

**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**“TENCERELERDE TABAN KESİT GEOMETRİSİNİN  
SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİNİN DENEYSEL  
İNCELENMESİ”**

**Yılmaz YÜCEL**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Tahir AYATA**

**Yozgat 2014**



**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**“TENCERELERDE TABAN KESİT GEOMETRİSİNİN  
SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİNİN DENEYSEL  
İNCELENMESİ”**

**Yılmaz YÜCEL**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Tahir AYATA**

**Yozgat 2014**

**T.C.**  
**BOZOK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEZ ONAYI**

Enstitümüzün Makina Anabilim Dalı 7011090007 numaralı öğrencisi Yılmaz YÜCEL'in hazırladığı “**Tencerelerde Taban Kesit Geometrisinin Sıcaklık Dağılımına Etkisinin Deneysel İncelenmesi**” başlıklı YÜKSEK LİSANS TEZİ ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 03/03/2014 Pazartesi günü saat 10:30'da yapılmış, tezin onayına OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Alaettin ÖZER

Üye : Doç. Dr. Tahir AYATA (Danışman)

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...../...../2014 tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../2014

(Ünvanı, Adı Soyadı)  
Müdür

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>vii</b>
<b>TABLolar LİSTESİ .....</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>SİMGELER LİSTESİ.....</b>	<b>x</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ.....</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Tencere Yapımının Tarihsel Gelişimi ve Malzeme Seçiminin Aşamaları.....	1
1.2. Endüstriyel Çalışmalarda Enerjinin Verimli ve Homojen Kullanılması.....	2
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>3. ÇALIŞMANIN TEORİSİ.....</b>	<b>15</b>
<b>4. PROBLEMİN TANIMI.....</b>	<b>21</b>
4.1. Deney Düzenegi.....	22
4.2. Modelin Özellikleri.....	22
4.3. Deney Düzenegi ve Deneyin Yapılışı .....	23
4.4. Isıl Çiftler ( Thermocouple) .....	24
4.5. LPG'nin Genel Özellikleri .....	24
<b>5. DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>26</b>
<b>SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ.....</b>	<b>33</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>35</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>40</b>

# **TENCERELERDE TABAN KESİT GEOMETRİSİNİN SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Yılmaz YÜCEL**

**Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**2014; Sayfa: 40**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tahir AYATA**

## **ÖZET**

Bu çalışmada dikdörtgen kesitli dairesel yapıdaki alüminyum tencere taban plakasının alt tarafı sıcak gazla düzensiz olarak ısıtılırken plakanın üst tarafında düzgün bir sıcaklık dağılımının elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla deneysel inceleme için alüminyum tabanlı bir tencere yapısı imal edilmiştir. Oluşturulan bu yapıda düzgün sıcaklık dağılımının elde edilmesi için öncelikle düzgün taban geometrisi için deneyler yapılmıştır. İkinci olarak, buradan elde edilen sıcaklık değerlerine bağlı olarak alüminyum taban plakasının kalınlığı üzerinde, radyal eksen boyunca bir düzenlemeye gidilmiştir. Üçüncü olarak, yeniden, yeni sıcaklık değerlerini elde etmek için yeni taban geometrisi için deneyler tekrarlandı. Son olarak, yeni taban geometrisi için sıcaklık değerleri ile düzgün taban geometrisine ait deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

Her iki taban geometrisine ait sıcaklık verileri karşılaştırıldığında; yeni taban geometrisinin üst yüzeyinde daha düzgün bir sıcaklık dağılımına ulaşılırken ortalama sıcaklıktaki artışla birlikte enerji sarfiyatında düşüş gözlemlenmiştir. Deneylerde tencereyi doldurmak için su ve yağ çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır. Deney farklı gaz debilerinde tekrarlanmış ve her iki akışkan için de yeni tencere tasarımında daha kısa sürede ısınma gözlenmiştir. Böylece, her iki geometri enerji verimliliği ve yakıt tüketimi açısından karşılaştırıldığında, yeniden düzenlenmiş tabanlı olarak tanımlanan yeni geometri daha kısa ısınma süresi ve daha düşük gaz sarfiyatı ile ümit vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı geçişi, Sıcaklık dağılımı, Tencere Tabanı, Enerji verimliliği

# **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE SECTION GEOMETRY OF SEUCEPAN BASE EFFECT AT THE TEMPERATURE DISTRIBUTION**

**Yılmaz YÜCEL**

**Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Master's Thesis**

**2014; Page:40**

**Thesis Supervisor: Associate Professor Tahir AYATA**

## **ABSTRACT**

In this study, it is aimed to be obtained the uniform temperature distribution on the top surface of the saucepan base, while it is heated from the bottom surface irregularly by the burned gases from the furnace provided. For this purpose, an aluminum saucepan has been manufactured to use in the experiments. To obtain steady state temperature distribution on the manufactured saucepan base, firstly, experiments were performed for the smooth base geometry of the aluminum saucepan. Secondly, corresponding to temperature values obtained from the smooth base geometry, some modifications have been made on the thickness of the saucepan base along the radial direction. Thirdly, over again, experiments were performed for re-structured base to obtain the new temperature distribution. Finally, the new measured temperature values on the top side of re-structured base are evaluated and compared with the smooth base results.

When the temperature distributions obtaining from the smooth and re-structured saucepan bases are compared with each other, it is seen that the temperature values yielded on the top surface of the re-structured base design are more stable than the other and also observed that energy consumption decreased with increase the average temperature on the top surface of re-structured base in saucepan during the experiment. The water and oil were used as a working fluid to fill the saucepan in the experiments. Experiments have been repeated for

water and oil under the different gas flow rate conditions. It was shown that the warming for both fluids in the saucepan with new design base occurred in less time. Consequently, when the both base geometry of saucepan were compared with each other in terms of energy efficiency and fuel consumption, the new geometry defined as re-structured base of saucepan is very promising to its shorter warm up time and lower gas consumption.

**Keywords:** Heat Transfer, Temperature Distribution, Saucepan Base, Energy Efficiency



## **TEŞEKKÜR**

Bu alıőmanın yűrűtűlmesinde bilgisini paylaőan ve desteęini esirgemeyen Sayın Do. Dr. Tahir AYATA`ya teőekkűr ederim.

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 2.1</b> : Isı Transferi Neticesinde Malzemede Sıcaklık Değişimleri.....	9
<b>Tablo 3.1</b> : Isı Transfer ve Isıl Direnç Denklemleri.....	15
<b>Tablo 3.2</b> : Plaka Yüzeylerinde Nu Sayısı.....	18
<b>Tablo 4.1</b> : Deneyde Kullanılan Modelin Geometrik Özellikleri....	23
<b>Tablo 4.2</b> : En Çok Kullanılan Isıl Çift Malzemeleri ve Sıcaklık Aralıkları.....	24
<b>Tablo 4.3</b> : %30 Propan ile %70 Bütan Karışımından Meydana Gelen LPG'nin Fiziksel Özellikleri.....	25
<b>Tablo 5.1</b> : Yeni Taban Geometrisi için Koordinatlar.....	27
<b>Tablo 5.2</b> : Deney Sonucunda Elde Edilen Değerler.....	30

## ŞEKİLLER LİSTESİ

		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	: Eski Çağlardan Bu Güne Tencerenin Tasarımının Gelişimi.....	1
Şekil 2.1	: Çeşitli Tencere Taban Kesit Geometri Örnekleri.....	5
Şekil 2.2	: Isı Akısının Etki Şekli.....	6
Şekil 2.3	: Isı Akısının Etkisi Sonucu Malzemedeki Sıcaklık Dağılımı.....	7
Şekil 2.4	: Katmanlı Yapı Modeli.....	8
Şekil 2.5	: Sıcaklık-Malzeme Kalınlığı Grafiği.....	9
Şekil 2.6.a	: Al 7075'e ait Özgül Isı - Sıcaklık Grafiği.....	10
Şekil 2.6.b	: F-Ht-973'e ait Özgül Isı - Sıcaklık Grafiği.....	10
Şekil 2.7	: Yatay Plaka Üzerine Uygulanan Alev.....	11
Şekil 2.8	: Deney Düzeneği.....	12
Şekil 2.9	: Çalışma Sonucunda Tencerede Oluşan Sıcaklıklar...	12
Şekil 2.10	: Sıcaklığın Etkilediği Yüzey.....	13
Şekil 2.11	: Ansys Paket Programı ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımı.....	13
Şekil 3.1	: Tencere Malzemesi Kalınlığı ve İletkenliğine Göre Sıcaklık Dağılımları.....	15
Şekil 3.2	: Katı Bir Yüzeyde Isı Geçişi.....	16
Şekil 3.3	: Tabakalı Yapıda Isı Geçişi.....	17
Şekil 3.4	: Plaka Çevresine Isı Geçişleri.....	19
Şekil 3.5	: Isıya Maruz Kalan Tencere.....	19
Şekil 4.1	: Tencere Tabanında Isıya Maruz Kalan Yüzeyler.....	21
Şekil 4.2	: Tencere Yüzeyindeki Katmanlı Yapı.....	21
Şekil 4.3.a	: a) Deneyde Kullanılan Tencere.....	22

<b>Şekil 4.3.b</b>	: b) Alevin Temas Yüzeyi.....	22
<b>Şekil 4.4</b>	: Çalışmaya Ait Model.....	22
<b>Şekil 4.5</b>	: Deneylede Kullanılan Düzenek.....	23
<b>Şekil 4.6</b>	: Deney Düzeneginin Sembolik Gösterimi.....	24
<b>Şekil 5.1</b>	: Deneyde Kullanılan Taban Geometrisi.....	26
<b>Şekil 5.2</b>	: Yeni taban geometrisi için tencere tasarımı ve ısı çiftlerinin yerleri .....	27
<b>Şekil 5.3</b>	: Su İçin Tencere Tabanı Üst Yüzeyinde Eksen Boyunca Sıcaklık Dağılımı (0,7 m <sup>3</sup> /h).....	27
<b>Şekil 5.4</b>	: Su İçin Tencere Tabanı Üst Yüzeyinde Eksen Boyunca Sıcaklık Dağılımı (0,9 m <sup>3</sup> /h).....	28
<b>Şekil 5.5</b>	: Yağ için Tencere Tabanı Üst Yüzeyinde Eksen Boyunca Sıcaklık Dağılımı (0,7 m <sup>3</sup> /h).....	28
<b>Şekil 5.6</b>	: Yağ için Tencere Tabanı Üst Yüzeyinde Eksen Boyunca Sıcaklık Dağılımı (0,9 m <sup>3</sup> /h).....	29
<b>Şekil 5.7</b>	: Deney Süresince Harcanan Gaz Miktarları.....	31
<b>Şekil 5.8</b>	: Deney Süresince Harcanan Isıl Enerji Miktarları....	31
<b>Şekil 5.9</b>	: Tencere İçindeki Su İçin Sıcaklık Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimi.....	32
<b>Şekil 5.10</b>	: Tencere İçindeki Yağ İçin Sıcaklık Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimi .....	33

## SİMGELER LİSTESİ

- HAD** : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)
- SEY** : Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method)

## KISALTMALAR LİSTESİ

- $q_0$  : Kaynama Isı Akısı, (W/m<sup>2</sup>)
- $\mu_l$  : Sıvının Viskozitesi, (kg/m.s)
- $h_{fg}$  : Buhar Entalpisi, (J/kg)
- $g$  : Yer çekimi ivmesi (m/s<sup>2</sup>)
- $\rho_l$  : Sıvı Yoğunluğu, (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_v$  : Buharın Yoğunluğu, (kg/m<sup>3</sup>)
- $\sigma$  : Buhar ve Sıvı Ara Yüzeyinin Yüzey Gerilimi, (N/m)
- $C_{pl}$  : Sıvı İçin Kritik Isı, (J/kg°C)
- $T_s$  : Isıtıcı Yüzey Sıcaklığı, (°C)
- $T_{sat}$  : Akışkanın Doyma Sıcaklığı, (°C)
- $C_{sf}$  : Yüzey Sıvı Kombinasyonuna Bağlı Deney Sabiti
- $Pr_L$  : Sıvı İçin Prandalt Numarası
- $n$  : Akışkanlar İçin Deneysel Sabit
- $q_0$  : Kaynama Isı Akısı, (W/m<sup>2</sup>)
- $q$  : Birim Hacimdeki Isı üretimi, (W/m<sup>3</sup>)
- $\rho$  : Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)
- $Cp$  : Özgül Isı (J/kg°C)
- $t$  : Zaman(s)
- $y$  : Malzeme Kalınlığı, (mm)
- $q_{Top}$  : Toplam Isı Akısı, (W/m<sup>2</sup>)
- $q_{rad}$  : Radyasyon ile Isı Akısı, (W/m<sup>2</sup>)

- $q_{\text{Taş}}$**  : Taşınım İle Isı Akısı, (W/m<sup>2</sup>)
- $q_{\text{ilet}}$**  : İletimle İle Isı Akısı, (W/m<sup>2</sup>)
- $R$**  : Isıl Dirençler, °C/W
- $U$**  : Toplam Isı Geçiş Katsayısı, (W/°C m<sup>2</sup>)
- $Nu$**  : Nusselt Sayısı
- $Ra$**  : Rayleigh Sayısı

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Tencerelerin Tarihsel Gelişimi ve Malzeme Seçimi

Tarihin ilk devirlerinde ateşin icadı ile birlikte yemek pişirme kapları ihtiyaç halini almıştır. En eski tencereler dökme demirden yapılırdı. Sonraları toprak, bakır, alüminyum, emaye ve camdan olanları da yapıldı. Tencere 14. yüzyılda hemen hemen tamamıyla bugünkü şeklini aldı. Farklı zamanlarda tencere yapım malzemeleri farklılaşmıştır. Bu farklılaşmanın asıl sebebi daha kolay elde edilebilirlik, ekonomik nedenler, sağlık sebepleri ve kullanım kolaylığı gibi ticari nedenlerdir.



( a )



( b )



( c )



( d )

**Şekil 1.1** Eski Çağlardan Bu Güne Tencere Tasarımının Gelişimi

Bakır tencerelerin, kullanım ve dayanma bakımından iyi olmalarına karşın sık sık kalaylanmaları gerekir. Isıyı çok iyi ileten bir metal olması nedeniyle hem elektrik telleri yapımı hem de pişirme kabı olarak oldukça yaygın kullanılmaktadır. Saf bakır çok yumuşaktır. Bu nedenle diğer metallerle alaşım halinde kullanılır. Bakır çok çabuk lekelenir. Uzun süre açıkta bırakılırsa üzerinde siyahımsı yeşil bir renk oluşur. Bu tabaka ovularak giderilebilir. Ancak böyle bir kapta pişirilen yemeğin zehirleyici etki yaptığı görülmüştür. İnsan organizması bir miktar bakırı kabul edebilir. Ancak fazlası, özellikle çocuklarda zararlıdır.



Alüminyum tencerelerin sakıncalı yanları ise kesif soda ve alkali eriyiklerin alüminyum üzerine olan etkileridir. Alüminyum diğer pek çok metalde olduğu gibi temas ettiği besine geçebilir. Genellikle asitli besinlerle temasta bu geçişin daha fazla olduğu bildirilmektedir. Vücuda fazla alüminyum alınması sakıncalıdır.

