

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PIŞIRME FIRINI YALITIMINDA YENİ BİR YAKLAŞIM**  
**ÇOK KATMANLI PARLAK YÜZEYLİ DUVAR**

**ALİ YALÇIN**

**KOCAELİ 2019**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

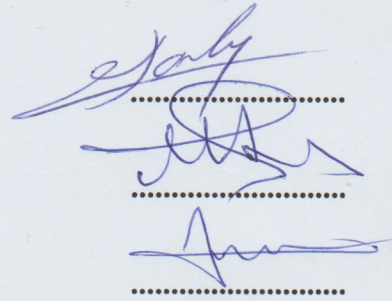
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PİŞİRME FIRINI YALITIMINDA YENİ BİR YAKLAŞIM**  
**ÇOK KATMANLI PARLAK YÜZEYLİ DUVAR**

**ALİ YALÇIN**

**Prof. Dr. Hasan KARABAY**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**  
**Doç. Dr. Müslüm ARICI**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**  
**Doç. Dr. Seyfettin BAYRAKTAR**  
**Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi**

  
.....  
.....  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 09.07.2019**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Bu çalışmayı öneren ve çalışmaya yapmış olduğu katkılardan dolayı değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan Karabay'a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olan ve destekleyen değerli eşim Sedef Kuru Yalçın'a, annem Fatma Yalçın'a ve babam Cevdet Yalçın'a sonsuz minnet duygularımı sunarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ .....	1
1. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI.....	3
1.1. Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri .....	3
1.2. Yalıtım Uygulamaları.....	8
1.3. Kapak Uygulamaları.....	11
1.4. Fırınların Enerji Tüketim Standartları .....	14
2. SAYISAL MODELLEME .....	16
2.1. Problemin Tanıtılması .....	16
2.2. Matematiksel Denklemler ve Sınır Şartları .....	17
2.3. Hesap Örgüsünün Oluşturulması.....	20
3. SAYISAL SONUÇLAR .....	22
3.1. Üst Duvar Sonuçları .....	22
3.2. Alt Duvar Sonuçları.....	26
3.3. Yan Duvar Sonuçları .....	29
3.3.1. Hız dağılım sonuçları.....	29
3.3.2. Sıcaklık dağılım sonuçları.....	36
3.3.3. Isı akısının incelenmesi .....	42
3.3.4. Toplam ısı transfer katsayısının incelenmesi .....	43
3.3.5. Yüzey sıcaklığı .....	44
4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	46
4.1. Deneysel Sonuçlar ve Karşılaştırma.....	51
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	54
KAYNAKLAR .....	56

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	58
ÖZGEÇMİŞ .....	59



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Sık kullanılan yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması.....	5
Şekil 1.2.	Bazı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarının sıcaklık ile değişimi .....	5
Şekil 1.3.	İğnelenmemiş cam yünü .....	6
Şekil 1.4.	Yalıtım malzemelerinin ısı direnç değerleri .....	7
Şekil 1.5.	Aerojel ile yalıtılmış bir fırın .....	8
Şekil 1.6.	Hava boşluğu oluşturulan fırın.....	9
Şekil 1.7.	Alüminyum folyo paketleri ile yalıtılmış fırın kesiti .....	10
Şekil 1.8.	VIP ile yalıtılmış fırın .....	10
Şekil 1.9.	Yansıtıcı kaplamalı fırın ön kapağı.....	12
Şekil 1.10.	Üç camlı zorlanmış hava sirkülasyonlu kapak .....	12
Şekil 1.11.	Dört plakalı duvar sistemi için ısı direnç devresi .....	13
Şekil 2.1.	Fırın hacminin üç boyutlu gösterimi.....	17
Şekil 2.2.	Dört plakalı yan duvar yapısı.....	18
Şekil 2.3.	Havanın ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi.....	18
Şekil 2.4.	Beş plakalı duvar için ağ yapısı .....	21
Şekil 3.1.	Üst duvar için hız grafikleri .....	23
Şekil 3.2.	Üç plakalı duvar için hız grafiği .....	24
Şekil 3.3.	Dört plakalı duvar için hız grafiği.....	24
Şekil 3.4.	Üst duvar için sıcaklık grafikleri.....	25
Şekil 3.5.	Alt duvar için hız grafikleri.....	27
Şekil 3.6.	Alt duvar için sıcaklık grafikleri .....	28
Şekil 3.7.	Yan duvar hız grafikleri .....	30
Şekil 3.8.	İki plakalı duvar için hız dağılımı .....	31
Şekil 3.9.	Üç plakalı duvar için hız dağılımı.....	31
Şekil 3.10.	Dört Plakalı duvar için hız dağılımı.....	32
Şekil 3.11.	Beş plakalı duvar için hız dağılımı .....	32
Şekil 3.12.	Altı plakalı duvar için hız dağılımı .....	33
Şekil 3.13.	Yedi plakalı duvar için hız dağılımı.....	33
Şekil 3.14.	Sekiz plakalı duvar için hız dağılımı .....	34
Şekil 3.15.	Tüm duvarlar için hız dağılımı .....	34
Şekil 3.16.	Yan duvar sıcaklık grafikleri .....	37
Şekil 3.17.	İki plakalı duvar için sıcaklık dağılımı .....	38
Şekil 3.18.	Üç plakalı duvar için sıcaklık dağılımı .....	38
Şekil 3.19.	Dört plakalı duvar için sıcaklık dağılımı .....	39
Şekil 3.20.	Beş plakalı duvar için sıcaklık dağılımı.....	39
Şekil 3.21.	Altı plakalı duvar için sıcaklık dağılımı.....	40
Şekil 3.22.	Yedi plakalı duvar için sıcaklık dağılımı .....	40
Şekil 3.23.	Sekiz plakalı duvar için sıcaklık dağılımı.....	41
Şekil 3.25.	Plaka sayısının toplam ısı akısına etkisi-2 .....	43
Şekil 3.26.	Toplam ısı transfer katsayısının plaka sayısı ile değişimi .....	43
Şekil 3.27.	Plaka sayılarına göre yüzey sıcaklıklarının değişimi.....	44
Şekil 4.1.	Beş plakalı fırın katmanları.....	46

Şekil 4.2.	Beş plakalı fırın gerçek görünüm.....	47
Şekil 4.3.	Beş plakalı fırın cad görünümü.....	47
Şekil 4.4.	Beş plakalı fırın ve taş yünü odalar.....	48
Şekil 4.5.	Deney setinin yz-düzleminde alınmış kesit görüntüsü .....	49
Şekil 4.6.	Deney setinin elektriksel şeması.....	49
Şekil 4.7.	Fırın içindeki termokupl yerleşimi.....	50
Şekil 4.8.	Deney yapılmaya hazır deney seti .....	50
Şekil 4.9.	Denge durumundaki dijital voltmeter .....	51
Şekil 4.10.	Beş plakalı fırın için yan yüzey sıcaklık dağılımı.....	52
Şekil 4.11.	Beş plaka için deney ve sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	53



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Bazı Yalıtım malzemelerinin yoğunluk ve özgül ısıları .....	5
Tablo 1.2.	VIP üretiminde kullanılan malzemeler .....	8
Tablo 1.3.	EN 60335-2-6'ya göre kapak sıcaklık sınırları .....	11
Tablo 1.4.	Fırınlarda enerji verimlilik sınıfları .....	15
Tablo 2.1.	Çok katmanlı duvar için plaka sayısı ve hava tabakası kalınlığı.....	21
Tablo 2.2.	Mesh sayısının sonuçlara etkisi.....	21
Tablo 3.1.	Üst duvar için ısı akısı ve son dış yüzey sıcaklığı .....	26
Tablo 3.2.	Alt duvar için ısı akısı ve son dış yüzey sıcaklığı .....	29
Tablo 3.3.	Işınım ısı transfer miktarları .....	35
Tablo 3.4.	Toplam ısı transferi içerisindeki ışınım etkisi.....	35
Tablo 3.5.	Plaklar arası sıcaklıklar.....	36
Tablo 3.6.	$R_{aL}$ sayısının plaka sayısı ile değişimi.....	42
Tablo 3.7.	Beş plakalı alt ve üst duvar yapılarının karşılaştırılması.....	45
Tablo 4.1.	Yan yüzey deney sonuçları.....	52
Tablo 4.2.	Denge durumundaki elektriksel veriler.....	53



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

U	:	Toplam ısı transfer katsayısı
$h_i$	:	Fırın içindeki sıcak havanın taşınım katsayısı, [W/m <sup>2</sup> .K]
$h_o$	:	Atmosfere açık havanın taşınım katsayısı, [W/m <sup>2</sup> .K]
A	:	Isı transferinin gerçekleştiği alan, [m <sup>2</sup> ]
t	:	Paslanmaz çelik plaka kalınlığı, [m]
$k_c$	:	Paslanmaz çelik plakanın ısı iletim katsayısı, [W/mK]
n	:	Plaka sayısı
l	:	Plakalar arası hava tabakasının kalınlığı, [m]
L	:	Toplam duvar kalınlığı, [m]
H	:	Toplam duvar yüksekliği, [m]
g	:	Yer çekimi ivmesi, [m/s <sup>2</sup> ]
$k_{hava}$	:	Plakalar arası havanın ısı iletim katsayısı, [W/mK]
$\epsilon$	:	Isı yayılım katsayısı
$F_{ij}$	:	Görme faktörü
$\sigma$	:	Stefan boltzmann sabiti, [W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ]
$T_2$	:	İlk plakanın plakalar arası hava ile temas eden yüzey sıcaklığı, [K]
$T_3$	:	Son plakanın plakalar arası hava ile temas eden yüzey sıcaklığı, [K]
$T_{iç}$	:	Fırın içindeki sıcak hava sıcaklığı, [K]
$T_{dış}$	:	Atmosfere açık akışkan hava sıcaklığı, [K]
$h_{dış}$	:	Atmosfere açık havanın taşınım katsayısı, [W/m <sup>2</sup> .K]
$h_{iç}$	:	Fırın içindeki sıcak havanın taşınım katsayısı, [W/m <sup>2</sup> .K]
u	:	x-eksenindeki hız, [m/s]
v	:	y-eksenindeki hız, [m/s]
$\rho$	:	Yoğunluk, [kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu$	:	Viskozite, [kg/m.s]
$c_p$	:	Özgül ısı, [J/kg.K]
$Ra_L$	:	Rayleigh sayısı
$\beta$	:	Hacimsel genleşme katsayısı
$\nu$	:	Kinematik viskozite, [m <sup>2</sup> /s]
$L_c$	:	Karakteristik uzunluk, [m]
Pr	:	Prandtl sayısı

### Kısaltmalar

EEI	:	Energy Efficiency Index (Enerji Verimlilik Endeksi)
HAD	:	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
VIP	:	Vacuum Insulation Panel (Vakum İzolasyon Panel)

## **PİŞİRME FIRINI YALITIMINDA YENİ BİR YAKLAŞIM ÇOK KATMANLI PARLAK YÜZEYLİ DUVAR**

### **ÖZET**

Dünyada enerjinin daha verimli kullanılması ve fırın üreticilerinin pazarda kendilerine yer bulabilmeleri açısından, yüksek enerji verimine sahip fırınlar üzerindeki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, ev tipi elektrikli fırınlarda enerji tüketimini azaltmak için klasik olarak kullanılan yöntemlere alternatif olabilecek bir yaklaşım geliştirilmiştir. Literatür ve patent araştırması yapılarak fırınlar hakkında bilgi toplanıp, klasik yöntemlerin fırın izolasyonuna etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmaya geçilmeden hem deney sayısını azaltmak hem de deney maliyetlerini en aza indirebilmek adına önce sayısal analiz çalışmaları yapılmıştır. Sayısal analiz için sonlu hacimler yöntemi esasına dayanan ticari bir kod olan Ansys-Fluent paket programı kullanılmıştır. Sayısal analizlerde toplam duvar kalınlığı ve yüksekliği sabit tutularak, plaka sayısı ve buna bağlı olarak değişen ara mesafeye göre analizler gerçekleştirilmiştir. Beş plaka ve daha fazlası ile yapılan parlak yüzeysel çok katmanlı duvar yapısının, ev tipi fırın yalıtımında yaygın olarak kullanılan taş yünü izolasyonundan %15 daha iyi olabileceği gösterilmiştir. Analiz sonuçları doğrultusunda elektrikli ev tipi fırın yalıtımında kullanılacak en optimum plaka sayısı olarak beş plakalı duvar yapısı belirlenmiştir. Beş plakalı fırın için deney seti kurulup, deneyler gerçekleştirilmiştir. Her deney yaklaşık üç saat sürmüş olup sayısal analizde ki gibi fırın merkezinde sabit sıcaklık yakalanmıştır. Beş plakalı fırında, her plaka için sıcaklık ölçümleri yapıp tükettiği enerji fırının ısı kaybı olarak alınmıştır. Deneyde elde edilen sıcaklık dağılımı ve ısı kaybı sonuçları ile sayısal analizdeki sonuçlar karşılaştırılmıştır. Isı kaybı sonuçları arasındaki bağıl hata %6 olup kabul edilebilir seviyede olmuştur. Bu tez çalışması sonuçlarına göre beş plakalı duvar yapısı orta sıcaklıktaki mahallerin yalıtılmasında kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Bütünleşik Isı Transferi, Çok Katmanlı Duvar, Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği, Parlak Yüzey.

## **A NEW APPROACH IN COOKING OVEN INSULATION MULTI-LAYER INCANDESCENT SURFACE WALL**

### **ABSTRACT**

In order to use energy more efficiently in the world and to help furnace manufacturers attain a place in the market, studies on high energy efficient furnaces are increasing day by day. In this study, an alternative approach has been developed to reduce energy consumption in household electric furnaces. Firstly, literature and patent research have been done and information has been collected about the furnaces and the effect of classical methods on the isolation of furnaces has been examined. Before the experimental study was started, numerical analysis studies were carried out in order to decrease the number of experiments and to minimize the costs of the experiment. Ansys-Fluent, a commercial code based on the finite element method, was used for numerical analysis. In the numerical analysis, total wall thickness and wall height were kept constant and the number of plates and the distance between the plates were taken into consideration. It has been shown that the glossy surface multilayer wall structure made with five plates and more may be 15% better than the common stone wool insulation used in household furnace insulation. In accordance with the results of the analysis, the five-plate wall structure was determined as the optimum number of plates that can be used in the insulation of the electrical household oven. Experiment set was established for the five-plate oven and the experiments were carried out. Each experiment lasted for about three hours and constant temperature was obtained in the furnace center as in the numerical analysis. Temperature measurements were made for each plate in the five-plate oven and the energy consumed was taken as the heat loss of the oven. The temperature distribution and heat loss results obtained in the experiment were compared with the results of numerical analysis. The relative error between heat loss results was 6% and was acceptable. According to the results of this thesis, the five-plate wall the structure can be used to isolate medium temperature spaces.

**Keywords:** Conjugated Heat Transfer, Multi Layer Wall, Computational Fluid Dynamics, Incandescent Surface.

## GİRİŞ

Dünyada enerji kaynaklarının verimli kullanımının önem kazanması ile küçük güçte olmalarına rağmen sayıları çok fazla olan ev aletlerinin, enerji tüketimlerinin iyileştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Fırın, buzdolabı gibi ev aletleri, görevleri gereği bulunduğu mahal sıcaklığının üstünde ya da altında çalışmak zorundadırlar. Dolayısı ile bu cihazların enerji tüketimlerinin azaltılması gerekmektedir. Fırınlarda enerji tüketimini azaltmak için optimum yalıtım arayışı geçmişten beri önemli bir konu olmuştur. Fırınlarda enerji tüketim değerleri, hem ülke ekonomisi açısından hem de fırın üretici firmaların kendilerine pazarda yer bulabilmeleri açısından en önemli kriterlerden birisi yalıtımdır. Fırınlarda uluslararası standartlar tarafından enerji tüketimlerine göre sınıflandırılması bu konudaki çalışmaların gelecekte artmasını sağlayacaktır.

Fırınlarda ısıtıcıdan yayılan ısının bir kısmı yiyecek üzerine yönelirken, bir kısmı fırın yapısı tarafından yutulup, bir kısım ise fırın duvarlarından çevreye kayıp ısı olarak geçer. Enerji tüketimini azaltmanın birinci koşulu çevreye kayıp olan bu ısıyı minimum seviyeye indirebilmektir. Bu çalışmada ev tipi elektrikli fırınlarda enerji tüketimini azaltmak için klasik olarak kullanılan yöntemlere alternatif bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde fırınlarda enerji tüketimlerini azaltmaya yönelik geçmişte alınan patentler incelenip, literatür çalışması yapılmıştır. Kaynak ve patentler incelendiğinde yalıtım ve ön kapak ile ilgili uygulamaların ağırlıklı olarak ele alındığı görülmüştür.

Yalıtım uygulaması olarak çoğunlukla farklı kalınlıklarda taş yünü ve cam yünü kullanılmıştır. Taş yünü ve cam yününe alternatif olarak vakumlu yalıtım teknikleri dikkat çekmektedir.

Alınan patentlerde ön kapakta enerji tüketimi azaltmak için yaygın olarak:

- Metal-cam temasının kesilmesi

- Çift cam, üç cam, dört cam gibi çoklu cam uygulamaları
- Ön kapağın doğal veya zorlanmış hava akışı ile soğutulması
- Işınım kalkanı uygulamaları kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde klasik yalıtım anlayışına alternatif olarak düşünülen çok katmanlı duvar yapısının sayısal analizi yapılmıştır. Sayısal analiz için ticari bir kod olan Ansys-Fluent paket programı kullanılmıştır. Toplam kalınlık sabit olmak koşulu ile plaka sayıları ikiden sekize kadar değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır. Işınım kalkanı vazifesi için plakalar parlak yüzeyli seçilmiştir.

Analiz sonuçları karşılaştırılarak en optimum duvar yapısı beş plakalı olarak belirlenmiştir. Beş plakadan sonraki artışlarda toplam ısı akısında kayda değer bir düşme gözlenmemiştir. Aynı kalınlıktaki taş yünü duvar için analitik hesaplama yapıp, beş plakalı duvar ile karşılaştırma yapılmıştır. Beş plaka ve daha fazlası ile yapılan parlak yüzeyli çok katmanlı duvar yapısının ısı performansının, aynı şartlar altında ev tipi fırın izolesinde yaygın olarak kullanılan taş yünü izolasyondan %10 daha iyi olduğu görülmüştür.

Çalışmanın son bölümünde analiz sonuçlarına göre en iyi yalıtım olan beş plakalı duvar yapısı için deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney düzeneğinde analizi yapılan beş plakalı duvar yapısındaki şartlar sağlanmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler ile analiz verileri karşılaştırılıp tutarlı olduğu ispatlanmıştır. Beş plakalı duvar yapısı orta sıcaklıklar için taş yünü izolasyondan daha iyi yalıtım performansı sağlamıştır.

## 1. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

Fırınlarda enerji tüketimini etkileyen çeşitli parametreler vardır. Tezin bu bölümünde parametreler ile ilgili literatür araştırması yapılarak, makaleler ve yapılan patent çalışmalarından bahsedilmiştir.

Yalıtım malzemesi uygulamaları, fırında ısı kaybını engellediği için uygulanan en yaygın yöntemlerden birisidir. Yalıtım malzemesinin fırın üzerine uygulama yönteminin yanı sıra yalıtım malzemesinin tipi de önemli olmaktadır. Taş yünü veya cam yünü kullanılan en yaygın yalıtım malzemeleri olmakla birlikte, özellikle 2000 yılından sonra VIP (vakum izolasyon panel) yönteminin fırınlarda uygulanması dikkat çekmektedir. Vakum izolasyon uygulamalarının geleneksel yalıtım yöntemlerine göre ısı kaybını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür[10,11,13,17].

İncelenen patentlerde ve literatür araştırmasında karşılaşılan diğer önemli bir parametre yansıtıcı uygulamalarıdır. Fırın içerisinde ısıtıcıdan yayılan ısının bir kısmı yiyecek üzerine yönelirken, bir kısmı fırın yapısı tarafından yutulup, bir kısım ise fırın duvarlarından çevreye ısı kaybı olarak geçer. Fırın iç duvarlarında kullanılan düşük yayma katsayılı malzeme üzerine gelen ısıyı fırın içine geri yansıttığından, fırının ısı kaybı azaltılmış olur. Reflektör ve kaplama malzemesinin kullanıldığı fırınlarda yüksek verim artışı olmaktadır[13,14].

Fırınlarda kapak bölgesi üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, cam sayısı arttırılmış veya kapak üzerinde cam yüzey alanı azaltılarak ısı geçişi zorlaştırılmış örneklerle karşılaşılmaktadır. Ayrıca cam yüzeyler, fırın içini gösterebilecek şekilde üzerine gelen ısıyı tekrar fırın içine yansıtacak, düşük yayma katsayısına sahip bir kaplama malzemesi ile de kaplanabilir[21,23,29].

### 1.1. Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri

Fırınlarda enerji tüketimini azaltmaya yönelik olarak en yaygın karşılaşılan yöntemlerden birisi fırın şasisi etrafında yalıtım malzemesi kullanarak ısı kaybının

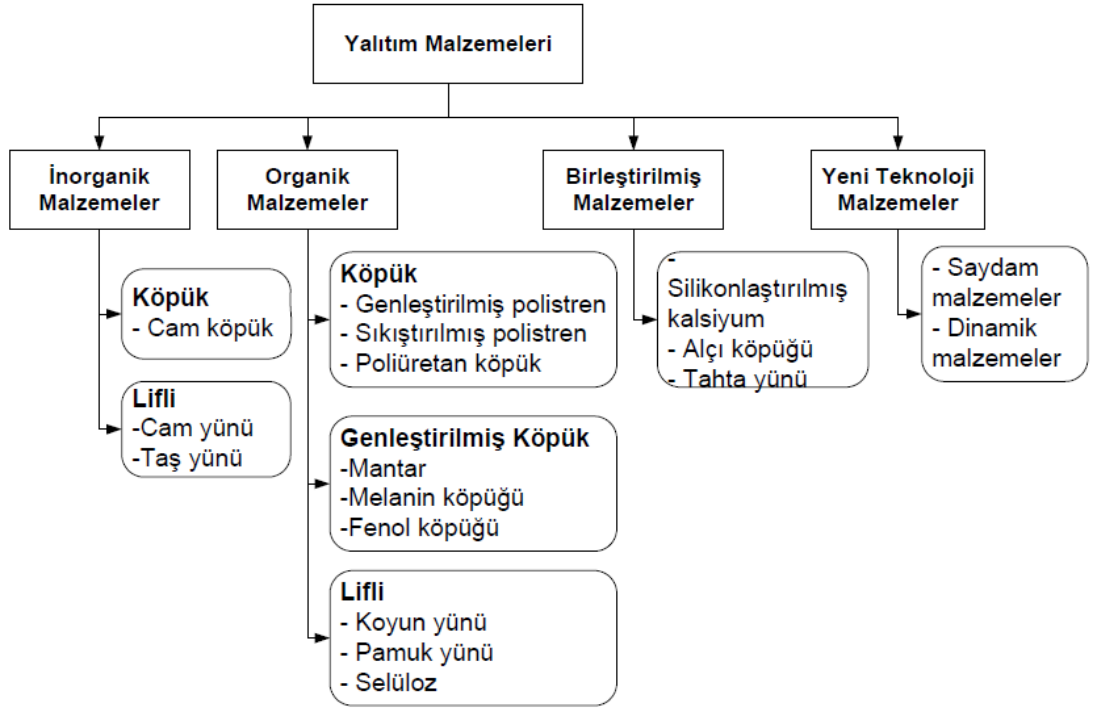
azaltılmasıdır. Yalıtım malzemeleri kullanılarak bir fırının enerji tüketimi %2-20 arasında azaltılabilmektedir. İzolasyonun kalınlığı, yeterli ısıl direnç ile küçük ısıl kütleyi sağlayacak en iyi şekilde tasarlanmalıdır. Isı yalıtım malzemelerinin seçimlerinde, kullanılma yerlerine göre bazı özelliklerin sağlanmasına dikkat edilir [1]. Fırın yalıtımında kullanılacak izolasyon malzemelerinin aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekmektedir.

1. Özgül hacminin yüksek olmalı
2. İşçiliğini kolay olmalı
3. Hacim ve şekil değiştirmelerine mukavemetli olmalı
4. Çürüme ve ufalanma yapmamalı
5. Buhar difüzyonuna dirençli olmalı
6. Isı iletim katsayısı düşük olmalı
7. Sürekli veya kısa süreli sıcaklıklarda yalıtım fonksiyonu bozulmamalı
8. Ucuz olmalı
9. Yanıcı olmamalı
10. Kokusuz olmalı
11. Böceklenme yapmamalı

Yalıtım malzemeleri fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre Şekil 1.1'deki gibi sınıflandırılabilir [2].

Fırınlarda orta/yüksek sıcaklıklarda çalıştılarından dolayı, kullanılacak yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısının düşük ve sıcaklık ile değişiminin az olması istenir. Yalıtım malzemesinin özgül hacminin yüksek olması, küçük ısıl kütleyi sağlamak için tercih edilmektedir. Uygun yalıtım kalınlığının belirlenmesinde yeterli ısıl direncin ve küçük ısıl kütlenin sağlanması bir arada olmalıdır. Yalıtım malzemelerinin seçiminde malzemelerin ısı iletim katsayısı ve yoğunluk değerleri önemli parametrelerdir. Ev tipi fırınlarda kullanılan bazı yalıtım malzemelerinin yoğunlukları ve özgül ısıları Tablo 1.1'de ve ısı iletim katsayılarının sıcaklık ile değişimi Şekil 1.2'de verilmiştir [1,3,4].

