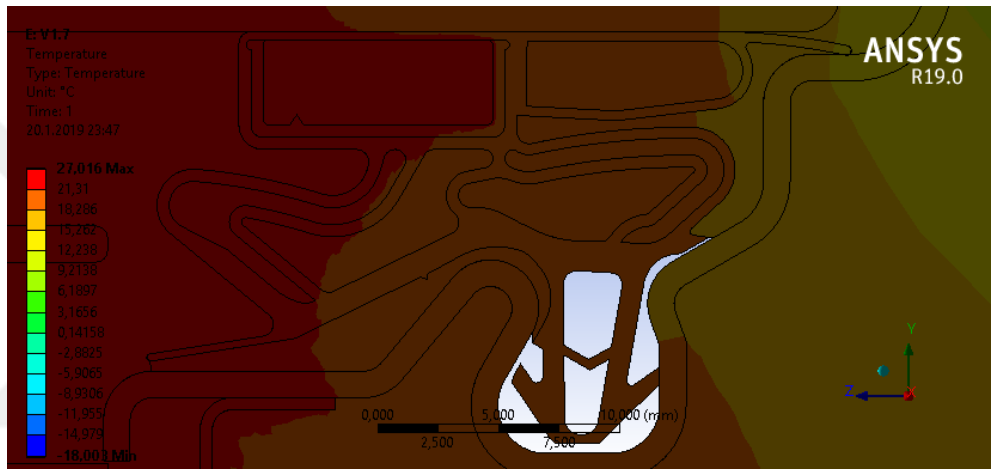
Şekil 4.7. Yeni Conta Tasarımının Beşinci Tasarımının Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4.8. Yeni Conta Tasarımının Altıncı Tasarımının Sıcaklık Dağılımı

Altıncı tasarım ile gözlemlenen değişimler oldukça önemlidir. Beşinci tasarımda dışa uzanan odacığın özellikle yukarıdaki kıvrım noktasında yoğunlaşma sınırını sağ tarafa çektiği gözlemlenmiştir. Ancak altıncı tasarımda bu odacık iptal edildiğinde turuncu bölgenin sol tarafa hareket ettiği saptanmış ve tasarımın mutlak surette soldaki odacığı dar ve kenar boyunca sınırlandırılması gerektiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Yeni conta tasarımı için yürütülen çalışmaların sonucunda ortaya çıkan yedinci tasarımda, conta kesiti ile yapılan analiz çalışmasında Şekil 4.9'daki gibi bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir.