Çelik ile demir karbon alaşımıdır ve paslanır. Çeliğe % 11.5 oranında krom eklenirse çelik paslanmaz bir özellik kazanır. Tencere ve tavalar için en iyi kalite paslanmaz çelik %18 krom, % 8 nikel içerir. Yüksek nikel oranı çeliğe parlaklık, krom sağlamlık ve korozyona karşı dayanıklılık verir.

## **1.2. Endüstriyel Çalışmalarda Enerjinin Verimli ve Ekonomik Kullanılması**

Endüstrinin gelişmesi ile endüstriyel araştırmalar hız kazanmıştır. Bu araştırmalar neticesinde özellikle sanayi devrimi sonrasında yeni endüstriyel ürünler geliştirilmiş ve bu ürünlerin hizmet verebilmesi için her zaman bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmuştur. İlk dönemlerde özellikle kömür oldukça önemli bir enerji kaynağı olarak yer almaktaydı. Ancak enerji daha sonraki dönemlerde petrol ürünleri, doğalgaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde edilmiştir.

Bütün bu gelişmelere paralel olarak insanoğlunun enerji gereksinimleri günden güne artmıştır. Bu gereksinime cevap vermek için sürekli yeni enerji kaynakları kullanılmış ve mevcut enerji kaynaklarının kullanımları artırılmıştır. Ancak bahsi geçen enerji kaynaklarının fosil yakıtlar olarak geçmesi yani sınırlı olması nedeniyle, ayrıca yine fosil yakıtların çevreye verdikleri zararlar nedeniyle kullanımlarında daha ölçülü olma durumu ortaya çıkmıştır.

Tam bu noktada enerji verimliliği konusu önem kazanmaktadır. Ancak az önce bahsedilen nedenlerden dolayı artık teknolojik çalışmalarda daha az enerji ile daha çok işin yapılabilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Endüstride enerji kullanımının azaltılmasının yanında kullanılan enerjinin, enerjiyi kullanan birimler arasında düzenli paylaşılması konusu da önem kazanmıştır. Buna da günlük hayattan birçok örnek verebiliriz. Evlerimizi ısıtmakta kullandığımız kalorifer sistemlerinin tasarımında, evin sıcaklık dağılımının ihtiyaca göre homojen olması şartı ön planda tutulmuştur.

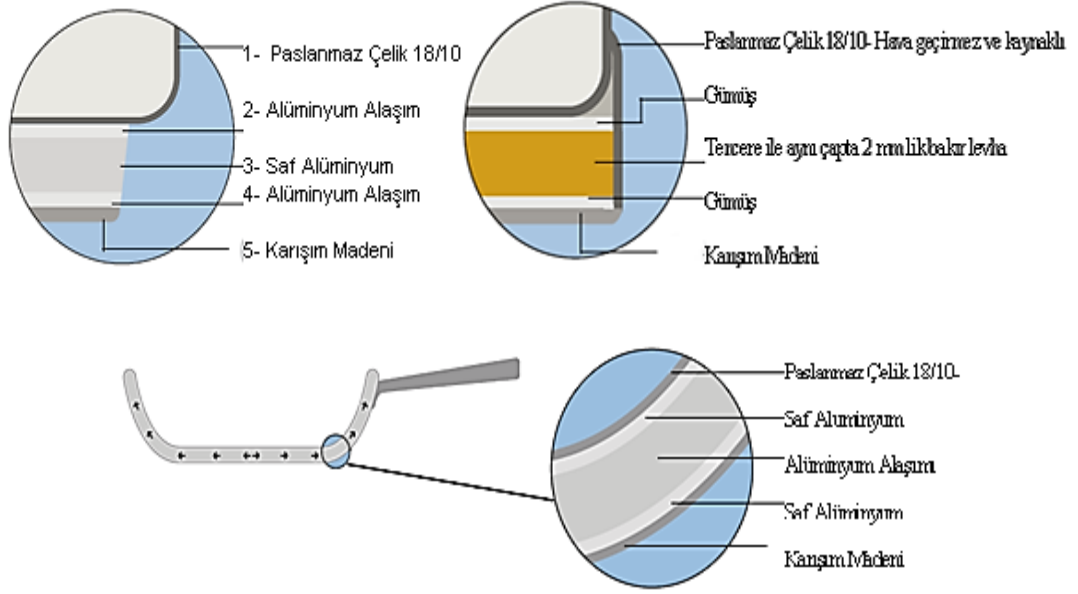
Bu çalışmada; tencere tabanında sıcaklık dağılımı ve ısının düzgün bir Şekilde tencere tabanına dağıtılması konunun esasını teŐkil etmektedir. Bu noktada kullanılan yöntemler farklılık göstermektedir. Endüstrinin ve günlük hayatın sınırsız istekleri karŐısında farklı yapı ve özelliklere sahip malzemelerin birlikte kullanılması kaçınılmaz olmuŐtur.

Çalışma Şartları gereği malzeme çiftleri zaman zaman yüksek sıcaklık veya düşük sıcaklıktaki ortamlarda uzun süre çalıŐmak zorunda kalırlar. İstenilen tasarımın yapılabilmesi için kritik bölgelerdeki sıcaklık dağılımının bilinmesi önemlidir. Homojen yapıya sahip bir malzemenin ısıtılması veya soğutulması sırasında meydana gelen sıcaklık dağılımları genellikle belirli sınır ve başlangıç Şartları için enerji denklemlerinin çözümü ile mümkün olabilmektedir. Ancak değişen fiziksel Şartlarda farklı geometri ve özelliklere sahip malzemelerin farklı ortamlarda ısıtılmaları sırasında malzeme çiftlerinde meydana gelecek sıcaklık dağılımlarının incelenmesinde genel metotlar sıkıntılı olabilmektedir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Isının istenilen şekilde iletilmesinin zorluğu, kanatlı tip ısı değiştiricisi kanat tasarımında ısının uç noktalara kadar iletilmesinde karşımıza çıktığı gibi [1], bir motor bloğunda silindir içindeki yanmanın düzgün sıcaklık dağılımı sahip bir ortamda gerçekleşmesinde [2] ve bir yüzeyinden düzgün olmayan bir Şekilde ısıtılan levhaların, elik tencere tabanlarında olduğu gibi, diğer yüzeylerinde düzgün bir sıcaklık dağılımına ulaşmada da karşımıza çıkar [3,4]. Bu güçlüğün giderilmesi için, ısı değiştiricisinin kanat geometrisinde düzenlemelere gidilirken düzlem levhalarda veya benzer sistemlerde ısıtılmayan yüzeylerde düzenli bir sıcaklık dağılımına ulaşmak için ısıtılan yüzeyde düzenli bir sıcaklık dağılımı sağlanmaya çalışılır. Yapılan çalışmalarda etkin bir ısıl iletkenliğe ulaşabilmek için kompozit malzemeler üzerinde araştırmalar yapılmış ve yeni malzeme yapıları belirlenmiş [5] ayrıca katmanlı levhalar kullanılarak sıcaklık dağılımında sayısal optimizasyona gidilmiştir[6].

elik gibi malzemelerin ısının iletilmesine büyük direnç göstermesi ve bunun sonucunda kararlı durumda ısının yayıldığı doğrultu üzerinde birbirine yakın noktalar arasında bile büyük sıcaklık değişimleri doğurmasına karşılık [7,8] bakır ve alüminyum gibi malzemeler ısının iletilmesine fazlaca direnç göstermez ve birbirine uzak noktalar arasında bile düşük sıcaklık değişimleri ortaya çıkar[9]. Günümüz teknolojisinin, farklı malzemelerin bir arada kullanıldığı, bir çok gelişmiş ürününde, bilgisayar işlemcilerinde olduğu gibi, düzgün sıcaklık dağılımı ve oluşan ısının dışarı atılması önemli bir problemdir[10,11]. Ayrıca farklı malzemelerin tabakalar halinde kullanıldığı kompozit yapılarda düzgün sıcaklık dağılımı oluşacak gerilme ve Şekil değişimlerini yenme açısından incelenmiştir[7,12,13,14]. Bakır ve dökme demirden oluşmuş katmanlı silindirik yapı için eksenel ve eksene dik yönde ısı iletim değerleri bakır ve dökme demirin farklı oranları için incelenmiş ve bu yapıya ait ısı iletim katsayıları araştırılmıştır[15]. Çalışmalarda, bakır ve 304 eliği 12 MPa basınç altında ve 800 C sıcaklıkta 30 dakika sıkıştırılarak difzyon kaynaşması sağlanmıştır[16].



**Şekil 2.1** Çeşitli Tencere Taban Kesit ve Geometrisi Örnekleri [42]

Şekil 2.1’de değişik tiplerdeki ticari çelik tencere tabanı geometri ve malzemeleri görülmektedir. Hepsinde de temel amaç ısının daha düzgün bir şekilde dağılması ve mümkün olduğunca düzgün bir sıcaklık dağılımının elde edilmesidir[42]. İçeriğinde bakır kullanılması durumunda görüldüğü gibi, bakır malzeme çelik bir kaplama içerisine alınmaktadır. Bu tamamen sağlık ve temizlik açısındandır. Ama asıl önemli olan daha az malzemeyle daha düzgün bir sıcaklık dağılımının sağlanmasıdır. Çünkü daha önce de belirtildiği gibi araya hangi malzemeyi koyarsak koyalım ısı geçişine karşı bir direnç oluşturacaktır. Ayrıca, fazladan yapılacak her işlem maliyeti artıracaktır.

Yapılan çalışmalarda, bir yüzeyinden düzgün olmayan bir bir ısı akısıyla değişken bir sıcaklık dağılımı uygulanan bir radyal levhanın diğer yüzeyinde düzgün bir sıcaklık dağılımına ulaşmak için malzemenin geometrisinde ve kompozisyonunda ısıl iletkenlikleri dikkate alınarak tasarıma gidilmiştir[17-21].

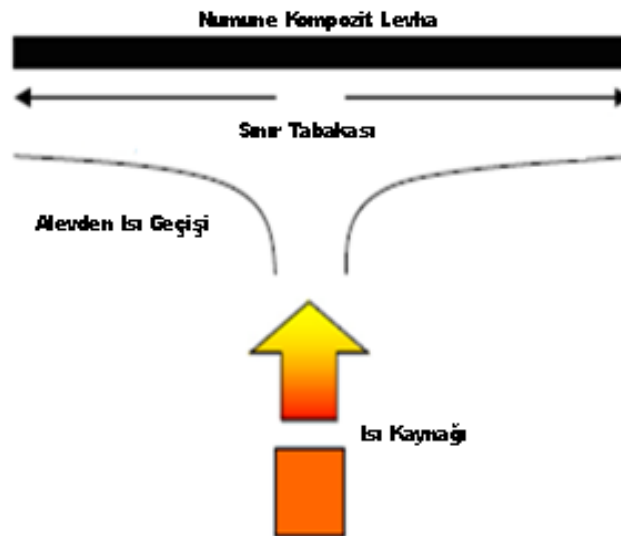
Xu ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanarak kompozit plakalarda sıcaklık dağılımını incelemişlerdir. Bunun için Ti-6Al-4 ve ZrO<sub>2</sub> ‘den oluşan üç katmanlı bir plaka yapısı oluşturulmuştur. Başlangıçta T<sub>0</sub> sıcaklığında olan plakanın alt ve üst yüzeylerine farklı sıcaklıklar uygulanarak farklı durumlarda plakalardaki sıcaklık dağılımları incelenmiştir[23]. Bunun yanında bir diğer çalışmalarında tabakalara ait ısıl iletkenlik, elastiklik modülü, ısıl genleşme,

Poisson Oranı ve tabakalara ait yükseklikler kullanılarak; ısı iletimi ve ısıl gerilme analizleri yapılmıştır.

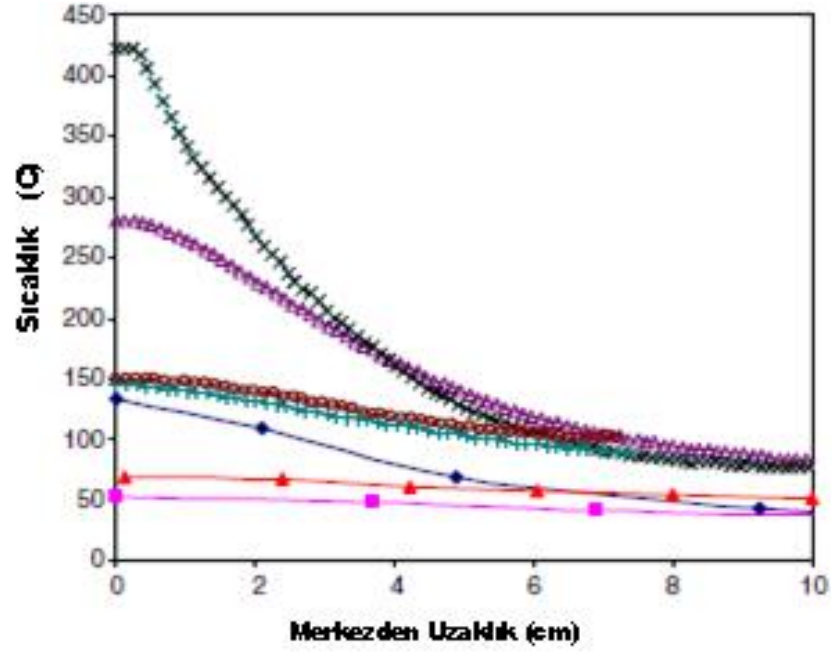
Tang Xianwu, ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında yapay dokularda iç ısı kaynağının boyutu ve yüzey sıcaklık dağılımı arasındaki ilişkiyi incelemiştirlerdir. M. Soukieh, ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında Nikel/Demir, Alüminyum/Demir ve Krom/Demir çift katmanlı plaka sistemlerinde fiziksel ve geometrik parametreleri üzerine lazer ışınının etkisini, bölgenin iyileştirilmesi ve sıcaklık dağılımlarını incelemiştirlerdir[25].

J. Kidawa-Kukla yaptığı çalışmada hareketli bir ısı kaynağı ile ısıtılan dikdörtgen plakada sıcaklık dağılımını incelemiştir. Dikdörtgen plaka üzerinde eliptik bir yörünge boyunca hareket eden ısı kaynağına analitik çözüm Green Fonksiyonu metodu ile sağlanmıştır. Plaka içindeki sıcaklık dağılımına ait sayısal hesaplamaların örnek sonuçları sunulmuştur[27].

C. Corlay ve S.G. Advani yaptıkları çalışmalarında tabanında sabit bir noktadan sıcaklık uygulanan kompozit plakanın sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Bunun için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Yapılan incelemede yüzeyin değişik çapları ve alev yüksekliğinin de değiştiği durum için uygulamanın 15-20 dk arasında değiştiği şartlarda sıcaklık dağılımları deneysel olarak ve Wintherm bilgisayar yazılımı ile simüle ederek incelenmiştir[28].



