

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TRABZON**

**Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.**

Doğrulama Kod: A01065D5-4B9C-4DA0-960A-7F0392361886

Doğrulama Adres: <https://www.turkiye.gov.tr/karadeniz-teknik-universitesi-ebys>





**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada; çeşitli içyapı geometrisine sahip duvar briketi örnekleri için toplam ısı geçirme katsayısı ölçüm düzeneği tasarlanmış ve 4 farklı iç geometriye sahip örnekler için toplam ısı geçirme katsayısı ( $U$ ) deneyleri yapılmıştır. Yapılmış olan deneylerde yalıtımlı bir odada kontrollü ısı geçişi sağlanacak şekilde odanın bir duvarına test yapılan malzeme monte edilmiştir. Üzerince deneysel çalışma yapılan test malzemeleri PVC'den lazer kesimle ve hızlı yapıştırıcı ile imal edilmiş çeşitli içyapı geometrilerine sahiptir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, katkılarıyla bana yol gösteren ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen ve bu günlere ulaşmamı sağlayan aileme ve çalışmalarım süresince desteklerinden ötürü Arş. Gör. Furkan Erman KAN ve Arş. Gör. Mehmet SAĞLAM'a teşekkür ederim.

Amir RAHMANPARAST

Trabzon, 2021



## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum " YAPI DUVAR MALZEMELERİNDEKİ BOŞLUK GEOMETRİSİNİN ISI GEÇİŞİNE ETKİSİ" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/01/2021

Amir RAHMANPARAST



# İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SAMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Özeti .....	2
1.3. Duvar Malzemelerindeki Isı Geçişi Hakkında Genel Bilgiler .....	5
1.3.1. İletim .....	5
1.3.2. Taşınım.....	7
1.3.2.1. Doğal Taşınım.....	8
1.3.2.1.1. Düşey Dikdörtgen Oyuklarda Doğal Taşınım .....	12
1.3.2.2. Zorlanmış Taşınım .....	13
1.3.3. Işınım .....	13
1.3.4. Duvar Malzemelerinde Isı Geçişi Hesabı .....	14
1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı .....	16
2. YAPILAN ÇALIŞMA .....	18
2.1. Deney Düzeneği.....	18
2.1.1. Deney Düzeneğinde Kullanılan Cihazlar.....	18
2.1.2. Deney Düzeneğinde Kullanılan Malzemeler .....	20
2.1.3. Yalıtımlı Odacık.....	21
2.2. Deneysel Çalışma Modelleri .....	26
2.2.1. Ölçüm Noktaları.....	30
2.3. Belirsizlik Analizi .....	33
3. BULGULAR VE İRDELEME .....	34
3.1. Yüzey Sıcaklığı Ölçümleri.....	34
3.2. Toplam Isı Geçirme Katsayısı.....	39



4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	44
5.	KAYNAKLAR .....	45

ÖZGEÇMİŞ



## Yüksek Lisans Tezi

### ÖZET

## YAPI DUVAR MALZEMELERİNDEKİ BOŞLUK GEOMETRİSİNİN ISI GEÇİŞİNE ETKİSİ

Amir RAHMANPARAST

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU  
2021, 47 Sayfa

Binaların ısı kaybı hesaplamalarının çoğu, binanın dış kabuğundan oluşan yapı duvar malzemesi esas alınarak yapılır. Binanın duvar malzemelerinin, bina enerji performansını artırmak ve binalardaki ısı kayıplarını azaltmak için düşük toplam ısı geçirme katsayısına sahip olmaları beklenmektedir. Bu beklentiyi karşılamak için, duvar malzemeleri ısı taşınım mekanizmasını zayıflatan içi boş veya düşük ısıl iletkenliğe sahip briketler ya da her ikisinin aynı anda kullanılması ile üretilir. Bu çalışmada, farklı iç geometrilerine sahip duvar malzemelerinin doğal taşınım mekanizmasını zayıflatmasıyla toplam ısı geçirme katsayısının azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, içi boş duvar malzemesinin tek bir hücrenin iç geometrisinde değişiklikler yapıldı ve önerilen geometrilerin ısı geçiş analizi deneysel olarak üç farklı (7, 9, 12 W) ısıl güçte tekrarlanmıştır. Tez kapsamında kullanılmak üzere 300 mm x 300 mm x 300 mm ölçülerine sahip bina dış duvarı benzetiminde strafor kullanılarak yalıtımlı bir oda tasarlanmıştır. İçi boş duvar malzemesi elde etmek için, PVC (Dekota) malzemedan 160 mm x 160 mm x 50 mm ölçülerinde briket modeli üretildi ve deney odasının bir duvarına yerleştirildi. Bu çalışma, tasarlanan dört farklı iç geometriye sahip briket modelinde gerçekleştirilmiştir. Isı geçişi analizi için, sıcaklık ölçümleri briket modellerinin belirlenen altı noktasından alınmıştır. Çalışmanın sonuçları, deney örneklerinde toplam ısı geçirme katsayısının ısıl güce bağlı olarak değişimi sunulmuştur. Önerilen iç geometrilerde profillerin toplam ısı geçirme katsayılarının I profile göre oransal değişimi %3,7-11,5 arasında azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yapı duvar malzemesi, İçi boş tuğla, Eğimli boşluk, Doğal taşınım, Termal direnç, Duvar briketi, Isı yalıtımı, Isı geçiş yönü, Enerji tasarrufu