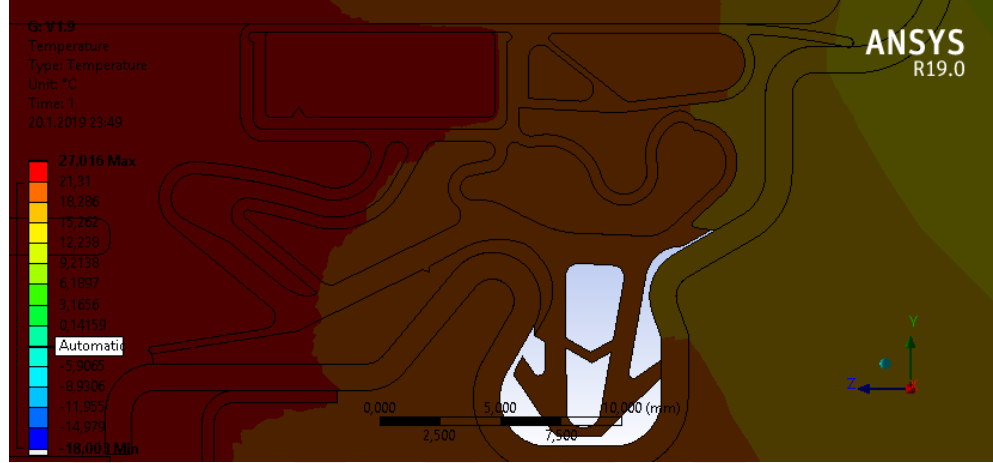


Şekil 4.9. Yeni Conta Tasarımının Yedinci tasarımın Sıcaklık Dağılımı

Bu yeni tasarımda temel fark Şekil 4.9'da sağ tarafta görülen ve dondurucu bölme ile contanın iç yanak kısmının direk temasını kesen bir kanatçığın tasarıma eklenmesidir. Bu sayede dondurucu kısım ile conta arasında yeni bir hava odacığı oluşturulmuştur. Bu odacığın yarattığı fark ise en solda / en dışta yer alan hava odacığında yoğunlaşma sınırını belirleyen kırmızı alanın sağ tarafa doğru hareket etmesi / büyümesi şeklinde incelenebilir.

Şekil 4.9'da yer alan ve yeni oluşan doğal hava odacığının sıcaklık dağılımına olan katkısı göz önüne alındığında, bunun gibi başka odacıklar oluşturulmasının faydalı olacağı değerlendirilmiştir. Özellikle ısı akışının en çok gerçekleştiği yer olan conta malzemesinin tasarımını, içeriden dışarıya uzanan

kolların izlediği yolun uzatılması ile ısı akısının azaltılabileceği değerlendirilmiş ve dokuzuncu tasarım oluşturulmuştur. Aşağıdaki Şekil 4.10'da bu tasarıma ait sıcaklık dağılım haritası yer almaktadır.

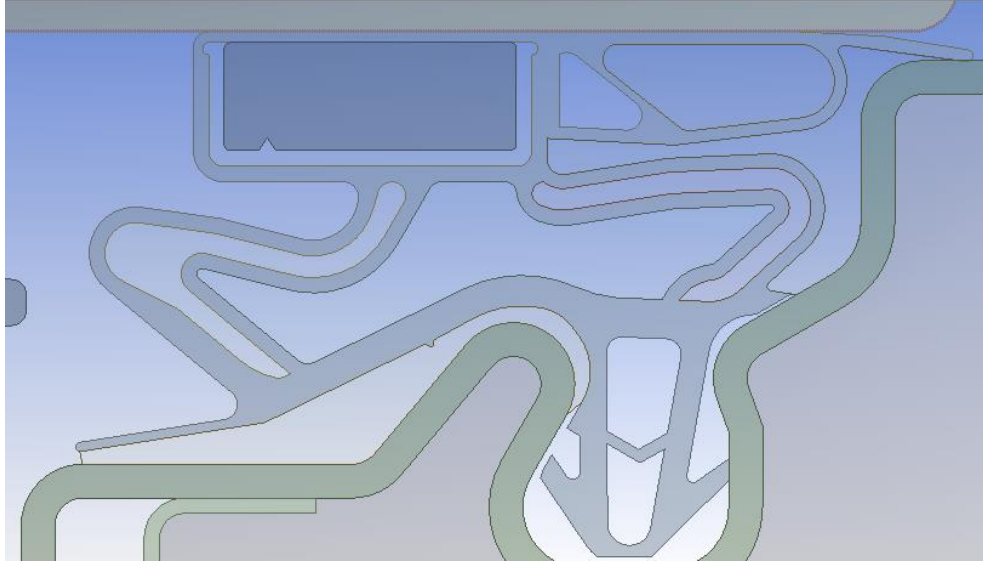


Şekil 4.10. Yeni Conta Tasarımının Sıcaklık Dağılımı-9.Tasarım

Şekil 4.10'daki tasarımda sağda yer alan hava odacığını dışarıdan çevreleyen ve nerdeyse contanın merkezine kadar dondurucu bölmeden gelen düşük sıcaklığı ileten kol uzantısı, dolambaçlı bir şekilde ilerletilerek ısı akısının izlediği yol uzatılmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu kolun üst kısmında yeni bir hava cebinin oluşması sağlanmıştır. Ancak bu yeni tasarım terleme sınırını ifade eden kırmızı alanı neredeyse hiç etkilememiştir.