Şekil 2.2 Isı Akısının Etki Şekli [28]



Şekil 2.3 Isı Akısının Etkisi Sonucu Malzemedeki Sıcaklık Dağılımı [28]

T. Yokomori ve M. Mizomoto yaptıkları çalışmalarında aralarında sabit mesafe bulunan ve dikey olarak yerleştirilmiş plakaların arasından propan-hava karışımı alev geçirilmiş ve plakalardaki gerilmeleri, yanmış gaza ait sıcaklık dağılımları incelenmiştir[29].

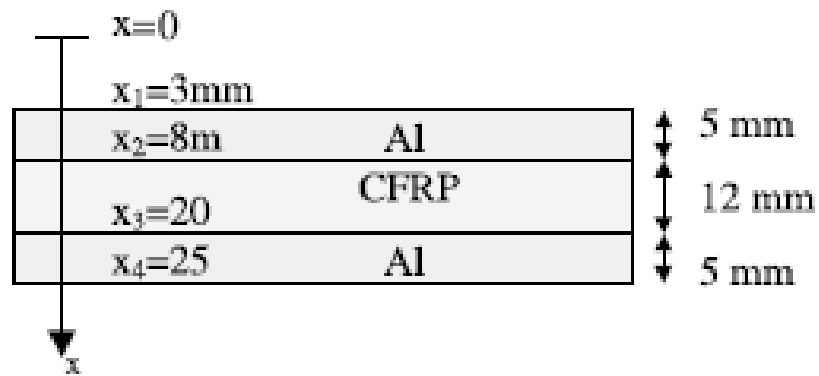
M.F. Ashby ve Y.J.M. Bre'chet yaptıkları çalışmalarında hibrid malzemelerin tasarımı ile ilgilenmişlerdir. Burada amaçlanan bir işin yapılabileceği malzemeyi optimum şekilde tasarlamaktır. Malzemelerin ısı iletkenlik ve Young modülüne dair grafikler vermişlerdir. Kompozit malzemelerin seçilmesi için çekme dayanımı-direnç grafiği, Young modülü-yoğunluk grafiği verilmiştir. Bütün bu verilen grafik ve bilgilerin sonucunda kullanılacak malzemenin kullanım yerine göre malzemenin seçimi sağlanmaktadır. Bakır ve dökme demir için ısı iletkenlik değerleri verilmiş ve katmanlı yapı için bir grafik oluşturulmuştur[22].

R. Vuthaluru ve H.B. Vuthaluru yaptıkları çalışmalarında FLUENT kullanarak farklı çalışma koşullarında ateş fırınlarının duvarlarının (yüzeylerinin) modellenmesini yapmışlardır. HAD ile bu çalışmada kazanın içerisindeki sıcaklık dağılımı başta olmak üzere fırınlardaki yanma süreçleri ve ilgili bazı parametreler hakkında bilgi edinilmiştir[30].

Osman Yılmaz, Halis Çelik tarafından yapılan çalışmada, lehimlenmiş ve difüzyon kaynaşmasına uğramış 304 paslanmaz çeliği ve bakır metal çiftinin elektriksel ve ısı özelliklerini incelemiştir. Deneylerde 20 mm kalınlığında çubuk kullanılmış, sıcaklık aralığı 700-925 C arasında değişmektedir. 350 K sıcaklık civarında metal çiftlerinde gerek lehimli olsun gerekse de bağlı halde olsun ısı iletkenlik yaklaşık aynı düzeye gelmektedir[31].

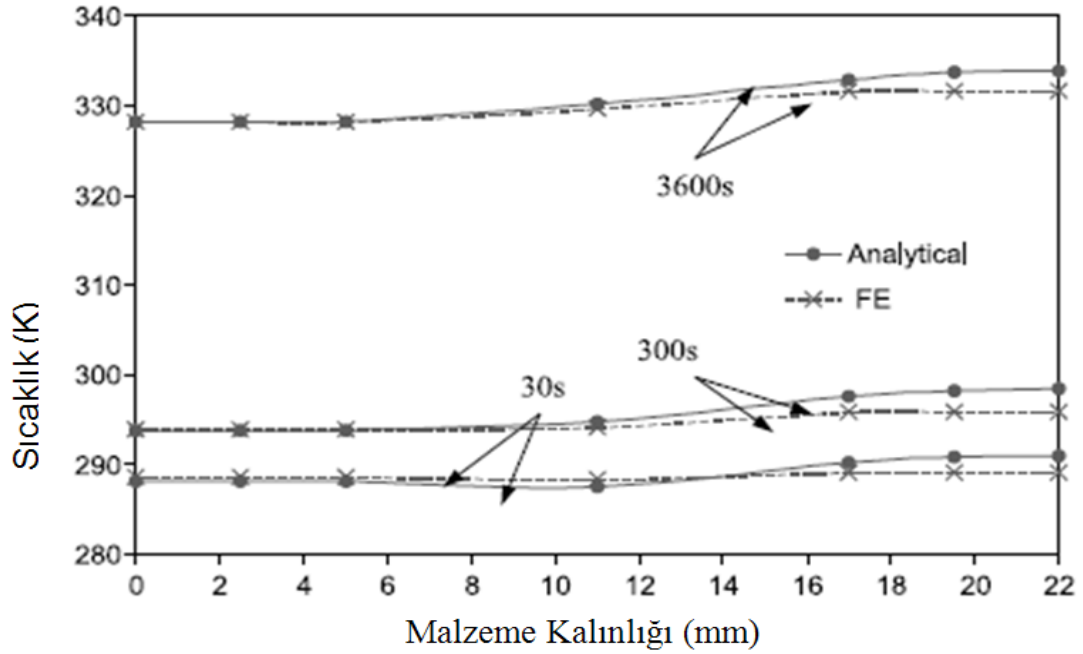
M. Kemal Apalak ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında iki farklı levhayı “T” şeklinde birleştirmişler ve bağlı haldeki bu levhalarda non-lineer ısı ve geometrik durum için gerilme analizi yapmışlardır. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu malzemeleri ait gerilme ve ısı özellikler tablo halinde verilmiştir. Isı analiz kısmında plakaların yüksekliklerinin eşit olmadığı durum için iki yönden farklı sıcaklığa maruz bırakıldıkları düşünülmüş ve bu duruma göre sıcaklık dağılımları gösterilmiştir[7,13,14].

J.R. Miller ve P.M. Weaver yaptıkları çalışmalarında farklı özellikteki plakaların üst üste konulması durumunda aralarındaki ısı etkileşimleri ve oluşan sıcaklık dağılımlarını incelemiştir. Altta ve üstte 2 adet alüminyum plaka ve ortada karbon fiberle güçlendirilmiş polimerler (CFRP) olarak düşünülen tasarımda (Şekil 2.4.) malzemeler ile ilgili parametreler iki ayrı sıcaklık için ( 270-500K ) verilmiştir.



Şekil 2.4 Katmanlı Yapı Modeli [38]

Önce analitik ve sonra sonlu elemanlar metodu (SEY) e göre hesaplamalar yapılmış ve çıkması gereken değerler tespit edilmiştir. Plakalar arasında taşınım, ısıtım ve her ikisi durumu için sıcaklık dağılımları incelenmiştir(Tablo 2.1)[38].



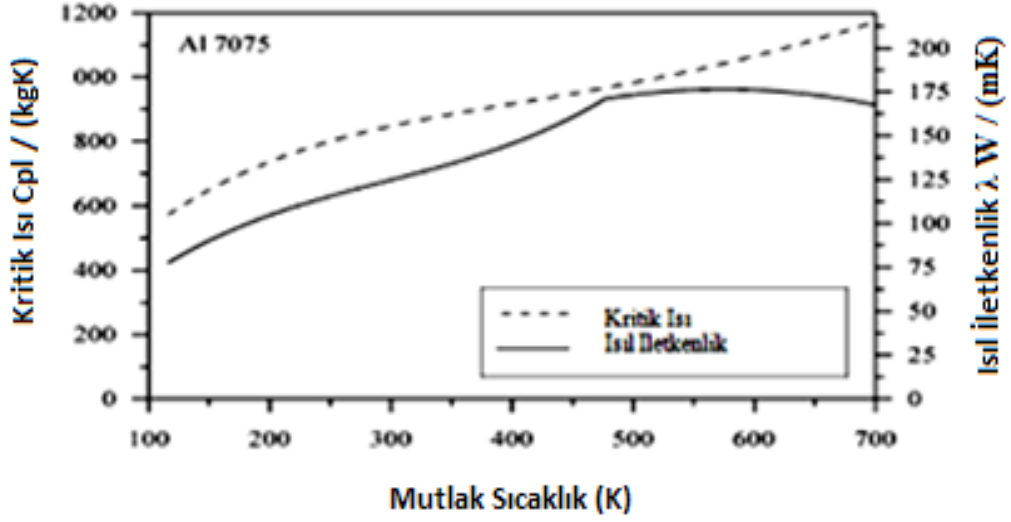
Şekil 2.5 Sıcaklık-Malzeme Kalınlığı Grafiği [38]

T. Fiedler ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında kompozit malzemelerin Monte Carlo kafes yöntemini kullanarak ısı enerji parçacıklarının homojen sıcaklık profillerini elde etmeyi amaçlamışlardır. Malzemelerin sıcaklığa bağlı ısı özellikleri verilmiştir. Sonlu elemanlar metodu ile yapılan çözümle karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar grafiklerle verilmiştir(Şekil 2.6a-2.6b)[35].

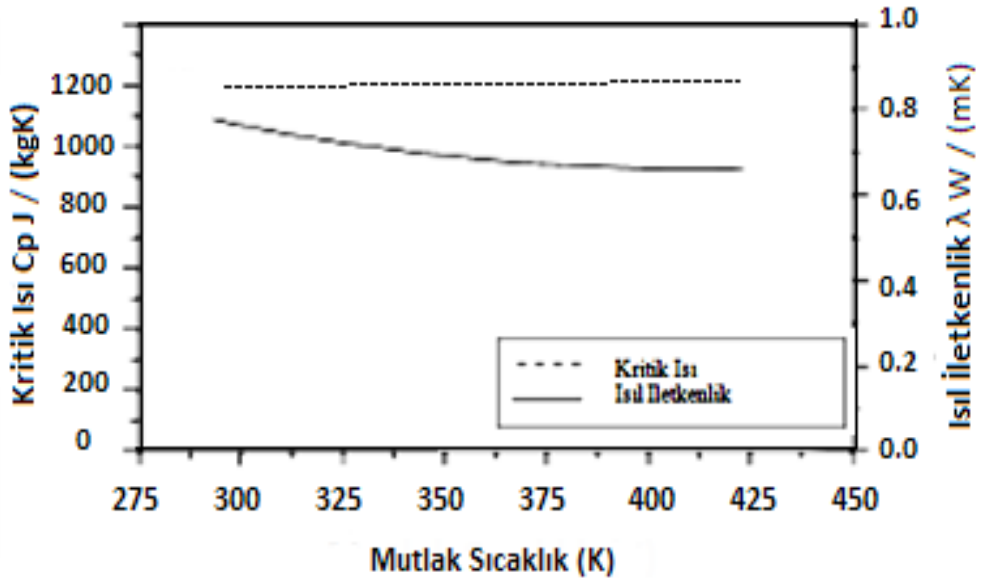
Tablo 2.1 Isı Transferi Neticesinde Malzemede Sıcaklık Değişimleri [38]

Üç Katman	$\Delta T$ (K)								
	Taşınım			Işınım			Işınım/Taşınım		
	30s	5 dk	1 saat	30s	5 dk	1 saat	30s	5 dk	1 saat
Üst Yüzey	0,2	0,1	0,0	0,6	0,8	5,8	0,3	0,9	1,0
Alt Yüzey	0,8	0,2	0,2	0,8	1,4	5,6	0,8	1,5	0,5



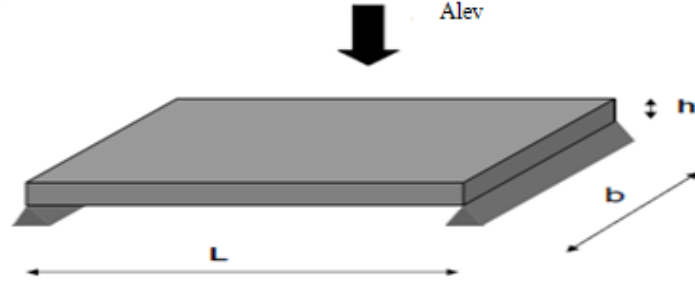


Şekil 2.6 a) Al 7075'e ait Özgül Isı - Sıcaklık Grafiği [35]



Şekil 2.6 b) F-Ht-973'e ait Özgül Isı Sıcaklık Grafiği [35]

Pei Gu ve R.J. Asaro yaptıkları çalışmalarında enine ısıl gerilmelere maruz kalan kompozit plakalarda bozulmaları incelemiştirler. Kompozit plaka üzerine uygulanan alev uygulanmış ve kompozit plakanın farklı bağlanma şekillerinde analitik olarak sıcaklık dağılım durumları ifadeleri elde edilmiştir[33].



**Şekil 2.7** Yatay Plaka Üzerine Uygulanan Alev [33]

WANG LiangBi ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında paralel düz plakalarda laminer ısı taşınımının belirli bir süreçte üniform sıcaklık ve ısı akısı durumunda oluşan parametreler incelenmiştir[34].

M.F. Ashby and D. Cebon yaptıkları çalışmalarında mekanik tasarımda malzeme seçimi konusunu incelemişlerdir. Farklı malzeme yapıları için ve farklı geometriler için denklemler verilmiştir[48].

Liu Peng ve diğerleri Alüminyum / %18 Krom - %8 Nikel'e sahip paslanmaz çeliğin ara yüzeyinde mikro yapılarda vakum ve lehimin etkisini incelemişlerdir[40].

Lope G. Tabil ve diğerleri tarım ve gıda malzemelerinde ısı iletkenlik ve ısı taşınımını incelemiştir. Öncelikle ısı iletim ve taşınım denklemlerinin uygun olarak kullanılmasını yapmışlar ve elde edilen denklemlerle yaptıkları uygulamalarla farklı gıda maddelerinde elde edilen sonuçlar paylaşmıştır[39].

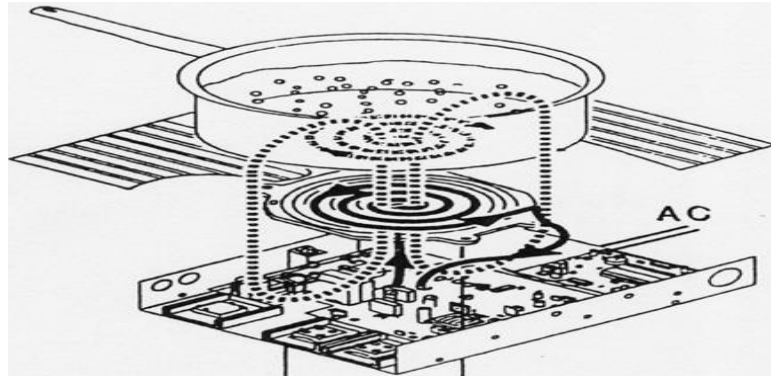
Anthony J. Fontana ve diğerleri yaptıkları çalışmalarında seçilen gıda ve zeminler için ısı iletkenlik, ısı direnç ve ısı yayılımının simülasyonu yapılmıştır[37].