Master Thesis

SUMMARY

THE EFFECT OF CAVITY GEOMETRY ON HEAT TRANSFER IN BUILDING WALL MATERIALS

Amir RAHMANPARAST

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mechanical Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU  
2021, 47 Pages

As known well, majority of the heat losses of buildings occur at walls which are made of a few layers such as plaster, well bricks, insulation material etc. It is expected that the wall brick building have low overall heat transfer coefficient to reduce heat losses through buildings in order to increase building heating performance. . In order to achieve this expectation, the wall bricks are produced with materials which have low thermal conductivity and cavity (hole) which weakens thermal transport mechanism. In this study, it is aimed to decrease the overall heat transfer coefficient of wall brick models with various cavities which affect the natural convection mechanism. For this purpose, some changes are made in the internal cavity geometry of a single cell of the hollow wall brick model and the heat transfer analysis of the proposed geometries was experimentally repeated under three different (7, 9, 12 W) heat flux conditions. The building is simulated as an insulated chamber made of styrofoam with dimensions of 300 mm x 300 mm x 300 mm. The wall brick models are produced from PVC (Decota) material in dimensions of 160 mm x 160 mm x 50 mm and mounted on a wall of the insulated chamber. The experiments are carried out on the brick models having the cavity geometries of regular symmetrical I profile and asymmetrical profiles. The temperatures are measured at six points on the sides of the brick models. The results of the study are presented as the change of the overall coefficient of heat power of the wall materials according to the heat transfer. In the proposed internal geometry, it was observed that the overall heat transfer coefficient decreased from 3.7% to 11.5% for three different heat input values compared to the I profile wall material. Findings include analysis of experimental results.

**Key Words:** Building wall material, Hollow brick, Inclined cavity, Natural convection, Thermal resistanc, Wall briquette, Thermal insulation, Heat transition direction, Energy saving

VIII





## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. İletimle ısı geçişinin, moleküler faaliyete bağlı olan enerji yayımıyla ilişkisi.....	5
Şekil 2. İletimle tek boyutlu ısı geçişi .....	6
Şekil 3. Taşınım ile ısı geçişinde sınır tabaka gelişimi .....	7
Şekil 4. Isıtılan bir düşey levha üzerinde sınır tabakanın gelişimi .....	9
Şekil 5. Farklı yan yüzey sıcaklıklarına sahip düşey bir oyukta ( $\tau=90$ ) hücresel akış .....	12
Şekil 6. Işınım ile ısı alışverişi: (a) bir yüzeyde ve (b) bir yüzey ile daha büyük çevre yüzeyler arasında .....	14
Şekil 7. Boşluk geometrisine sahip seri duvar malzemesi için eşdeğer ısı direnci .....	15
Şekil 8. Katmanlı paralel yapıya sahip duvar için eşdeğer ısı direnci .....	16
Şekil 9. Çalışmada kullanılan güç kaynağı.....	18
Şekil 10. Multimetre .....	19
Şekil 11. Isıtıcı fişek rezistans .....	20
Şekil 12. Yalıtımlı odacığın kesit ve perspektif görüntüleri.....	22
Şekil 13. Odacık ve kapağın montaj görünümü .....	23
Şekil 14. Deney örneğinin yerleştirildiği yüzey .....	24
Şekil 15. İç yüzeyleri alçı kaplanmış odacık .....	24
Şekil 16. Deney düzeneğinin sanal görünümü .....	25
Şekil 17. Deney düzeneğinin görünümü .....	26
Şekil 18. I Profilli briket modeli.....	27
Şekil 19. Z1 Profilli briket modeli.....	27
Şekil 20. Z2 Profilli briket modeli.....	28
Şekil 21. Z3 Profilli briket modeli.....	28
Şekil 22. Deneysel çalışma yapılan örnekler.....	30
Şekil 23. Deney örneklerinin yüzeylerindeki termoelemanların konumları.....	31
Şekil 24. Deney örneği yüzeyinde termoelemanların bağlantısı .....	32
Şekil 25. Termoelemanların okuyucu karta bağlantısı .....	32
Şekil 26. Deney örneklerinde toplam ısı geçirme katsayısının ısı güce bağlı olarak değişimi .....	40
Şekil 28. Profillerin sıcaklık farkı ve toplam ısı geçirme katsayısına göre sıralanması .....	42
Şekil 29. Deney örneklerinde eşdeğer termal direncin ısı güce bağlı olarak değişimi.....	43



## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Deney yapılan örneklere ait kodlama.....	29
Tablo 2. I Profili için yüzey sıcaklıkları ve $U$ değerleri .....	35
Tablo 3. Z1-LR Profili için yüzey sıcaklıkları ve $U$ değerleri.....	35
Tablo 4. Z1-RL Profili için yüzey sıcaklıkları ve $U$ değerleri.....	36
Tablo 5. Z2-LR Profili için yüzey sıcaklıkları ve $U$ değerleri.....	36
Tablo 6. Z2-RL Profili için yüzey sıcaklıkları ve $U$ değerleri.....	37
Tablo 7. Z3-LR Profili için yüzey sıcaklıkları ve $U$ değerleri.....	37
Tablo 8. Z3-RL Profili için yüzey sıcaklıkları ve $U$ değerleri.....	38