4.5. Nihai Conta Tasarımının Gerçekleştirilmesi

Çalışmanın bu noktasına kadar yapılan tüm analizler ve çıktıları göz önüne alınarak onuncu tasarım Şekil 4.11'de verildiği gibi tamamlanmıştır.



Şekil 4.11. Conta Tasarımının Kesit Görünümü-10.Tasarım

Şekil 4.11’de yer alan yeni tasarımın diğerlerinden en büyük farkı ortada yer alan ve büyük hava odacığını ikiye bölen kısmın tasarımdan kaldırılmasıdır. Özellikle bu kısım contanın çalışması sırasında uyguladığı esnemeye karşı direnç kuvvetini arttırdığı için contanın kullandığı yerde çalışmayı zorlaştırmaktadır. Ayrıca 3 boyutlu yazıcılar ile alınan çıktının cihaz üzerinde denenmesi sonucu yeni tasarım contanın esneklik kabiliyeti sınırlı kaldığı gözlemlenmiş ve daha esnek olması için ortadaki kısım tasarımdan elemine edilmiştir.

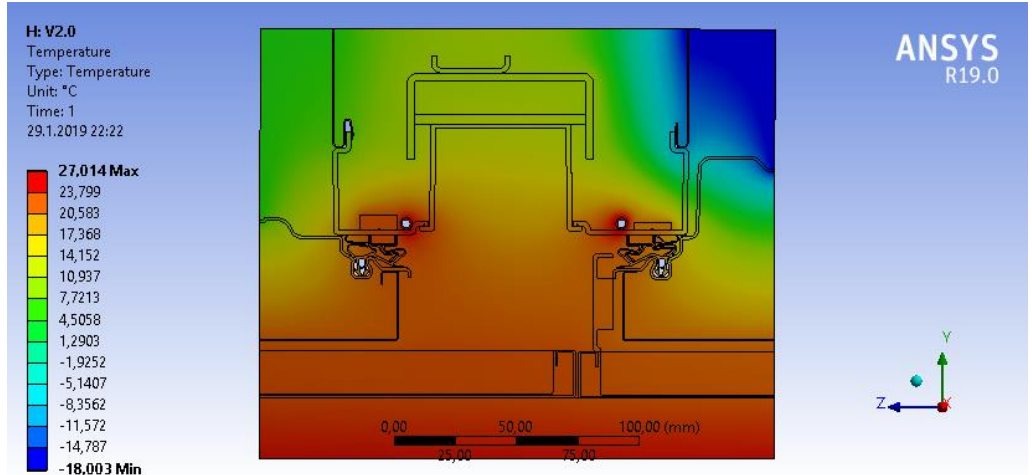
Onuncu tasarım ile gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucu ortaya çıkan sıcaklık dağılımı Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Yeni Conta Tasarımının Sıcaklık Dağılımı-10.Tasarım