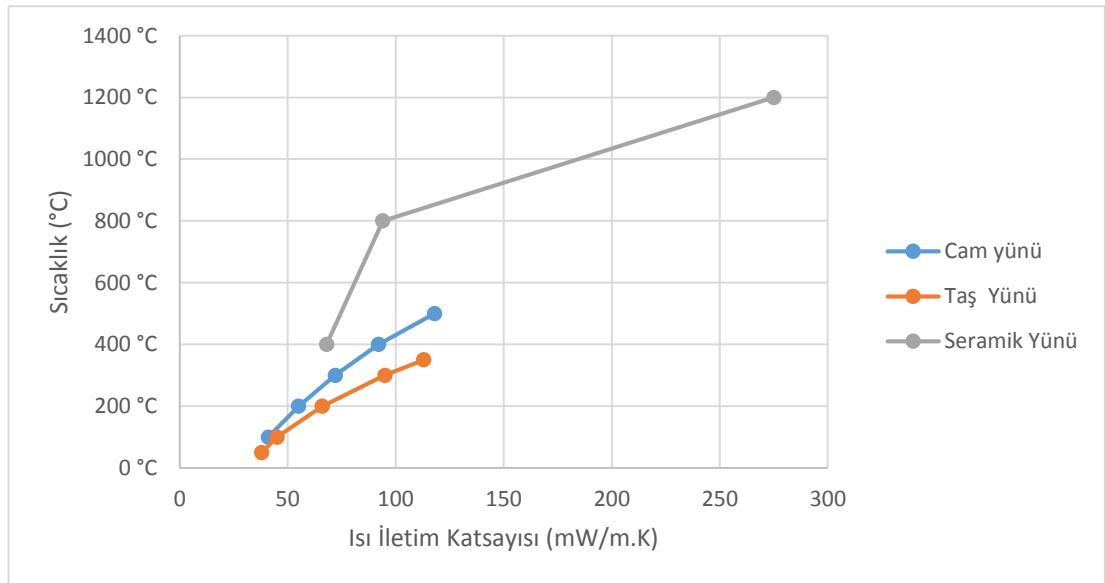
Ev tipi fırınların yalıtımında yangın olarak taş yünü izolasyon kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Sık kullanılan yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması [2]

Tablo 1.1. Bazı yalıtım malzemelerinin yoğunluk ve özgül ısıları [1,3,4]

	<b>Cam Yünü</b>	<b>Taş Yünü</b>	<b>Seramik Yünü</b>
<b>Yoğunluk</b>	32 kg/m <sup>3</sup>	80 kg/m <sup>3</sup>	160 kg/m <sup>3</sup>
<b>Özgül Isı</b>	1030 J/kg.K	1030 J/kg.K	1200 J/kg.K



Şekil 1.2. Bazı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarının sıcaklık ile değişimi [1,3,4]



Taş yünü volkanik kayalardan elde edilir. Hammadde, kireç taşı ile karıştırılır ve 1600°C’de ergitilir. Eriyik kaya, çok hızlı dönen disklerin üzerine damlatılıp, buradan uzun iplikler halinde çıkar. İplikler toplandıktan sonra yapıştırıcı özellikteki sentetik reçine ve yağ ilavesi ile kaya yünü malzemeleri şilte şekline getirilir. Şiltelerin özellikleri şekillerine bağlı olarak değişmektedir. Taş yünüde hammadde olarak kalker, dolomit, kil kullanılır. Benzer malzemeleri içermesine karşın cam yününe göre ana farklılığı üretiminde daha yüksek erime sıcaklığına ve farklı lif boyutlarına sahip olmasıdır. Taş yünü cam yünü ile kıyaslandığında daha ağırdır ve 650°C gibi yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır [1,3].

Cam yünü silis kumunun yüksek sıcaklıklarda ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Cam yünü ortalama olarak % 54 SiO<sub>2</sub> (kuvars kum), % 15,7Al<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>, % 0,5 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 16 CaO, % 3,8 MgO, % 8 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Boroksit) içerir. İmal usulüne göre 3-40 mikron çapındaki liflerden meydana gelmiş olup, 500°C gibi yüksek sıcaklıklara kadar kullanılır. Cam yünü yanmaz, zamanla bozulmaz, çürümez, korozyon ve paslanma yapmaz, böcekler ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez ve küf tutmaz yapıdadır.

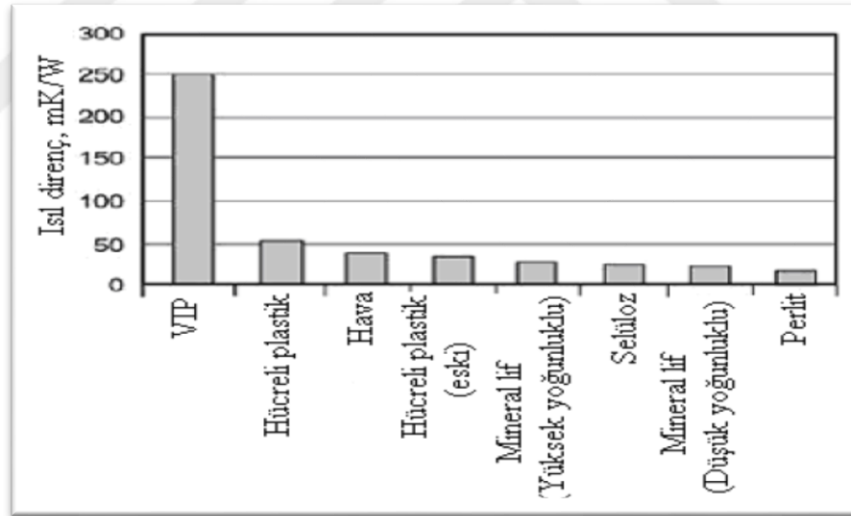
Cam yününün özel olarak bağlayıcısız olarak üretilmiş şekline İğneli Camyünü denilmektedir. Beyaz renkli olup, bağlayıcısız olarak üretildiğinden sarı cam yününe göre daha yüksek sıcaklıklara dayanabilir. Özel olarak yüksek sıcaklık fırınlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş bir üründür. Bağlayıcı kullanılmadığından fırınların ilk kullanımında, cam yünüde bağlayıcıların yanması neticesinde oluşan koku olmaz [4]. Şekil 1.3’te fırın yalıtımında iğneli cam yünü uygulaması gösterilmiştir. Fırın dış duvarlarına cam yünü sarılarak ısı kaybı azaltılmaktadır.



Şekil 1.3. İğnelenmemiş cam yünü [4]

Seramik yünü çok yüksek sıcaklıklarda kullanılan lifli bir malzemedir. Taş yünün kullanılmadığı 1200-1400°C sıcaklıklarda kullanılır. Rulo, levha ve dökme şekillerinde kullanılmaktadır. Beyaz renklidir. Yoğunluğu malzemenin şekline göre 100-160 kg/m<sup>3</sup> arasında değişir. Yumuşak bir malzeme olup, levha tiplerinin dahi basınca dayanımı fazla değildir. En önemli özelliği yüksek sıcaklıklara dayanabilmesidir [3,4].

Vakum izolasyon panelleri ısı yalıtım özellikleri açısından konvansiyonel yalıtım malzemelerine göre çok daha yüksek performanslı yalıtım malzemeleridir. Konvansiyonel yalıtım malzemelerine kıyasla on kata ulaşan ısı yalıtımı vakum yalıtım panelleri ile sağlanabilmektedir. Şekil 1.4'te çeşitli yalıtım malzemelerinin ısı dirençleri gösterilmiştir. VIP'ler, gözenekli yapıdaki bir iç dolgu malzemesinin (çekirdek) karakterine bağlı olarak, gaz giderici malzeme kullanılarak ya da tek başına bir dış zarfın içine konularak vakumlanması ve sızdırmazlığı sağlanarak atmosfere kapatılması ile oluşturulur [5,6].



Şekil 1.4. Yalıtım malzemelerinin ısı direnç değerleri [5,6]

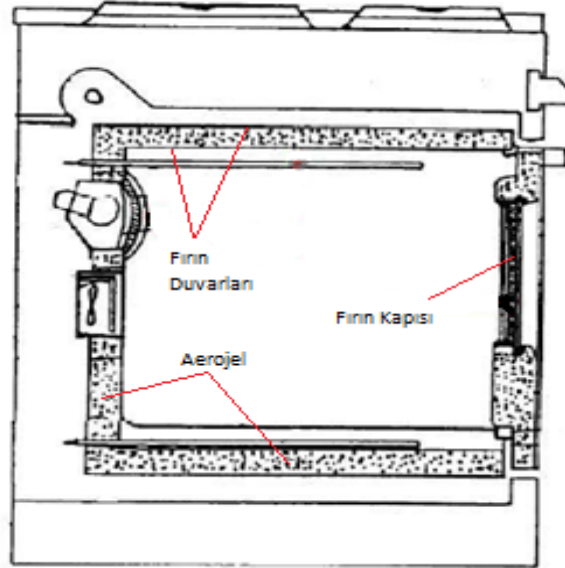
Vakum izolasyon panellerin üretimi basit olarak, açık gözenek yapısındaki bir destek (çekirdek) malzemesinin vakumlanması ve sızdırmazlığı sağlanarak hava almayacak biçimde ambalajlanmasına dayandırmak mümkündür. Vakumlu yalıtım panellerinin üretiminde değişik alternatif malzemeler mevcuttur. Üç ana grupta incelenen bu alternatif malzemeler Tablo 1.2'de verilmiştir [7]. VIP'lerin buzdolaplarında kullanılması ile ciddi bir başarı sağlanmış olmasına rağmen, fırınlarda sıcaklıklar yüksek olduğu için henüz aynı başarı sağlanamamıştır [8,9].

Tablo 1.2 VIP üretiminde kullanılan malzemeler [7]

VIP BİLEŞENLERİ	
Çekirdek Malzemesi	Aerojel
	Açık hücreli poliüretan
	Geri dönüşümü yapılmış üretan
	Fiberglas
	Toz malzemeler
Dış Zarf	Plastik
	Paslanmaz çelik
	Alüminyum içeren çok katmanlı filmler
Gaz Gidericiler	Zeliot
	Karbon tozu
	Desikant
	Kimyasal gaz gidericiler

## 1.2. Yalıtım Uygulamaları

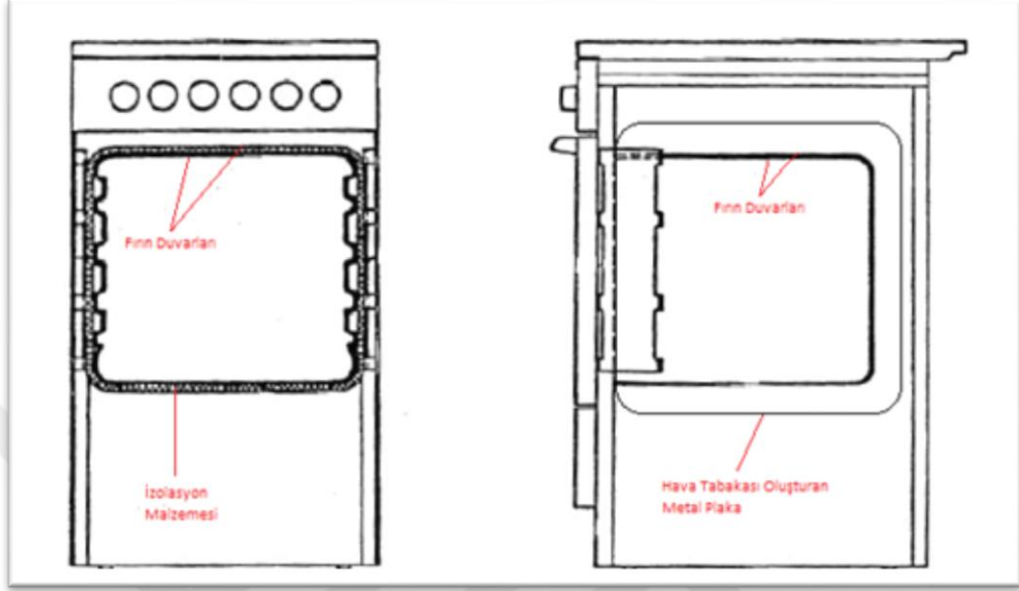
1992 yılında Miele firması tarafından alınan patent, Şekil 1.5'te görüldüğü gibi fırın metal duvarları arasına aerojel denilen yalıtım malzemesi doldurularak enerji tüketimi azaltılmıştır. Ayrıca fırın kapısı için de aerojel ile yalıtım sağlanmıştır [10].



Şekil 1.5. Aerojel ile yalıtılmış bir fırın [10]

1988 yılında Bosch Hausegerate firmasına ait patentte, fırının çalışması ile içinde sıcaklığın arttığı, bu artışa bağlı olarak fırın dış duvarlarının da fırın içinin yalıtılmış olmasına rağmen arttığından bahsedilmiştir. Bu sorunun çözümü için fırın yalıtımı ile dış duvarlar arasına metal bir plaka koyarak fırın yalıtımı ile dış duvarlar arasında bir

hava boşluğu oluşturulması önerilmiştir [11]. Ara parçanın yansıtıcı malzeme olması durumunda, radyasyonla oluşacak ısı geçişi de azaltılmış olacaktır. Bu şekilde tasarlanmış fırın Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



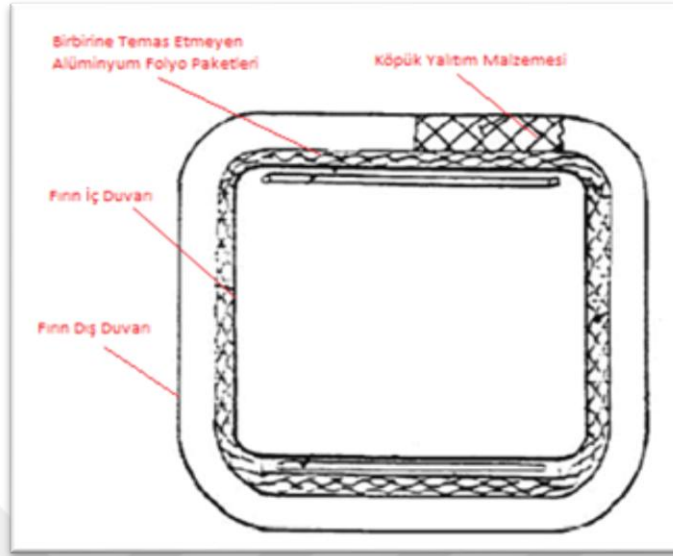
Şekil 1.6. Hava boşluğu oluşturulan fırın [11]

1996 yılında Bosch Hausegerate firması tarafından alınan patentte, kabin içi hacmi sınırı ile fırın kabini arasında bir boşluk oluşturulan ve bu boşluğa yalıtım malzemesi doldurulan, doldurma işlemi ardından vakumlanan ve yalıtım hacmi vakum sıkılığında kapatılabilen fırınlardan bahsedilmiştir [12]. Vakum seviyesinin 1 mbar seviyesinde olması iyi bir yalıtım için yeterli olacaktır.

1997 yılında Aeg Hausgeraete firması tarafından alınan patentte, kat kat alüminyum levhalardan ve köpük malzeme ile oluşturulan yalıtım sisteminden bahsedilmektedir. Alüminyum levhaların birbiriyle temasından kaynaklanacak olan ısı köprü oluşumunu engellemek için levhalar üzerinde V şeklinde geometriler oluşturulmuştur [13]. Bu patente benzer bir diğer patentte ise aynı şekilde kat kat alüminyum levhalar kullanılarak yalıtım sistemi oluşturulmuştur. Levhalar arasında mesafeyi korumak için yalıtım malzemesinden oluşan ek parçalar kullanılmıştır [14]. Her iki patentte de bu çalışmada deneyi yapılacak olan levhalar arasındaki havanın yalıtım özelliğinden faydalanılmıştır. Uygulama Şekil 1.7'de gösterilmiştir.

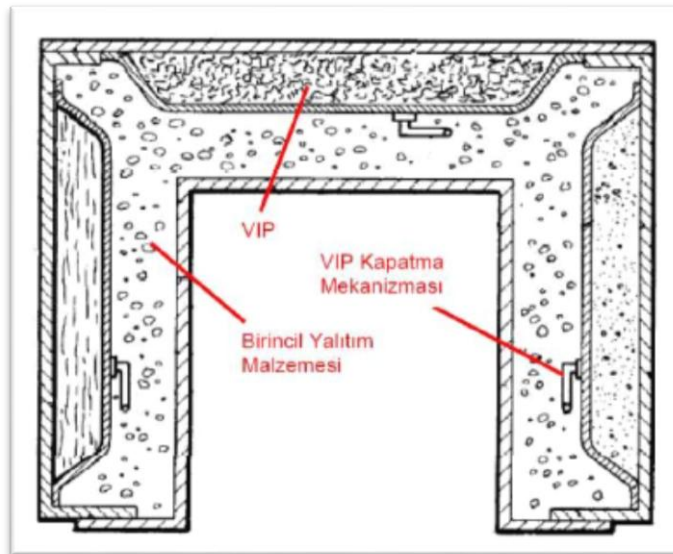
Fırınlarda yalıtım malzemesi uygulamaları ile alınan patentlerde ise 2000 yılından sonra VIP uygulamaları dikkat çekmektedir. 2002 ve 2003 yılında Matsushita Electric

firması tarafından alınan patentlerde fırınlarda alt ve üst ısıtıcılar üzerinde yalıtım malzemesi olarak VIP kullanılmıştır [15,16].



Şekil 1.7. Alüminyum folyo paketleri ile yalıtılmış fırın kesiti[13]

Maytag firması tarafından 2000 yılında alınan patentte, VIP'ler yardımı ile yapılan fırın yalıtımından bahsedilmiştir [17]. Bu tip uygulamada birincil yalıtım malzemesi için dış yüzey sıcaklığı büyük öneme sahiptir. Bu sıcaklığın düşük olması plastik bazlı film malzemeleri ile hazırlanan VIP'lerin fırın yalıtımında kullanılmasına olanak sağlar. Ayrıca patentte belirtilen metal zarf ve yüksek sıcaklığa dayanabilen iç dolgu malzemesi ile hazırlanan VIP'ler her türlü fırın uygulamasında kullanılabilirler. VIP'lerin yalıtım kabine uygulandığı bir örnek Şekil 1.8'de sunulmuştur.



Şekil 1.8. VIP ile yalıtılmış fırın [17]

### 1.3. Kapak Uygulamaları

Fırınlarda kapak bölgesi enerji tüketimi açısından önemli bölgelerden biridir. Buradaki en önemli konu ön kapak temas yüzey sıcaklığının standartlar ile belirlenen seviyede tutulmasıdır. Fırın ön kapak temas yüzey sıcaklığı hakkında sınırlamalar, EN 60 335-2-6 numaralı ev ve benzeri yerlerde kullanılan elektrikli cihazlar için güvenlik kurallarına yönelik yayınlanan standart içerisinde yer almaktadır [18]. Fırın merkezindeki sıcaklık  $200^{\circ}\text{C} \pm 40^{\circ}\text{C}$  de tutulurken, ortam sıcaklığı  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  de olmalıdır. Bu şartlar altında; deney sırasında, sıcaklık artışları Tablo 1.3'teki değerleri aşmamalıdır.

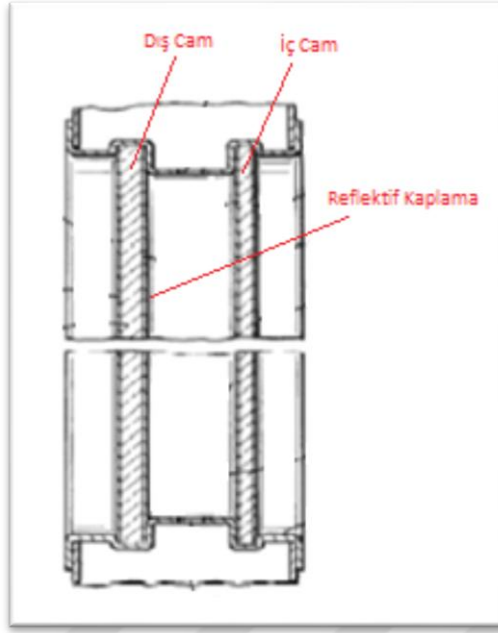
Tablo 1.3. EN 60335-2-6'ya göre kapak sıcaklık sınırları [18]

EN 60335-2-6	Kapak Sıcaklığı
Yalıtılmış Metal Yüzeyler	$45^{\circ}\text{C} + \text{Ortam Sıcaklığı}$
Ön Kapak (Cam)	$60^{\circ}\text{C} + \text{Ortam Sıcaklığı}$

1976 yılında General Electric firması tarafından yayınlanan patent, iki camlı fırın kapağı uygulaması ile kapaktan ısı iletimi yoluyla oluşan kayıpları azaltmayı hedeflemektedir [19]. İç cam ile kapağın bağlandığı bölge cam yünü ile yalıtılmıştır. Cam ile kapak bağlantılarında sızdırmazlık amacıyla lastik conta kullanılmıştır.

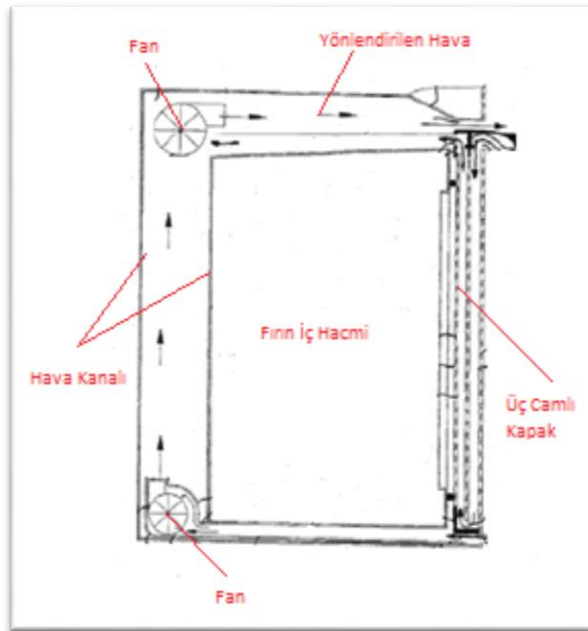
2000 yılında Engineered Glass Products firması tarafından yayınlanan patent [29], Şekil 1.9'da görüleceği üzere sistemde çift cam kullanılmıştır. Dış camın iç yüzeyi reflektif madde ile kaplanmıştır. Camların fırın iç hacmine bakan yüzeylerinin yansıtıcı madde ile kaplanması sayesinde ışınım ile gerçekleşen ısı geçişi minimize edilecek ve bu sayede camlar daha az ısınacaktır. Patentte ayrıca camlar arası boşluk kısmı havalandırılarak burada bulunan sıcak havanın, soğuk havayla süpürülmesi sayesinde dış cam sıcaklığı düşürülmektedir.

1987 yılında Zanussi firması tarafından yayınlanan patent, hava sirkülasyonu ile soğutulan fırın kapakları hakkındadır [20]. Sistem iki camlı ve yönlendirilmiş hava kanallarına sahip, fan kullanılan bir konstrüsiyona sahiptir.



Şekil 1.9. Yansıtıcı kaplamalı fırın ön kapağı [29]

2002 yılında yayınlanan AEG firmasına ait patent, 3 camlı kapakta zorlanmış hava dolaşımı uygulaması görülmektedir [21]. Dış ortamdan alınan soğuk hava en sıcak bölge ile direkt temas ettirilmemekte ve böylelikle ısı verim arttırılmaktadır. Fırın ve kapaktaki hava sirkülasyonu Şekil 1.10'da verilmektedir.

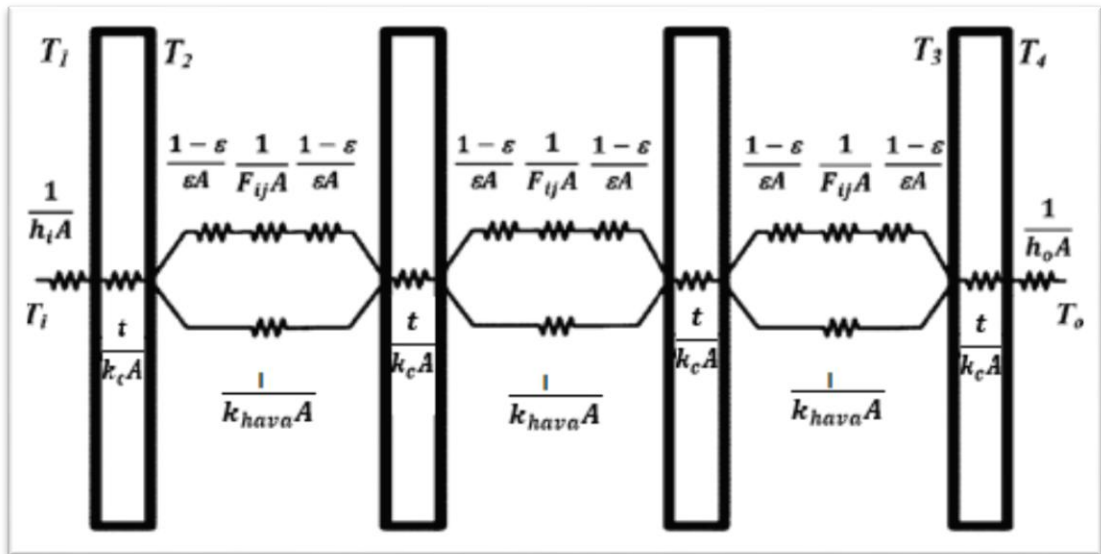


Şekil 1.10. Üç camlı zorlanmış hava sirkülasyonlu kapak [21]

Işınım kalkanı ilk uygulaması 1965 yılında General Electric firması tarafından yapılmıştır [22]. Bu çalışmada delikli alüminyum plakalar kullanılmıştır. Alüminyum plaka iki camlı kapakta iç camın dış yüzeyine yerleştirilmiştir. Alüminyumun yayma katsayısının düşük olması, ışınım kalkanı görevi yaparak ışınım ile olan ısı geçişini azaltıp dış cam yüzey sıcaklığının düşmesini sağlamıştır. Delikli bir yapıya sahip olması artı olarak fırın içinin görünümü açısından da fayda sağlamaktadır.

1969 yılında Kelvinator firması tarafından yayınlanan patent, fırın penceresinde kepenk kullanımı ile ilgilidir [23]. Fırın ön camından ışınım ile gerçekleşen ısı kayıpları düşünülerek, fırın camında ışınımı düşürmek için kepenk kullanılmıştır. Kepenk yan yana sıralanmış kanatçıklardan oluşmaktadır. Bu kanatçıklar istenildiği takdirde açılıp fırın içerisi görülebildiği gibi, diğer zamanlarda ise kapalı kalarak ışınımı önlemektedir.

Bir sonraki bölümde analizi de gerçekleştirilecek plakalı duvarlardaki ısı geçişi için Şekil 1.11'e gösterilen ısı direnç devresine bakabiliriz [25]. Şekilde görüldüğü gibi duvar bünyesindeki ısı geçişi ışınım, taşınım ve iletim ile gerçekleşmektedir. Plakalardan iletimle geçen enerji, plakalar arası hava katmanından ise iletim/taşınım ve ışınım ile transfer olmaktadır. Bu katmanlardaki hava hareketlerinin zayıf olduğu durumlarda ısı transferi iletim ve ışınım ile gerçekleşirken, hareketin güçlü olduğu durumlarda taşınım ve ışınım ile gerçekleşmektedir. Plakalar arasındaki ısı transferinin analitik çözümleri [25] numaralı çalışmada detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 1.11. Dört plakalı duvar sistemi için ısı direnç devresi [25]



Şekil 1.11’de gösterilen plakalı duvar yapısı için toplam ısı transfer katsayısı Eşitlik 1.1’de şöyle gösterilmiştir:

$$U = \frac{1}{1/(h_i A) + t/(k_c A) + 1/(U_{2-3,con} + U_{2-3,rad}) + t/(k_c A) + 1/(h_o A)} \quad (1.1)$$

Eşitlik 1.1’de,  $h_i$  iç havanın taşınım katsayısı,  $h_o$  dış havanın taşınım katsayısı,  $n$  plaka sayısını ve  $T_2$  ve  $T_3$  ilk ve son plakanın iç yüzey sıcaklıklarını göstermektedir. Eşitlik 1.2 ve Eşitlik 1.3 de gösterilen  $U_{2-3,con}$  taşınım ısı transfer katsayısı ve  $U_{2-3,rad}$  taşınım ısı transfer katsayılarını göstermektedir:

$$U_{2-3,con} = \frac{1}{\left(\frac{1}{A k_{hava}}\right) + (n-2) \left(\frac{t}{A k_c} + \frac{1}{A k_{hava}}\right)} \quad (1.2)$$

$$U_{2-3,rad} = \frac{1}{2(1-\varepsilon)/(A\varepsilon) + 2(n-2)(1-\varepsilon)/(A\varepsilon) + (n-1)/(F_{ij}A)} \frac{\sigma(T_2^4 + T_3^4)}{(T_2 - T_3)} \quad (1.3)$$

Burada  $L$  hava tabakası kalınlığını,  $A$  yüzey alanını,  $\varepsilon$  yayma kabiliyetini,  $\sigma$  Stefan-Boltzman sabitini gösterirken,  $(1-\varepsilon)/A\varepsilon$  yüzey direncini ve  $1/(F_{ij}A)$  uzay direncini ifade etmektedir [25].