## SAMBOLLER DİZİNİ

$A$	: Alan ( $m^2$ )
$C_p$	: Özgül Isı ( $J/kg K$ )
$F_\varepsilon$	: Emisivite Fonksiyonu
$F_G$	: Şekil Faktörü Fonksiyonu
$g$	: Yer Çekim İvmesi ( $m/s^2$ )
$Gr$	: Grashof Sayısı
$h$	: Isı Taşınım Katsayısı ( $W/m^2K$ )
$k$	: Isı İletim Katsayısı ( $W/mK$ )
$L$	: Duvar Malzemesinin Kalınlığı ( $m$ )
$Nu$	: Nusselt Sayısı
$P$	: Basınç ( $N/m^2$ )
$Pr$	: Prandtl Sayısı
$q$	: Isıl Güç ( $W$ )
$q''_x$	: Isı Akısı ( $W/m^2$ )
$R$	: Gaz Sabiti
$Ra$	: Rayleigh Sayısı
$R_{top}$	: Eşdeğer Toplam Direnç ( $m^2K/W$ )
$SI$	: Uluslararası Birim Sistemi
$T$	: Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$T_s$	: Yüzey Sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_\infty$	: Akışkan Sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$t$	: Zaman ( $s$ )
$U$	: Toplam Isı Geçirme Katsayısı ( $W/m^2K$ )
$u$	: x Doğrultusundaki Hız Bileşenini ( $m/s$ )
$v$	: y Doğrultusundaki Hız Bileşenini ( $m/s$ )
$\alpha$	: Isıl Yayılm Katsayısı ( $m^2/s$ )
$\beta$	: Hacimsel Genleşme Sayısı ( $1/K$ )
$\vartheta$	: Kinematik Viskoziteyi ( $m^2/s$ )
$\sigma$	: S Stefan-Boltzmann sabiti ( $W/m^2K^4$ )



$\rho$	: Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
$\varepsilon$	: Emisivite Oranı
$\Delta T$	: Sıcaklık Farkı (°C)
$\pi$	: Pi Sayısı
$\Sigma$	: Toplam Simgesi
$\frac{\delta T}{\delta x}$	: Sıcaklık Gradyanı (K/m)



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Dünyada artan nüfus ve refah seviyesi, enerji tüketimini yoğun olarak artırmakta ve bu nedenle enerji üretiminin yanı sıra enerji tasarrufu da önemli rol oynamaktadır. Gündelik hayatta kullandığımız çeşitli alanlarda enerji tüketimi yapılmaktadır ve hayatımızın vazgeçilmezi olan binaların ısıtılmasında da önemli ölçüde enerji tüketimi görülmektedir. Türkiye’de konutlarda kullanılan enerjinin büyük bölümü ısıtma amaçlı olup, bu nedenle büyük ölçüde enerji kaynağı talebi mevcuttur son yıllarda doğal gazın kentlerde yaygınlaşması ile birlikte hava kirliliği açısından belirli düzeyde bir iyileşme ortaya çıkmıştır ancak doğal gaz konusundada dışarıya olan bağımlılık nedeni ile Türkiye’de ve dünyanın bir çok ülkesinde ısınma amaçlı enerjinin tasarruflu ve verimli kullanılması önemli hedeflerden bir tanesidir yapılarda enerji tasarrufu önemli ölçüde yalıtım malzemeleri kullanılarak sağlanmakta, bunun yanı sıra ısı iletkenliği düşük duvar malzemelerinin kullanılmasına özen gösterilmektedir. Bina yalıtımında, uygun malzeme kullanımı gibi önlemler olarak enerji tüketimini en aza indirmek mümkündür.

Bina inşaatlarında kullanılan önemli yapı elemanlarından bir tanesi de tuğla ve brikettir. Tuğla ve briketler, binalarda bağımsız bölümler oluşturmanın yanı sıra binanın dış kabuğunda termal koruma görevi üstlenmektedir. Binalarda enerji analizi yapılırken ısı kayıplarının dikkatle ele alınması gerekmektedir. Isı kayıpları alt kat, üst kat, pencere vb. bileşenlerde ve duvarlarda meydana geldiğinden bina duvarlarının düşük toplam ısı geçirme katsayısına sahip olması beklenmektedir. Bu nedenle binalarda duvarları oluşturan tuğla ve briketlerin toplam ısı geçirme katsayısının düşük olması, binanın enerji performansının yüksek olması anlamına gelir. Yapı duvar malzemelerindeki ısı transfer mekanizması incelendiğinde, katı duvarlarda iletim ve onu takip eden iç boşluklarda taşınım gibi periyodik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Yapıdaki toplam ısı geçirme katsayısını düşürmenin yolları, düşük ısı iletim katsayısına sahip malzeme kullanmak, duvardaki briket/tuğla bileşenin içerisinde oluşan taşınımı en aza indirmek ya da her ikisini birlikte uygulamaktır.