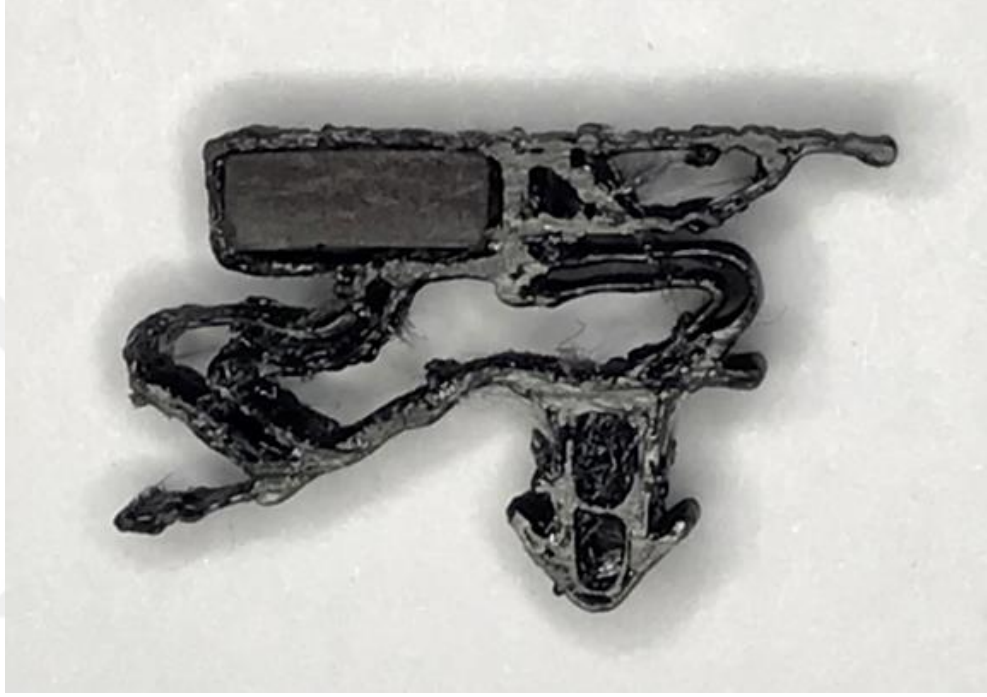
Şekil 4.12’de görülebileceği üzere yoğuşma sınırını ifade eden kırmızı alan neredeyse tüm sol iç hava odacığını kaplamış ve içerdeki büyük hava odacığına kadar uzanmıştır. Bu durumda contanın dış kısmında en yüksek sıcaklık ortalaması yakalanmış ve dış terlemeye karşı en güvenli tasarım olarak kaydedilmiştir.

Bu noktaya kadar çalışmanın özellikle conta kesitine yakın alanı incelenmiş ve yukarıda gösterilen sıcaklık dağılımları ile ifade edilmiştir.



Şekil 4.13. Yeni Conta Tasarımının Genel Sıcaklık Dağılımı-10.tasarım

Sonlu elemanlar analizleri sonuçları değerlendirilerek iyileştirilen yeni conta tasarımının gerçek cihaz üzerindeki uyumluluğunun denenmesi için hızlı prototipleme yöntemi ile 3 boyutlu yazıcılardan çıktı alınmıştır. Bu çıktıyı alırken kullanılan filament contanın esneklik gereksinimlerini karşılaması gerektiğinden TPU malzemedan seçilmiştir. Bu alınan çıktının bir örneğinin fotoğrafına Şekil 4.14’de yer verilmiştir.



Şekil 4.14. Yeni Conta Tasarımının Hızlı Prototipleme Çıktısı

4.6. Ulaşılan Nihai Conta Tasarımının Değerlendirilmesi

Bu çalışma ile ulaşılan yeni conta tasarımının simülasyon sonuçları oldukça tatmin edici olsa da kontrollü deneyler ile sonuçların doğrulanması gerekmektedir. Hızlı prototipleme ile elde edilen numune contalar katman katman işlendiğinden ve üretildiğinden, bazı durumlarda katmanlar arası boşlukların da var oluşu bu yöntemle üretilen numunelerin deneyler için kullanılamayacağı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu yüzden yeni tasarım ile bir deneysel modelleme yapılamamış ve analiz sonuçlarında elde edilen bulgular ışığında araştırma sonlandırılmıştır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Araştırmanın yola çıkış noktası, piyasada hâlihazırda satılan ev tipi bir buzdolabının contasında meydana gelen terleme yoğuşma probleminin incelenmesidir. Yapılan çalışma ile bu yoğuşmayı meydana getiren nedenler araştırılmış ve mevcut durumun deneysel modellemesi gerçekleştirilmiştir.