#### 1.4. Fırınların Enerji Tüketim Standartları

Dünyada enerji kaynaklarının verimli kullanımının önem kazanması ile küçük güçte olmalarına rağmen sayıları çok fazla olan, ev aletlerinin enerji tüketimlerinin iyileştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Fırınların enerji tüketim değerleri, bazı uluslararası standartlar tarafından belirlenmektedir. Ülkemizde bu standart son olarak 2016 yılında yayımlanan TS EN 60350-1’dir.

Bu standartta fırınlar için enerji verimlilik endeksi (EEI) şu şekilde tanımlanmaktadır.

- $E_c$  = Ev tipi fırının Standard yük altında bir çevrim boyunca çalışırken tükettiği enerji değeri,
- $SE_c$  = Ev tipi fırının Standard yük altında bir çevrim boyunca çalışırken tükettiği standart enerji değeri olmak üzere,
- $EEI = \frac{E_c}{SE_c} \times 100$  Şeklinde hesaplanır.

Enerji ölçümü, test numunesinin standart tarafından belirlenen özel bir tuğla ile yüklenmesinden sonra her bir çalışma fonksiyonu için gerçekleştirilmektedir. Bu fonksiyonlar,

- Klasik ısıtma fonksiyonu,
- Zorlamalı hava dolaşımı fonksiyonu
- Sıcak buhar fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

23±2°C de gerçekleştirilen deneylere göre, önceden şartlandırılan ve fırın içine pişirilmek amacı ile konulacak olan tuğla üzerinden fırının pişirme kabiliyeti tuğladaki su kaybının ölçülmesi ile değerlendirilmekte olup, endeks hesaplama formüllerine enerji tüketimi ile birlikte girmektedir. Fırınlar hesaplanan endekse göre Tablo 1.4'deki enerji verimlilik sınıflarından hangisine gireceğine bakılır.

Tablo 1.4. Fırınların enerji verimlilik sınıfları

<b>Enerji Verimlilik Sınıfı</b>	<b>Enerji Verimlilik Endeksi</b>
A+++	EEI<45
A++	45=<EEI<62
A+	62=<EEI<82
A	82=<EEI<107
B	107=<EEI<132
C	132=<EEI<159
D	EEI=>159

## 2. SAYISAL MODELLEME

Mühendislikte analitik olarak çözülemeyen problemleri çözmek, bir deney seti yada bir prototip oluşturmada önce sayısal yöntemlerden yararlanılarak bir çözüm gerçekleştirilir. Sayısal yöntemlerde diğer tüm mühendislik problemlerindeki gibi, Kütleinin Korunumu, Momentumun Korunumu ve Enerjinin Korunumu yasalarını kullanmaktadır. Bu tez çalışmasında da sayısal yöntem olarak sonlu hacimler metodunu kullanan, Ansys-Fluent paket programı kullanıp, HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) ile çözüm gerçekleştirilmiştir.

HAD ilgili alanda yaklaşık olarak detaylı hesaplamaların yapılabildiği istenilen fiziksel özelliklerin gösterilebildiği bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir.

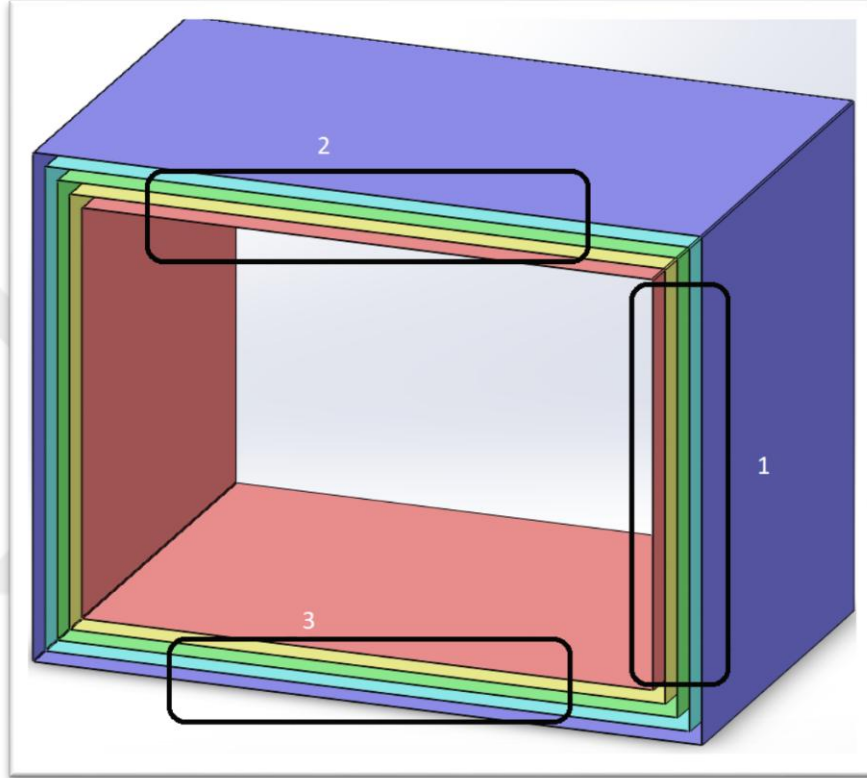
Bir HAD uygulaması üç + bir temel aşamadan meydana gelir:

1. Ön işlem; geometrinin oluşturulması, problemin modellenmesi, hesaplama örgüsünün oluşturulması, sınır şartlarının belirlenmesi.
2. Çözüm; problemin türüne uygun bir çözüm yöntemiyle yaklaşık olarak hesaplanması.
3. Son işlem; çözümde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi
4. Deneysel doğrulama; bazı verilerin deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak sonuçların yeterli hassasiyette olduğunun doğrulanmaya çalışması (her HAD çalışmasında gerekmez).

### 2.1. Problemin Tanıtılması

Analiz için önce geometrinin oluşturulması gerekmektedir. HAD çalışmalarında her zaman problemin tamamının analiz edilmesi gerekmez, basite indirgeme yapılabilir. Şekil 2.1’de üç boyutlu çizimi gösterilen fırının analizi için yan, üst ve alt taraflarda işaretlemiş bölgeler iki boyuta indirgenerek, pişirici fırınların yalıtımında kullanılacak, parlak plakalardan/panellerden oluşturulmuş vakumlanmamış çok plakalı bir duvar yapıları oluşturulmuştur.

Oluşturulan geometrilere yan duvar için kalınlığı sabit 30,5mm ve duvar yüksekliği sabit 250mm, üst ve alt duvar için kalınlığı sabit 30,5mm ve duvar genişliği sabit 410mm alınmıştır. Katman oluşturmak için paslanmaz çelik kullanılmış olup, plakaların kalınlığı 0,5mm'dir. Optimum yalıtım için plaka sayıları değiştirilerek (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) geometriler oluşturulup analiz yapılmıştır. Örnek bir iki boyutlu yan duvar geometrisi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Fırın hacminin üç boyutlu gösterimi

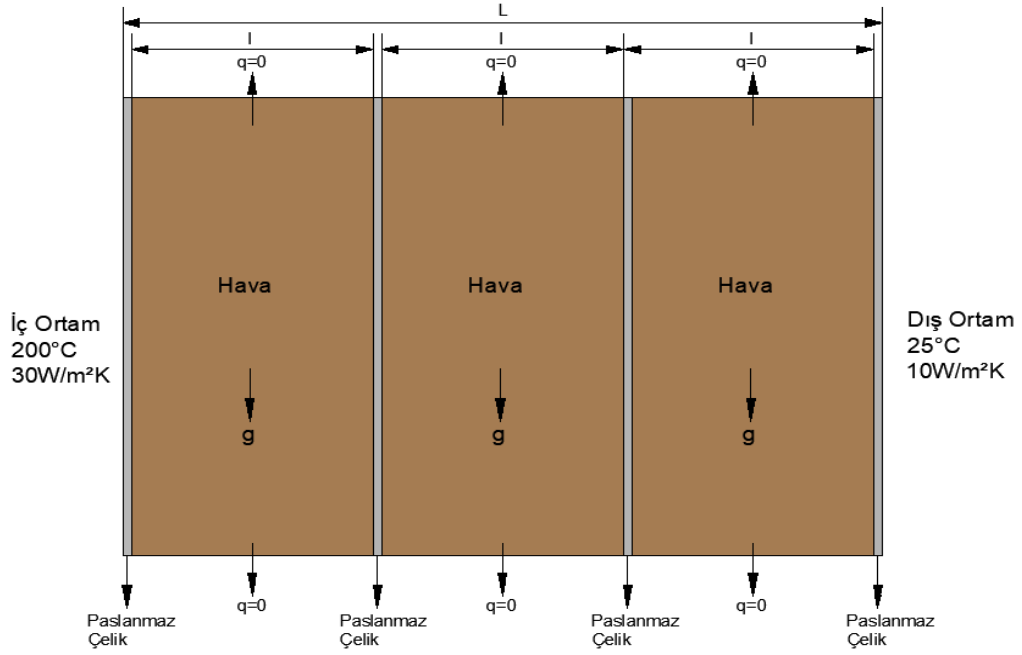
Yan duvar için sol taraf sıcak bölge olup ısı geçişi soldan sağa doğru, üst duvar için aşağıdan yukarıya doğru ve alt duvar için yukarıdan aşağıya doğru olacaktır.

## 2.2. Matematiksel Denklemler ve Sınır Şartları

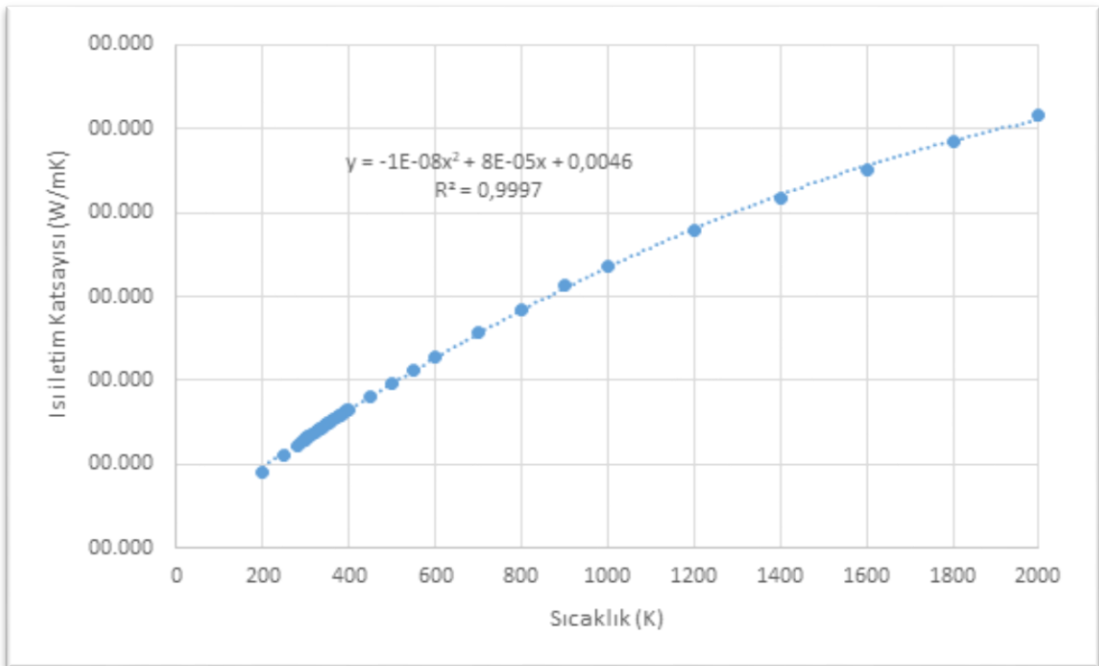
Problemi basite indirgeyip çözebilmek için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Problem iki boyutludur.
- Problem zamandan bağımsız olarak ele alınmıştır.
- Havanın yoğunluğu için ideal gaz kabulü yapılmıştır.
- Yer çekimi ivmesi aşağı yönde, y-ekseninde  $-9,81\text{m/s}^2$  alınmıştır.

- Havanın ısı iletim katsayısı sıcaklığın fonksiyonu olarak üçüncü mertebeden ( $R^2=0,0097$ ) polinom belirlenmiş, diğer özellikleri sabit kabul edilmiştir. Havanın ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi Şekil 2.3 ile gösterilmiştir.
- Işınım ile olan ısı transferi, plakalar arası hava katmanının ışınım katılmadığı kabul edilerek katı yüzeyler arasında Surface-to-Surface (S2S) radyasyon modeli ile çözülmüştür.



Şekil 2.2. Dört plakalı yan duvar yapısı



Şekil 2.3. Havanın ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi

Bir önceki bölümde anlatılan problemi çözebilmek için, korunum yasalarının yapılan kabuller altında probleme uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Momentum ve enerji denklemleri ikinci mertebeden upwind yaklaşımı ile ayrıklaştırılmış, basınç-hız ilişkisi ise Simple algoritması ile sağlanmıştır. Süreklilik, Momentum ve Enerji denklemleri sırası ile Eş. (2.1), Eş. (2.2), Eş. (2.3) ve Eş. (2.4)'de verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = 0 \quad (2.1)$$

$$u \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + v \frac{\partial}{\partial y}(\rho u) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.2)$$

$$u \frac{\partial}{\partial x}(\rho v) + v \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \rho g \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u T) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v T) = \frac{k}{C_p} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + \frac{k}{C_p} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (2.4)$$

Bu analiz için aşağıdaki sınır koşulları belirlenmiştir.

- Atmosfere açık akışkan hava sıcaklığı  $T_{\text{dış}} = 25^\circ\text{C}$
- Açık havanın taşınım katsayısı  $h_{\text{dış}} = 10\text{W/m}^2\text{K}$
- Fırın içindeki sıcak akışkan sıcak havanın sıcaklığı  $T_{\text{iç}} = 200^\circ\text{C}$
- Sıcak havanın taşınım katsayısı  $h_{\text{iç}} = 30\text{W/m}^2\text{K}$
- Sıcaklık farkları yüksek olduğu için ışıınım önemli bir parametre olmaktadır. Bu yüzden analizlere ısı ışıınım da dâhil edilmiştir. Paslanmaz çelik plakanın yayınım katsayısı ( $\varepsilon = 0,1$ ) olarak alınmıştır [25].
- Havanın temas ettiği tüm yüzeylerde hız kaymama sınır koşulu kabul edilmiştir.
- Alt ve üst yüzeylerde Eş. (2.5) ve Eş. (2.6) verildiği gibi adyabatik sınır şartı uygulanmıştır.

$$\frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0 \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=H} = 0 \quad (2.6)$$

### 2.3. Hesap Örgüsünün Oluşturulması

Geometrinin oluşturulmasını problemin etki alanının belirlenmesi ve bu alanda hesaplama ağı oluşturulması takip eder. Basit olarak açıklamaya çalışırsak örgü: etki alanının çok küçük alt hesap alanlarına (veya üç boyutlu geometriler için hacimlerine) bölünmesi ve gerekli matematiksel çözümlerin tüm bu örgülerin düğüm noktalarında ayrı ayrı yapıp elde edilen verilerin değerlendirilmesi yoluyla bütün hesaplama alanı içindeki nihai çözümün elde edilmesi için kullanılır.

Hesaplama alanı içindeki örgü yoğunluğu ne kadar fazla olursa genel olarak akışkan dinamiği çözümünün hassasiyeti artar diyebiliriz (fakat bu kabul her zaman geçerli olmayabilir). Diğer taraftan bu durum yapılacak hesaplamaların toplam süresini de oldukça arttırır ve hatta hesaplamayı, eldeki bilgisayar sisteminin imkânları dahilinde imkânsız hale getirebilir. Bugün için bir akışkan dinamiği çalışmasının en zor, zaman alan ve tecrübe gerektiren bölümünü ön işlem oluşturur denilebilir, çünkü oluşturulan hesaplama örgüsünün nitelikleri çözücünün performansını doğrudan etkilediği gibi sonuçların doğruluğunu ve hassasiyeti büyük ölçüde belirler.

Şekil 2.4'te beş plakalı duvar yapısı için çözümlerde kullanılan örnek bir ağ yapısı görülmektedir. Plaka yüzeylerine yakın yerlerde yatay doğrultuda ince ağ kullanılmış, geri kalan kısımlarda ise daha yüksek ağ genişliğine sahip bir ağ kullanılmıştır. Gösterilen ağ yapısında 85204 adet düğüm noktası ve 84550 hücre bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan hücre sayısı ara boşluk mesafesine bağlı olarak 70000 ile 110000 arasında değişmektedir. Beş plakalı duvar yapısında mesh sayısı arttırılarak analiz tekrarlanmış fakat sonuçlarda kayda değer bir değişim gözlemlenmediği için 84550 hücre için sonuçlar kullanılmıştır. Analizde kullanılan plaka sayıları ve iki plaka arası hava kalınlığı Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

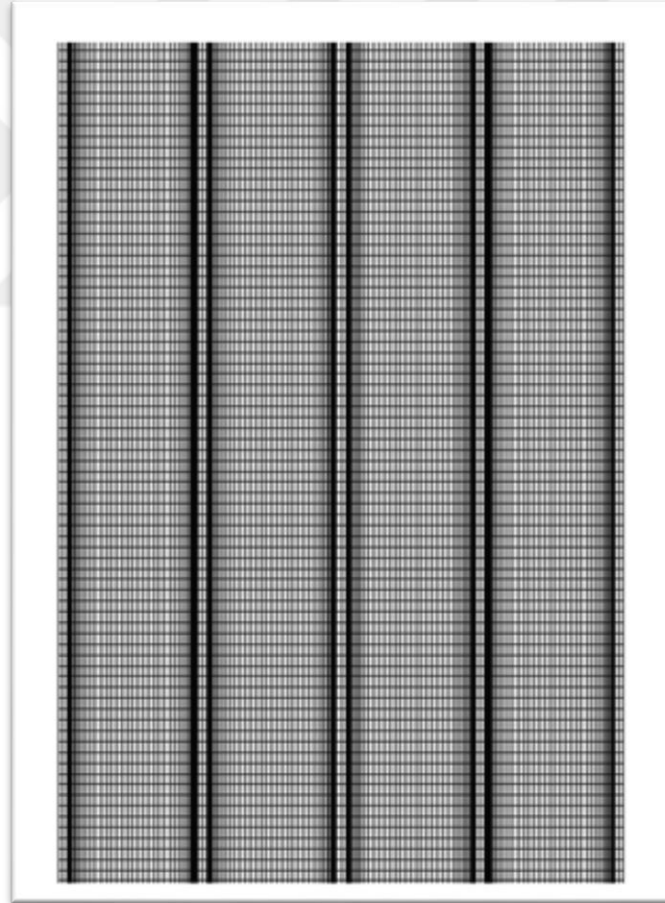
Beş plakalı yan duvar yapısının analizlerinde yaklaşık 85000 mesh bulunmaktadır. Sonuçların mesh sayısına bağlı olmaması adına yine beş plakalı duvar için mesh sayısı 120000'e çıkarılarak ve 15000'e düşürerek analizler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.2 ile gösterilmiştir. Mesh sayısını daha fazla arttırmak sonuçlarda kayda değer bir iyileşme yaratmamıştır.

Tablo 2.1. Çok katmanlı duvar için plaka sayısı ve hava tabakası kalınlığı

Plaka Sayısı	Hava Tabakası Kalınlığı (mm)
2	29,5
3	14,5
4	9,5
5	7,0
6	5,5
7	4,5
8	3,8

Tablo 2.2. Mesh sayının sonuçlara etkisi

Mesh Sayısı	15000	85000	12000
Q (W/m <sup>2</sup> )	190,57	210,88	210,92



Şekil 2.4. Beş plakalı duvar için ağ yapısı



### 3. SAYISAL SONUÇLAR

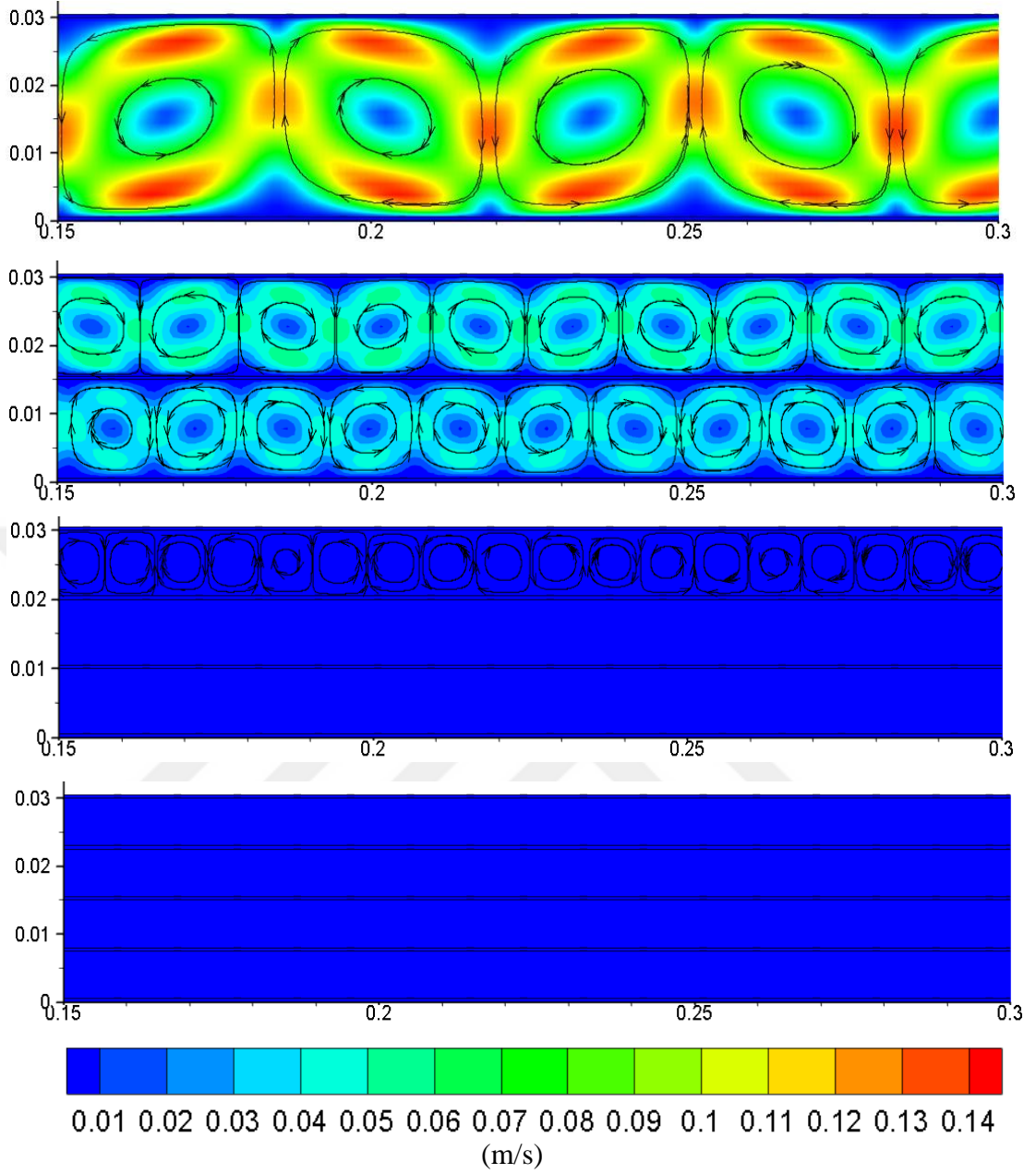
Parlak yüzeyli çok katmanlı duvar sisteminde plaka sayısının arttırılmasıyla hava tabakası kalınlığı azaltılarak hava hareketlerinin yavaşlatılması ve plakalar arasındaki taşınım hareketlerinin neredeyse yok edilmesi amaçlanmıştır. Sayısal sonuçlar için ilk önce üst ve alt duvarlardaki daha sonra yan duvardaki sonuçlar incelenmiştir.

#### 3.1. Üst Duvar Sonuçları

Şekil 2.1’de iki numara ile gösterilen üst duvar yapısı için Bölüm 2’deki kabuller altında analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde yükseklik sabit 30,5mm ve genişlik sabit 410mm olacak şekilde plaka sayıları arttırılarak, plakalar arasındaki taşınım hareketinin neredeyse yok edilmesi ve ışıının azaltılması amaçlanmıştır.

Bu bölümdeki olay kapalı kaplarda sıcak plakanın altta olduğu durum ile aynıdır. Sıcak plaka altta olduğu için ağır akışkan daha hafif akışkanın üstünde olacaktır ve hafif akışkan daha ağır akışkanı itererek üste çıkmaya çalışır, yukarıda soğuk plaka ile temas ederek soğur.  $Ra > 1708$  olduğu zaman kaldırma kuvveti akışkan direncini yener ve Benard Hücreleri olarak adlandırılan ve sekizgen hücreler biçiminde olduğu gözlenen doğal taşınım akımlarını başlatır [26].