Z. Pan ve R. Paul Singh, pişirme sırasında et için oluşan termal ve fiziksel özellikleri incelemişlerdir. Oluşan sıcaklık-yoğunluk, hacim-sıcaklık, su kaybı-sıcaklık gibi bazı grafikler verilmiştir[36].

Maarten F. van Gelder'e ait doktora tezinde nemli gıda malzemelerinin yüksek sıcaklıkta ısı iletkenlik ve yayılımının termistör tabanlı yöntemle ölçümü incelenmiştir. Termistör ısıya karşı direnci değişen devre elemanıdır. Bu çalışmada da termistör kullanılarak değişen sıcaklıklar için termistörün direnç değişikliğini

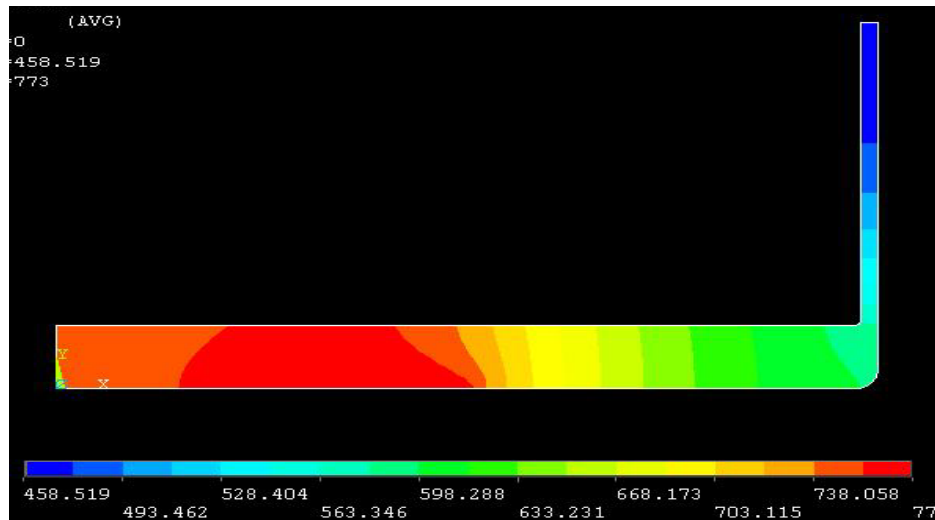
kullanmıştır. Bu çalışmada farklı sıcaklıklar için su, gliserin için termofiziksel özellikler tablo halinde verilmiştir[32].

Thierry Waeckerle ve diğerleri elektrikli bir ocak ile ısıtılan bir cam üzerinde konumlandırılan tencerede oluşan ısıl dağılımları incelemiştir. Tencerenin malzeme yapısı demir-krom, demir-nikel ve demir-nikel-krom karışımı olarak incelenmiştir. Tencereye uygulanan elektrik frekansı 25 kHz olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak farklı ısıl dağılımlar tespit edilmiş, bir tablo halinde sunulmuştur[43].



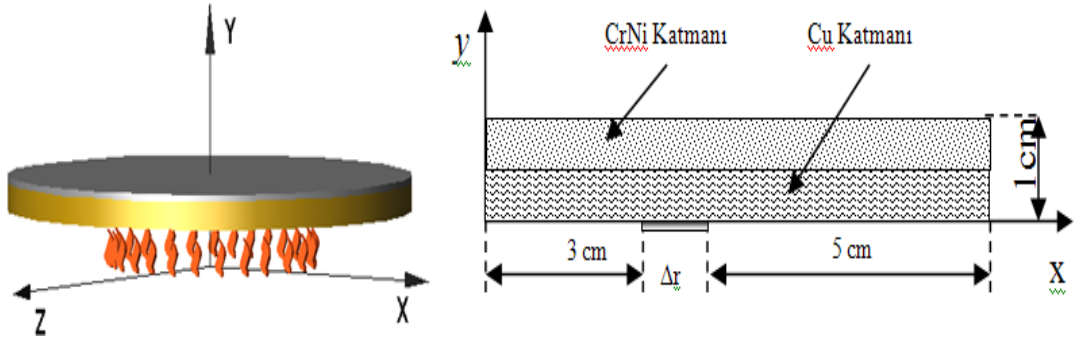
Şekil 2.8 Deney Düzenegi [43]

Mohammadreza Sedighi ve diğerleri çok plakalı tencerelerde sonlu elemanlar metodu ile ısı transferini incelemiştir. Çalışmalarında bakır, alüminyum, çelik, krom-nikel gibi malzemelerden katmanlar oluşturarak bu malzemelerde ısıl dağılımları incelemiştir. Deney sonucunda oluşan sıcaklıklarla ilgili grafikler çizilmiştir, çalışma ANSYS ile modellenmiştir(Şekil 2.9)[49].

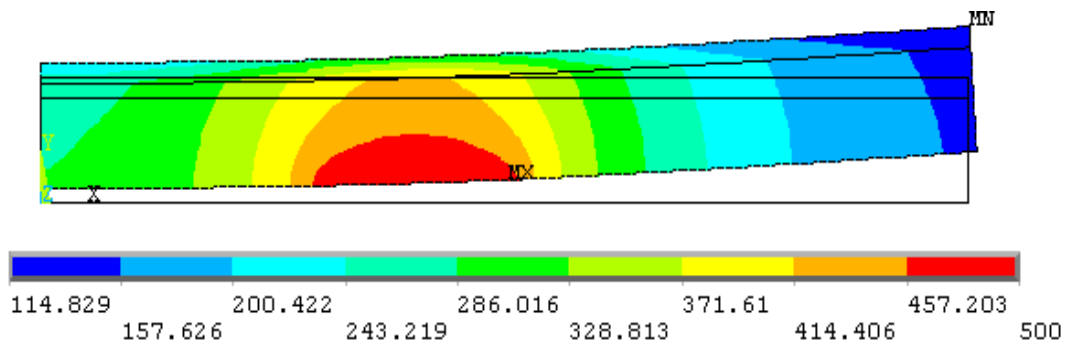


Şekil 2.9 Çalışma Sonucunda Tencerede Oluşan Sıcaklıklar [49]

Tahir Ayata yapmış olduğu çalışmasında çelik tencerelerde taban olarak bakır ve alüminyum kullanılması durumunda gerilme ve şekil değişimlerini incelemiştir. Öncelikle katmanlı bir yapı oluşturularak bir tarafından bu kompozit yapı düzensiz olarak ısıtılmış ve plakanın üst yüzeyinde düzenli bir sıcaklık dağılımı elde edilmeye çalışılmıştır. Burada katmanlar arasında yapıların değiştirilmesi ve malzemelerin kompozit yapısındaki değişikliklerle sıcaklık dağılımının homojen olması amaçlanmıştır. Çalışmada sonlu elemanlar metodu (SEY) kullanılmıştır. Problem ANSYS isimli bilgisayar programı ile modellenmiş ve farklı plaka ölçülerinde ve malzeme yapılarında oluşan gerilmeler ve sıcaklık dağılımları grafiklerle verilmiştir(Şekil 2.10)[17].



Şekil 2.10 Sıcaklığın Etkidiği Yüzey [17]



Şekil 2.11 Ansys Paket Programı ile Elde Edilen Sıcaklık Dağılımı [17]

Mehmet Duranay yapmış olduğu doktora tezi çalışmasında “L” şeklinde konumlandırılmış iki plaka üzerinde soğuma etkisi altında oluşan sıcaklık dağılımlarını incelemiştir. Kompozit plakaların önce malzeme özellikleri

değiştirilmiş daha sonra da malzeme kalınlıklarının değişimlerine göre sıcaklık dağılımları elde edilmiş ve grafiklerle verilmiştir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında genellikle katmanlı yapılar kullanıldığı görülmektedir. Bu katmanlı yapılarda oluşacak sıcaklık dağılımlarını incelerken katman kalınlıkları ve malzeme değişiklikleri çalışmaların değişken parametrelerini oluşturmuştur.

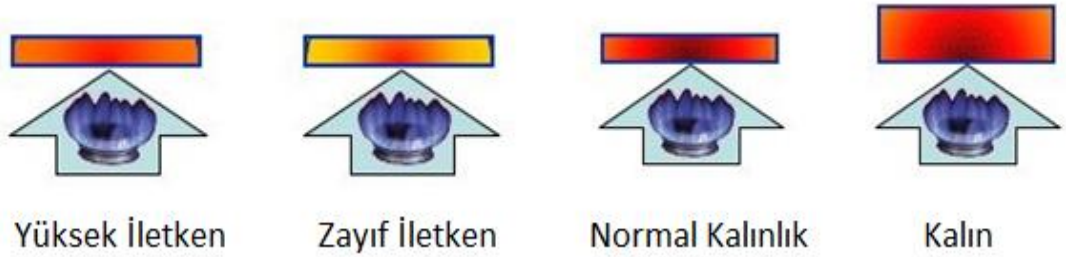
Bu çalışmada ise katmanlı bir yapı yerine, tek katman üzerinde, radyal eksen boyunca yapının geometrisinde yapılan değişikliklerin sıcaklık dağılımına etkisi üzerinde farklı bir yaklaşım ele alınmıştır. Yapılan diğer çalışmalarda, deneye konu geometrilerin tamamında sıcaklık dağılımları dikkate alınırken bu çalışmada üzerinde durulan özel bölgede, tencere tabanı üst yüzey sıcaklığının daha düzgün dağılımlı hale getirilmesi hedeflenmiştir.

### 3. ÇALIŞMANIN TEORİSİ

Tencerenin taban kısmında, yanmış gazlar sonucunda oluşan ısı akısına direkt maruz kalan yüzeye taşınım ve ışınım ile aktarılan ısı, iletimle suya transfer edilirken, ısı akısının direkt etkisine maruz kalmayan ancak oluşan sıcak havanın etkisiyle taşınım yoluyla ısınan yüzeylerde ısı yine iletimle tencerenin içerisindeki suya transfer edilecektir. Tablo 3.1’de bir boyutlu sürekli rejim için ısı transfer denklemleri verilmiştir.

**Tablo 3.1** Isı Transfer ve Isıl Direnç Denklemleri

	Isı Transfer Denklemleri	Isıl Direnç Denklemleri
İletim Denklemleri	$q = -kA \frac{dT}{dx}$	$R_K = \frac{L}{kA}$
Taşınım Denklemleri	$q = hA (T_S - T_\infty)$	$R_C = \frac{1}{hA}$
Radyasyon Denklemleri	$q = \sigma \varepsilon A (T_S^4 - T_{Sur}^4)$	$R_R = \frac{T_S - T_{Sur}}{\sigma \varepsilon A (T_S^4 - T_{Sur}^4)}$



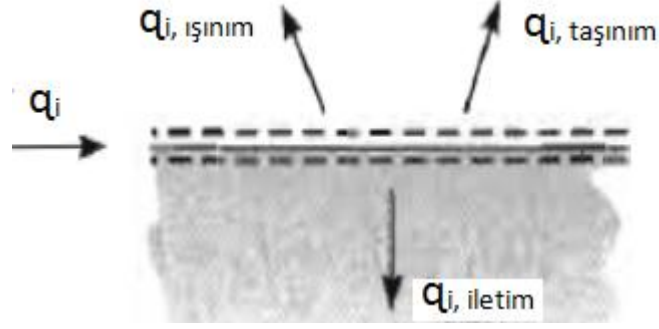
**Şekil 3.1** Tencere malzemesi kalınlığı ve iletkenliğine göre sıcaklık dağılımları [42]

Üç boyutlu kontrol hacimleri için genel ısı iletim denklemi eşitlik 3.1’de verilmiştir.:

$$\frac{\partial}{\partial x} k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial T}{\partial z} + q = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.1)$$

Alttan sıcak gazla ısıtılan bir tencerede üç ısı geçiş mekanizması da etkindir. Bunlar; taşınım, iletim ve ışınımdır. Yüzeyde enerji dengesi denklemini yazarsak, tencere tabanı boyunca geçen toplam ısı eşitlik 3.2’de ifade edilmiştir.

$$q_{Top} = q_{Rad} + q_{Taşınım} + q_{İletim} \quad (3.2)$$



Şekil 3.2 Katı Bir Yüzeyde Isı Geçişi [22]

Tencere tabanı boyunca ısı geçişini ısııl direnç yaklaşımıyla değerlendirecek olursak;

İletim direnci;

$$Q_{iletim.duvar} = \frac{T_1 - T_2}{R_{Duvar}} \quad W \quad (3.3)$$

$$R_{duvar} = \frac{L}{kA} \quad ^\circ C/W \quad (3.4)$$

Taşınım direnci;

$$Q_{taşınım} = \frac{T_S - T_\infty}{R_{taşınım}} \quad W \quad (3.5)$$

$$R_{taşınım} = \frac{1}{hA_S} \quad ^\circ C/W \quad (3.6)$$

İşınım direnci ise;

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A_S T_S^4 - T_{\text{çevre}}^4 = h_{rad} A_S T_S^4 - T_{\text{çevre}}^4 = \frac{T_S - T_{\text{çevre}}}{R_{rad}} \quad W \quad (3.7)$$

Eşitlikleriyle ifade edilir. Burada R değerleri ısııl direnç değerleridir. İşınım için işınım katsayısı ve buna bağılı olarak işınım direnci eşitlik 3.8'deki gibi ifade edilir.

$$h_{rad} = \frac{Q_{rad}}{A_S(T_S - T_{\text{çevre}})} = \varepsilon \sigma A_S T_S^2 + T_{\text{çevre}}^2 T_S + T_{\text{çevre}} = \quad W \quad m^2K \quad (3.8)$$

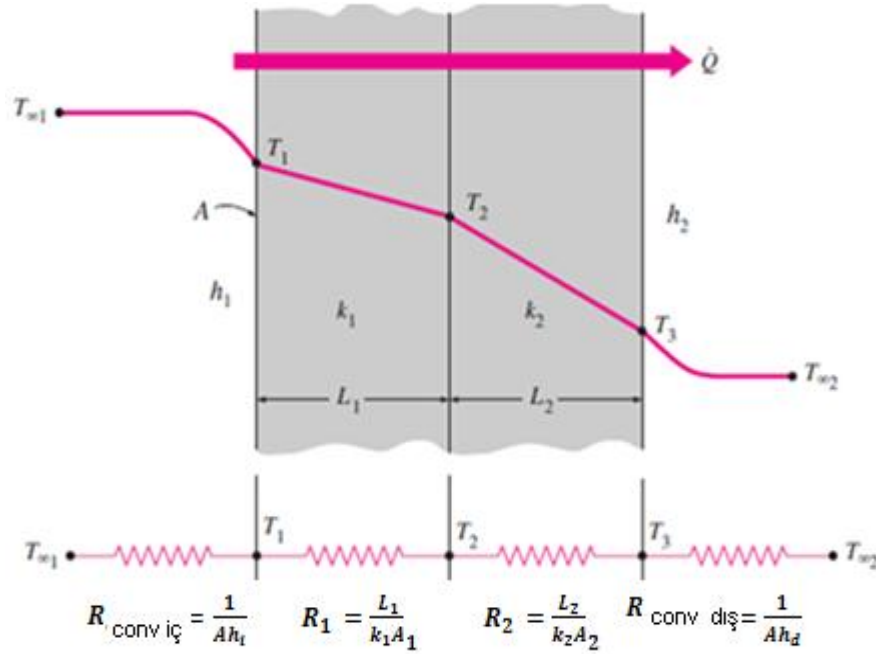
Tencere tabanı için alt ve üst yüzeylerde  $T_{\text{çevre}} \sim T_\infty$  kabul edersek bileşke ısı geçiş katsayısı eşitlik 3.9'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$h_{\text{ort}} = h_{\text{iletim}} + h_{\text{rad}} \quad \text{W} \quad \text{m}^2\text{K} \quad (3.9)$$

Bazen de bu yaklaşım ısı direnç olarak değil de ısı geçiş katsayısı olarak ifade edilebilir.

$$Q = UA\Delta T \quad \text{W} \quad (3.10)$$

Burada U toplam ısı geçiş katsayısıdır. Tabakalı bir yapıda ısı direnç ile ısı geçişi arasındaki ilişki eşitlik 3.11'le verilebilir.