Deneysel modelden elde edilen bilgiler ışığında, cihazın conta bölmesinin 3 boyutlu modellemesi ve bu modelde kullanılacak sınır koşulları belirlenmiştir. Sınır koşulları belirlenirken conta üzerinde yer alan çeşitli noktaların sıcaklıkları sensörler ile ölçülmüştür. Ayrıca buzdolabı bölmelerinin sıcaklıkları, conta ısıtıcısının sıcaklığı ve cihazı çevreleyen ortamın sıcaklığı da yine ölçülen değerler arasındadır. Yapılan sonlu elemanlar analizi sonucu mevcut durumun sıcaklık dağılım haritası çıkarılmış ve yoğuşma sıcaklığı bu dağılım haritasında turuncu ile işaretlenmiştir. Sıcaklık dağılım haritasında kırmızı ile ifade edilen yerler yoğuşma sınırından daha sıcak başka bir değişle yoğuşmanın meydana gelmeyeceği yerleri ifade etmektedir.

Conta tasarımının mevcut durumunun zayıf noktaları simülasyon sonuçlarına göre değerlendirilmiş ve ön araştırma sonuçları uyarınca yeni hava odacıklarının contaya eklenmesine karar verilmiştir. Yeni tasarımların her biri aynı sınır koşulları ve başlangıç şartlarında sonlu elemanlar analiz programı ile test edilmiş ve çıktıları değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda ulaşılan conta tasarımı hızlı prototipleme ile üretilmiş ve cihaz üzerinde montaj denemeleri gerçekleştirilmiştir. Dış ölçütlerinde herhangi bir noktanın değişmediği conta, mevcut cihaza montaj ve doğru çalışma açısından tam uyum sağlamıştır. Ancak kalıbı olmadığı için hızlı prototipleme ile üretilen bu yeni tasarım conta ile deneysel bir analiz yapılmasının doğru olmadığı öngörüldüğünden çalışma bu noktada sonlandırılmıştır.

Çalışma konusu cihazın üreticisi olan kurum, çalışma çıktılarını değerlendirmekte ve bu yeni tasarım için patent başvurusu sürecini başlatmıştır.

Ancak bu çalışmada yoğuşma problemini ortadan kaldırmak için yalnızca conta üzerinde değişiklik yapıldığı, diğer parçalar üzerinde hiçbir tasarım değişikliği yapılmadığı özellikle dikkat edilmesi gereken bir husustur. Conta üzerinde yer alan değişiklik ise neredeyse kullanıcının görmeyeceği iç kısımda gerçekleştiğinden tasarım açısından çalışmayı sınırlandırıcı bir etkiye sahiptir.

Çalışmanın çıktıları geleceğe yönelik yeni çalışma alanı yaratması açısından değerlendirildiğinde, dünya ve ülkemizde oldukça sınırlı olan buzdolabı conta tasarımına yönelik araştırma altyapısına katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca conta tasarımında geometrik şekil değişikliklerinde ne gibi çıktıların meydana geleceği açısından birçok analiz sonucu içeren araştırma, ulaşılan son tasarım sürümünün üretilmesi ve deneysel olarak yeniden ele alınarak incelenmesi sayesinde analiz ile deneysel çıktıların birbiri ile korelasyonunu sağlamakta yeni bir çalışma alanı oluşturabilir. Sıcaklık dağılımının istenilen ölçüde iyileştirilmesi enerji tüketimini de etkilediğinden, meydana getireceği çıktılarından bir diğeri de kümülatif anlamda sahada daha az enerji tüketimi olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