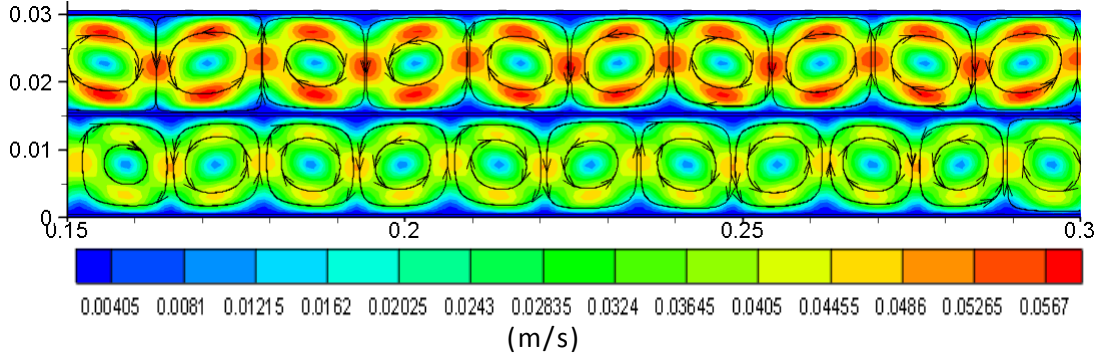
Yukarıda anlatılan hava hareketi Şekil 3.1’de aynen gerçekleşmiştir. Şekilde alt plaka daha sıcak olduğu için burada ısınan hava yer çekimi etkisi ile yükselip nispeten daha soğuk plakaya gelince soğuyarak yoğunluğu artmaktadır. Yoğunluğu daha fazla olan hava kütleleri yer çekimi etkisi ile aşağı inmektedir. Bu hava hareketi Bernard Hücrelerini oluşmasına neden olup, taşınım ile olan ısı transferini tetiklediği için yüksek ısı geçişine izin vermektedir. En yüksek hızlara ara mesafenin ve sıcaklık farkının yüksek olması nedeniyle iki plakalı duvar yapısında ulaşmaktayız. Şekil 3.1 iki plakalı duvarın hız aralıklarına göre çizildiği için üç ve dört plakalı duvar yapısında renkler tam olarak görülememektedir. Ayrıca Şekil 3.1’de yukarıdan aşağıya iki, üç, dört ve beş plakalı duvarlar için hız grafikleri çizilmiş, grafiklerde alt ve üst ekseninde uzunluk birimi metre, hız birimi için m/s kullanılmıştır.



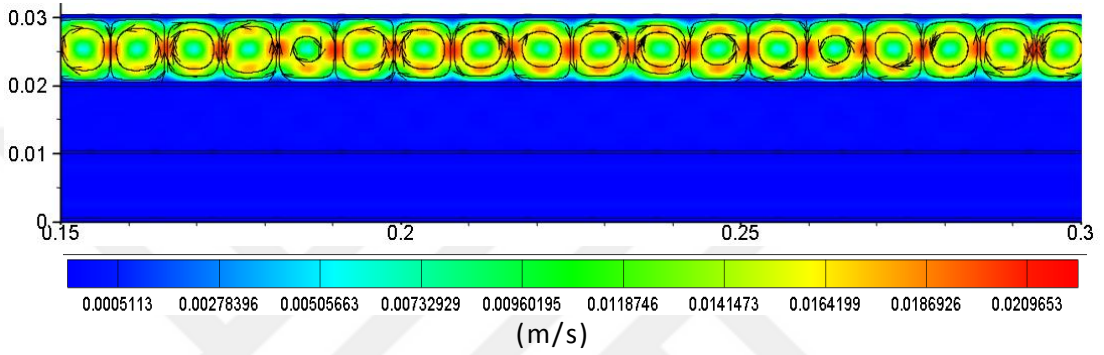
Şekil 3.1. Üst duvar için hız grafikleri

Şekil 3.2 üç plakalı duvar ve Şekil 3.3 dört plakalı duvar kendi hız aralıklarında çizilmiş olup renk farkları daha belirgin gözükmemektedir.

Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'den görüleceği gibi iki plakalı duvar yapısında hava hızı 0,14 m/s mertebelerine ulaşırken plaka sayısının üç olması ile 0,056 m/s, plaka sayısının dört olması ile 0,020 m/s, plaka sayısını beşe çıkardığımızda ise 0,00037 m/s mertebelerine düşüp neredeyse hareketsiz kalmaktadır. Böylece plaka sayısının artması ile hava hareketlerini sınırlandırıp iletimin taşınımına baskın gelmesini sağlamaktayız.



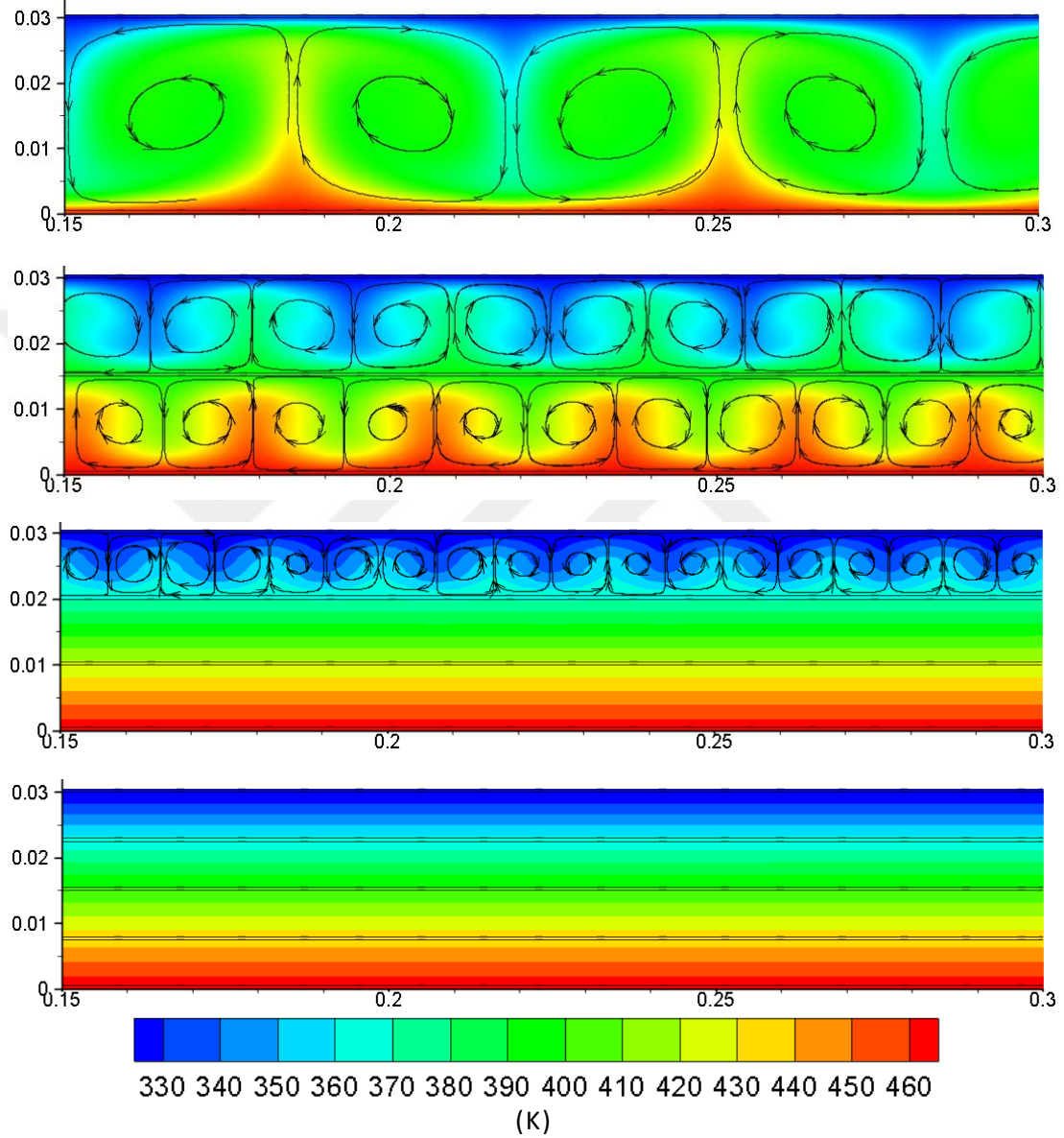
Şekil 3.2. Üç plakalı duvar için hız grafiği



Şekil 3.3. Dört plakalı duvar için hız grafiği

Şekil 3.3'e baktığımızda diğer duvar yapılarından farklı olarak birinci ve ikinci hava tabakalarında havanın neredeyse durağan halde iken üçüncü yani son hava tabakasında hareketli olup Bernard Hücrelerini oluşturduğunu görmekteyiz. Alt plaka sıcaklığının üst plaka sıcaklığından daha yüksek olmasından dolayı akışkan tabakası içerisinde yukarı yönlü bir ısı geçişi olacak ve yukarı doğru azalan bir sıcaklık profili oluşacaktır. Yoğun ve soğuk akışkan tabakaları, hafif ve sıcak akışkan tabakaları üzerinde uzanmaktadır. Alt ve üst plakalar arası sıcaklık farkının yeterince küçük değerleri için sürtünme kuvveti kaldırma kuvvetlerinin üstesinden gelecek ve akışkan hareketsiz kalacaktır. Bunun sonucu olarak akışkan tabakası boyunca ısı geçişi dört plakalı duvar yapısının birinci ve ikinci hava tabakalarındaki gibi saf iletimle olacaktır. Sıcaklık farkı kaldırma kuvvetleri, sürtünme kuvvetlerinin üstesinden gelebileceği bir değeri aştıktan sonra akışkan içerisinde üçüncü hava tabakasındaki gibi taşınım ile gerçekleşen bir hareket başlayacaktır. Yatay plakalardaki teorik veya deneysel çalışmalar sıcaklık farkıyla ilgili kritik Rayleigh sayısının  $Ra_{KR} = 1708$  değerini aştığında, yatay akışkan tabakasının kararsız bir hal aldığını ve egzagonal yapıda akış şekilleri oluşturduğunu göstermiştir. Bu yapıdaki şekillere Bernard Hücreleri denmektedir.

Şekil 3.4'te yukarıdan aşağıya doğru iki, üç, dört ve beş plakalı duvar yapıları için eş sıcaklık grafikleri çizilmiş, grafiklerde alt ve üst eksende uzunluk birimi metre, sıcaklık birimi olarak Kelvin kullanılmıştır. Tüm duvar yapıları için aynı sıcaklık aralığı kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Üst duvar için sıcaklık grafikleri

Şekil 3.4'e baktığımızda yine hız grafiklerinde olduğu gibi iki plakalı ve üç plakalı duvarın tamamında dört plakalı duvarın ise üçüncü hava katmanında havanın hareketliliğinden dolayı taşınım ile ısı transferinin iletme göre baskın olduğunu, dört plakalı duvar yapısının birinci ve ikinci hava katmanında ve beş plakalı duvar yapısının tüm hava katmanlarında yoğun ve soğuk akışkan tabakalarının, hafif ve sıcak akışkan

tabakaları üzerinde uzadığını ve böylece ısı transferinin salt iletim ile gerçekleştiğini görmekteyiz.

Isı akıları ve son dış yüzey sıcaklıkları için Tablo 3.1'e bakabiliriz. Kalınlığı (30,5mm) sabit bırakıp, plaka sayısının arttırarak plakalar arası hava tabakasının hareketlerinin kısıtlanıp ısı geçişinin taşınım yerine iletim ile geçmesini amaçlamıştık. Tablo 4.1'e göre plaka sayısının artması ile ısı akısının ve bununla beraber son dış yüzey sıcaklığının ciddi oranda azaldığını görmekteyiz.

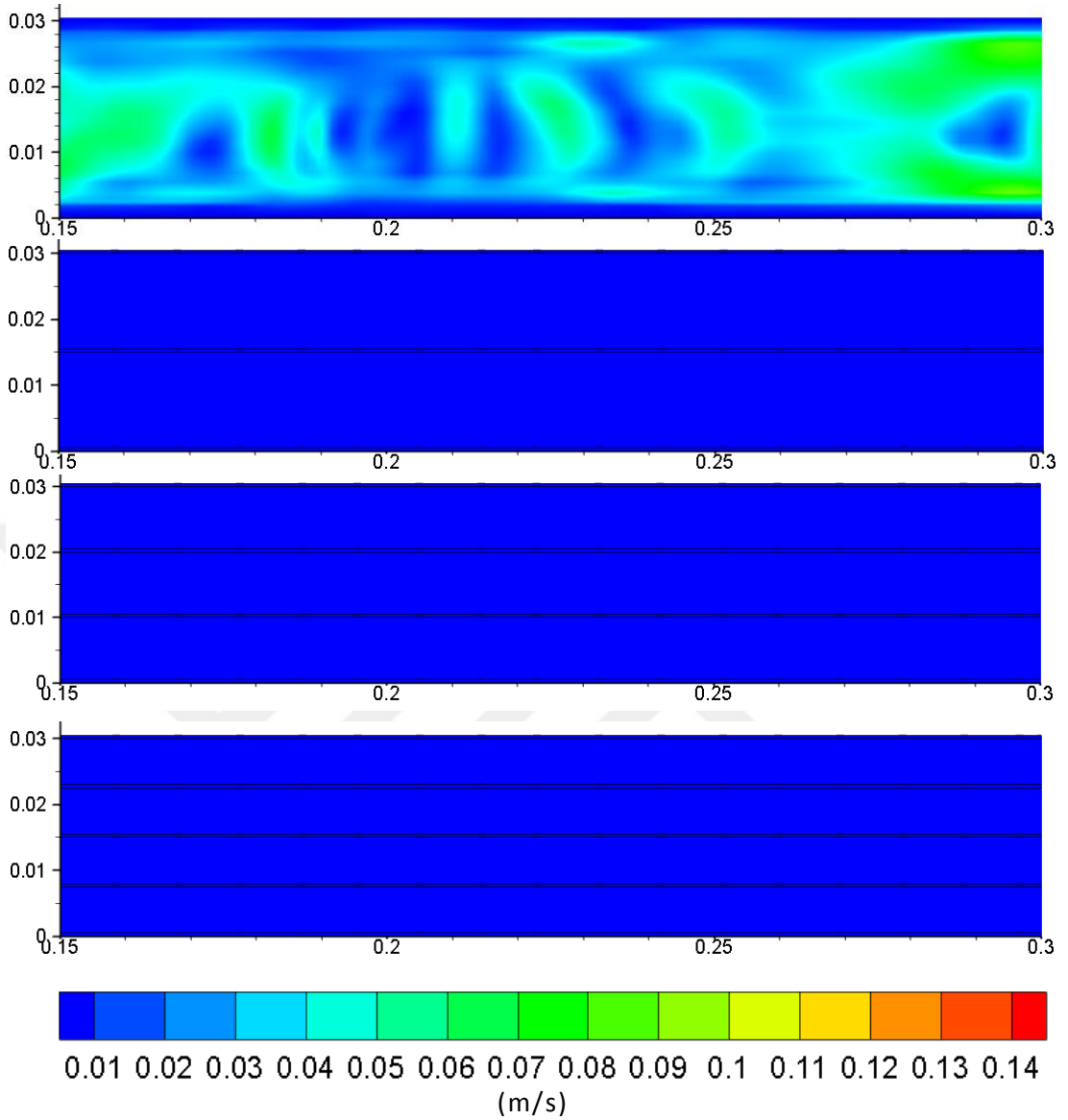
Tablo 3.1. Üst duvar için ısı akısı ve son dış yüzey sıcaklığı

	Isı Akısı	Yüzey Sıcaklığı
2 Plakalı Duvar	583 W/m <sup>2</sup>	83.48 °C
3 Plakalı Duvar	378 W/m <sup>2</sup>	63.04 °C
4 Plakalı Duvar	227 W/m <sup>2</sup>	48.93 °C
5 Plakalı Duvar	225 W/m <sup>2</sup>	47.02 °C

### 3.2. Alt Duvar Sonuçları

Şekil 2.1'de üç numara ile gösterilen alt duvar yapısı için Bölüm 2'deki kabuller altında analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde yükseklik sabit 30,5mm ve genişlik sabit 410mm olacak şekilde plaka sayıları arttırılarak, plakalar arasındaki taşınım hareketinin neredeyse yok edilmesi ve ısı transferinin azaltılması amaçlanmıştır.

Şekil 3.5'te yukarıdan aşağıya doğru iki, üç, dört ve beş plakalı duvar yapıları için hız grafikleri çizilmiş, grafiklerde alt ve üst ekseninde uzunluk birimi metre, hız birimi için m/s kullanılmıştır. Şekilden de görülebileceği gibi plakalar arası hava tabakası üst duvar yapısındaki gibi hareket kabiliyetine sahip olmamıştır. Sadece iki plakalı duvar yapısında hava tabakası kalınlığının fazla olması dolayısıyla hava hareketlidir. Plaka sayısını üç ve daha üzerine çıkardığımızda hava tabakası neredeyse durağan halde gelmektedir. Bunun nedeni nispeten daha sıcak olan plakaların üst tarafta olmasındandır. Üst duvarda ısınan hava yer çekimi aşağı yönlü olduğu için aşağıya inmeyip yukarıda asılı durmaktadır. Havanın hareket kabiliyeti olmadığı için plakalar arası hava tabakasında taşınım ile ısı transferi neredeyse sıfırdır. Isı plakalar arası hava tabakasında iletim ile beraber taşınım ile transfer olmaktadır. İletim ile ısı geçişini daha iyi görebilmek için Şekil 3.6'ya bakılabilir.

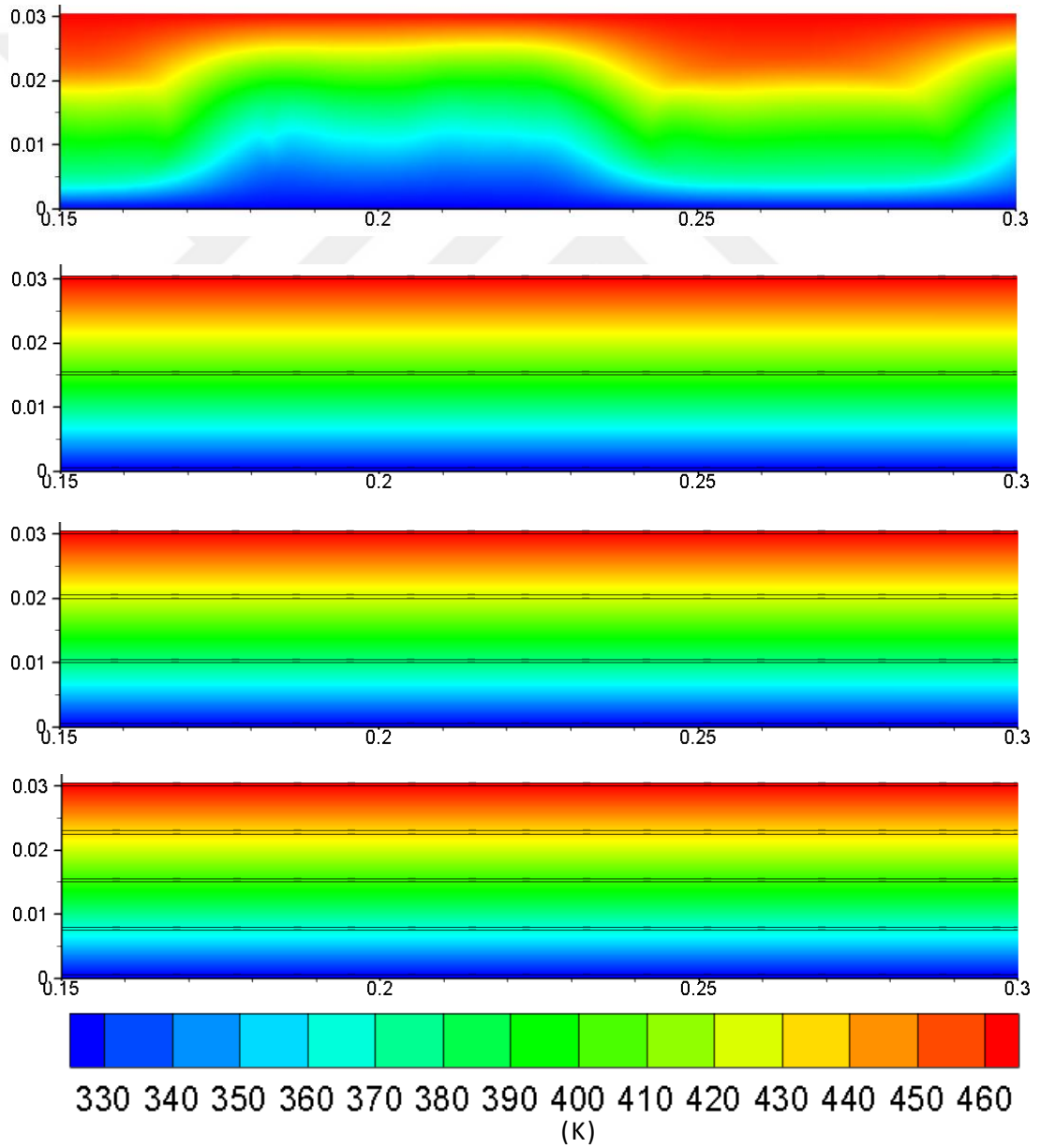


Şekil 3.5. Alt duvar için hız grafikleri

Şekil 3.6’da yukarıdan aşağıya doğru iki, üç, dört ve beş plakalı duvar yapıları için eş sıcaklık grafikleri çizilmiş, grafiklerde alt ve üst ekseninde uzunluk birimi metre, sıcaklık birimi için Kelvin kullanılmıştır. Şekilden de görülebileceği gibi iki plakalı duvar yapısı hariç diğer duvar yapılarında hava tabakası durağandır. Hava tabakasının durağan olması, ısı geçişinin taşınım yerine iletim ile olmasına neden olmaktadır. İletim ile ısı geçişi üç plakalı duvar yapısından itibaren sıcaklığın sıcak taraftan soğuk tarafa doğru lineer ve yumuşak bir geçişe sahip olmasını sağlamıştır.

Alt duvar yapısında sadece iki plakalı duvar yapısında taşınım ile ısı geçişi olduğu için plaka sayısını arttırmanın taşınımına bir etkisi olmamıştır. Zira üç plakalı duvar

yapısından itibaren ısı geçişi iletim ve ışınım ile olmaktadır. Plaka sayısını arttırmak ışınım ısı geçişini azaltmaktadır. Bunun için Tablo 3.2'ye bakabiliriz. İki plakalı duvar yapısından üç plakalı duvar yapısına geçtiğimizde ısı akısındaki düşüş miktarı fazla iken, üç plakalı duvardan dört plakalı duvara ve dört plakalı duvardan beş plakalı duvara geçtiğimizde ki düşüş miktarı azdır. Üç plakalı duvar yapısından sonraki plaka sayılarındaki artış sadece ışınım kalkanı vazifesi görmektedir. Yine aynı tabloda plakaların son dış yüzey sıcaklıklarını görmektediriz. Son dış yüzey sıcaklıkları plaka sayıları arttıkça düşüş göstermektedir. Beş plakalı duvar yapısının sahip olduğu son dış yüzey sıcaklığı el ile temas edilebilecek düzeydedir.



Şekil 3.6. Alt duvar için sıcaklık grafikleri

Tablo 3.2. Alt duvar için ısı akısı ve son dış yüzey sıcaklığı

	Isı Akısı	Yüzey Sıcaklığı
2 Plakalı Duvar	295 W/m <sup>2</sup>	54.24 °C
3 Plakalı Duvar	227 W/m <sup>2</sup>	48.24 °C
4 Plakalı Duvar	215 W/m <sup>2</sup>	46.65 °C
5 Plakalı Duvar	207 W/m <sup>2</sup>	45.09 °C

### 3.3. Yan Duvar Sonuçları

Şekil 2.1’de bir numara ile gösterilen alt duvar yapısı için Bölüm 2’deki kabuller altında analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde yükseklik sabit 250mm ve genişlik/kalınlık sabit 30,5mm olacak şekilde plaka sayıları arttırılarak, plakalar arasındaki taşınım hareketinin neredeyse yok edilmesi ve ışınlım ısı transferinin azaltılması amaçlanmıştır.

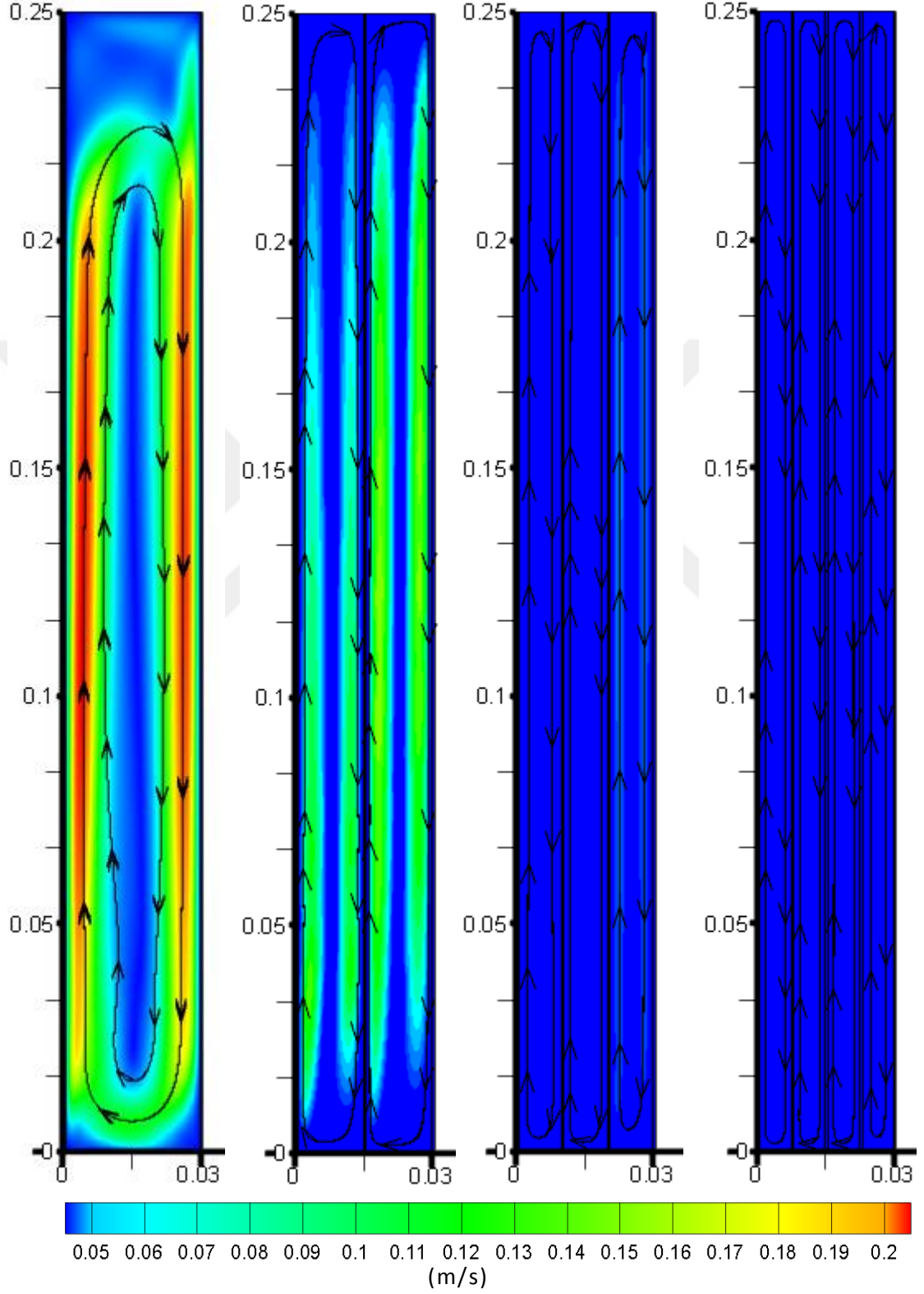
#### 3.3.1. Hız Dağılım Sonuçları

Şekil 3.7’de soldan sağa doğru iki, üç, dört ve beş plakalı duvar yapıları için hız grafikleri çizilmiş, grafiklerde alt ve üst ekseninde uzunluk birimi metre, hız birimi için m/s kullanılmıştır. Yer çekimi aşağı yöndedir. Sol taraf sıcak bölge olup sağ taraf ise soğuk bölge olmaktadır. Akışkan hava sol taraftaki sıcak duvar ile temas ettikçe ısı enerjisi kazanıp sıcaklığı artacak, molekülleri arasındaki çekim kuvveti azalarak yerçekimi kuvvetini yenecek ve yukarı doğru yükselmeye başlayacaktır. Yükselip en üst noktaya geldiğinde aşağıdan sıcak hava gelmeye devam ettiği için sağ tarafa yönelecektir. Sağ tarafta bulunan soğuk duvar ile temas ettiği anda ısı enerjisi kaybedecek, sıcaklığı azalacak ve molekülleri arasındaki mesafe azalarak yoğunlaşp yer çekimine yenilerek, aşağı doğru hareket edecektir. Bu periyod bu şekilde sürerek kararsız bir hava akımı oluşup havanın yüksek hızları için taşınım ile ısı transferine neden olacaktır.