Şekil 3.3 Tabakalı Yapıda Isı Geçişi [28]

$$UA = \frac{1}{R_{\text{Top}}} \quad (3.11)$$

Tencere tabanındaki ısı geçişinin temel yapısını tanımladıktan sonra alt ve üst yüzeylerdeki akışkandan katıya ısı taşınım ve ışınım mekanizmaları incelenmelidir. Alt ve üst yüzeyde ısı geçişi; doğal, zorlanmış ve sıvı için de kaynama ile gerçekleşebilir. Her iki yüzey için de sıcaklık farkına bağlı olarak ışınım etkili olabilir.

Doğal Taşınım için ısı taşınım katsayısı;



$$Nu = \frac{hL_c}{k} = C G_{rL} Pr^n = C Ra_L^n \quad (3.12)$$


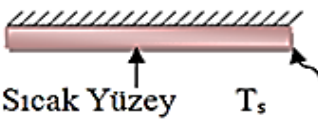
$$Ra_L = G_{rL} Pr = \frac{g\beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} Pr \quad (3.13)$$

Eşitliğinden elde edilir, burada C ve n katsayıları geometriye ve akış karakteristiğine bağlı sabitlerdir. Yatay bir levha doğal taşınımında özel bir durumdur.

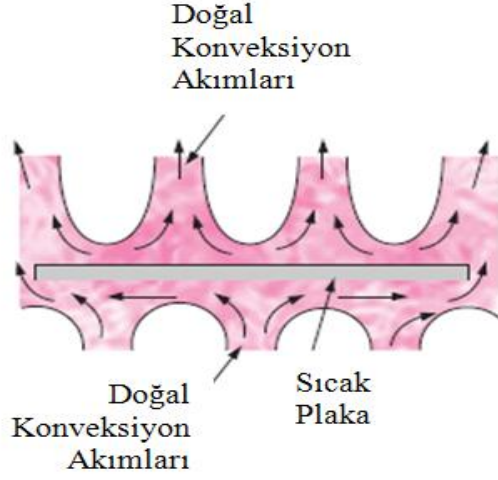
$$Q_{Taşınım} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad W \quad (3.14)$$

Şekil 3.4'teki gibi düzlem plakada ısı taşınımı hesaplanırken kullanılacak olan h değerinin bulunmasında Nu sayısı Tablo 3.2'ye göre hesaplanır.

**Tablo 3.2** Plaka Yüzeylerinde Nu Sayısı [28]

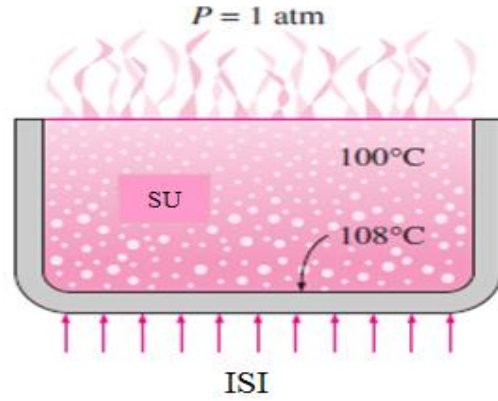
<b>Yatay Plaka</b> (yüzey Alanı: A, Çevre: P)		
(a) Sıcak Plakanın Üst Yüzeyi (ya da Soğuk Plakanın Alt Yüzeyi)	$10^4 < Ra < 10^7$	$Nu = 0,54Ra_L^{1/4}$
	$10^7 < Ra < 10^{11}$	$Nu = 0,15Ra_L^{1/3}$
		
(b) Sıcak Plakanın Alt Yüzeyi (ya da Soğuk Plakanın Üst Yüzeyi)	$10^5 < Ra < 10^{11}$	$Nu = 0,27Ra_L^{1/4}$
		

Burada Rayleigh sayısının hesaplanmasında karakteristik uzunluk  $L_c = A_s/P$  şeklinde verilir. Bu değer yatay bir silindir için  $L_c = D/4$ 'dür.



**Şekil 3.4** Plaka Çevresine Isı Geçişleri [28]

Kaynamada ısı geçişi;



**Şekil 3.5** Isıya Maruz Kalan Tencere [28]

Eğer tencere içerisinde su veya başka bir akışkan varsa bu sefer bu akışkanlara verilecek ısı akışı neticesinde kaynama söz konusudur.

Şekil 3.5'teki gibi hafif kabarcıklı bir kaynama olması halinde bu yapıdaki oluşacak ısı geçişi eşitlik 3.15'teki gibi hesaplanır[28].

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi düşük sıcaklık farkları oluşması durumu için tencere tabanının üst yüzeyi ile akışkan arasında ışınlım etkisi hiç ortaya çıkmayabilir.

Işınımın etkili olduğu durumda yukarıda verilen taşınım ile birlikte ışınım katsayısı da dikkate alınmalıdır.

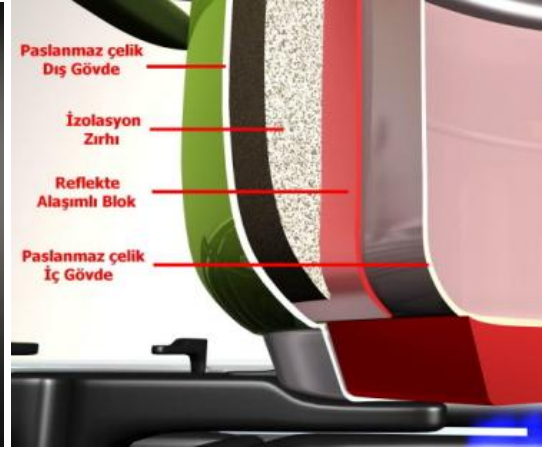
$$q_0 = \mu_l h_{fg} \frac{g(\rho_l - \rho_v)^{1/2}}{\sigma} \frac{c_{pl}(T_s - T_{doyma})^3}{c_{sf} h_{fg} \text{Pr}_L^{\frac{1}{4}}} \quad (3.15)$$

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada tencere tabanının üst yüzeyindeki sıcaklık dağılımının mevcut tencere tabanlarına göre daha düzgün hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Yeni nesil tencereler ve pişirme kaplarının tabanları farklı metal malzemelerinden oluşmaktadır. Çalışma şartları gereği malzemeler yüksek sıcaklıkta çalışmaktadırlar. İstenilen tasarımlarda yapılmaya çalışılan şey üst yüzey bölgesinde sıcaklık dağılımının düzgünleştirilmesi ve ortalama sıcaklığın daha yukarıya çekilmesidir.



Şekil 4.1 Tencere Tabanında Isıya Maruz Kalan Yüzeyler[42]



Şekil 4.2 Tencere Yüzeyindeki Katmanlı Yapı[50]

Şekil 4.1'deki tencere yanan bir ocağın üzerine konulduğunda alev metal plakanın tabanında ancak dairesel bir bölgeye etki etmektedir. Yani metal plakanın tüm yüzeyinde düzenli bir ısı akışı oluşmayacaktır. Bu nedenle altından ısı akısına maruz kalan plakanın üst yüzeyinde oluşacak sıcaklık dağılımı düzgün olmayacaktır. Bu durumun sebebi plakaları oluşturan malzemelerin ısıl özellikleri ve malzemelerin aleve dik yönde oluşturduğu dirençtir. (Şekil 4.2)

Tencere tabanı tasarımında temel problemimiz ısının düzgün bir şekilde tabanda yayılımı ve daha düzgün bir sıcaklık dağılımının elde edilmesidir. Bir yöntem olarak; yüksek sıcaklığa maruz kalan bölgedeki malzeme kalınlığı değiştirilerek sıcaklık dağılımı düzgünleştirilebilir. Ancak bu durumda ısı geçişinde bir miktar azalma (oluşacak ısıl dirençten dolayı) gözlemlenecektir.

#### 4.1. Deney Düzenegi

Deneysel inceleme için çapı 300 mm olan tencere modeli seçilmiş ve başlangıç için alüminyum taban kalınlığı 10 mm olarak alınmıştır. Şekil 4.3.a.'da görüldüğü gibi alüminyum tencerenin alt tabanı, yanan LPG sıcak gazları nedeni ile düzensiz bir ısı akısına maruz bırakılmış ve tabanın üst yüzeyinde oluşan sıcaklık dağılımı değerleri ölçülerek, veriler data kaydedici aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Deneyde kullanılan tencere ve tencere tabanında alevin etki ediş ve temas yüzeyi Şekil 4.3.a ve Şekil 4.3.b'de verilmiştir.

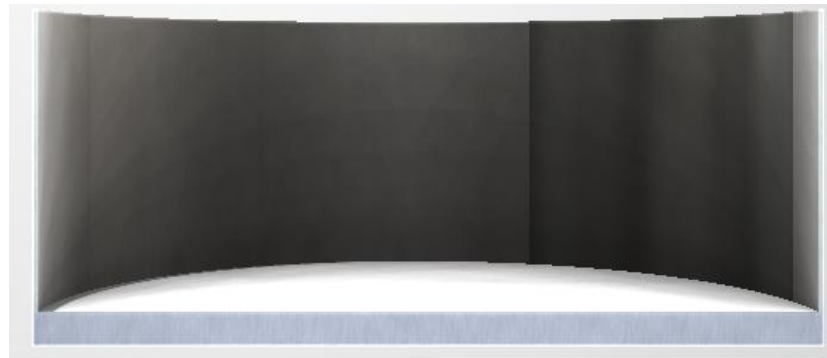


Şekil 4.3.a) Deneyde Kullanılan Tencere



Şekil 4.3.b) Alevin Temas Yüzeyi

#### 4.2. Modelin Özellikleri



Şekil 4.4 Çalışmaya Ait Model

Modelin ve sistemin geometrik özellikleri günlük hayatta kullandığımız tencerelerden farklı değildir.

**Tablo 4.1** Deneyde Kullanılan Modelin Geometrik Özellikleri

<b>Tencere Çapı</b>	<b>300 mm</b>
<b>Taban Kalınlığı (Alüminyum)</b>	10 mm
<b>Alev ile Tencere Arasındaki Mesafe</b>	10 mm
<b>Alev Çıkış Kanalı Çapı</b>	5 mm
<b>Isıl Çiftler (termocouple) Arası Mesafe</b>	18,75 mm

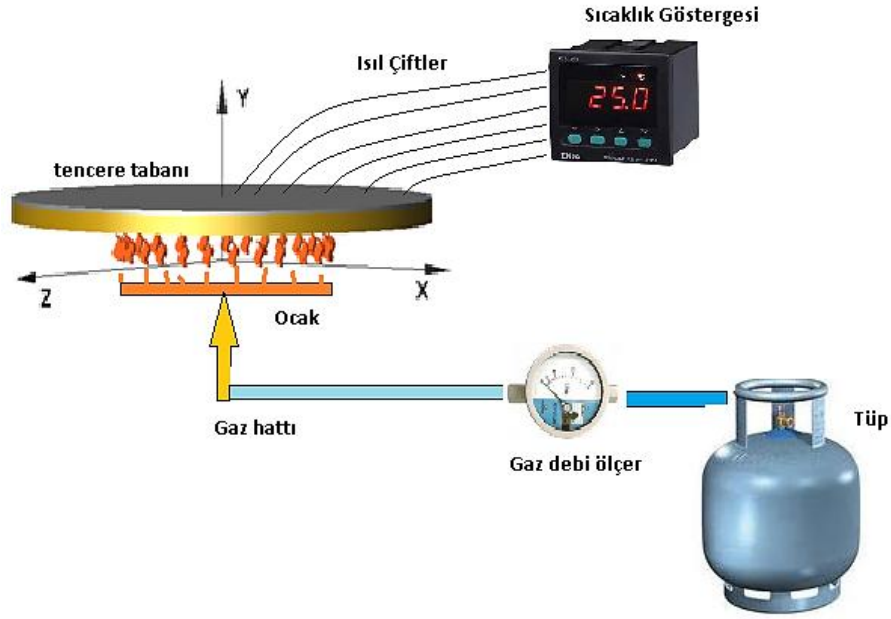
### 4.3. Deneyin Yapılışı

- ✚ Tencere tabanı üst yüzeyindeki sıcaklık dağılımını ölçmek için merkezden itibaren radyal yönde 18,75 mm aralıklarla ısıl çiftler (termocouple) yerleştirildi. Isıl çift sayısı tencere çapına göre 8 adet seçilmiştir.
- ✚ Isıl çiftler suyun ve tenceredeki akışkanın sıcaklığını ölçmek üzere yerleştirildi.
- ✚ Isıl çiftler bir sıcaklık göstergesine bağlanır veya uygun bir sayısaldan dijital dönüşürücü ve veri kaydedici aracılığı ile veri bilgisayara aktarıldı.
- ✚ Farklı debilerde gaz yakılarak, günlük hayatta karşılaşılan durumlara uygun deney şartları oluşturuldu.
- ✚ Deney süresince akan gazın debisini ölçmek üzere bir debi ölçer besleme hattına yerleştirildi.



1. Tencere
2. Tüp – Ocak
3. Isıl Çiftler
4. Veri Dönüşürücü
5. Bilgisayar

**Şekil 4.5** Deneylerde Kullanılan Düzenek



Şekil 4.6 Deney Düzeneginin Sembolik Gösterimi

#### 4.4. Isıl Çiftler ( Thermocouple )

Elektriksel sıcaklık ölçme yöntemlerinden en çok kullanılanıdır. Çalışmamızda demir – konstantan ısı çiftleri kullanılmıştır. Isıl çiftlerin tiplerine göre sıcaklık ölçüm aralıkları Tablo 4.2’de verilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız ısı çiftlerinin hassasiyetleri  $\pm 1,5$  °C’dir[52].