## 1.2. Literatür Özeti

Konuyla ilgili olarak literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde ağırlıklı olarak sayısal modelleme ve deneysel çalışmaların yapıldığı görülmektedir bu çalışmalarda tuğla/briketlerin geometri ve malzeme özelliklerinin yanı sıra ortak koşullarına da bağlı olarak ısı performanslarının değişimleri incelenmiştir.

Hendry [1] kil, beton ve kalsiyum silikat gibi duvar malzemeleri ile ilgili literatürün taramasını yaparak yük altındaki ve yüksüz durumdaki duvarlar için bir özet yapmıştır. Bu çalışmada duvar tasarım çalışmalarının son yıllarda sürekli gelişmekte olduğu ve hafif, yeni tip malzemelerin sürekli olarak kullanıma girdiği ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra yeni tür malzemelerin ısı yalıtım özelliklerini ve dayanıklılık, görünüm, esneklik gibi özelliklerinin de iyileştirilmesi için çalışmaların yapıldığı belirtilmiştir. Ayrıca alternatif malzemelerin gelecekte duvar yapımında çok daha ekonomik olacağı görüşüne yer verilmiştir.

Duvar tuğla/briket malzemeleri boşluklu içyapıları nedeni ile ısı iletim ve taşınım mekanizmasının birlikte ortaya çıktığı bir yapıdadırlar. Konu ile ilgili olarak sayısal çalışmalar yapılarak bu tür duvar malzemelerinden olan ısı geçişleri modellenmekte ve bu tür duvar malzemelerinin termofiziksel özelliklerinin yanı sıra iç boşluklardaki ısı davranış incelenmektedir. Alhazmy'nin [2] yapmış olduğu sayısal çalışmada tuğla içerisinde V geometrisine sahip çeşitli sayıda periyodik boşluğun ısı geçişine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada kütle, momentum ve enerji denklemleri iki boyutlu ve içinde boşluk bulunan duvar tuğlasında çözülmüştür. Tuğlanın alt ve üst kenarları yalıtımlı düşey kenarları izoterm kabul edilmiştir. İç boşluktaki hava Newtonunsu akışkan ve Boussinesq yaklaşımına dayalı yoğunluk ile modellenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre V boşluk sayısı arttıkça tuğladan geçen ısıda azalmaktadır. Tipik yaz koşullarında ısı akısının boşluk sayısına ve malzemeye bağlı olarak %37-42 düzeyde azalabileceği gösterilmiştir [2].

Tuğlalar içerisindeki boşluk oranının dinamik ısı davranış üzerindeki etkisi sayısal (sonlu elemanlar yöntemi) ve analitik olarak Arendt ve vd. [3] tarafından incelenmiştir. Çalışmada göz önüne alınan dinamik ısı parametreler; zaman gecikmesi, azalma faktörü, eşdeğer ısı yayılım ve eşdeğer ısı iletim katsayılarıdır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre boşluklu tuğlanın optimum ısı parametreleri; toplam boşluk alanının tuğla alanına olan oranının %30-45 aralığındaki değerleri için elde edilmiştir. Ayrıca gösterilmiştir ki



göreceli olarak yüksek ısı iletkenliğe sahip malzemeden yapılmış olan boşluklu briketin teknik olarak yapılması imkansız olan %45-65 arasında boşluk oranına sahip olması ile optimum ısı parametreler elde edilebilecektir.

Ait-Taleba vd.[4] tarafından yapılmış olan sayısal çalışmada içerisinde düşey doğrultuda iki yatay doğrultuda üç tane eş boşluk bulunan tuğlanın alttan yada üstten ısıtılması durumunda ısı transferi incelenmiştir. Tuğlanın uç düşey kenarları adayabatik kabul edilmiştir. Boşluktaki akışkan için Boussinesq yaklaşımı ve laminar akış kabulü yapılmıştır. İç boşluklarda taşınım ile olan ısı transferi ve ışınım göz önüne alınmıştır. Sayısal çalışmada kontrol hacmi yaklaşımına dayalı sonlu fark tekniği kullanılarak SIMPLE algoritması ile temel denklemler çözülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre düşey yönde iki hava boşluklu tuğla ısı geçişini önemli düzeyde azaltmakta ve bu sayede binalarda çatı altında tavan malzemesi olarak kullanılabilmesi önerilmektedir.

Duvar tuğlasının iç boşluğunun düşük ısı iletkenlikli malzeme ile doldurulması durumundaki ısı davranış teorik olarak modellenmiş ve sayısal olarak çözülmüştür [5]. Bassiouny vd. tarafından yapılmış olan bu çalışmada [5]; Mısır'da yaygın olarak kullanılan delikli kırmızı tuğlanın içerisindeki boşluklara çimento, mantar, köpük, lastik gibi malzemeler doldurularak tuğlanın ısı direncindeki artış incelenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgulara göre dolgu malzemesi olarak poliüreten köpük yada mantar kullanılması durumunda ısı iletkenlikte yaklaşık %45 düzeyinde bir azalma olduğu ve dolayısıyla ısı direncinde önemli düzeyde artış ortaya çıktığı anlaşılmıştır.