Şekil 3.7’ye baktığımızda tüm plaka sayıları için havanın sıcak taraftan yükselip soğuk tarafa gelince aşağı indiğini yani sürekli bir hareket halinde olduğunu görebiliriz. Fakat plakalar arası hava tabakasının dört plaka ve daha fazlası için sahip olduğu hızlar çok düşük mertebededir (beş plakalı duvar için 0,026m/s). Yani plakalar arası hava tabakaları bu hızlarda neredeyse durağan vaziyettedir. Hava tabakasının yüksek hızlara sahip olduğu iki ve üç plakalı duvar yapılarında ısı geçişinde taşınım baskın

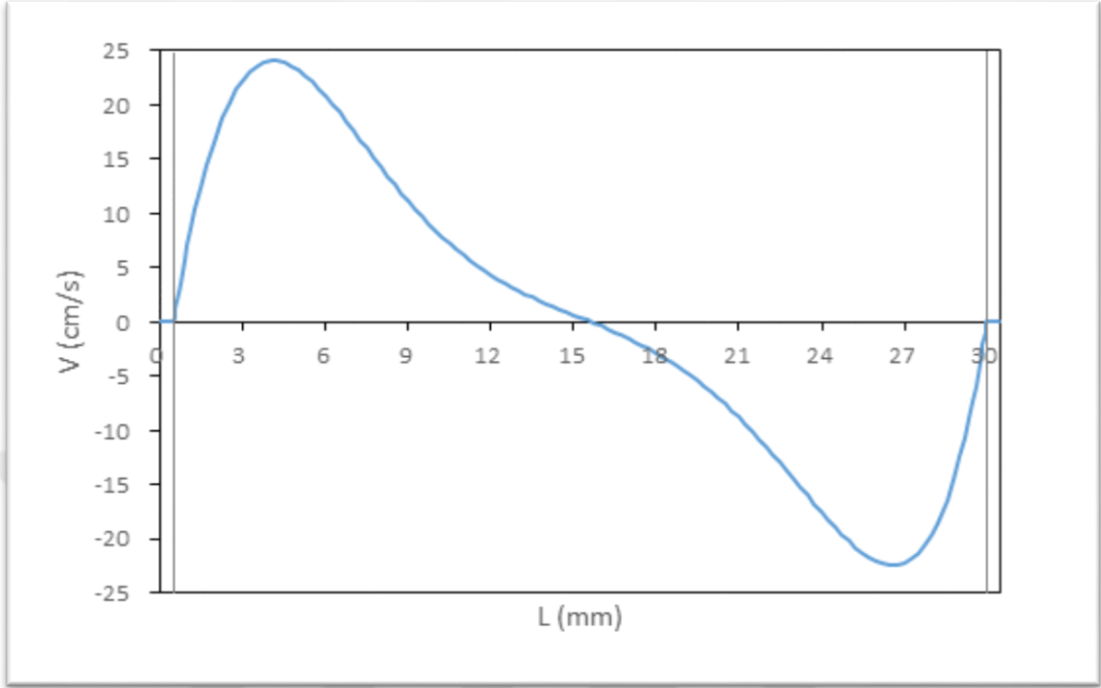


iken hava tabakasının dört ve üzerine çıkması ile iletim taşınma baskın hale gelmektedir. Isı geçişlerinin bu çeşitliliğini en iyi Şekil 3.16'da görebiliriz.



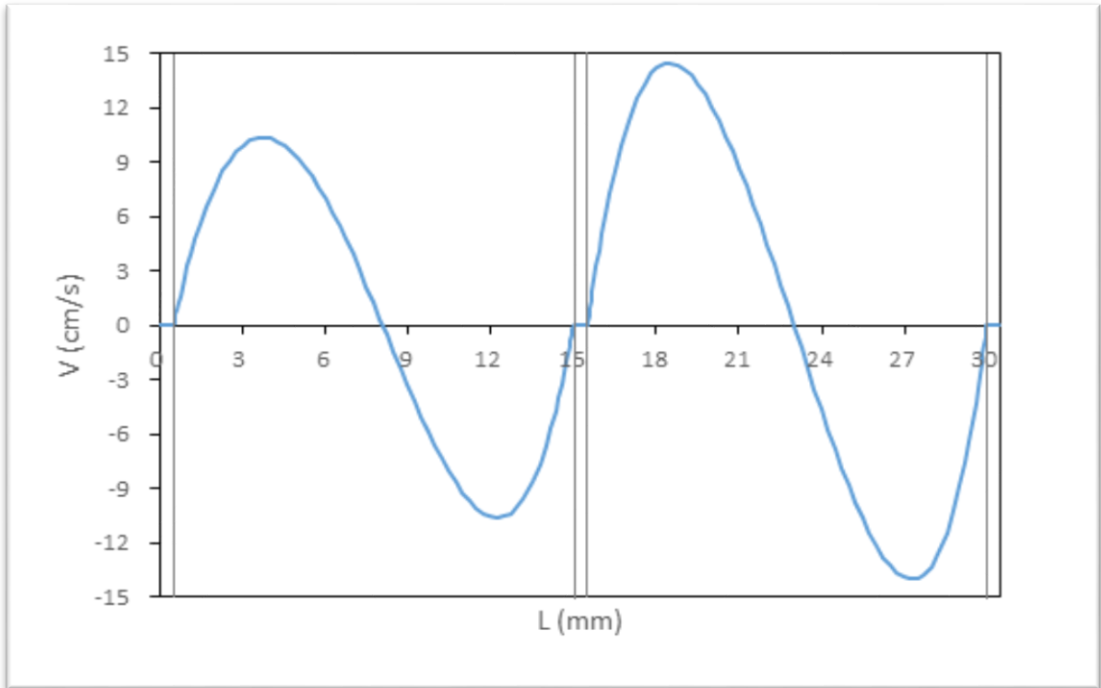
Şekil 3.7. Yan duvar hız grafikleri

Şekil 3.8’de iki plakalı duvar yapısı için geometrinin yatay orta eksenindeki hız dağılımı görülmektedir.



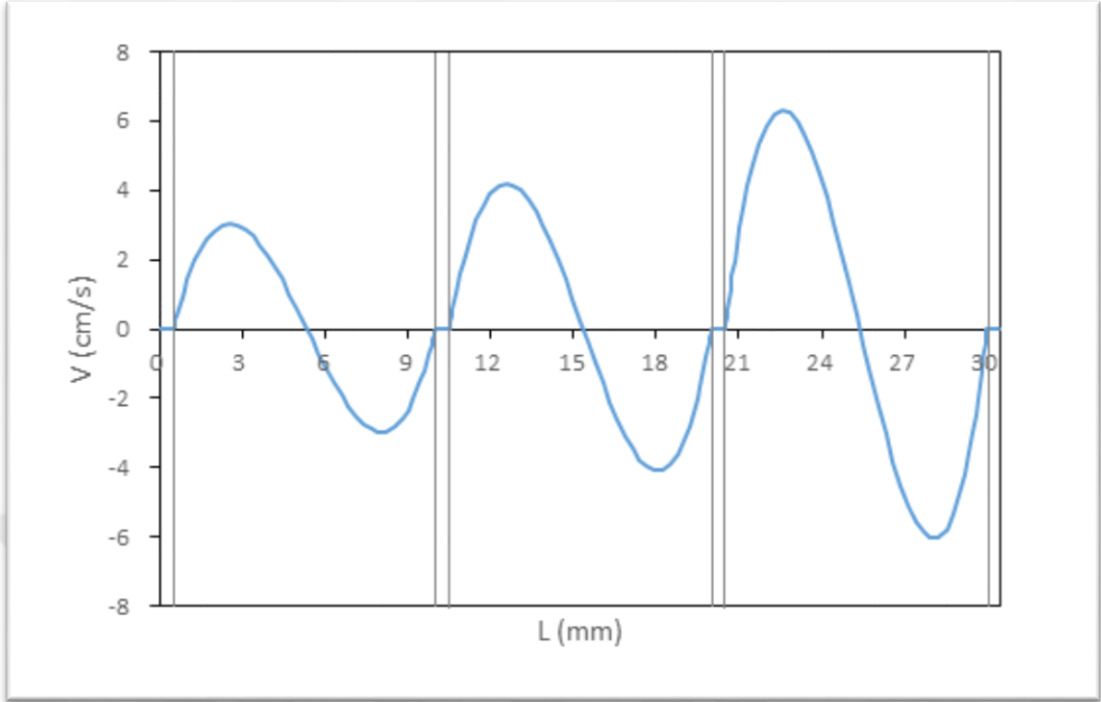
Şekil 3.8. İki plakalı duvar için hız dağılımı

Şekil 3.8’den de görülebileceği gibi iki plakalı hava tabakası içinde hava hızları 25cm/s mertebelerine ulaşırken Şekil 3.9’da gösterilen üç plakalı duvar yapısında hava hızları 15cm/s mertebelerine düşmektedir.



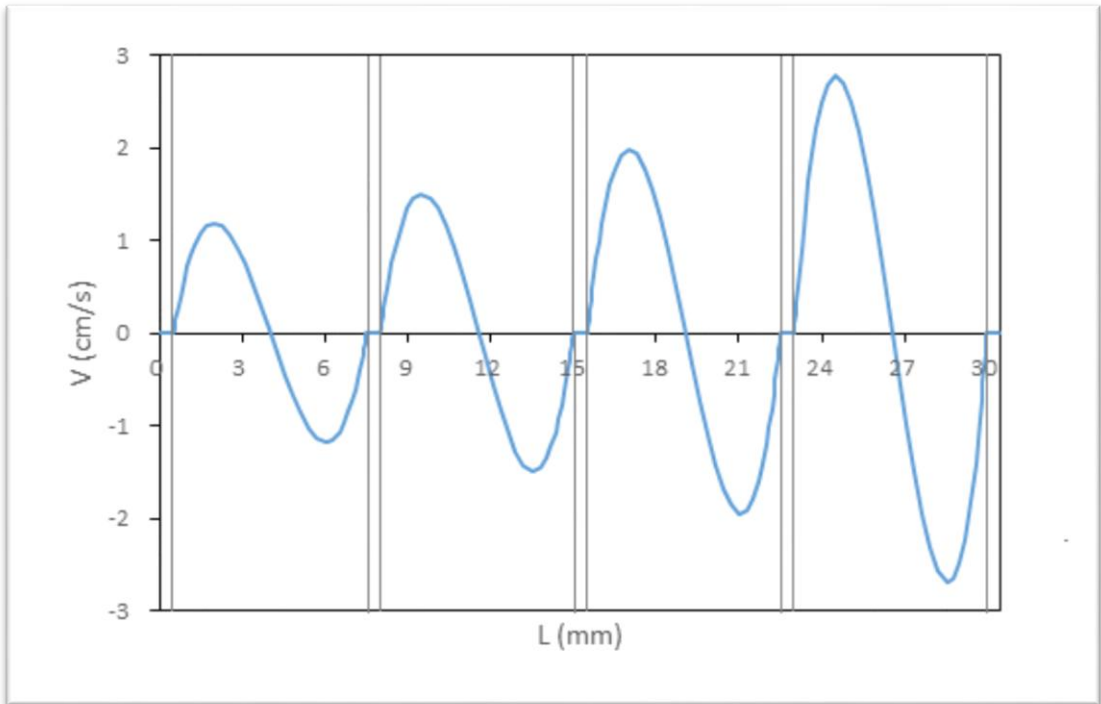
Şekil 3.9. Üç plakalı duvar için hız dağılımı

Şekil 3.10'da dört plakalı duvar için hız dağılımı verilmiştir.



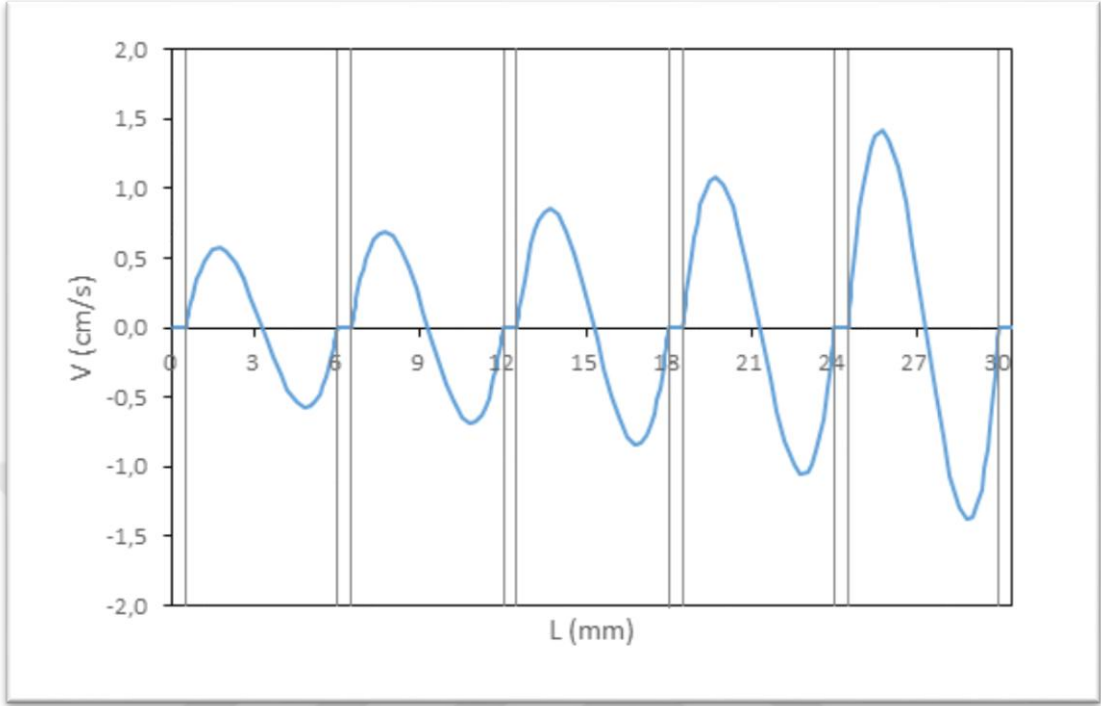
Şekil 3.10. Dört Plakalı duvar için hız dağılımı

Şekil 3.10'dan de görüleceği gibi dört plakalı hava tabakası içinde hava hızları 6cm/s mertebelerinde iken Şekil 3.11'de gösterilen beş plakalı duvar yapısında hava hızları 3cm/s mertebelerine düşmektedir.

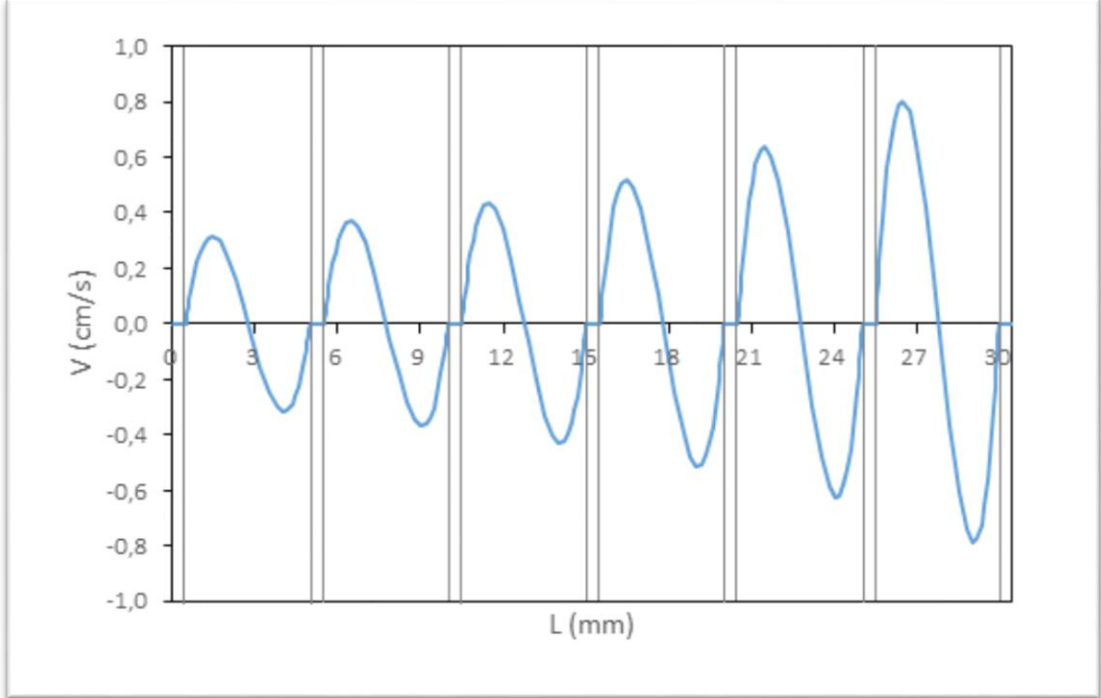


Şekil 3.11. Beş plakalı duvar için hız dağılımı

Altı, yedi ve sekiz plakalı duvar yapıları için orta eksendeki hız dağılımları sırası ile Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



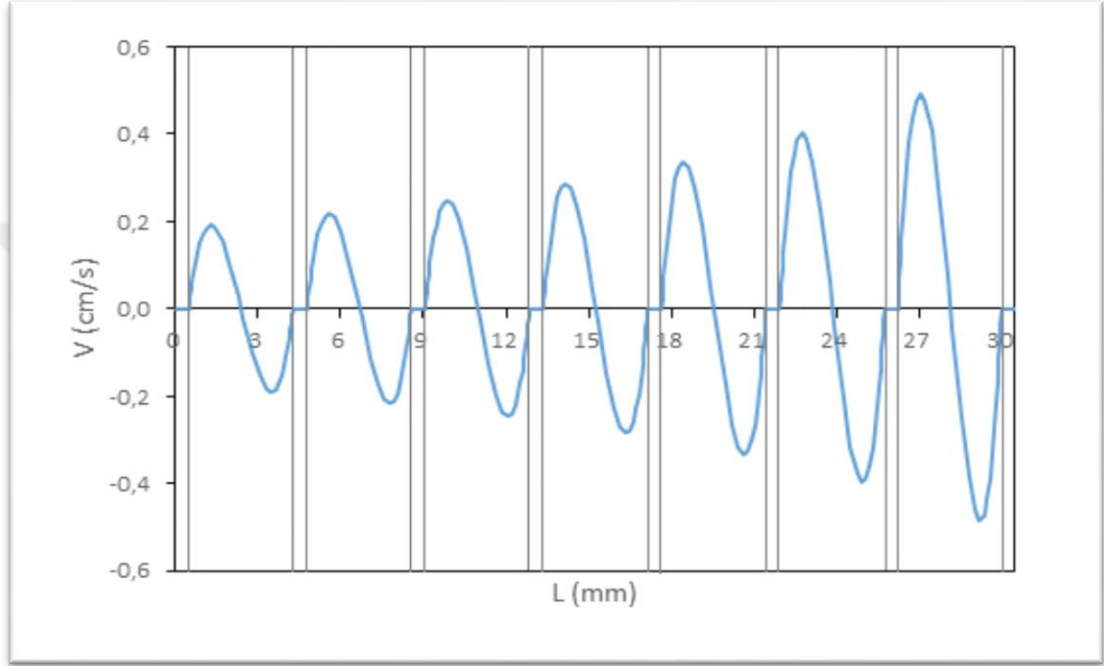
Şekil 3.12. Altı plakalı duvar için hız dağılımı



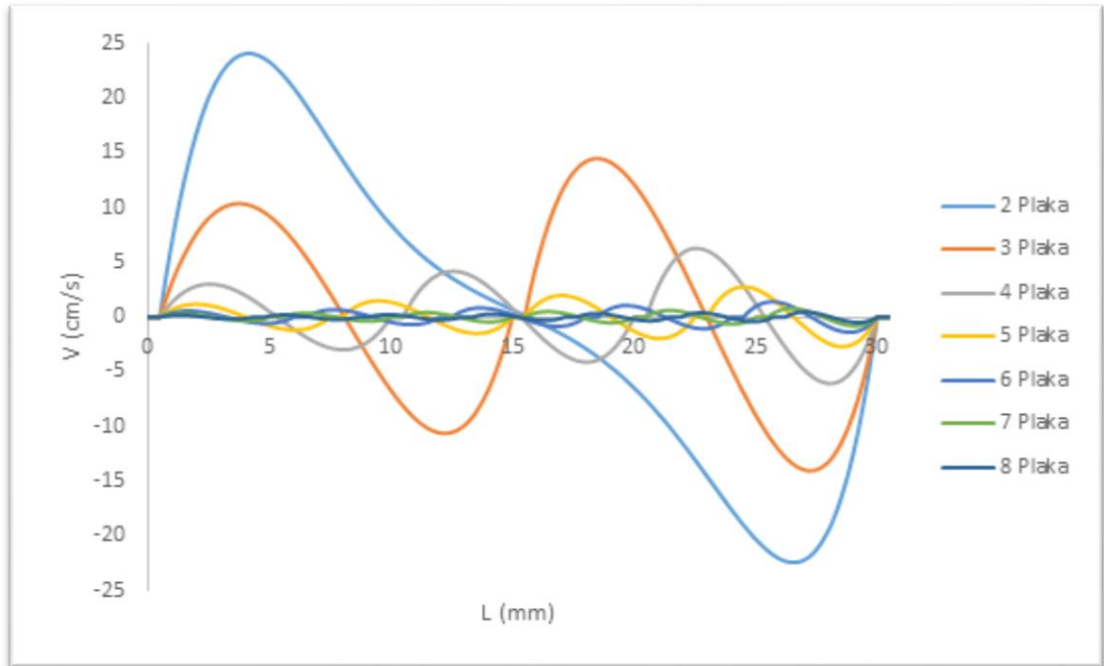
Şekil 3.13. Yedi plakalı duvar için hız dağılımı

Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14 incelendiğinde plakalar arası hava hızları altı plakada 1,5cm/s, yedi plakada 0,8cm/s ve sekiz plakada 0,5cm/s mertebelerine

inmektedir. Yani plaka sayısı arttıkça havanın taşınım kabiliyeti çok ciddi oranda azalmaktadır. Plaka sayısının artmasıyla hava tabakasının hızının büyük ölçüde azaldığından bahsetmiştik. Bunu daha iyi görmek için Şekil 3.15'e bakabiliriz. Şekil 3.15 incelendiğinde, iki plakalı duvar yapısında 25cm/s mertebelerindeki hava hızı plaka sayısının beşe çıkarılması ile 3cm/s mertebelerine, plaka sayısı sekize çıkarılması ile 0,5cm/s mertebelerine düşmektedir.



Şekil 3.14. Sekiz plakalı duvar için hız dağılımı



Şekil 3.15. Tüm duvarlar için hız dağılımı

Plakalar arası hız dağılım grafikleri incelendiğinde, aynı duvar yapısındaki çok katmanlı duvarlar içindeki hava hızları, katman katman farklılık göstermektedir. Hava hızlarının düşük olduğu bölgeler sıcak hacimler olup, hava hızlarının yüksek olduğu bölgeler ise atmosfer tarafındaki (soğuk taraf) hacimler olmaktadır. Bu farklılık, ışınlama ile olan ısı transferinin sıcak taraflarda daha düşük, soğuk taraflarda ise daha yüksek sıcaklık farkı oluşturmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.3'te plakalar arası ışınlama ile olan ısı transferi miktarları ve Tablo 3.4'te toplam ısı transferi içerisindeki ışınlama etkisi gösterilmiştir. Tablo 3.5'te ise plakalar arası sıcaklıklar gösterilmiştir. Tablo 3.5 incelendiğinde aynı duvar yapısı içerisinde sıcak bölgeden soğuk bölgeye gidildiğinde plakalar arası sıcaklık farklı artmaktadır. ışınlama ısı transferi sıcaklığın dördüncü dereceden kuvveti ile doğru orantılı olduğu için aynı duvar yapısında sıcak bölgeden soğuk bölgeye giderken ışınlama ısı transferinin etkisi azalmaktadır. Bu azalış Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de de görülmektedir.