Tablo 4.2 En Çok Kullanılan Isıl Çift Malzemeleri ve Sıcaklık Aralıkları [52]

Tipi	Sembol Kodu	Sıcaklık Aralığı
Bakır - Konstantan	(T) Mavi/Kırmızı	-185 ile +370
Kromel - Konstantan	(E) Mor/Kırmızı	0 ile 550
Demir - Konstantan	(J) Beyaz/Kırmızı	0 ile 800
Kromel - Alumel	(K) Sarı/Kırmızı	300 ile 1100
Platin-Platin/Rodyum	(R), (S) Siyah/Kırmızı	700 ile 1480

#### 4.5. LPG'nin Genel Özellikleri

LPG Sıvılaştırılmış Petrol Gazı anlamına gelir. LPG bir hidrokarbon olup, temel olarak bir propan ve bütan karışımıdır. Petrolün işlenmesinden, ya da petrol yataklarında karışmış biçimde bulunduğu petrol veya sıkıştırılmış doğal gazdan ayrıştırılarak elde edilir[44]. Ticari şekliyle Bütanın kimyasal formülü  $C_4H_{10}$ ,

Propanın ise  $C_3H_8$  'dir. Türkiye' de %30 Propan ve %70 Bütan'dan oluşan karışım LPG kullanılmaktadır. Bütanla propanı birbirinden ayıran dolayısıyla da kullanım şekillerini belirleyen "buhar basıncı"dır. Propan ve bütanın "buhar basınçları" sıcaklıkla orantılı olarak artar. Bir hacim sıvı LPG, yaklaşık olarak kendisinin 250 katı hacimde gaz LPG oluşturur. Tablo 4.3'te LPG'nin fiziksel özellikleri verilmiştir.

**Tablo 4.3** %30 Propan ile %70 Bütan Karışımından Meydana Gelen LPG'nin Fiziksel Özellikleri [44]

<b>Özgül Ağırlık (Likit halde) Kg/dm<sup>3</sup></b>	<b>0.560</b>
<b>Özgül Ağırlık (Gaz halinde) Kg/dm<sup>3</sup></b>	1.860
<b>Yanma İçin Gerekli Hava Miktarı (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	28.80
<b>Yanma İçin Gerekli Hava Miktarı(kg/kg)</b>	15.7
<b>Yanma İçin Gerekli Hava Miktarı(m<sup>3</sup>/kg)</b>	12
<b>Buharlaştırma Isısı (15°C' de) J/Kg</b>	355,87
<b>Isıl Değeri (kJ/Kg)</b>	45719

1 atm basınç altında ve 25 °C sıcaklıkta, saf bir ideal gazın 1 molü, 22,4 litre hacim kaplar[47] ve ağırlığı, gazın molekül ağırlığı kadardır. LPG'nin bileşimi üreticiye göre değişir. Türkiye'de satılan LPG genelde, hacimce %30 propan ( $C_3H_8$ ), %70 butandan ( $C_4H_{10}$ ) oluşur. Likit halindeki LPG nin yoğunluğu 0,560 kg/lt 'dir[44,54]. 2014 yılı mart ayı itibarıyla 1 kg LPG nin fiyatı 3,13 \$ dır [55].



## 5. DENEY SONUÇLARININ TARTIŞILMASI

Deneyley aşağıda verilen tencere tabanı çeşitleri ve farklı LPG debileri için yapılmış, deneyley neticesinde elde edilen sonuçlarla ilgili çizilen grafikler paylaşılmıştır.

**1. Normal Taban** ( 0,7 m<sup>3</sup>/h )

10 mm lik düzlem kalınlıklı taban yapısı ve 0,7 m<sup>3</sup>/h debi

**2. Normal Taban** ( 0,9 m<sup>3</sup>/h )

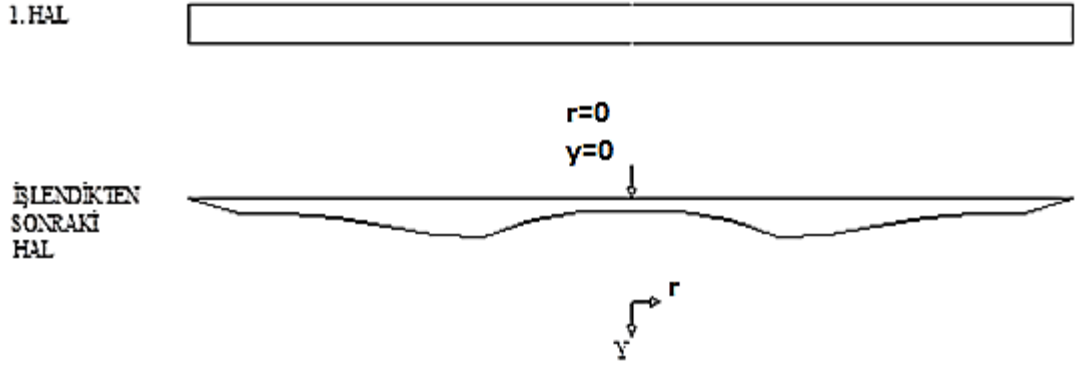
10 mm lik düzlem kalınlıklı taban yapısı ve 0,9 m<sup>3</sup>/h debi

**3. İşlenmiş Taban** ( 0,7 m<sup>3</sup>/h )

İlk hesaplanan değerlere göre tasarlanan yeni geometri ve 0,7 m<sup>3</sup>/h debi

**4. İşlenmiş Taban** ( 0,9 m<sup>3</sup>/h )

İlk hesaplanan değerlere göre tasarlanan yeni geometri ve 0,9 m<sup>3</sup>/h debi



**Şekil 5.1** Deneyleyde Kullanılan Taban Geometrileri

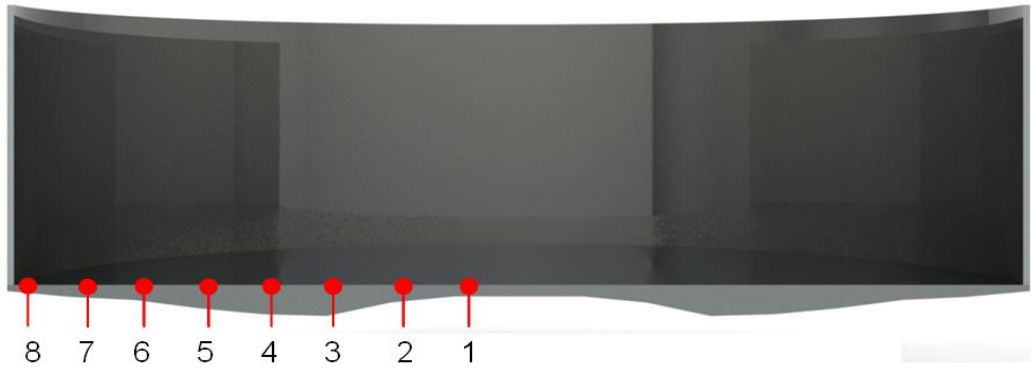
$$y_{i+1} = y_i + \frac{T_{i\max} - T_i}{T_{i\max} - T_{i\min}} (y_i - y_{i\min}) \quad (5.1)$$

Taban geometrisinin hesabında su sıcaklığının kaynama noktasına geldiği ve kararlı rejime geldikten sonra tencere tabanı üst yüzey sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Alüminyum tencerelerde ortam şartlarında sıcaklık ölçümleri yapıldıktan sonra elde edilen sıcaklık dağılımına bağlı olarak eşitlik 5.1 kullanılarak Şekil 5.1'de verilen yeni taban geometrisi elde edilmiştir. Bu geometri oransal olarak, sıcaklık geometrisinin tersi yönde oluşmuştur. Burada temel amaç ısı geçişini bazı bölgelerde kolaylaştırırken bazı bölgelerde zorlaştırmaktır. Başlangıçta alınan 10 mm kalınlığındaki taban elde edilen yeni taban geometrisine uygun olarak işlenir. Şekil 5.2'de hesaplamalar sonucu elde edilen koordinat bilgilerine göre tencere tasarımı

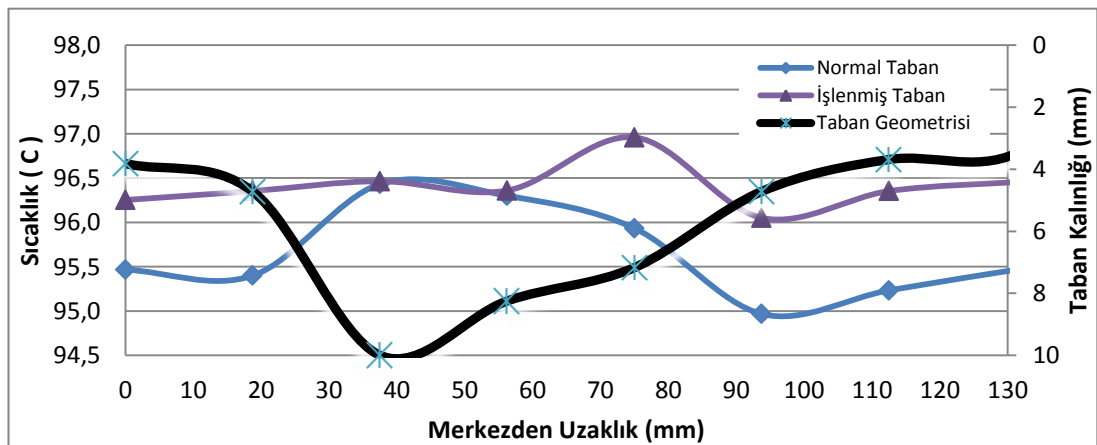
verilmiştir. Bu yeni taban yapısı ile deneyler tekrar edilerek sıcaklık ölçümleri yapılır. Bu işlem basamakları uygun geometri ve kabul edilebilir bir sıcaklık dağılımı elde edilene kadar tekrar edilir.

**Tablo 5.1** Yeni taban geometrisi için koordinatlar

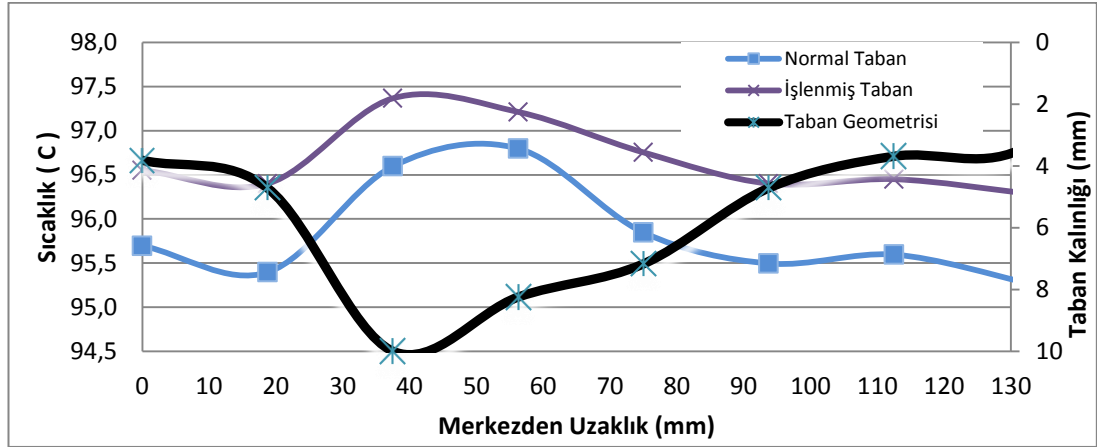
Nokta Koordinatlar	r (mm)	Y (mm)
1	18,75	3,70
2	37,50	5,68
3	56,25	10,00
4	75,00	9,44
5	93,75	7,53
6	112,50	4,87
7	131,25	3,88
8	150,00	2,00



**Şekil 5.2** Yeni taban geometrisi için tencere tasarımı ve ısı çiftlerinin yerleri

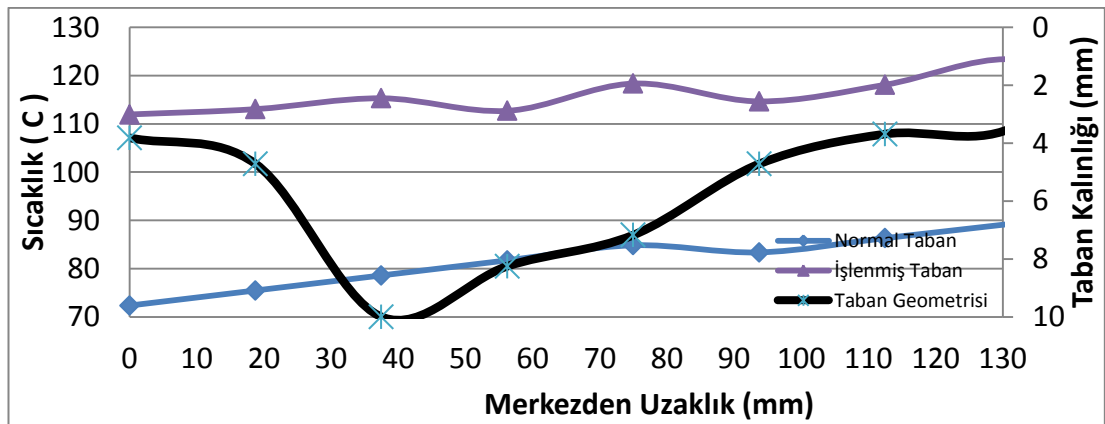


**Şekil 5.3** Su için Tencere Tabanı Üst Yüzeyinde Eksen Boyunca Sıcaklık Dağılımı (0,7 m<sup>3</sup>/h)

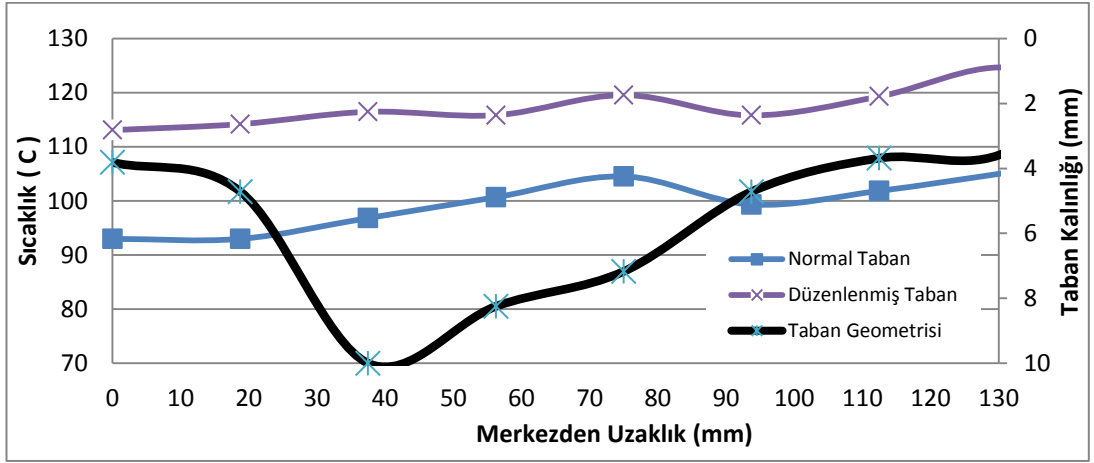


Şekil 5.4 Su için Tencere Tabanı Üst Yüzeyinde Eksen Boyunca Sıcaklık Dağılımı (0,9 m<sup>3</sup>/h)

Şekil 5.3 ve 5.4'te su için kararlı rejimde tencere tabanı üst yüzeyinde 0,7 m<sup>3</sup>/h ve 0,9 m<sup>3</sup>/h gaz debilerinde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Grafiklerde de görüldüğü üzere, işlenmiş taban geometrisi her iki gaz debisi durumu için de daha yüksek bir ortalama sıcaklık değerine ve daha düzgün bir sıcaklık dağılımına sahiptir. Ayrıca gaz debisini artırmış olmanın su için ortalama sıcaklık üzerinde az bir etkisinin olduğu görülmektedir. Tabanın belli bölgelerinde yapılan inceltmelerin etkisi bu bölgelerde sıcaklığı artırarak ortaya çıkmaktadır. Bu etki kalınlığın değişmediği bölgede 0,9 m<sup>3</sup>/h debi için bir miktar belirginleşmekte ancak 0,7 m<sup>3</sup>/h debi için bir etki ortaya çıkmamaktadır. 0,9 m<sup>3</sup>/h debideki inceltilmeyen bölgedeki sıcaklık artımı, yan bölgelerdeki sıcaklık yükselmelerinin etkisi olarak ortaya çıkar.