1. Ev tipi soğutma cihazları - karakteristikler ve deney yöntemleri (Türk Standartları Enstitüsü, 2013).
2. Psychrometric Chart No.1 (Ashrae, 1992).
3. Martin Wanielista, Robert Kersten ve Ron Eaglin. (1997). Hydrology Water Quantity and Quality Control. John Wiley & Sons. 2nd ed.
4. Gao, F. (2014). Numerical Simulation Of The Heat Leakage At The Gasket Region Of Domestic Refrigerators.
5. Ghassemi M. (1991). Review of Energy Efficiency of Refrigerator/Freezer Gaskets. EPA. 600 / S2-91 / 060.
6. Boughton, B. E., Clausing, A. M. ve Newell., T. A. (1992). An Investigation of Household Refrigerator Cabinet Loads, ACRC TR-21
7. Shirley Flynn, K.R. (1992). Finite element analysis of heat transfer through the gasket region of refrigerator/freezer. EPA. 430 / R92 / 009.
8. Hasanuzzaman, M., R. Saidur, ve H.H. Masjuki. (2009). Effects of operating variables on heat transfer and energy consumption of a household refrigerator-freezer during closed door operation. 196-198
9. Kim, H.S., J.S. Sim, ve J.S. Ha. (2011). A study on the heat transfer characteristics near the magnetic door gasket of a refrigerator. International Communications in Heat and Mass Transfer. 1226-1231.
10. Huelsz, G. (2011). Evaluation of refrigerator/freezer gaskets thermal loads. HVAC&R Research, 17(2): 133-143.
11. Foster, A. (2002). Measurement and prediction of air movement through doorways in refrigerated rooms. International journal of refrigeration, 25(8): 1102- 1109.
12. Tian, Y. ve T. Karayiannis. (2000). Low turbulence natural convection in an air filled square cavity: part I: the thermal and fluid

- flow fields. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(6): 849-866
13. Laguerre, O. ve D. Flick. (2004) Heat transfer by natural convection in domestic refrigerators. *Journal of food engineering*, 62(1): 79-88.
 14. Bayer, O. (2013). CFD simulations and reduced order modeling of a refrigerator compartment including radiation effects. *Energy Conversion and Management*, 69: 68-76.
 15. Laguerre, O. (2007). Numerical simulation of air flow and heat transfer in domestic refrigerators. *Journal of food engineering*, 81(1): 144-156.
 16. Colomer, G. (2004). Three-dimensional numerical simulation of convection and radiation in a differentially heated cavity using the discrete ordinates method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(2): 257-269.
 17. Ding, G.-L., H.-T. Qiao, ve Z.-L. Lu. (2004). Ways to improve thermal uniformity inside a refrigerator. *Applied thermal engineering*, 24(13): 1827-1840.
 18. Yang, K.-S. (2010). An investigation of a top-mounted domestic refrigerator. *Energy Conversion and Management*, 51(7): 1422-1427
 19. Smale, N., J. Moureh, ve G. Cortella. (2006). A review of numerical models of airflow in refrigerated food applications. *International Journal of Refrigeration*, 29(6): 911-930.
 20. Overall Heat Transfer Coefficient (Engineering ToolBox, 2003).
 21. New, M.G., M. Hulme and P.D. Jones, 1999: Representing 20th century space-time climate variability. I: Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*. 12, 829-856.

ÖZGEÇMİŞ

MÜMİN GÜLMEZ – [Makine Mühendisi]

Doğum: Salihli, 13.04.1988

Medeni Hali: Evli

Telefon: (0090-555) 737 83 69

E-posta: gulmezmumin@gmail.com

LinkedIn: linkedin.com/in/mumingulmez

EĞİTİM DURUMU

2016 – 2019 Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği, Arel Üniversitesi

2008 – 2013 Lisans, Makine Mühendisliği, Celal Bayar Üniversitesi

2002 – 2006 Lise, Fen Alanı, İzmir Anadolu Öğretmen Lisesi

1994 – 2002 İlkokul, İzmir Talat Paşa İlköğretim Okulu

YABANCI DİL

İngilizce: Tam Profesyonel Yetkinlik, Almanca: Başlangıç Seviyesi

PROFESYONEL DENEYİM

2017 – Halen: Ürün Geliştirme Lideri, BSH Ev Aletleri A.Ş.

2015 – 2017: Geliştirme Mühendisi, BSH Ev Aletleri A.Ş.

2013 – 2015: Araştırma ve Geliştirme Mühendisi, Smach A.Ş.

2012 – 2013: Kurucu Ortak, Alizvel Yazılım Sistemleri

2011 – 2012: Stajyer, MetalFrio Solutions Klimasan A.Ş.