Tuğlalar içerisindeki delik sayısındaki artışa bağlı olarak ortaya çıkan karmaşık geometrik yapı sayısal incelemelerde önemli bir yük teşkil etmektedir. Tuğla içerisindeki delik sayısındaki artış bu boşluklarda bulunan akışkan içinde temel denklemlerin çözülmesi için sayısal modelleme yapılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla çok fazla sayıda düğüm ve eleman kullanmak gerekmektedir. Bu nedenle sıradan bilgisayar kapasitesi ile bu tür geometrilerin sayısal olarak modellenmesi imkânsız hale gelmektedir. Madera vd.[6] fazla sayıda delikli tuğladan yapılmış dış duvarın higrotermal performansını paralel işlemcili sistem ile modellemişlerdir. Yapılan modellemede tuğla içerisinden ısı ve nem geçişi modellenmiş ve her bir delikte bu denklemler çözülmüştür. Çek Cumhuriyetindeki iki farklı yerleşim yerindeki verilere göre (sıcaklık, bağıl nem, yağış) yapılan paralel hesaplama ile bu tür yüksek kapasite gerektiren problemlerin çözülebileceği gösterilmiştir.

Duvar malzemelerinden olan ısı geçişi için yapılmış olan sayısal çalışmaların yanı sıra literatürde belli başlı deneysel çalışmalarda mevcuttur. Sayısal çalışmaların



doğruluğunu ve geçerliliğini göstermek üzere deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir. Vivancos vd. [7] tuğlaların ısı özeliği için deneysel verilere dayalı bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada elde etmiş oldukları model bağıntısını teorik sonuçlarla kıyaslamış ve oldukça iyi bir uyum elde etmişlerdir. Yapılmış olan deneysel çalışmada çeşitli içyapı geometrisine ve kalınlığa sahip tuğla örnekleri koruyucu sıcak plakalı yöntem kullanılarak ısı akıları ölçülmüştür.

Morales vd. [8] tarafından yapılmış olan deneysel çalışmada boşluklu ve delikli duvarda boşluk geometrisinin ısı özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre tuğla içerisindeki ısı köprülerinden olabildiğince kaçınacak şekilde tasarımın yapılması tuğla içerisindeki düşey sıra sayısının artması ile daha iyi ısı özellik elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca tuğla içerisindeki ısı köprülerinin önlenmesi için içyapı geometrisine ait öneriler yapılmış ve boşluk sıra sayısının artması ile ısı performansın iyileşmekte olduğu gösterilmiştir.

Gossard ve Lartigue [9] tarafından yapılmış olan çalışmada içeri bölümlü kapalı bir ortamda üç boyutlu ısı transferi sayısal ve deneysel olarak incelenmiş ve Nusselt sayısı için korelasyon bağıntıları önerilmiştir.

Çin'de sıcak yaz ve soğuk kış yaşayan bölgelerdeki köy ve kasabalarda bina duvar malzemelerinin ısı performansı deneysel olarak Diao vd. tarafından incelenmiştir [10]. Çalışmada elde edilmiş olan ısı geçirme katsayılarının standartlarda verilmiş olan değerler ile uyumlu oldukları ve dolayısıyla yapı duvar malzemesi olarak kullanımlarında bir sorun olmadığı sonucu elde edilmiştir [10].



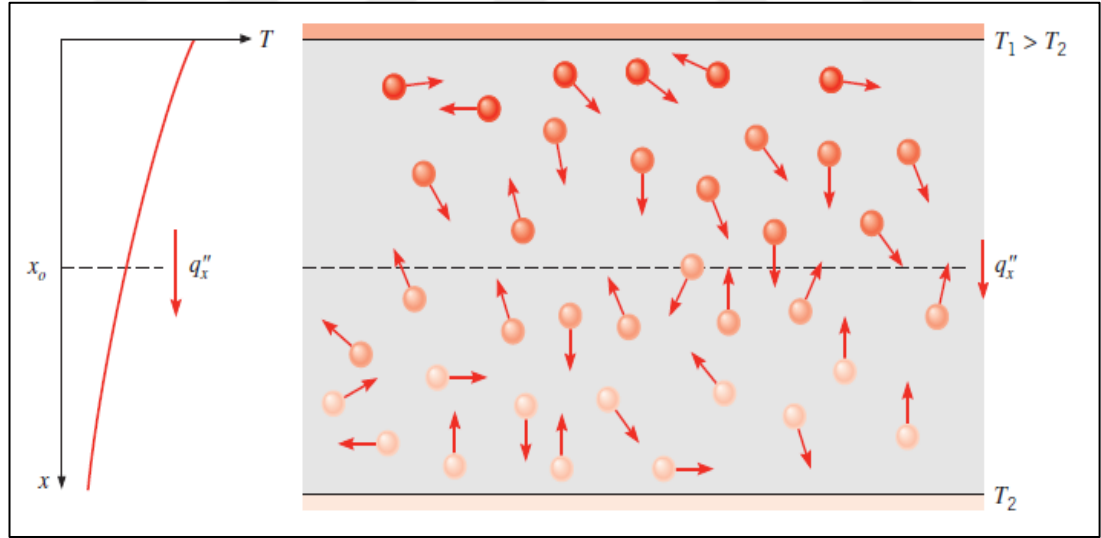


### 1.3. Duvar Malzemelerindeki Isı Geçişi Hakkında Genel Bilgiler

Bilindiği gibi, bir mekanı oluşturan duvarlar içinde özellikle dış duvar ısı tutuculuk yönünden en önemli yükü taşır. Bir dış duvarı göz önüne alındığında iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere duvardan üç farklı çeşitte ısı geçişi gerçekleşir. İçi boş briketten oluşan bir duvarın dış ve iç yüzeylerinden çevreye ışınım ve taşınım ile ısı geçişi gerçekleşirken briketlerin iç bölgesinde ise iletim ve doğal taşınım ile ısı geçişi gerçekleşir [14].