Tablo 3.3. ışınlama ısı transfer miktarları

	<b>2 Plaka</b>	<b>3 Plaka</b>	<b>4 Plaka</b>	<b>5 Plaka</b>	<b>6 Plaka</b>	<b>7 Plaka</b>	<b>8 Plaka</b>
1. Plakadan 2. Plakaya	21,20	15,58	11,23	8,61	7,03	5,94	5,15
2. Plakadan 3. Plakaya	-	10,09	9,07	7,48	6,29	5,41	4,75
3. Plakadan 4. Plakaya	-	-	6,84	6,29	5,52	4,87	4,34
4. Plakadan 5. Plakaya	-	-	-	5,05	4,73	4,32	3,94
5. Plakadan 6. Plakaya	-	-	-	-	3,92	3,76	3,52
6. Plakadan 7. Plakaya	-	-	-	-	-	3,20	3,11
7. Plakadan 8. Plakaya	-	-	-	-	-	-	2,69

Tablo 3.4. Toplam ısı transferi içerisindeki ışınlama etkisi

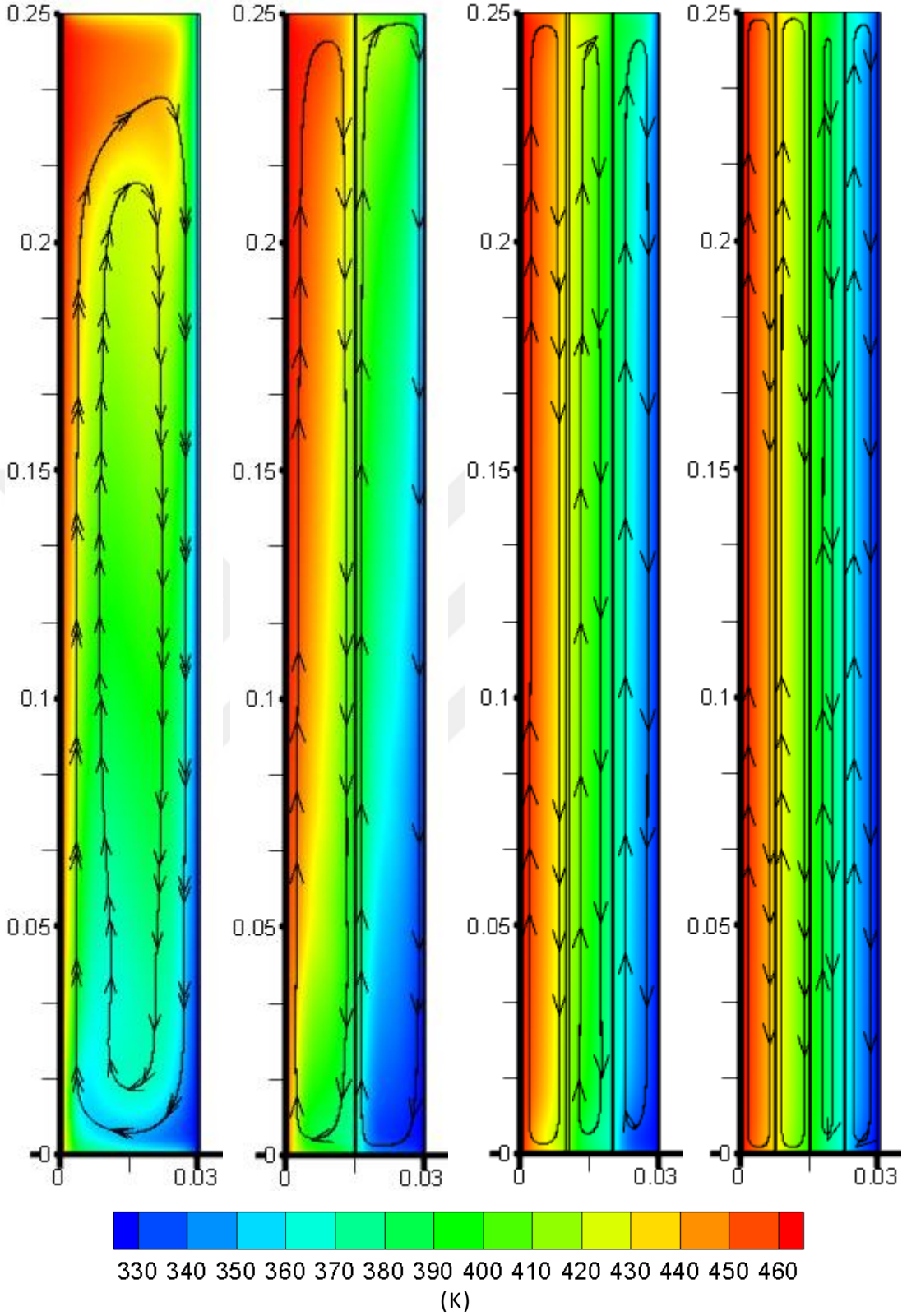
	<b>2 Plaka</b>	<b>3 Plaka</b>	<b>4 Plaka</b>	<b>5 Plaka</b>	<b>6 Plaka</b>	<b>7 Plaka</b>	<b>8 Plaka</b>
1. Plakadan 2. Plakaya	16,81%	21,08%	20,03%	16,32%	13,53%	11,47%	9,96%
2. Plakadan 3. Plakaya	-	13,65%	16,18%	14,18%	12,10%	10,45%	9,18%
3. Plakadan 4. Plakaya	-	-	12,20%	11,92%	10,62%	9,41%	8,39%
4. Plakadan 5. Plakaya	-	-	-	9,57%	9,10%	8,34%	7,61%
5. Plakadan 6. Plakaya	-	-	-	-	7,55%	7,26%	6,81%
6. Plakadan 7. Plakaya	-	-	-	-	-	6,17%	6,01%
7. Plakadan 8. Plakaya	-	-	-	-	-	-	5,20%

Tablo 3.5. Plaklar arası sıcaklıklar

Plakalar	2 Plaka	3 Plaka	4 Plaka	5 Plaka	6 Plaka	7 Plaka	8 Plaka
1-1	183,3 °C	190,3 °C	192,7 °C	193,1 °C	193,2 °C	193,2 °C	193,2 °C
1-2	75,6 °C	124,1 °C	149,7 °C	161,5 °C	168,0 °C	172,2 °C	175,2 °C
2-1	-	124,1 °C	149,7 °C	161,5 °C	168,0 °C	172,2 °C	175,2 °C
2-2	-	54,7 °C	101,7 °C	127,0 °C	141,0 °C	150,0 °C	156,3 °C
3-1	-	-	101,7 °C	127,0 °C	141,0 °C	150,0 °C	156,3 °C
3-2	-	-	47,6 °C	88,9 °C	112,0 °C	126,5 °C	136,6 °C
4-1	-	-	-	88,9 °C	112,0 °C	126,5 °C	136,6 °C
4-2	-	-	-	46,2 °C	80,5 °C	101,5 °C	115,8 °C
5-1	-	-	-	-	80,5 °C	101,5 °C	115,8 °C
5-2	-	-	-	-	45,9 °C	74,8 °C	93,9 °C
6-1	-	-	-	-	-	74,8 °C	93,9 °C
6-2	-	-	-	-	-	45,9 °C	70,7 °C
7-1	-	-	-	-	-	-	70,7 °C
7-2	-	-	-	-	-	-	45,8 °C

### 3.3.2. Sıcaklık Dağılım Sonuçları

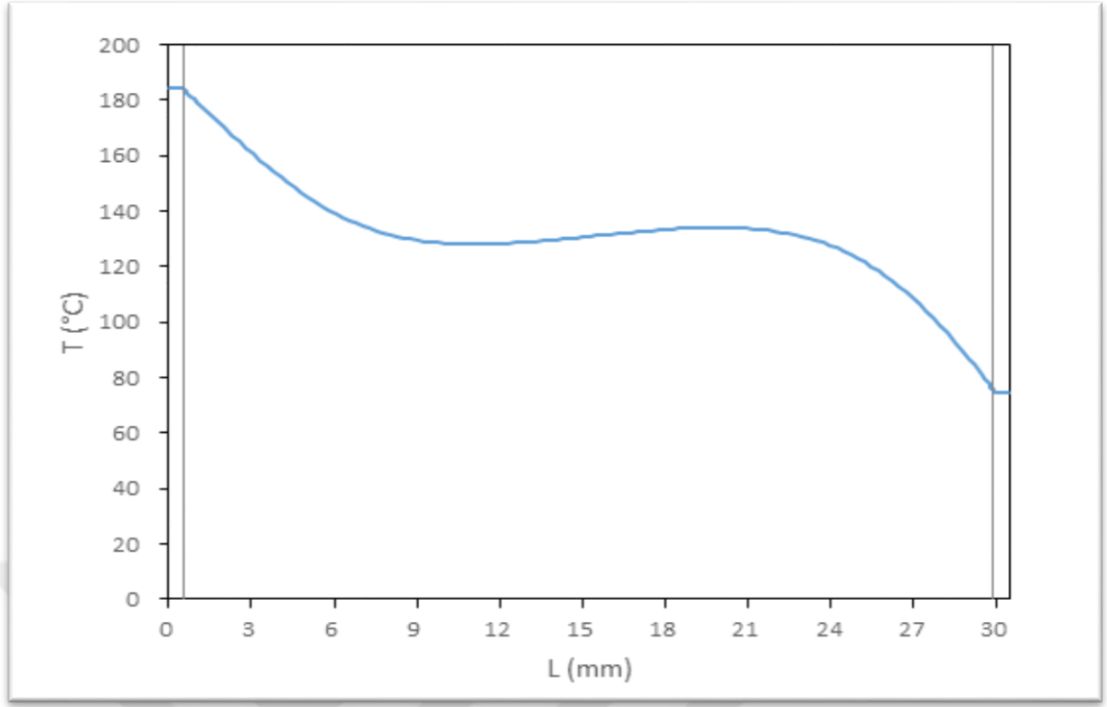
Şekil 3.16’da soldan sağa doğru iki, üç, dört ve beş plakalı duvar yapıları için sıcaklık grafikleri çizilmiş, grafiklerde alt ve üst ekseninde uzunluk birimi metre, sıcaklık birimi için Kelvin kullanılmıştır ve yer çekimi ivmesi aşağı yönlüdür. Şekil 3.16’ya baktığımızda tüm plaka sayıları için havanın sıcak taraftan yükselip soğuk tarafa gelince aşağı indiğini yani sürekli bir hareket halinde olduğunu görebiliriz. Fakat plakalar arası hava tabakasının dört plaka ve daha fazlası için sahip olduğu hızlar çok düşük mertebededir (beş plakalı duvar için 0,026m/s). Yani plakalar arası hava tabakaları bu hızlarda neredeyse durağan vaziyettedir. İki ve üç plakalı duvar yapısında havanın yüksek hareket kabiliyetinden dolayı taşınım ile ısı transferinin iletim ile ısı transferine baskın olduğunu, dört plaka ve daha fazla plaka ile oluşturulan duvar yapılarında sıcaklık grafiğinin lineer ve yumuşak bir geçişe sahip olmasından dolayı ısı transferinin salt iletim ile gerçekleştiğini görmekteyiz.



Şekil 3.16. Yan duvar sıcaklık grafikleri

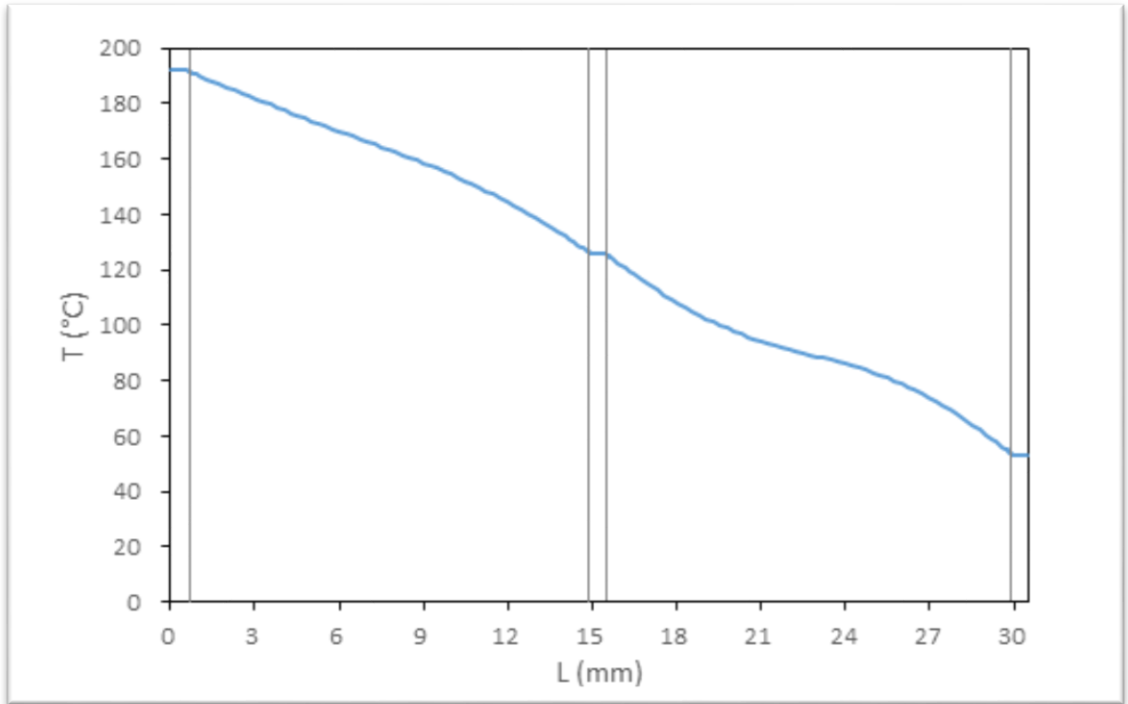
Yatay orta ekseninde hesaplanmış sıcaklık dağılımları iki plakalı ve üç plakalı duvar yapıları için sırası ile Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'da gösterilmiştir.





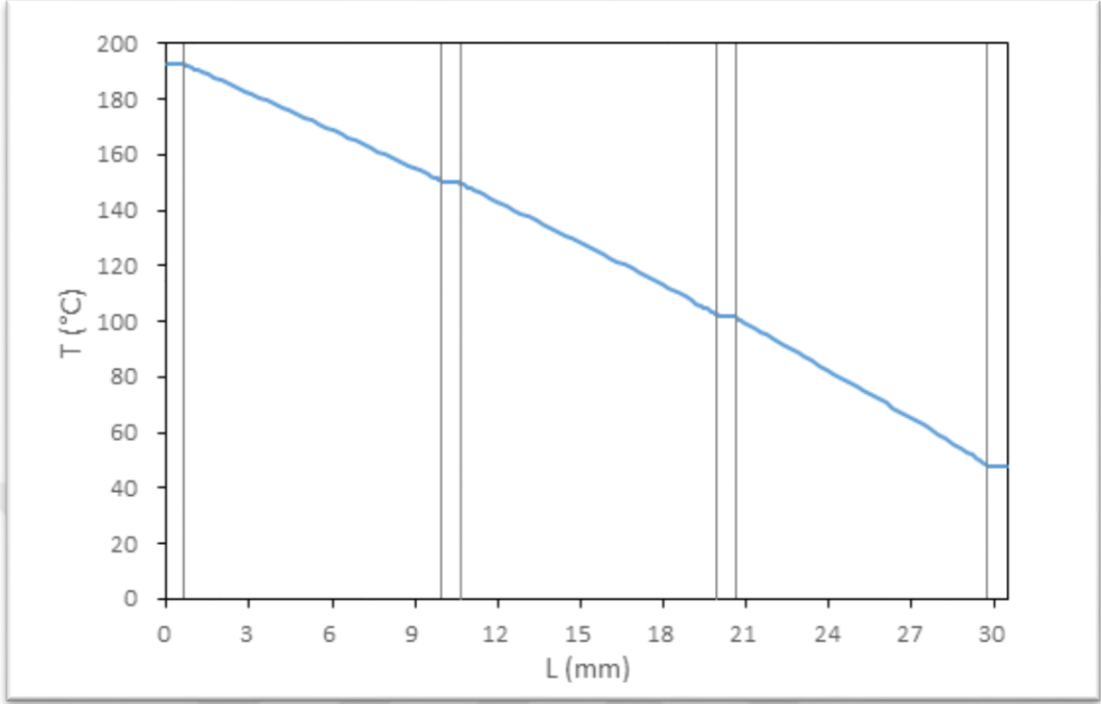
Şekil 3.17. İki plakalı duvar için sıcaklık dağılımı

Şekil 3.17'dan görüldüğü gibi iki plakalı duvar yapısında yani tek hava katmanı içinde doğrusal olmayan bir sıcaklık dağılımı vardır. Üç plakalı duvar yapısında iki plakalıya göre biraz daha lineere yakın bir eğri elde edilmesine karşın hala tam lineer bir eğri elde edilememiştir.

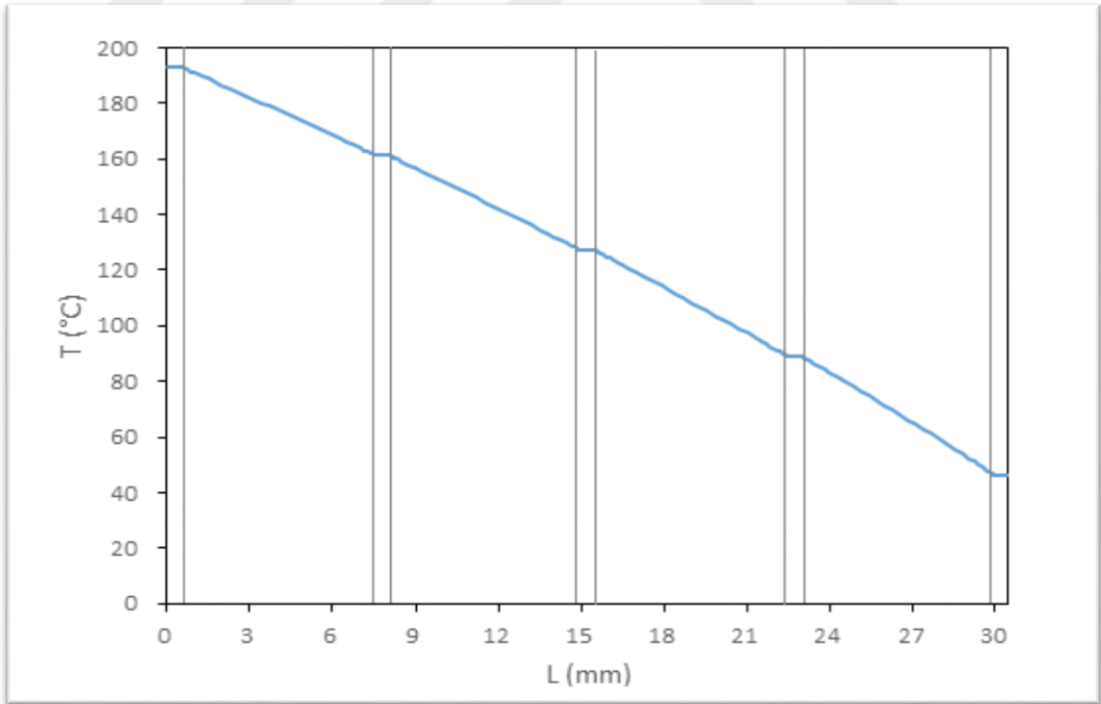


Şekil 3.18. Üç plakalı duvar için sıcaklık dağılımı

Şekil 3.19’de dört ve Şekil 3.20’de beş plakalı duvar için sıcaklık grafiği görülmektedir.

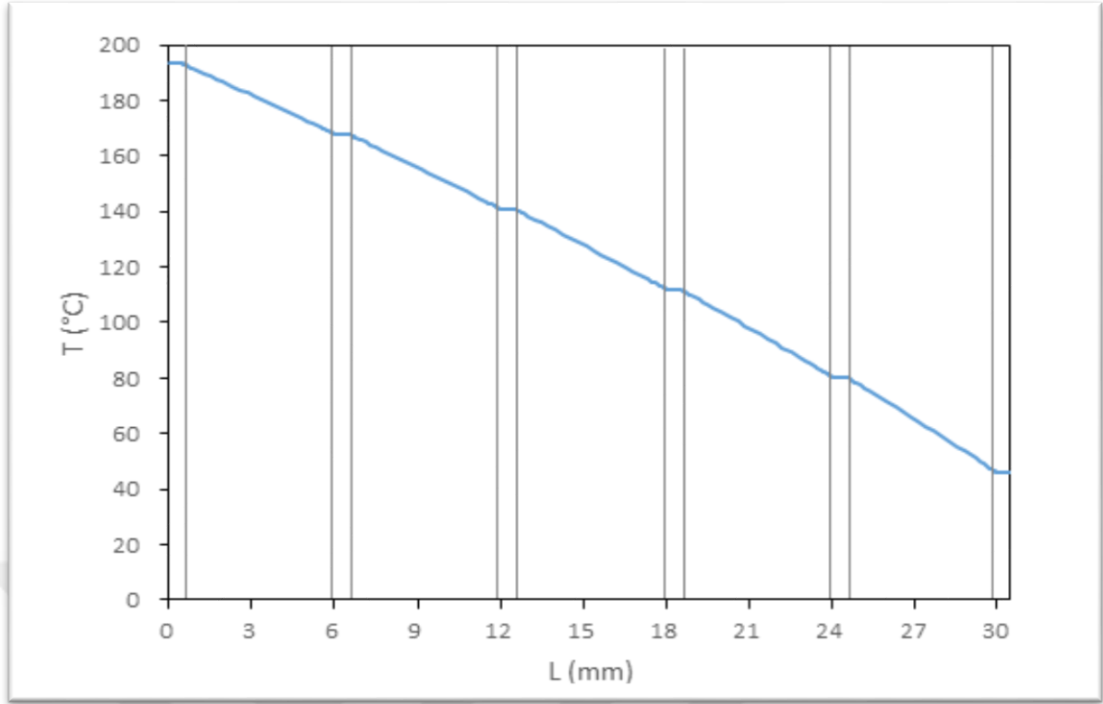


Şekil 3.19. Dört plakalı duvar için sıcaklık dağılımı

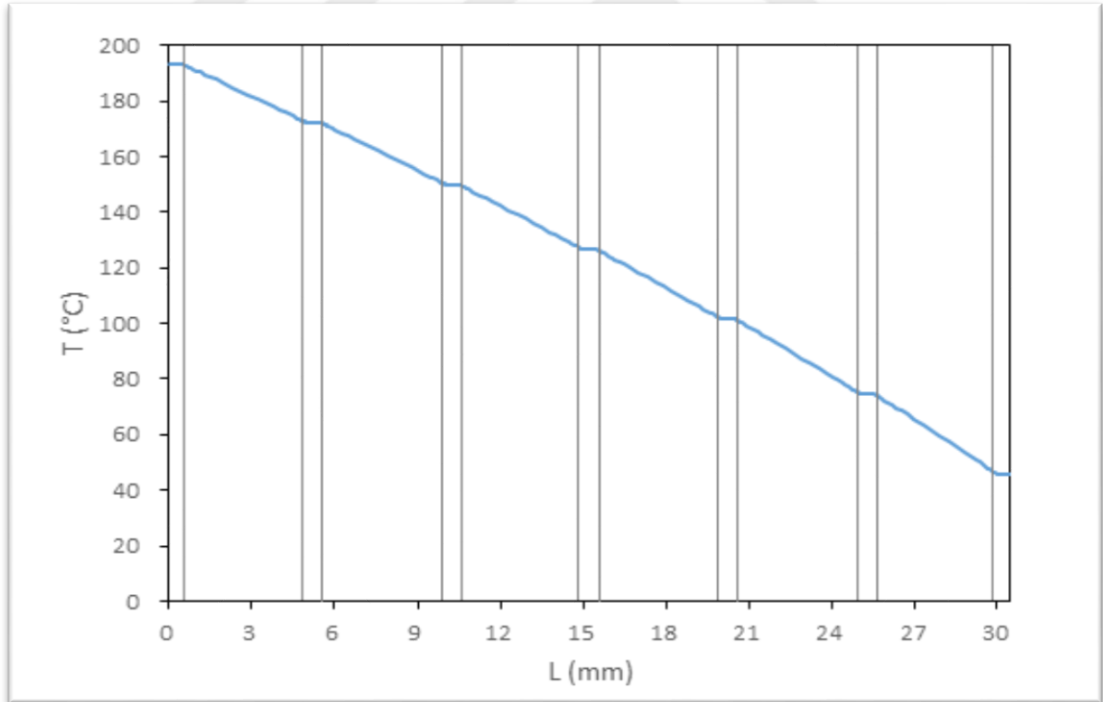


Şekil 3.20. Beş plakalı duvar için sıcaklık dağılımı

Altı, yedi ve sekiz plakalı duvar yapıları için sıcaklık dağılım grafikleri sırası ile Şekil 3.21, Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



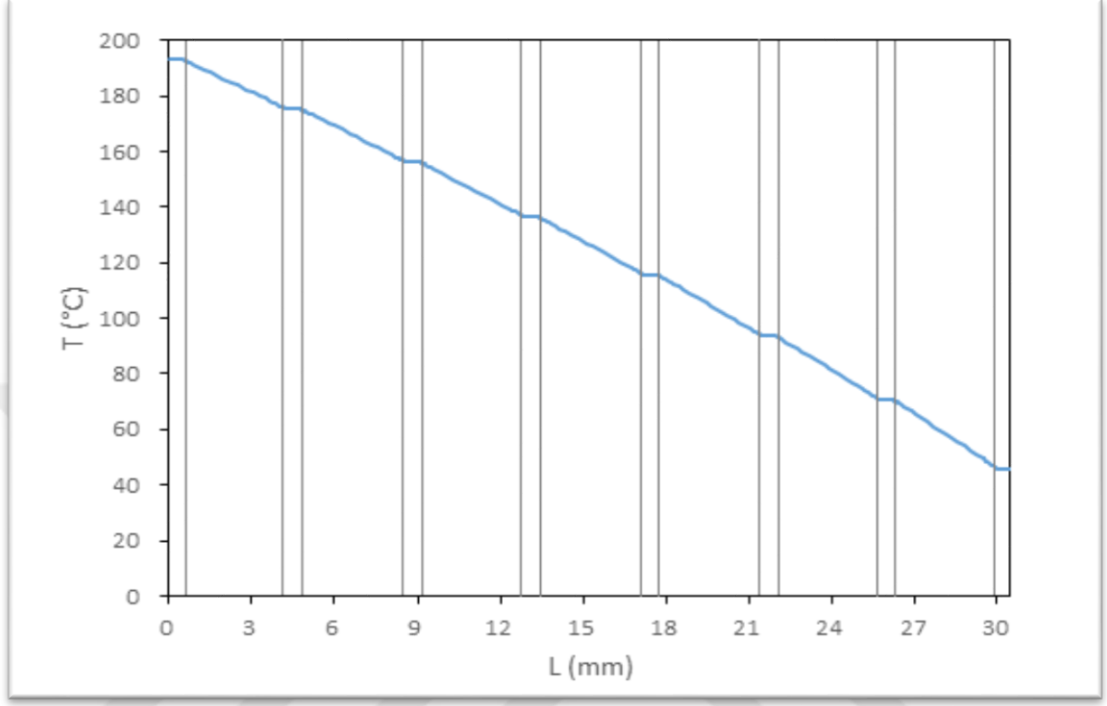
Şekil 3.21. Altı plakalı duvar için sıcaklık dağılımı



Şekil 3.22. Yedi plakalı duvar için sıcaklık dağılımı

Sıcaklık dağılım grafikleri incelendiğinde, iki ve üç plakalı duvar yapısında sıcaklık eğrileri doğrusal değil iken plaka sayısı dört ve üzerine çıkması ile sıcaklık değişimi doğrusal hale gelmektedir. Burada, az plakalı duvarlardaki lineer olmayan sıcaklık değişimleri hava katmanındaki ısı transferinin taşınımın baskın olduğunu gösterirken,

plaka sayısının artırılması ile ortaya çıkan doğrusal sıcaklık dağılımı ise akışkan tabakası içindeki taşınımın neredeyse sonlanıp, ısı transferinin iletim (artı ışınım) ile gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 3.23. Sekiz plakalı duvar için sıcaklık dağılımı

Rayleigh sayısı doğal taşınımında önemli bir boyutsuz sayı olup, ısı transferinde iletimin veya taşınımın baskın olacağını göstermektedir. Rayleigh sayısı Denklem 3.1 ile gösterilmiştir.

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_a - T_b) \cdot L_c^3}{\nu^2} Pr \quad (3.1)$$

Bu denklemde  $g$  yerçekimini,  $\beta$  hacimsel genişleme katsayısını (ideal gazlarda:  $1/T$ ),  $T$  yüzey sıcaklıklarını,  $\nu$  akışkanın kinematik viskozitesini ve  $L_c$  karakteristik uzunluğu ifade etmektedir. Karakteristik uzunluk Denklem 3.2 ile gösterilmiştir.

$$L_c = \frac{l^4}{H} \quad (3.2)$$

Burada  $l$  hava tabakasının kalınlığını ve  $H$  geometrimizin boyunu göstermektedir.