Şekil 5.5 Yağ için Tencere Tabanı Üst Yüzeyinde Eksen Boyunca Sıcaklık Dağılımı (0,7 m<sup>3</sup>/h)



**Şekil 5.6** Yağ için Tencere Tabanı Üst Yüzeyinde Eksen Boyunca Sıcaklık Dağılımı (0,9 m<sup>3</sup>/h)

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da yağ için tencere tabanı üst yüzeyinde sıcaklığın ortalama değeri olarak işlenmemiş tabanda su ile aynı sıcaklık değerine geldiği durum için 0,7 m<sup>3</sup>/h ve 0,9 m<sup>3</sup>/h gaz debilerinde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Grafiklerde de görüldüğü üzere, işlenmiş taban geometrisi her iki gaz debisi durumu için de daha yüksek bir ortalama sıcaklık değerine ve daha düzgün bir sıcaklık dağılımına sahiptir. Gaz debisini artırmış olmak ortalama sıcaklık üzerinde az bir etki ortaya çıkarmaktadır. Tabanın belli bölgelerinde yapılan inceltmelerin etkisi genel olarak bütün bölgelerde sıcaklığı artırarak ortaya çıkmaktadır. Bu etki kalınlığın değişmediği bölgede 0,9 m<sup>3</sup>/h debi için bir miktar belirginleşmekte ancak 0,7 m<sup>3</sup>/h debi için bir etki daha dikkate değer bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Hem işlenmiş hem de orijinal taban geometrisi durumlarında, her iki gaz debisi için de, merkezden dışa doğru hafif bir sıcaklıkta artış eğilimi gözlemlenmektedir.

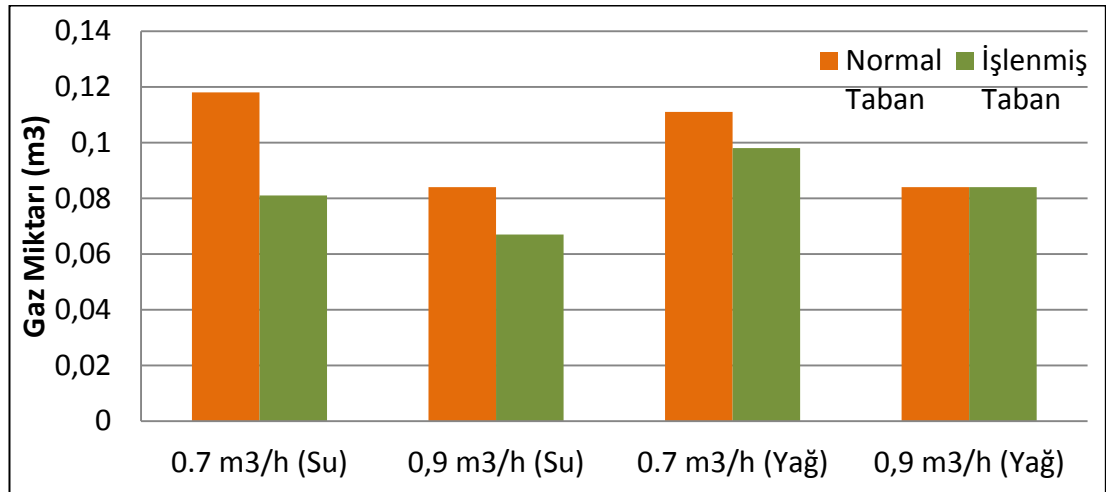
Taban geometrisi üzerinde kalınlıkla ilgili düzenlemelerin, su yerine yağ kullanılması durumunda sıcaklık artımları üzerine etkisi daha belirgin bir biçimde görülmektedir. Bu etki suyun atmosfer basıncında sıcaklığını kaynama sıcaklığında tutma eğiliminden kaynaklanmaktadır. Yağ için bu değer daha yüksek olduğu için ulaşılan sıcaklıklarda bu tesir ortaya çıkmamaktadır. Bu durum su için tencere tabanı üst yüzey sıcaklığında, sıcaklığı düzenleyici bir etki olarak kendisini göstermektedir. Bu durumda sıcaklığı düzgün dağılımlı hale getirmek için, sanki tencere taban geometrisiyle oynamanın bir anlamı olmadığı izlenimi doğursa da, yağ için bu etki

belirginleşmektedir. Aynı zamanda Tablo 5.2'deki kararlı rejime veya belirli bir sıcaklığa ulaşma süreleri ve bunlara bağlı olarak harcanan gaz miktarı ve enerji değerleri dikkate alındığında, taban geometrisindeki düzenlemenin sıcaklık dağılımı üzerine etkisi barizdir.

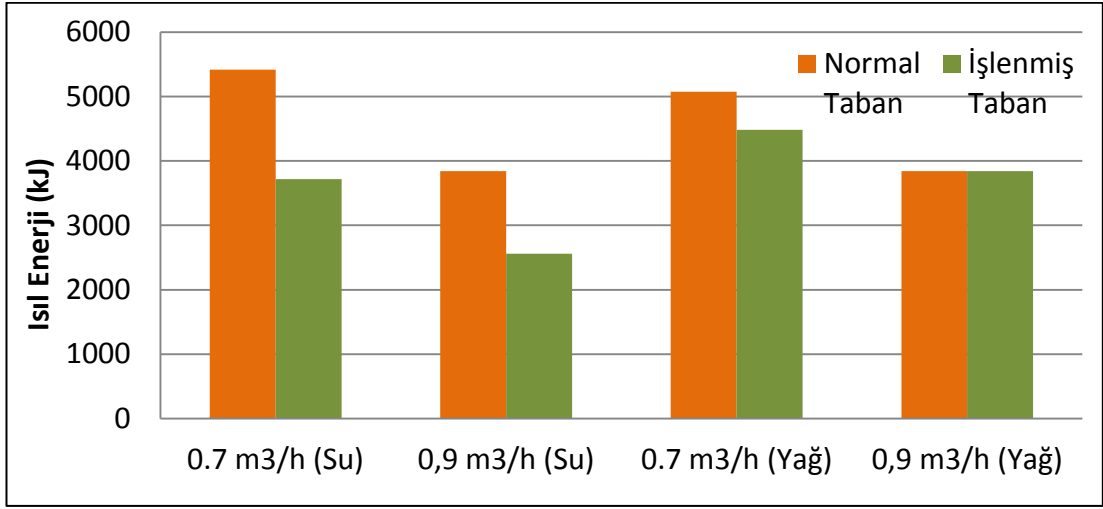
**Tablo 5.2** Deneyler Sonucunda Elde Edilen Değerler

Kararlı Rejime	Harcanan				Harcanan		Enerji		Enerjide
	Ulaşma Süresi		Gaz Miktarı		Isıl Enerji Miktarı		Maliyeti		
	( dak )		( kg )		( kJ )		( TL )		
Debi	Normal	İşlenmiş	Normal	İşlenmiş	Normal	İşlenmiş	Normal	İşlenmiş	
	Taban	Taban	Taban	Taban	Taban	Taban	Taban	Taban	
0,7 m <sup>3</sup> /h (Su)	20	15	0,118	0,081	5418,65	3714,73	0,64	0,44	0,31
0,9 m <sup>3</sup> /h (Su)	10	8	0,084	0,067	3840,40	2560,31	0,40	0,30	0,25
0,7 m <sup>3</sup> /h (Yağ)	17	15	0,111	0,098	5074,90	4480,55	0,60	0,53	0,11
0,9 m <sup>3</sup> /h (Yağ)	10	10	0,084	0,084	3840,47	3840,47	0,45	0,45	0,00

İşlenmiş tabanın kararlı rejime veya belirli bir sıcaklık değerine ulaşma sürelerine bağlı olarak kullanılan gaz miktarı ve enerji sarfiyatı değerleri sırasıyla Grafik 5.3 ve Grafik 5.4'de verilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü gibi hem sarfiyatı hem de buna bağlı enerji tüketimi işlenmiş taban geometrisinde azalmaktadır. Enerji sarfiyatındaki bu iyileşme yağ için %11'i su için ise %31'i bulmaktadır. Bu değerler mutfaklarda kullanılan enerji sarfiyatlarında büyük azalmaya işaret etmektedir.



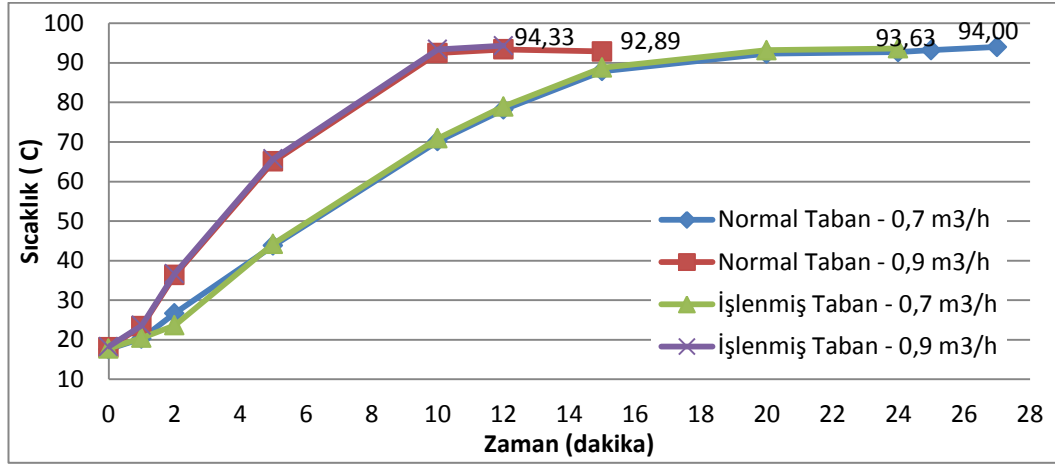
**Şekil 5.7** Deney Süresince Harcanan Gaz Miktarları



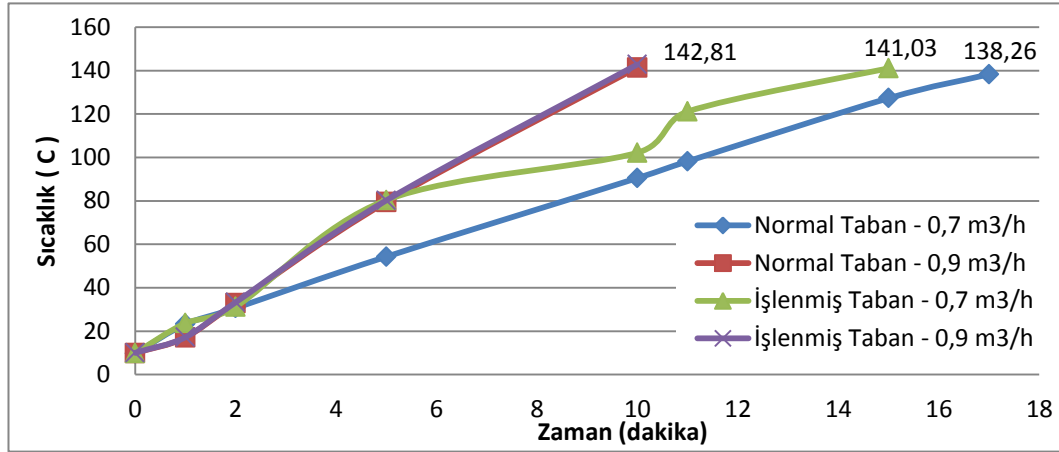
Şekil 5.8 Deney Süresince Harcanan Isıl Enerji Miktarları

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da sırasıyla su ve yağ için deney süresince tencerenin üst yüzeyindeki zamana bağlı sıcaklık değişimleri görülmektedir. Yağ için sıcaklık artımı yağın ısıl özelliklerinden dolayı artmaya devam etmektedir. Ancak malzeme ile ilgili sınırlamalardan dolayı sıcaklığın daha yüksek değerlere çıkmasına müsaade edilmemiş, yağ için deney belirli bir değerde kesilmiştir. Gaz debisinin artışı sadece kararlı rejime geçiş süresini azaltmakla kalmamakta aynı zamanda su için enerji sarfiyatlarını düşürme, yağ içinse enerji sarfiyatını bir miktar artırma yönünde etki etmemektedir. Taban geometrisindeki düzeltmenin etkisi bütün bunların üzerinde baskın çıkmaktadır.

Şekil 5.9’da su için aynı sıcaklık değerlerine ulaşma süreleri görülmektedir. En uzun süre, 0.7 m<sup>3</sup>/h gaz debisinde normal taban geometrisinde ve 27 dakikadır. Bu süre gaz debisi 0.9 m<sup>3</sup>/h’e çıkartıldığında 15 dakikaya düşerken enerji sarfiyatı ise azalmaktadır. Taban düzenlemesiyle birlikte süre 12 dakikaya düşerken enerji sarfiyatı bir miktar daha azalmaktadır



Şekil 5.9 Tencere içindeki su için sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 5.10 Tencere içindeki yağ için sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 5.10'da yağ için aynı sıcaklık değerlerine ulaşma süreleri görülmektedir. En uzun süre, yine  $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$  gaz debisinde normal taban geometrisinde ve 17 dakikadır. Bu süre gaz debisi  $0.9 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e çıkartıldığında 10 dakikaya düşerken enerji sarfiyatı ise artmaktadır. Taban düzenlemesiyle birlikte sürelerde ciddi bir değişiklik gözlemlenmemektedir. Enerji sarfiyatları ise suda olduğu gibi belirgin miktarda azalmaktadır.

## SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan bu çalışmada alüminyumdan imal edilmiş 10 mm kalınlığındaki bir tencere tabanında sıcaklık-ısıl direnç etkisi dikkate alınarak yapılan geometrik kalınlık düzenlemelerinin, tencere tabanının radyal ekseni boyunca sıcaklık dağılımı üzerine etkisi incelenmiş ve bu etki üzerinden hem düzgün bir sıcaklık dağılımına hem de daha düşük enerji tüketimine ulaşılmaya çalışılmıştır. Bunun için taban üst yüzeyinde ulaşılan sıcaklık değerlerinin tersi yönde, ısıl direnç temelli bir geometri oluşturulmuştur.

Mevcut tencere tabanlarına oranla daha düzgün bir sıcaklık dağılımı elde edilirken daha yüksek sıcaklık ortalamasına ulaşılmıştır. Bu durum hem su hem de yağ için denenmiştir. Tabanın belli bölgelerinde yapılan inceltmelerin etkisi genel olarak inceltelen bölgelerde sıcaklığı artırarak ortaya çıkmaktadır ki bu da beklenen bir sonuçtur. Böylece tencere tabanından yemeğe olan ısı geçişi tencerenin tabanında düzgün bir sıcaklık dağılımının etkisiyle her noktasında olabildiğince dengelenmiştir. Bu durum yemeklerin pişirilmesinde hem zaman hem de enerji tüketimi yönünden fayda sağlayacaktır. Bunun yanında, bazen yemeğin bir tarafının yanmış olmasına rağmen bazı yerlerinin henüz pişmemiş olması durumunun bu taban düzenlemesi neticesinde ortaya çıkma olasılığı daha da azalacaktır.

Isı enerjisi daha düzgün bir şekilde tabanda yayıldığından tencereyi ısıtmak için verilen enerji de olabildiğince azaltılmıştır. Enerji sarfiyatındaki bu iyileşme yağ için %11'i su için ise %31'i bulmaktadır. Bu değerler mutfaklarda kullanılan enerji sarfiyatlarında büyük azalmaya işaret etmektedir. Zaman açısından değerlendirildiğinde; 0.7 m<sup>3</sup>/h gaz debisinde normal taban geometrisinde 20 dakika olan kararlı rejime geçme süresi 0.9 m<sup>3</sup>/h gaz debisi ve taban düzenlemesiyle birlikte 8 dakikaya kadar düşmektedir. Yağ için aynı işlem basamaklarında bu süre 17 dakikadan 10 dakikaya kadar düşmektedir.

Yapılan işlemin katma değer etkisi açıktır. Bundan sonra farklı tencere taban çap, kalınlık ve gaz debileri için deneyler tekrarlanarak enerji, zaman ve maliyet



yönünden optimum değerler araştırılabilir. Ayrıca malzeme maliyetleri ve imalat işlemleriyle ilgili çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Lee, H.L., Wu, T.S., Yang, Y.C., Prediction of Unknown Base Flux in an Annular Fin by Strain Measureent, *Int.Comn. Heat Mass Transfer*, 30, No. 1, 115-125, 2003.
2. Subramanyam, S. Crowe, K.E., ,Thermal FEA and Validation, 33rd National Heat Transfer Conference, Albuquerque, New Mexico, August 15–17, 1999.
3. Pan, Z., Temperature Distribution and Heat Transfer Coefficient of a Clam-shell Grill, *Conference of Food Engineering*, November 6, 2001.
4. Sarkar, A., Erdogdu, F., Singh, P.R., “Measurement of Spatial Variations of Heat Transfer Coefficient on Flat Surfaces for Food Processing Applications”, *Conference of Food Engineering*, November 6, 2001.
5. Berezko, S.N., Zarichnyak, Yu.P., Korenev, P.A., Sokolov, A.N., Modelling the Structure, and the Calculation of Thermal Conductivity of Shaggy Composite Materials, *Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal*, 67, 287-294, 3-4 Sept-Oct, 1994.
6. Walker, M., Reiss, T.,Adali, S., Optimal Design of Symetrically Laminated Plates for Maximum Buckling Temperature, *Computer Aided Design in Composite Material Technology-International Conference, Computational Mechanics Publ, Southampton, Engl.* 353-363, 1996.
7. Apalak, M. K., Gunes, R., Turaman, M.O., Cerit, A.A., Thermal and Geometrically Non-Linear Stress Analyses of an Adhesively Bonded Composite Tee Joint, *Composites: Part A* 34, 135–150, 2003.
8. Toparli, M., Sahin, S., Ozkaya, E., Sasaki, S., Residual Thermal Stress Analysis in Cylindrical Steel Bars Using Finite Element Method and Artificial Neural Networks, *Computers And Structures* 80, 1763–1770, 2002.
9. Parietti, L., Bultman, N.K., Chen, Z., Thermal/Structural Analysis And Frequency Shift Studies For The Spallation Neutron Source (Sns) Drift Tube Linac, *Proceedings of The 1999 Particle Accelerator Conference*, New York, 1999.
10. Boras, I., Svaic, S., Possiblities of Determination and Characterization of Subsurface Defects In Material by Means of Thermography and 3D Numerical Model, *Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Zagreb, Croatia*, 2002.
11. Lee, M., Finite Element Modelling of Printed Circuit Boards (Pcbs) For Structural Analysis, *Circuit World* 26/3, 24-29, Mcb University Press, 2000.

12. Flach, L., Jacobs, M.A., Klosterman, D.A., Chartoff, R.P., Simulation of Laminated Object Manufacturing (Lom) with Variation of Process Parameters, Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings, University of Texas at Austin, Austin, TX, 407-416, August, 1998.
13. Apalak, M. K., Apalak, Z.G., Gunes, R., Karakas, E. S., Steady-State Thermal And Geometrical Non-Linear Stress Analysis of an Adhesively Bonded Tee Joint With Double Support, International Journal of Adhesion & Adhesives 23, 115-130, 2003.
14. Apalak, M. K., Gunes, R., On Non-Linear Thermal Stresses in an Adhesively Bonded Single Lap Joint, Computers And Structures 80, 85–98, 2002.
15. ANSYS, The general purpose finite element software, (version 6.1). Houston, TX: Swanson Analysis Systems, Inc <http://www.ansys.com/> 1995.
16. Halıcı, F., Gündüz, M., Örneklerle Isı Geçişi, Sakarya, 1997.
17. Ayata, T., Temperature Distributions in a Copper and Aluminium Layered Base of a CrNi Steel Saucepan, Applied Energy, 80/4, 341–347, 2005.
18. Ayata, T., Çavuşoğlu, A., Arcaklıoğlu, E., Predictions of Temperature Distributions on Layered Metal Plates Using Artificial Neural Networks, Energy Conversion and Management, 47/15, 2361-2370, 2006.
19. Ayata, T., Erişen, A., Çavuşoğlu, A., Obtaining Irregular Flat Temperature Distribution at One Face of Thin Cylindrical Plates In the Case of Irregularly Heated Opposite Face Using Finite Element Analysis, 9th International Combustion Symposium, Kırıkkale, Turkey, 537-545, November 16-17, 2006.
20. Ayata, T., Çelik Tencerelerde Taban Olarak Bakır (Cu) veya Alüminyum (Al) Kullanılması Durumunda Gerilme ve Şekil Değişimlerinin İncelenmesi, TEKNOLOJİ, Cilt 7, Sayı 4, 599-604, 2004.
21. Erişen, A., Ayata, T., Uzun, İ., Bir Yüzeyinden Düzgün Olmayan Bir Sıcaklık Dağılımı Uygulanan Silindirik Bir Düzlem Levhanın Diğer Yüzeyindeki Sıcaklık Dağılımının İncelenmesi, SİMER 2000, 6. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı, 131-137, Nisan 2000.
22. Ashby, M.F., Bre´chet, Y.J.M., Designing hybrid materials, Acta Materialia, 51, 5801–5821, 2003.
23. Yangjian, X., Lijuan, X., Haiyang, D., Analysis of Heating Steady Temperature Field in a Ceramic/Metal Composite FGM Plate by FEM’ Handan 056038, China, 2010.
24. Yangjian, X., Zhiwei, Z., Daihui, T., Heating Steady Thermal Stresses in a ZrO<sub>2</sub>/FGM/Ti-6Al-4V Composite ECBC Plate Considered Temperature Dependency, Handan 056038, China, 2009.

25. Xianwu T., Haishu, D., Guangzhi, W., Zhongqi, L., Relationship Between Surface Temperature Distribution and Internal Heat Source Size of the in-vitro Tissue, China, 2004.
26. Soukieh, M., Abdul Ghani, B., Hammadi, M., Numerical calculations of temperature distribution of double layer metallic surface treated by laser beams, Damascus, Syria, 2004.
27. Kidawa-Kukla, J., Temperature distribution in a rectangular plate heated by a moving heat source, Cze, stochowa, Poland, 2008.
28. Corlay, C., Advani, S.G., Temperature distribution in a thin composite plate exposed to a concentrated heat source, Newark, DE 19716, USA, 2007.
29. Yokomori, T., Mizomoto, M., Flame temperatures along a laminar premixed flame with a non-uniform stretch rate, Yokohama, Kanagawa, 223-8522, Japan, 2003.
30. Vuthaluru, R., Vuthaluru, H.B., Modelling of a wall fired furnace for different operating conditions using FLUENT, Perth, Western Australia, 2006.
31. Yılmaz, O., Çelik, H., Electrical and thermal properties of the interface at diffusion-bonded and soldered 304 stainless steel and copper bimetal, Fırat University, Elazığ 23119, Turkey, 2003.
32. Maarten, F. van Gelder, A Thermistor Based Method for Measurement of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Moist Food Materials at High Temperatures, Doctor of Philosophy, Blacksburg, Virginia, 1998.
33. Gu, P., Asaro, R.J., Distortion of polymer matrix composite panels under transverse thermal gradients, San Diego, CA 92122, United States, 2008.
34. Wang L., Lin Z., Wu X., Song K., Differences between laminar convections through parallel plain planes with uniform wall temperature and heat flux in terms of process parameter, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China, 2009.
35. Fiedler, T., Belova, I.V., Öchsner, A., Murch, G.E., Non-linear calculations of transient thermal conduction in composite materials, Technical University of Malaysia, 81310 Campbell UTM Skudai, Johor, Malaysia, 2008.
36. Pan, Z., Singh, R.P., Physical and Thermal Properties of Ground Beef During Cooking, University of California, Davis, CA 95616 (U.S.A.), 2001.
37. Fontana J.A., Wacker, B., Colin S., Campbell, G.S., Simultaneous Thermal Conductivity, Thermal Resistivity, and Thermal Diffusivity Measurement of Selected Foods and Soils, Sacramento Convention Center Sacramento, California, USA, 2001.

38. Miller, J.R., Weaver, P.M., Temperature profiles in composite plates subject to time-dependent complex boundary conditions, University Walk, Bristol BS8 1TR, UK, 2003.
39. Lope G. Tabil, Jr., Ph.D., P.Eng., Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Agricultural and Food Materials, University of Saskatchewan 57 Campus Drive, Saskatoon, SK (Canada), 2003.
40. Peng, L., Yajiang, L., Juan, W., Jishi G., Vacuum brazing technology and microstructure near the interface of Al/18-8 stainless steel, Shandong University, Jinan 250061, PR China, 2003.
41. Duranay, M., (Değişik Soğutma Durumlarında Dik Kompozit Plakalarda Sıcaklık Dağılımının Zamana Bağlı Olarak Araştırılması” doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 1998.
42. Dalen, J.V., <http://www.vodkitchen.com/demeyere-cookware> Virginia/ USA, 2008.
43. Waeckerle T., Fraisse H., Boulogne B., Spire S. L., New alloys and multilayer configuration of them to get self-regulated temperature cookware (SRTC) in induction heating, 58160 Imphy, France, 2006.
44. 2a-engineering Eğitim Yayınları (LPG'nin Özellikleri) <http://www.2a-engineering.com/tr/FAYBILBEL/LPGOTOGAZ.pdf>, İstanbul, 2008.
45. Bulut H., Ölçme Yöntemleri Notları, Sıcaklık Ölçme, Şanlıurfa, 2006.
46. Alüminyum Özellikleri, Wikipedia, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Al%C3%BCminyum>; 2013.
47. Berber, H., Gazlar, Eskişehir, 1999.
48. Ashby, M.F., Shercliff H., Cebon D., Materials: Engineering, Science, Processing and Design, North American Edition, Canada, 2007.
49. Sedighi, M., Dardashti B.N., Eslami, J.S., Sedighi, R., Layer Number Dependence of Temperature Distribution in Multi-Metal Cookware, October 4, Iran, 2013.
50. Heat Transfer Fluids, <http://www.spectrose.com/modes-of-heat-transfer-conduction-convection-radiation.html>, USA, 2012.
51. Tencere Yüzeyinde Katmanı Yapı, [http://www.olimpist.com/index\\_6.asp?NewsID=20&SubCatID=22&CatID=](http://www.olimpist.com/index_6.asp?NewsID=20&SubCatID=22&CatID=), İstanbul, 2006.
52. Isıl Çiftlerin Hassasiyetleri, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Termokupl>, 2013.

- 53.** Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)'nin Özellikleri,  
[http://tr.wikipedia.org/wiki/S%C4%B1v%C4%B1la%C5%9Ft%C4%B1r%C4%B1lm%C4%B1%C5%9F\\_petrol\\_gaz%C4%B1](http://tr.wikipedia.org/wiki/S%C4%B1v%C4%B1la%C5%9Ft%C4%B1r%C4%B1lm%C4%B1%C5%9F_petrol_gaz%C4%B1), 2013.
- 54.** Tüpraş “Ürün Güvenlik Bilgi Formu – Likit Petrol Gazı”, Körfez/Kocaeli, 1998 (revizyon 2011).
- 55.** Lpg satış fiyat listesi, <http://www.ipragaz.com.tr/tupgaz-fiyatlari.asp>, 2013

## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kayseri’de doğan Yılmaz YÜCEL, ilk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Mithat Paşa İlkokulu, Nuh Mehmet Yamaner İlköğretim Okulu ve Kocasinan Atatürk Lisesinde de tamamlamıştır. 2000 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Kayseri Meslek Yüksek Okulu Makine Bölümünü 2002 yılında tamamlayarak aynı sene Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazanmış ve 2007 yılında başarıyla bitirmiştir.

Üniversitenin bitimine müteakip Kayseri’de Isıtma-Soğutma alanında faaliyet gösteren bir mühendislik bürosunda çalışma hayatına başlamıştır. 2008 yılında 3’üncü Ordu Komutanlığı Erzincan’da askerlik görevini tamamlayan Yılmaz YÜCEL, askerlik görevinin ardından yine Kayseri’de bir başka mühendislik bürosunun doğalgaz konusunda yetkili mühendisi olarak çalışmıştır. Halen Boydak Holding bünyesindeki Merkez Çelik A.Ş. fabrikasında Kalite Yönetim biriminde kontrol mühendisi, aynı fabrikada B Sınıfı İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı olarak faaliyet göstermektedir.

2009 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır.

### İletişim Bilgileri

Adres : Bozok Üniversitesi MMF Makina Bölümü Divanlı Yolu 10. km. 66100

YOZGAT

Telefon: (354) 242 10 42

Faks: (354) 242 10 44

E-posta: yilmazyucel38@gmail.com