#### 1.3.1. İletim

Katılarda ısı iletimi, atomik ve moleküler düzeydeki hareketlilik ile ortaya çıkan fiziksel bir olaydır. İletimle ısı geçişinde, parçacıklar arasındaki etkileşimler nedeniyle bir maddenin daha enerjik olanından daha az enerjili parçacıklarına enerji aktarımı sağlanır (Şekil 1) [11]. Dolayısıyla enerjik olmayı temsil eden sıcaklık; ısı geçişinde önemli bir parametredir.



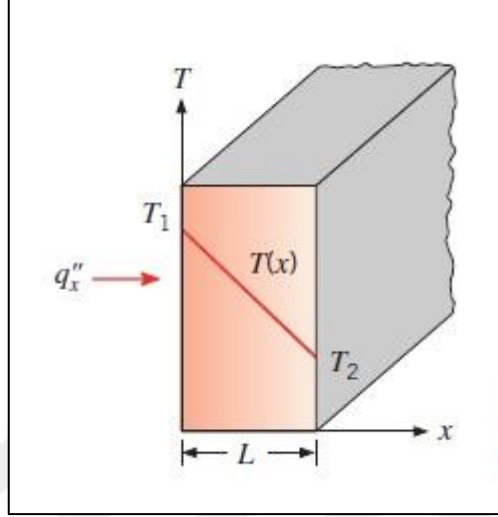
Şekil 1. İletimle ısı geçişinin, moleküler faaliyete bağlı olan enerji yayımıyla ilişkisi [11]

İletimle geçen ısı miktarını hesaplamak için Fourier yasası kullanılır. Bu yasaya göre tek-boyutlu ısı transferi miktarı, sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) ve ısı geçiş yönüne dik yüzey alanı ( $A$ ) ile orantılıdır. Birim yüzeyden tek-boyutlu ısı geçişinde Fourier denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:



$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Burada  $q_x''$ ; ısı akısı  $dT/dx$ ; sıcaklık gradyanı ve  $k$  ise ısı iletim katsayısıdır [11].



Şekil 2. İletimle tek boyutlu ısı geçişi [11]

Şekil 2’de de görülen,  $T_1$  ile  $T_2$  duvarın yüzey sıcaklıkları ( $T_1 > T_2$ ) ve  $A$  ısı geçiş yönüne dik alan olsun. Bu durumda ısı geçişi  $T_1$  yüzeyinden  $T_2$  yüzeyine doğru gerçekleşir. Sistem dengedeyken sıcaklık zamandan bağımsız olup değişmemektedir. Şekilde tanımlanan notasyonlar ile ısı geçişi şu şekilde ifade edilir:

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (2)$$

$$q_x = -kA \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3)$$

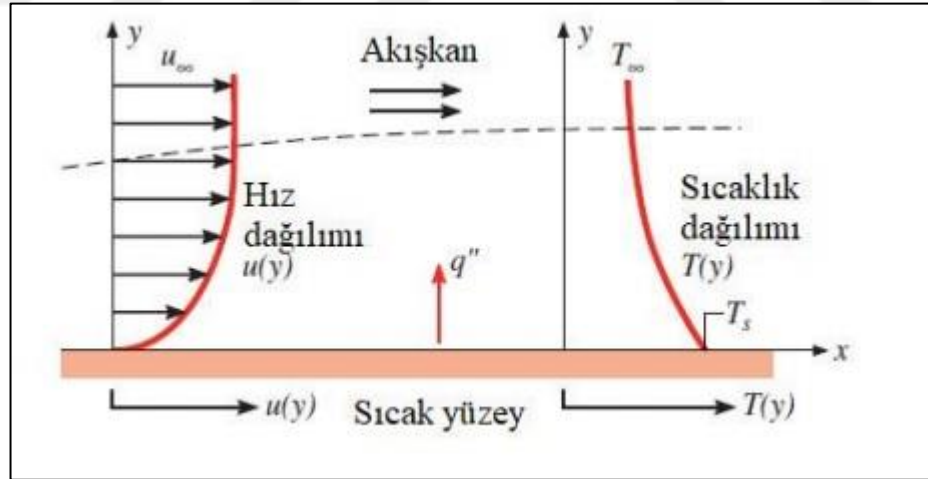
Burada  $q_x$ ; ısıyı,  $T_1$ ; sıcak yüzeyi,  $T_2$ ; soğuk yüzeyi,  $A$ ; yüzey alanını ve  $L$  ise ısı geçiş yönünde uzunluğu ifade etmektedir.