Bu çalışmadaki  $Ra_L$  sayılarını incelersek, iki plakalı duvar yapısındaki Rayleigh sayısı  $Ra_{L-2,1}=8099$ 'dur. Yani ısı transferinde taşınım hareketleri ilettime göre çok üstün iken,

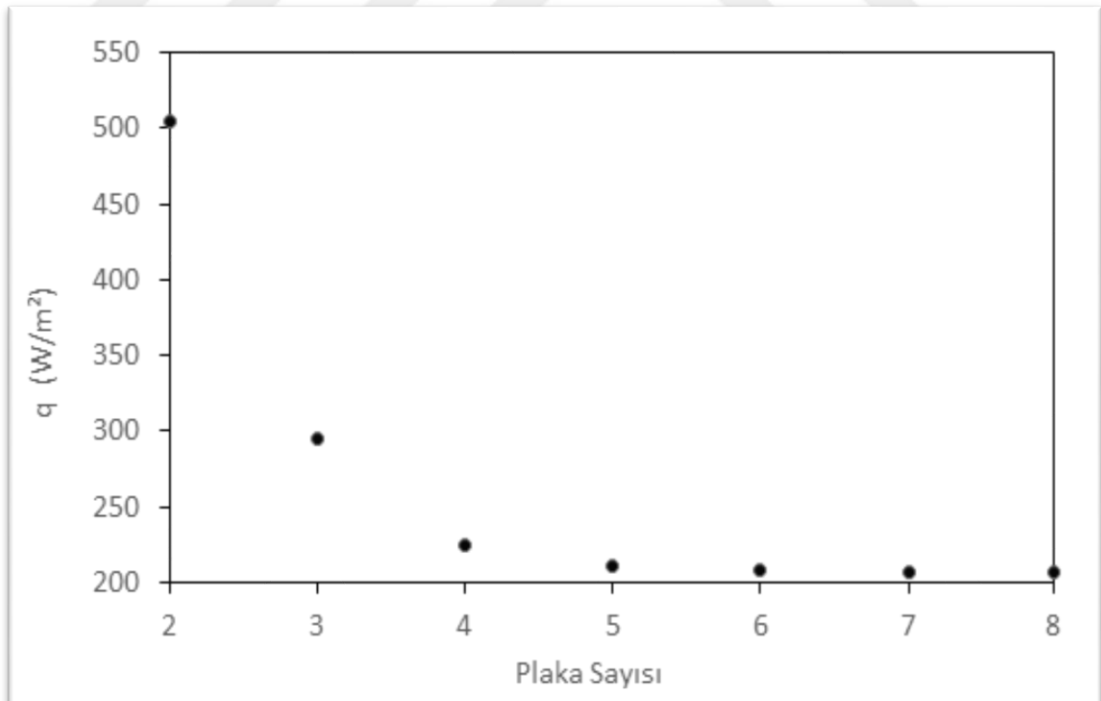
plaka sayısını dörde çıkardığımızda birinci hava tabakasındaki  $Ra_{L-4,1}=23$ , ikinci hava katmanında  $Ra_{L-4,2}=41$  ve üçüncü hava tabakasinda  $Ra_{L-4,3}=89$ 'dur. Sıcaklık grafiklerinde ve hesaplanan  $Ra_L$  sayılarında da görülebileceği gibi plaka sayısının artışı ile hava tabakasının hareketleri kısıtlanıp, iletimin taşınımına göre baskın hale geldiği gözlenmiştir. Beş plakaya kadarki  $Ra_L$  sayıları Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6.  $Ra_L$  sayısının plaka sayısı ile değişimi

	2 Plaka	3 Plaka	4 Plaka	5 Plaka
1. hava tabakası	8099	210	23	5
2. hava tabakası	-	494	41	7
3. hava tabakası	-	-	89	12
4. hava tabakası	-	-	-	21

### 3.3.3. Isı Akısının İncelenmesi

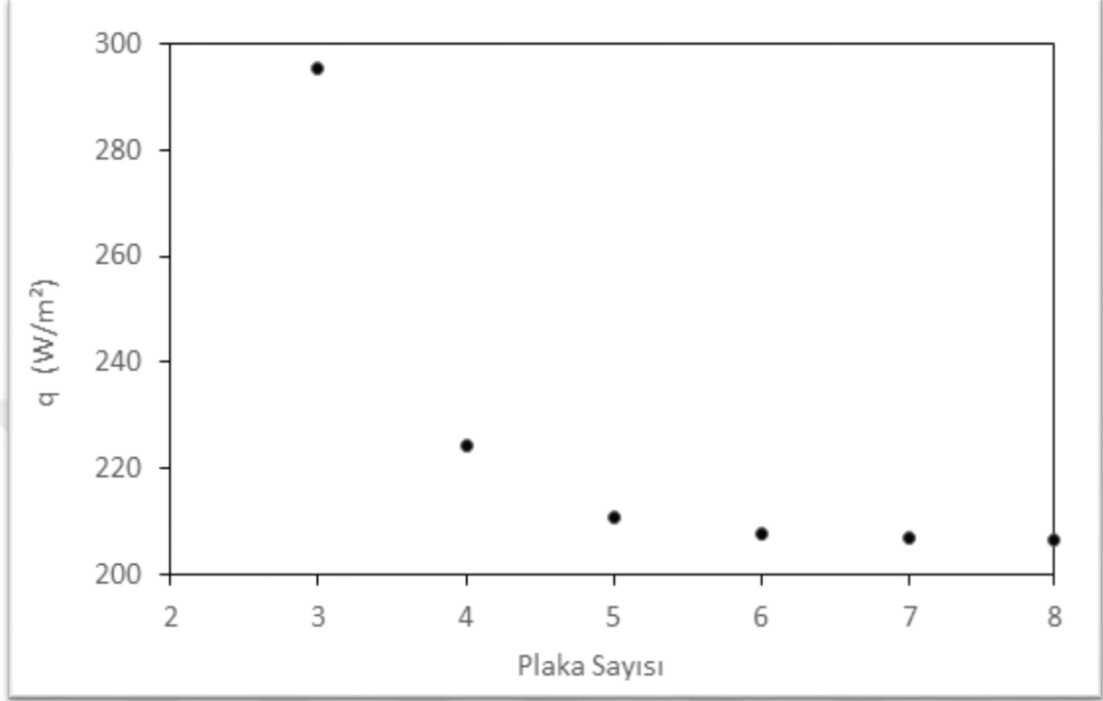
Çok katmanlı duvar sistemindeki toplam ısı akısının plaka sayısı ile değişimi Şekil 3.24'da gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Plaka sayısının toplam ısı akısına etkisi-1

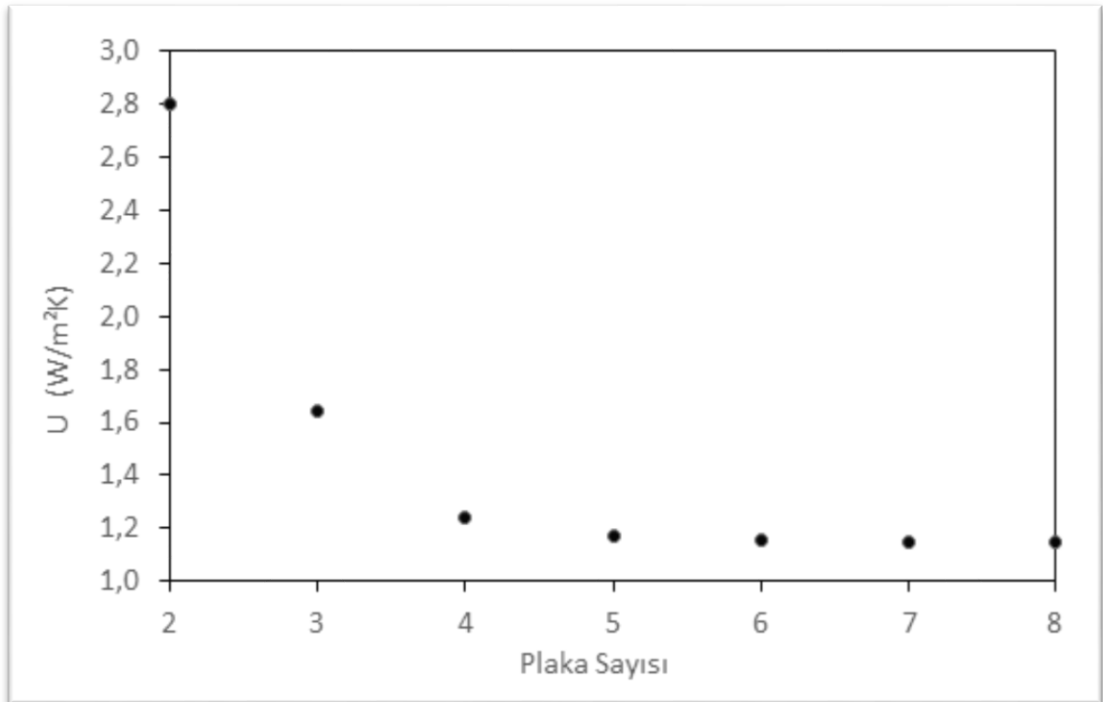
Şekil 3.24'dan görüldüğü gibi plaka sayısının artması ile toplam ısı akısı ciddi olarak azalmaktadır. Üç plakadan sonraki düşüşün daha iyi görülebilmesi için Şekil 3.25'ye

bakılabilir. Isı akısı iki plakalı halde  $510\text{W/m}^2$  mertebelerinde iken beş plakalı duvarda  $210\text{W/m}^2$  mertebelerine düşmektedir. Daha yüksek plaka sayıları, toplam kalınlığı  $30,5\text{mm}$  olan duvarda ciddi bir fayda sağlamamaktadır.



Şekil 3.25. Plaka sayısının toplam ısı akısına etkisi-2

### 3.3.4. Toplam Isı Transfer Katsayısının İncelenmesi



Şekil 3.26. Toplam ısı transfer katsayısının plaka sayısı ile değişimi

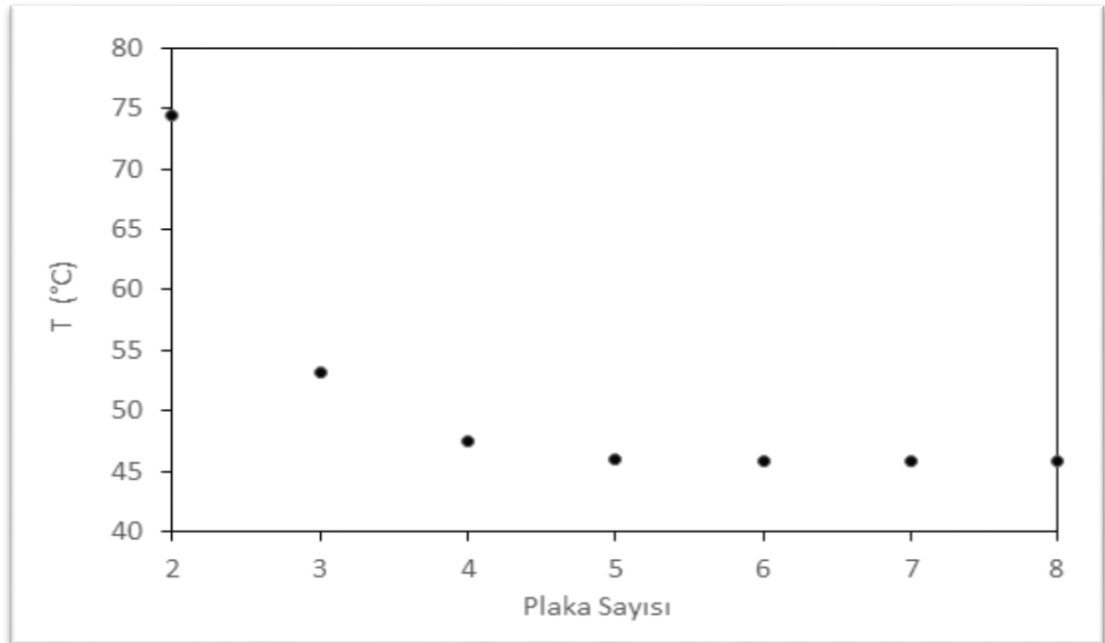
Çok katmanlı duvar sistemindeki toplam ısı transfer katsayısının ( $U = q/(T_i - T_o)$ ) plaka sayısı ile değişimi ise Şekil 3.26'de gösterilmiştir.

Şekilden de görüleceği üzere, toplam ısı transfer katsayısı iki plakalı duvarda  $2,8\text{W/m}^2\text{K}$  mertebelerinde iken bu değer, plaka sayısının beşe çıkarılması ile  $1,1\text{W/m}^2\text{K}$  mertebesine düşmektedir.

Aynı yalıtım  $30,5\text{mm}$  kalınlığında, taşıyıcı ile ( $k=0,045\text{ W/mK}$  [28]) yalıtılsaydı, bu duvarın toplam ısı transfer katsayısı  $1,29\text{ W/m}^2\text{K}$  mertebesinde olacaktı. Beş katmanlı parlak yüzeyli duvarın toplam ısı transfer katsayısı ise  $1,1\text{ W/m}^2\text{K}$  olup taş yünü duvardan %15 daha iyi olduğu görülmektedir.

### 3.3.5. Yüzey Sıcaklığı

Yüksek sıcaklıktaki mahallerin yalıtılmasında önemli unsurlardan birisi de çıplak el ile dokunulabilir dış yüzey sıcaklıklarının emniyetli bir mertebede olmasıdır. Parlak yüzeyli çok katmanlı duvar sistemindeki atmosfer tarafındaki son dış yüzey sıcaklığının plaka sayısı ile değişimi Şekil 3.27 ile gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi katman sayısının artmasıyla son yüzey sıcaklığı ciddi oranda azalmaktadır. İki plakalı duvar sisteminde son dış yüzey sıcaklığı yaklaşık  $75^\circ\text{C}$  iken, plaka sayısının artmasıyla beraber bu değer  $46^\circ\text{C}$ 'ye kadar düşmektedir. Beş plakadan sonraki düşüşler şekilde görüldüğü gibi ihmal edilebilecek mertebededir.



Şekil 3.27. Plaka sayılarına göre yüzey sıcaklıklarının değişimi

Yan yüzeyler için yapılan sayısal analiz sonuçları incelendiğinde optimum yalıtım için beş plakalı duvar yapısının yeterli olduğu görülmektedir. Bu sonuca istinaden üst ve alt yüzeyler için de beş plakalı duvar yapısı oluşturulup aynı şartlar altında analizleri gerçekleştirilip sonuçlar Tablo 3.6 ile verilmiştir.

Üst Yüzey diye adlandırılan duvar yapısında alttan ısıtıldığı için alt yüzey sıcak üst yüzey soğuk olacaktır. Alt yüzeyden ısıtılan hava yer çekimi etkisi ile yükselip sıcaklığı düşüncü aşağı doğru inecektir. Fakat Alt Yüzey diye adlandırılan duvar yapısında üst bölgeden bir ısıtma olacağı için yukarıda anlatılan şekilde bir akışkan hareketi olmayacaktır.

Akışkan hareketinin olduğu durumlarda taşınım ile ısı transferinin iletim ile ısı transferine baskın gelip ısı akısını arttırmaktadır. Sonuçlara baktığımızda ise ısı akılarının aynı olduğunu görmekteyiz. Bu da bize gösteriyor ki beş plakalı duvar yapısında plakalar arası hava tabakası neredeyse durağan hale gelip ısı geçişi iletim ve taşınım ile olmaktadır.

Son dış yüzey sıcaklığına baktığımızda ise üst, alt ve yan düzey duvar yapıları için aynı olup 46°C olmaktadır.

Tablo 3.7. Beş plakalı alt ve üst duvar yapılarının karşılaştırılması

		Üst Yüzey	Alt Yüzey
Isı Akısı	Q (W/m <sup>2</sup> )	343.4	343.4
Toplam Isı Transfer Katsayısı	U (W/m <sup>2</sup> K)	1.908	1.908
Yüzey Sıcaklığı	T (°C)	46.63	46.09



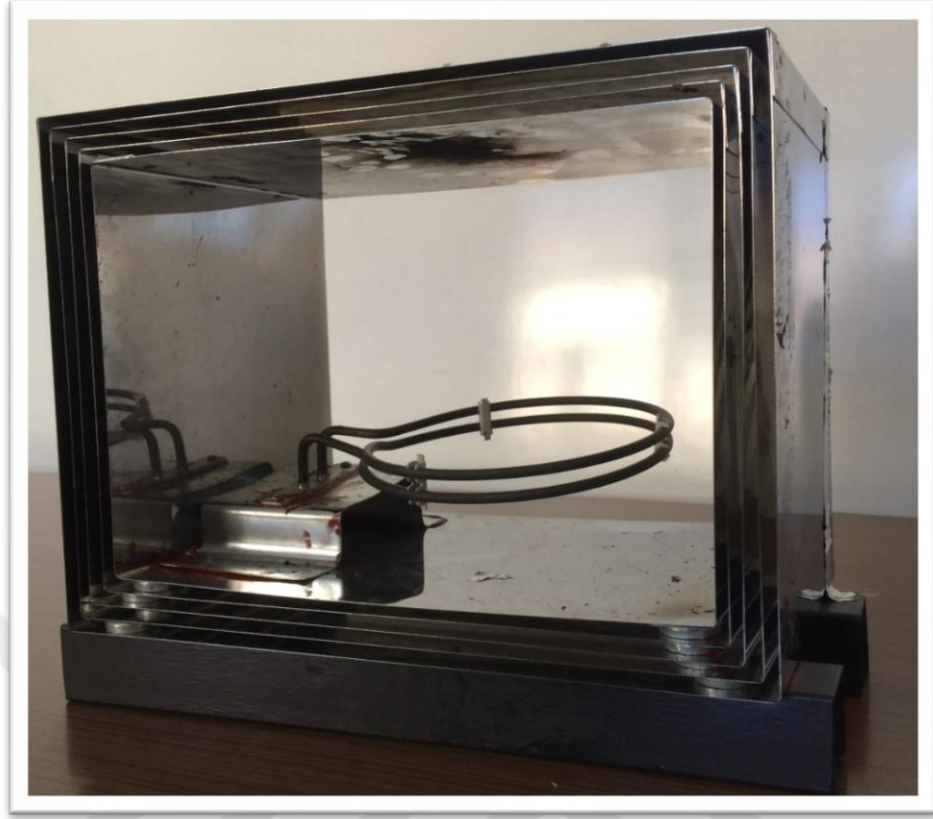
#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada ev tipi elektrikli fırınlarda enerji tüketimini azaltmak için klasik olarak kullanılan yöntemlere alternatif olacak bir yaklaşım geliştirmek amacı ile öncelikle literatür taranarak klasik yöntemler hakkında bilgi toplandı. Deneysel çalışmaya geçilmeden önce sayısal çalışmalar yapılarak nihai ürün için sonuçlar toplandı. Toplanan sonuçlar incelendiğinde optimum yalıtım için beş plakalı duvar yapısına karar verildi.

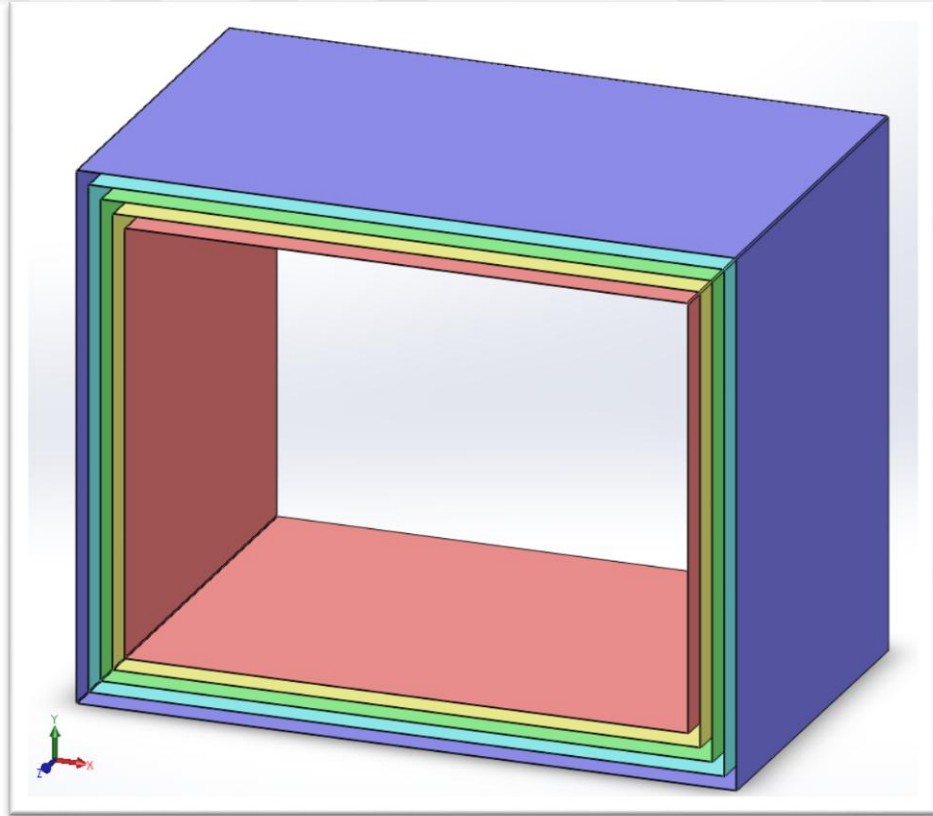
Beş plakalı fırın oluşturmak için önce sac malzemesi olarak 430-paslanmaz çeliğe karar verildi. Ardından fırın iç hacmi 350x250x250mm olarak belirlendi. Plakalar arası boşluk 7mm olacak şekilde boyutlar belirlenip, paslanmaz çelik saca büküm ve kaynak işlemleri yapılarak Şekil 4.1’de gösterilen dikdörtgenler prizması parçalar elde edildi. Bu parçaların boyutları küçükten büyüğe doğru; 350x250x250mm, 357x257x257mm, 364x264x264mm, 371x271x271mm ve 378x278x278mm’dir. Şekilde gösterilen katmanlar büyükten küçüğe doğru iç içe geçirilerek Şekil 4.2 ile gösterilen beş plakalı fırın yapısı elde edilmiş oldu. Şekil 4.3’te ise beş plakalı fırının cad çizim programı olan Solidworks ile çizilmiş hali görülmektedir.



Şekil 4.1. Beş plakalı fırın katmanları

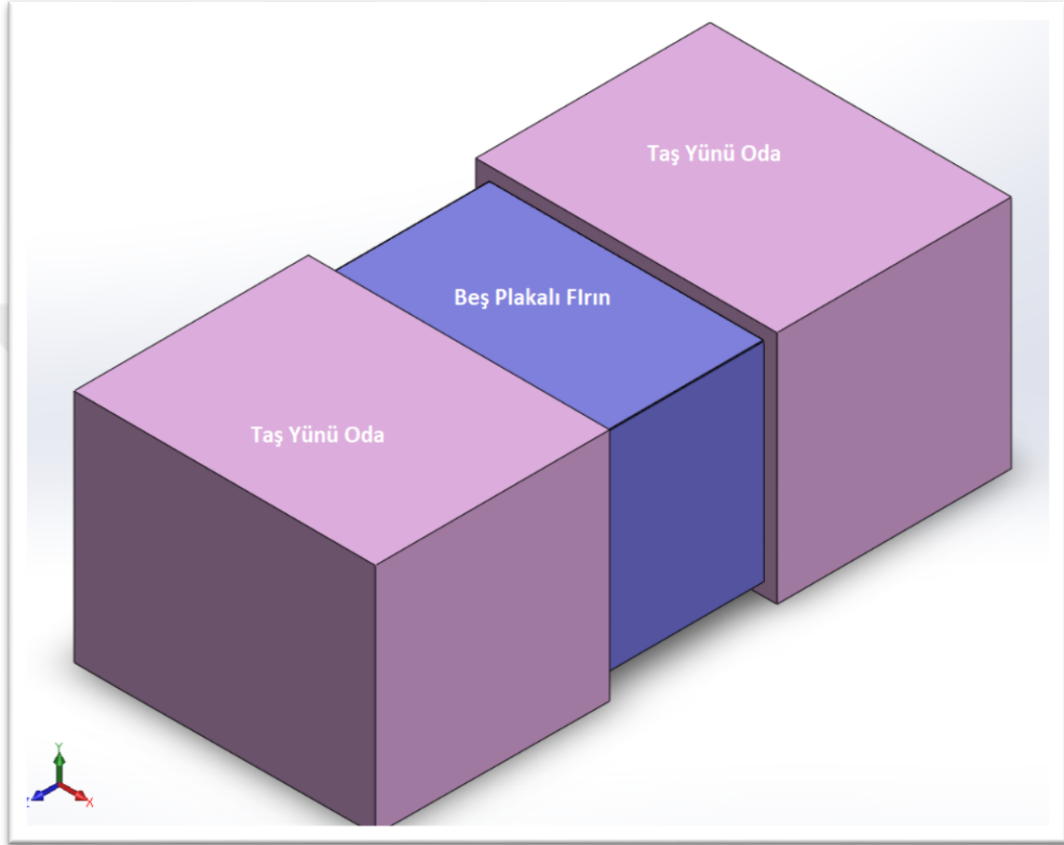


Şekil 4.2. Beş plakalı fırın gerçek görünüm



Şekil 4.3. Beş plakalı fırın cad görünümü

Şekil 4.2' ve Şekil 4.3 ile gösterilen fırında ön ve arka yüzeyler (z-ekseni yönündeki) açık konumdadır. Bu yüzeylerden ısı transferi olmasını istemediğimiz için, Şekil 4.4'de de gösterildiği gibi izolasyonu taş yünü ile yapılmış odalar, ön ve arka yüzeylere montajlandı. Buradaki amaç ön ve arka yüzeyi adyabatik yapmaktır.