### 1.3.2. Taşınım

Taşınım bir katı yüzey ile ona temas eden hareketli akışkan arasındaki ısı geçişi olarak bilinmektedir. Sıcak bir metal levha, hareket halindeki bir akışkanla temas etmesi durumunda aynı sıcaklıktaki durgun haldeki bir akışkana temas durumuna göre daha hızlı soğumaktadır. Bu davranış taşınım ile ısı transferinin temel mekanizmasını anlamada oldukça yararlıdır. Taşınımında akışkan hızı önemli rol oynamaktadır. Akışkan hızı ne kadar yüksekse ısı transferi hızı da o kadar yüksektir. Aynı zamanda akışkanın türü de taşınım ile ısı transferi için çok önemli bir faktördür [11].

Plaka sıcaklığının  $T_s$  ve akışkan sıcaklığının  $T_\infty$  olduğu durumda, plaka yüzeyinde hız sıfır olup, plakadan uzaklaştığında hız artmaktadır. Bu hız artışının nedeni sınır tabakanın varlığından kaynaklanmaktadır. İletimle ısı transferi ise sadece hızın sıfır olduğu yerlerde gerçekleşmektedir. Taşınım ile ısı aktarımı sıcaklık dağılımına bağlıdır. Akışkan hızının yüksek olması sıcaklık değişiminin de yüksek olması anlamına gelmektedir. Özet olarak ifade edilirse; taşınım ile ısı transferi iletkenlik, özgül ısı, yoğunluk ve akışkanın viskozitesine bağlıdır (Şekil 3) [11].



Şekil 3. Taşınım ile ısı geçişinde sınır tabaka gelişimi [11]

Taşınım ile olan ısı transferinin hesabında denklem (4) ile verilmiş olan Newton'un Soğuma Yasası kullanılmaktadır.

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (4)$$



Burada  $A$ ; ısı transfer yüzey alanı,  $h$ ; ısı taşınım katsayısını,  $T_s$ ; yüzey sıcaklığını ve  $T_\infty$ ; akışkan sıcaklığını ifade eder.

Taşınım ile ısı geçişi akışın türüne göre sınıflandırılabilir. Akış bir fan, pompa ve ya atmosferik rüzgârlar gibi bir dış etki ile oluşuyor ise zorlanmış taşınım söz konusudur. Buna karşın doğal taşınım da akış, akışkan içindeki sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan yoğunluk farklılıklarından kaynaklanan kaldırma kuvvetleri ile ilişkilidir.

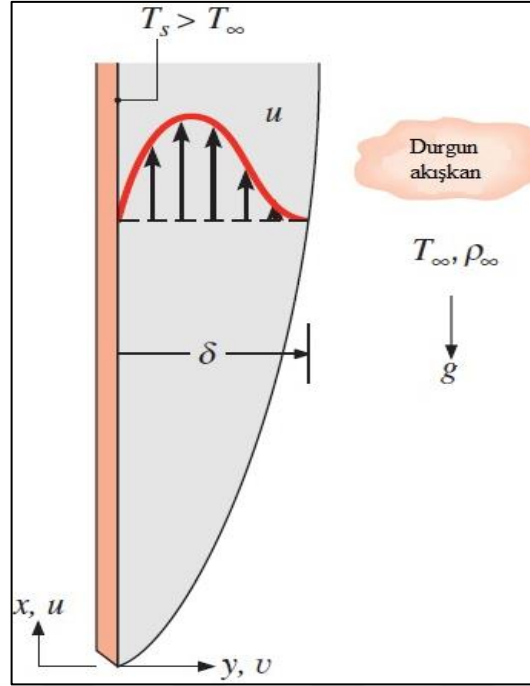
### 1.3.2.1. Doğal Taşınım

Doğal taşınım veya serbest taşınım; sistem dışı faktörlerin yarattığı hızın olmadığı ancak akışkan içinde yine de taşınımın gerçekleşmesi olayıdır. Doğal taşınım, sıcaklık gradyanlarını içerisinde bulunduran bir akışkan üzerine kütle kuvvetleri etkilediğinde meydana gelir. Asıl önemli faktör doğal akışa neden olan kaldırma kuvvetidir. En genel haliyle yoğunluk gradyanı, sıcaklık gradyanından; kütle kuvveti de yerçekiminden kaynaklanır. Doğal taşınım da akış hızının çok daha küçük olmasından dolayı taşınım ile ısı geçişi daha yavaş olur. Bu yüzden zorlanmış taşınım a kıyasla daha kısıtlı bir alanda incelenir. Ancak farklı yollarla ısı geçişinin olduğu birçok uygulamada doğal taşınım ısı geçişine en büyük direnci meydana getirdiği için sistem tasarımında ve performansında önemli bir yere sahiptir [11].

Zorlanmış taşınım da dış kuvvetler nedeniyle oluşan akışkan hareketi, doğal taşınım da akışkan içindeki kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle ortaya çıkar. Kaldırma kuvveti, bir akışkanın yoğunluk gradyanının ve yoğunluk ile orantılı bir kütle kuvvetinin birleşik varlığından oluşur. Yoğunluk gradyanını meydana getiren farklı nedenler olabilmesine karşın bunlardan en genel olanı bir sıcaklık gradyanına bağlı olarak ortaya çıkan yoğunluk değişimidir. Yoğunluk genellikle sıcaklığın artmasına bağlı olarak akışkanın genişlemesi sonucu azalır ( $\frac{\delta\rho}{\delta T} < 0$ ) [11].