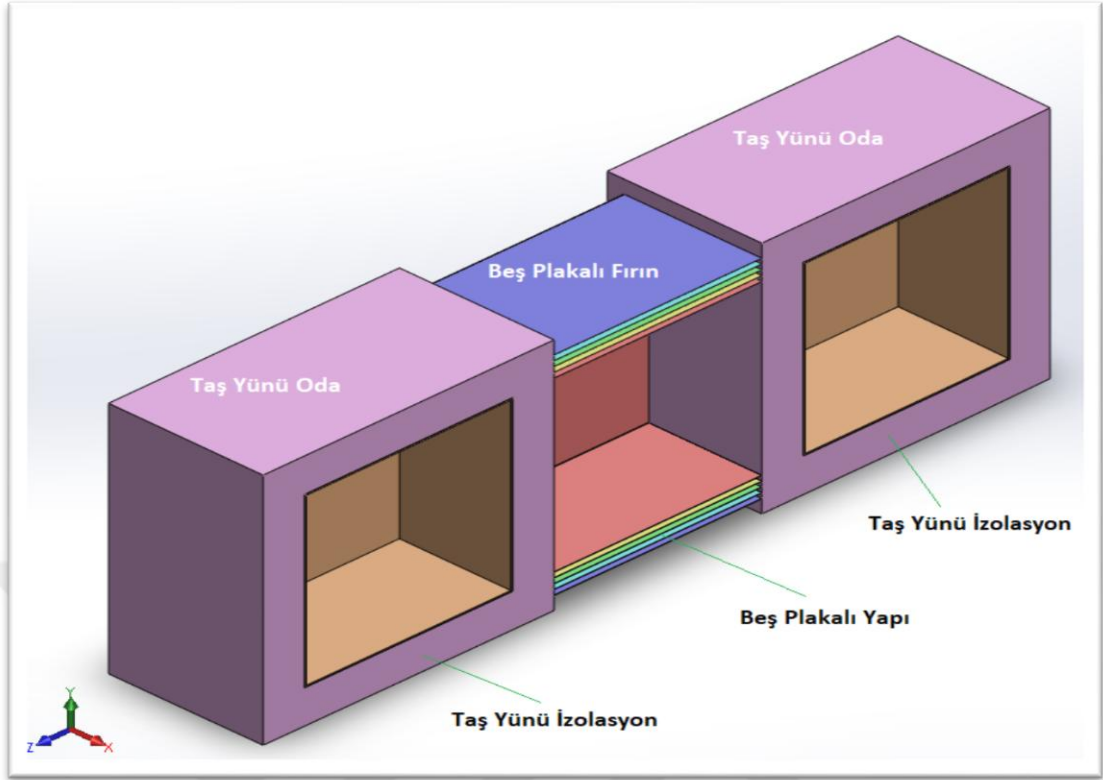


Şekil 4.4. Beş plakalı fırın ve taş yünü odalar

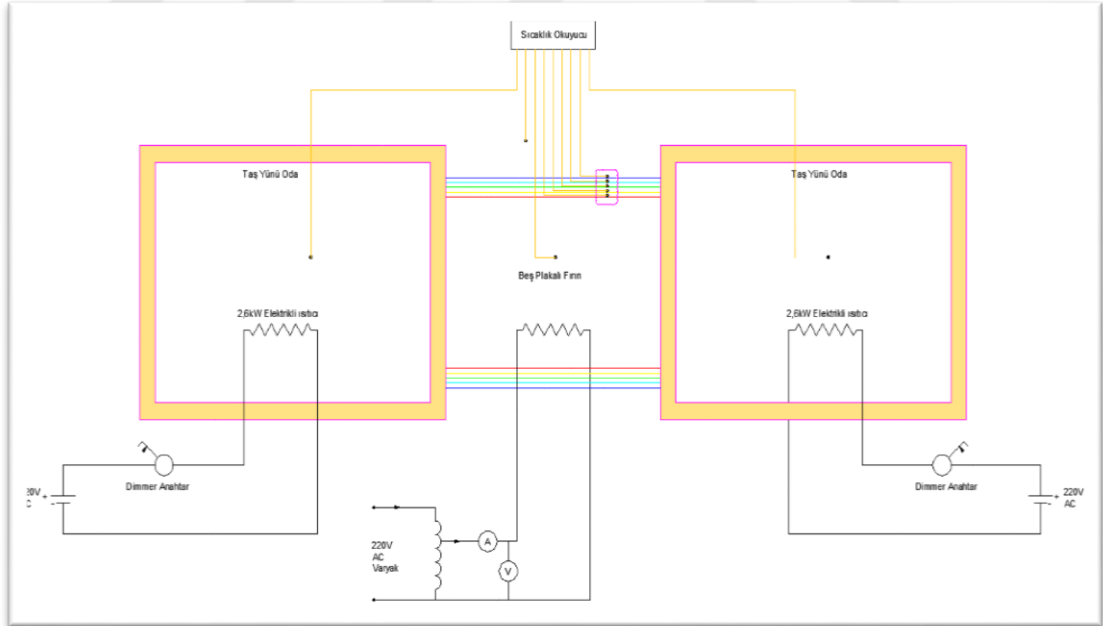
Plakaların sistemde nasıl konumlandığını daha iyi görebilmek adına yz-düzleminde kesit alınmış ve Şekil 4.5 ile gösterilmiştir.

Beş plakalı fırın ve diğer odaların iç hacimlerini ısıtmak için 2600W elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Daha sonra iç hacimleri sabit bir sıcaklıkta tutmak (steady-state) amacı ile beş plakalı fırın için varyak cihazı, taş yünü odalar için dimer kullanılmıştır. Deney setinin elektriksel şeması Şekil 4.6 ile gösterilmiştir.

Deney setinde fırın merkez sıcaklığını ölçmek için bir termokupl, her plaka sıcaklığını ölçmek için birer adet termokupl, taş yünü odaların merkez sıcaklıklarını ölçmek için birer termokupl ve ortam sıcaklığını ölçmek için bir termokupl olmak üzere bir deney çevrimi için toplamda dokuz termokupl kullanılmıştır.

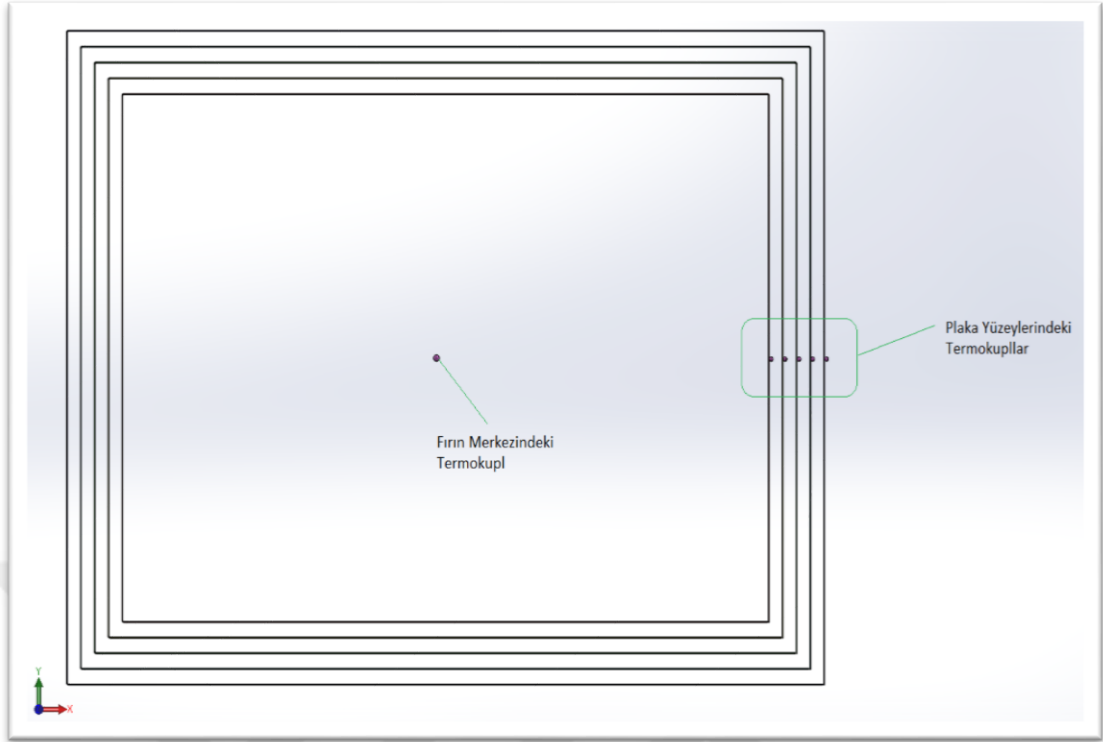


Şekil 4.5. Denei setinin yz-düzleminde alınmış kesit görüntüsü



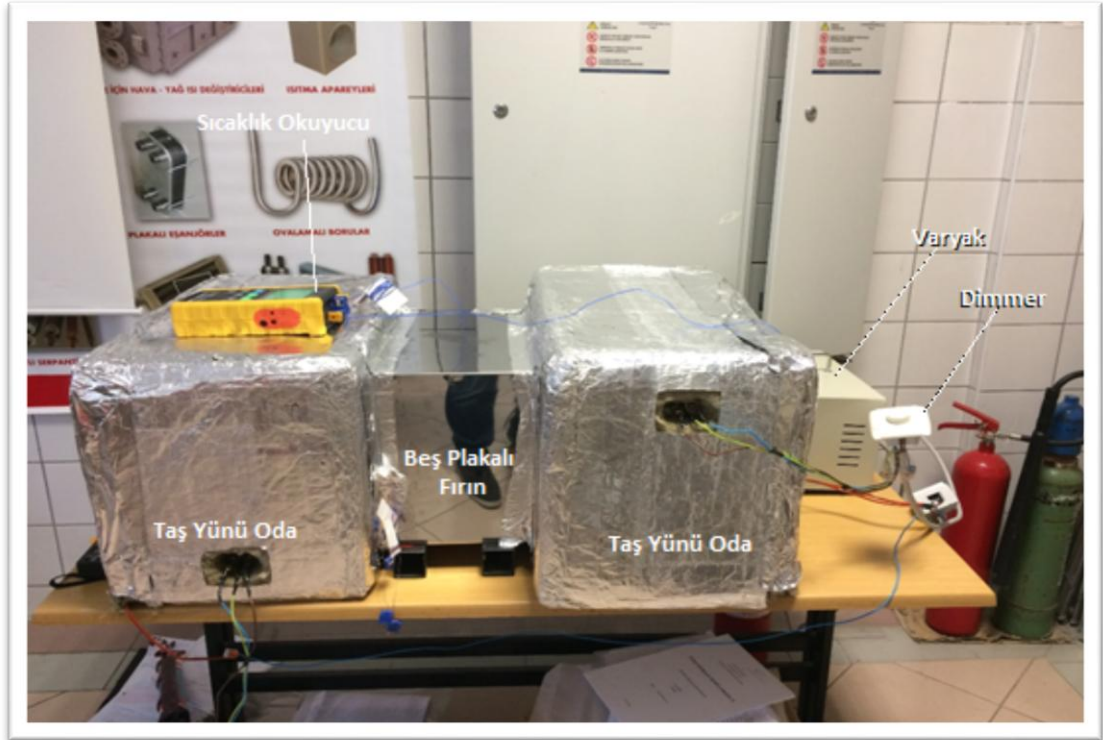
Şekil 4.6. Denei setinin elektriksel şeması

Şekil 4.6'da bulut içine alınan bölgede termokupllar beş plakalı fırının üstünde gözükmemektedir. Fakat deney sırasında yan duvarlara termokupl yerleştirilmiştir. Şema iki boyutta yz-düzleminde çizildiği için gösterimi tamamlamak, sembolik olarak bu şekilde gösterilmiştir. Gerçek durum için Şekil 4.7'ye bakılabilir.



Şekil 4.7. Fırın içindeki termokupl yerleşimi

Tüm elektrik ve mekanik bağlantıları yapılmış, tüm termokuplları montajlanmış, deney yapılmaya uygun beş plakalı fırın deney seti Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Deney yapılmaya hazır deney seti

Deney sürelerini kısaltmak amacı ile deneyin başlarında, fırın ve taş yünü odaların merkez sıcaklıkları 160°C civarlarına gelene kadar varyaktan ve dimmer anahtar yüksek akım geçirilmesine izin verilmiştir. Denge durumuna gelmesi ve denge durumunu koruması için elektrikli rezistansların çektiği akım değeri varyak ve dimmer anahtar ile ayarlanmıştır. Denge durumuna gelmiş sistemdeki varyakın gösterdiği değerler Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Her deneyde sayısal analizdeki denge durumunu (fırın ve taş yünü odaların merkezinde sabit sıcaklık) sağlamak adına fırın merkez sıcaklığı 200°C’de sabit tutulmuş ve her deney yaklaşık 3 saat sürmüştür. Deney süreleri boyunca ortam sıcaklığı 25°C civarında tutulmuştur. Deney sürecinde yan yüzeydeki sıcaklıklar sürekli olarak ölçülmüş, fırın merkez sıcaklığı 200°C de otuz dakika sabit kaldıktan bir süre sonra yan yüzey sıcaklıkları varyaktan okunan amper ve voltaj değerleri kayıt altına alınmıştır. Toplamda üç deney yapılmıştır.



Şekil 4.9. Denge durumundaki dijital voltmetre

#### 4.1. Deneysel Sonuçlar ve Karşılaştırma

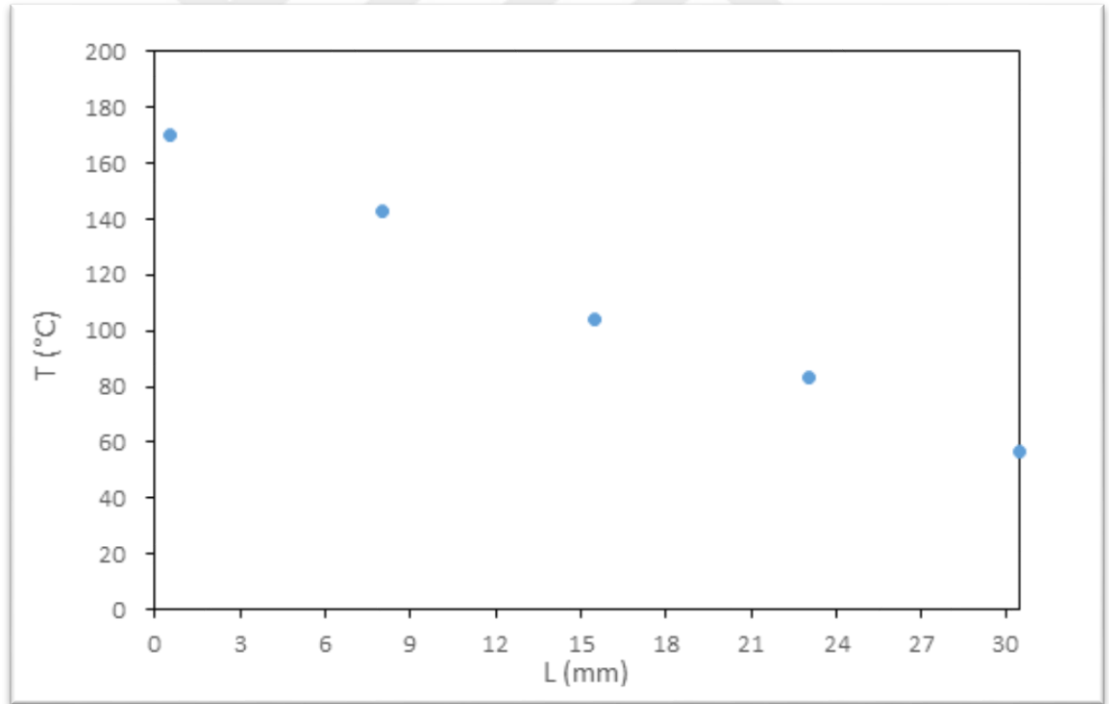
Fırın merkezi sıcaklığı 200°C ve denge durumu için ölçülen yan yüzey sıcaklıkları Tablo 4.1 ve Şekil 4.10 ile gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Yan yüzey deney sonuçları

Yan Yüzey Deney sonuçları		
	Mesafe	Sıcaklık
1. Plaka	0,5 cm	170 °C
2. Plaka	8,0 cm	143 °C
3. Plaka	15,5 cm	104 °C
4. Plaka	23,0 cm	83 °C
5. Plaka	30,5 cm	57 °C

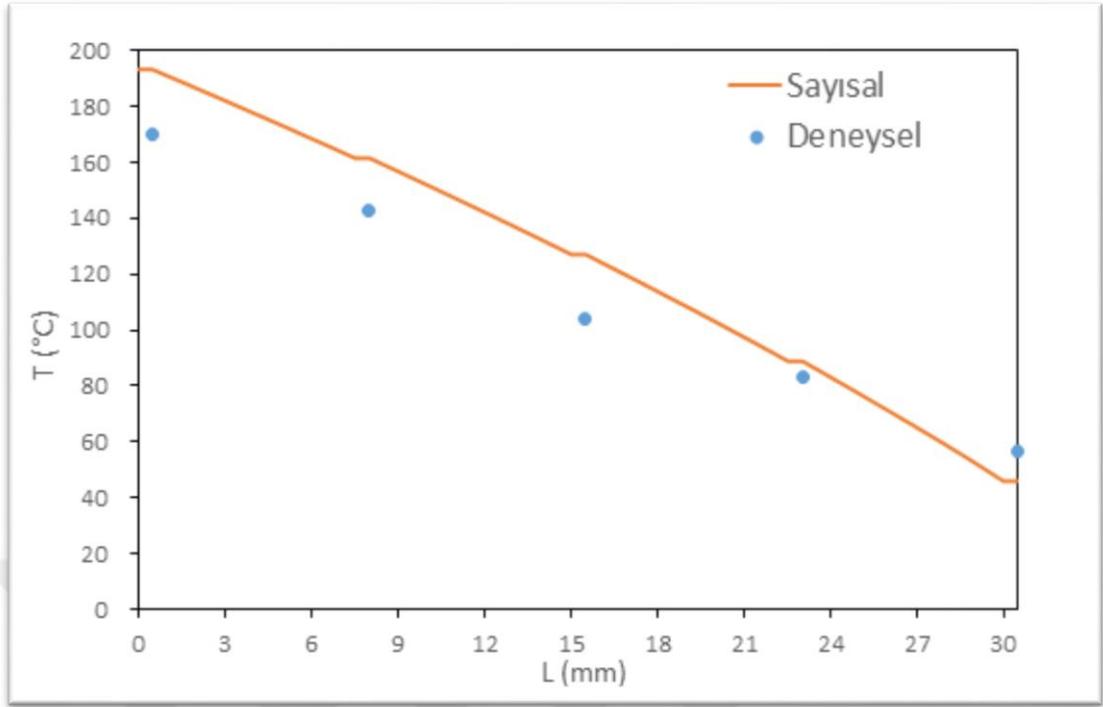
Tablo 4.1 ve Şekil 4.10'dan da görüleceği gibi plaka sayısının artması ile beraber sıcaklık düşmektedir. Beş plakalı fırında dış yüzey sıcaklığı 57°C mertebesinde olup çıplak el ile dokunulabilir seviyededir.

Beş plakalı fırın ve beş plakalı duvar yapısının karşılaştırılması için Şekil 4.11'e bakılabilir. Deney sonuçları ve sayısal analiz sonuçları birbirine benzer olup, sayısal analizde dış yüzey sıcaklığı 46°C ve deneysel çalışmada 57°C olmuştur.



Şekil 4.10. Beş plakalı fırın için yan yüzey sıcaklık dağılımı

Sistem denge halinde iken dijital voltmetreden okunan değerler Tablo 4.2 ile gösterilmiştir. Beş plakalı fırının merkez sıcaklığının 200°C de sabit kalması için 86W'lık bir enerjiye ihtiyaç vardır. Elektriksel olarak verilen bu enerji sadece fırının ısıtılmasında kullanıldığı için aynı zamanda fırının ısı kaybı da olmaktadır.



Şekil 4.11. Beş plaka için deney ve sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 4.2. Denge durumundaki elektriksel veriler

Denge durumundaki elektriksel ölçümler		
Voltaj	43	V
Amper	2	A
Güç	86	W

Sayısal analiz sonuçlarındaki ısı kaybı ile deney sonuçlarındaki ısı kaybını karşılaştırmak için gerekli birim dönüşümleri yapılırsa, deney için ısı kaybı  $223,73\text{W/m}^2$  iken sayısal analiz için ısı kaybı  $210,88\text{W/m}^2$  olmaktadır. Isı kaybı için hesaplanan bağıl hata %6 çıkmaktadır.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında ev tipi elektrikli fırınlarda enerji tüketimini azaltmak için klasik olarak kullanılan yöntemlere alternatif olabilecek bir yaklaşım geliştirilmiştir. Öncelikle literatür ve patent araştırması yapılarak fırınlar hakkında bilgi toplanıp, klasik yöntemlerin fırın izolasyonuna etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmaya geçilmeden hem deney sayısını azaltmak hem de deney maliyetlerini en aza indirebilmek adına önce sayısal analiz çalışmaları yapılmıştır. Sayısal analiz için sonlu hacimler yöntemi esasına dayanan ticari bir kod olan Ansys-Fluent paket programı kullanılmıştır. Sayısal analizlerde toplam duvar kalınlığı (30,5mm) ve yüksekliği (250mm) sabit tutularak, plaka sayısı (2...8) ve buna bağlı olarak değişen ara mesafeye göre analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları doğrultusunda elektrikli ev tipi fırın yalıtımında kullanılacak en optimum plaka sayısı beş plaka olarak belirlenmiştir. Beş plakalı fırın için deney seti kurulup, deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Plaka sayısının artması ile hava katmanları içerisindeki hava hareketleri zayıflamakta ve plaka sayısının beş ve yukarı olduğu hallerde hava katmanları neredeyse durağanlaşmaktadır.
- Çok katmanlı duvarda soğuk hacimlerdeki akışkan daha hızlı, sıcak hacimlerdeki akışkanın daha yavaş olduğu görülmektedir.
- İki ve üç plakalı duvar sisteminde akışkan hava tabakası içerisinde doğrusal olmayan sıcaklık dağılımı görülürken, plaka sayısının beş ve yukarı olması halinde sıcaklık dağılımı lineer hale gelmektedir.
- Sayısal analizler için 30,5mm'lik beş plakalı parlak yüzeyli duvar sisteminde son dış yüzey sıcaklığı 46°C mertebelerine düşmektedir.
- Beş plaka ve daha fazlası ile yapılan parlak yüzeyli çok katmanlı duvar yapısı, aynı şartlarda ev tipi fırın izolesinde yaygın olarak kullanılan taş yünü izolasyondan %10 daha iyi olabileceği gösterilmiştir.
- Beş plakalı fırın için yapılan deneylerde dış yüzey sıcaklığı çıplak el ile dokunulabilir mertebede olup 56°C dir.

- Deneyi yapılan beş plakalı fırın ile sayısal analizi yapılan beş plakalı duvarın ısı kaybı birbirlerine yakın olup sırası ile  $223\text{W/m}^2$  ve  $210\text{W/m}^2$  dir.
- Bu tez çalışması sonuçlarına göre beş plakalı duvar yapısı orta sıcaklıktaki mahallerin yalıtılmasında kullanılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Kasanen P., Efficient Domestic Ovens Save, 2000, II Project (4.1031/D/97-047), *Helsinki*.
- [2] Papadopoulos A. M., 2004. State Of The Art In Thermal Insulation Materials And Aims For Future Developments, *Energy and Buildings*, **37**, 77-86.
- [3] Yalıtım Malzemelerini özellikleri, <http://www.kimyamuhendisi.com/arsiv/kimyasalteknolojiler/> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2018).
- [4] Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri, <http://www.izocam.com.tr/> (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2018).
- [5] Deniz, E., Binark A., “Vakumlu Yalıtım Panelleri”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES'2008*, İstanbul, 2008.
- [6] Vakum İzolasyon Panelleri, <http://www.observatorynano.eu/project/document/3014/> (Ziyaret tarihi: 11 Eylül 2018).
- [7] Soysal, A., “Vakumlanmış İzolasyon Panellerinin Isı iletim Katsayılarının Deneysel Olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul / Türkiye, s. 3-16, 2000.
- [8] Bayrakçı H., Davraz M., Akdağ A., Vakum Yalıtım Panellerinin Buzdolaplarında Kullanımının Enerji Verimliliğine Etkisi, *Tesisat Mühendisliği*, 2015, **150**, 19-28.
- [9] Kumlutaş D., Avcı H., Karadeniz Z., Buzdolabı Tasarımında Vakum Yalıtım Paneli Uygulamasının Sayısal Olarak İncelenmesi, *Tesisat Mühendisliği*, 2013, **137**, 26-34.
- [10] Ulrich S., Oven with baking muffle, EP0475285, 1992, *Miele & CIE*.
- [11] Gramlich W., Muffle insulation in a cooker, GB2195760, 1988, Bosch Siemens Haugerate GmbH.
- [12] Knoll H., Waigand H., Schweidler E., Double-walled domestic oven, DE19520040, 1996, Bosch Siemens Haugerate GmbH.
- [13] Greiner P., Heat insulating coating for thermal apparatus, EP0775867, 1997, Aeg Hausgeraete.
- [14] Greiner P., Baking and roasting oven muffle with a heat insulating coating, EP0775871, 1997, Aeg Hausgeraete.

- [15] Yasuhisa M., Cooking device, JP2003109725, 2003, Matsushita Electric Ind. CO. LTD.
- [16] Yasuhisa M., Cooker, JP2002267182, 2003, Matsushita Electric Ind. CO. LTD.
- [17] Haworth G., Srikanth R., Integrated vacuum panel insulation for thermal cabinet structures, US6109712, 2000, Maytag Corp.
- [18] EN 60 335-2-6, Electrotechnique, Household and similar electrical appliances safety - particular requirements for stationary cooking ranges, hobs, ovens and similar appliances, *Comité Européen de Normalisation*, 2003.
- [19] Nuss James J., Simplified oven door window, US3996710, 1976, General Electric.
- [20] Bonaccorsi L., Armani P., Zanetti G., Door for an oven particularly of the ventilated type, EP0209115, 1987, Zanussi Elettrodomestici.
- [21] Stahlmann R; Poerner H., Cooler for cooking oven with oven muffle opening and door has outer and inner chambers and outer and inner door cavities, suction and blower openings., DE10047016, 2002, AEG Hausgerate GmbH.
- [22] Kinkle R., Oven door window, US3177334, 1965, General Electric.
- [23] Huff G., Shelly D., Shutter for window in oven door, US3433213, 1969, Kelvinator Inc.
- [24] Karabay H., Arıcı M., Multiple pane window applications in various climatic regions of Turkey, *Energy and Buildings*, 2012, **45**, 67–71.
- [25] The Engineering Tool Box, *Emisivite Değerleri*, [http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d\\_447.html/](http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html/) (Ziyaret tarihi: 01 Aralık 2018).
- [26] Çengel Y., *Isı ve Kütle Transferi: Pratik Bir Yaklaşım*, 3. Baskı, Güven Bilimsel, İzmir, 2011.
- [27] Manz H., Numerical simulation of heat transfer by natural convection in cavities of facade elements, *Energy and Buildings*, 2003, **35**, 305-311.
- [28] The Engineering Tool Box, *Isı İletim Katsayısı Değerleri*, [http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html/](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html/) (Ziyaret tarihi: 01 Aralık 2018).
- [29] Gerhardinger P., Double sided heat barrier glass with clear CVD coating and method of making the same, US6024084, 2000, Engineered Glass Products LLC (US).

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Yalçın A., Arıcı M., Karabay H., Parlak Yüzeyle Çok Katmanlı Bir Duvar Yapısındaki Akış ve Bütünleşik Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi, *ULIBTK'17 21. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Çorum, Türkiye, 13-16 Eylül 2017.



## **ÖZGEÇMİŞ**

1993 yılında Edirne’de doğdu. İlk ve Ortaokulunu Edirne’de, orta öğrenimini Balıkesir Savaştepe Anadolu Öğretmen Lisesi’nde tamamladı. 2011 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrencisi olarak öğrenimine devam etmektedir.