Örneğin durgun bir akışkan içinde ısıtılan düşey bir levhanın yüzey sıcaklığı, akışkan sıcaklığından yüksektir. ( $T_s > T_\infty$ ) Bunun sonucunda levhaya yakın olan akışkanın yoğunluğu uzak olandan daha azdır. Böylece kaldırma kuvvetleri bir doğal taşınım sınır tabakası oluşturur. Bu esnada akışkan yukarı yükselirken, onun boşalttığı kısma durgun bölgedeki akışkan girer. Ortaya çıkan hız dağılımı zorlanmış taşınım dan çok farklıdır. Hız hem  $y = 0$  'da hem de  $y \rightarrow \infty$  'da sıfırdır (Şekil 4) [11].





Şekil 4. Isıtılan bir düşey levha üzerinde sınır tabakanın gelişimi [11]

Doğal taşınımında doğrusal momentumun korunumu yasasından yola çıkarak x-momentum denklemi;

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - g + \vartheta \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (5)$$

elde edilir. Burada  $u$ ; x doğrultusundaki hız bileşenini,  $v$ ; y doğrultusundaki hız bileşenini,  $\rho$ ; yoğunluğu,  $g$  yerçekimi ivmesini,  $P$ ; basıncı ve  $\vartheta$ ; ise kinematik viskoziteyi ifade eder. Bu denklemde akışın sürekli ve iki boyutlu olduğu, özelliklerin sabit kaldığı ve yerçekimi kuvvetinin etkisi x yönünde etkilediği varsayılmıştır.  $\beta$ ; Hacimsel ısıl genleşme katsayısı ( $1/\chi$ ) akışkanın termodinamik bir özelliği olup yoğunluğun sabit basınçta sıcaklığa göre değişimini gösterir [11].

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \frac{\rho_\infty - \rho}{T_\infty - T} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanır.



$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho_{\infty}g$  ve  $(\rho_{\infty} - g) = \rho\beta(T - T_{\infty})$  eşitlikleri sırasıyla (5) x-momentum denkleminde yerine yazıldığında;

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{g}{\rho}(\rho_{\infty} - g) + \vartheta \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (7)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g\beta(T - T_{\infty}) + \vartheta \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (8)$$

elde edilir.

Bu denklemden de görüleceği gibi akışkan hareketini sağlayan kaldırma kuvveti sıcaklık farkından etkilenir. Kaldırma kuvveti sadece momentumu etkilediği için kütle ve enerjinin korunumu denklemleri zorlanmış taşınım da kullanıldığı şekli ile doğal taşınım da kullanılır [11]. Kütle ve enerjinin korunumu denklemleri:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (10)$$

şeklindedir. Genleşme katsayısı doğal taşınım da etkili olup akışkanın türüne göre tablolardan okunur. İdeal gazlar için  $\rho = p/RT$  olduğundan;

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{\rho} \frac{p}{RT^2} = \frac{1}{T} \quad (11)$$

ideal gazlarda ısıl genleşme katsayısı değeri elde edilir. Burada  $T$ ; mutlak sıcaklığı,  $\beta$ ; ısıl genleşme katsayısını ve  $R$ ; gaz sabitini ifade eder. Yerel taşınım katsayısını belirlemek için yerel Grashoff sayısı ve Prandtl sayısı belirlenmelidir. Grashoff sayısı boyutsuz bir sayı olup, denklem (12) yardımıyla hesaplanır [11].

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\nu^2} \quad (12)$$



Prandtl sayısı (Pr) da doğal taşınımında kullanılan önemli bir sayı olup, momentum yayılımının ısı yayılımına oranı olarak ifade edilir.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (13)$$

Bu eşitliklerden yola çıkarak L uzunluğunda bir yüzey için ortalama ısı taşınım katsayısı;

$$\bar{h} = \frac{1}{L} \int_0^L h dx = \frac{k}{L} \left[ \frac{g\beta(T_s - T_\infty)}{4\nu^2} \right]^{\frac{1}{4}} g(Pr) \int_0^L \frac{dx}{x^{\frac{1}{4}}} \quad (14)$$

integrasyon sonucunda elde edilen boyutsuz formdaki ifade Nusselt sayısı olarak bilinir ve,

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = \frac{4}{3} \left( \frac{Gr_L}{4} \right)^{\frac{1}{4}} g(Pr) \quad (15)$$

Şeklinde elde edilir. Burada  $\overline{Nu}_L$ ; toplam ısı geçişinin iletimle olan ısı geçişine oranı olarak ısı transferinde yaygın bir şekilde kullanılan ortalama Nusselt sayısı elde edilir [11].

Doğal taşınımında bir akışkan içerisindeki kaldırma kuvveti ve viskozite arasındaki ilişki Rayleigh sayısı ile tanımlanır. Rayleigh sayısı; Grashoff ve Prandtl sayısının çarpımına eşittir. Düşey levhalar için kritik Rayleigh sayısı:

$$Ra_L = Gr_L \cdot Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} = 10^9 \quad (16)$$

olarak tanımlanır [11].

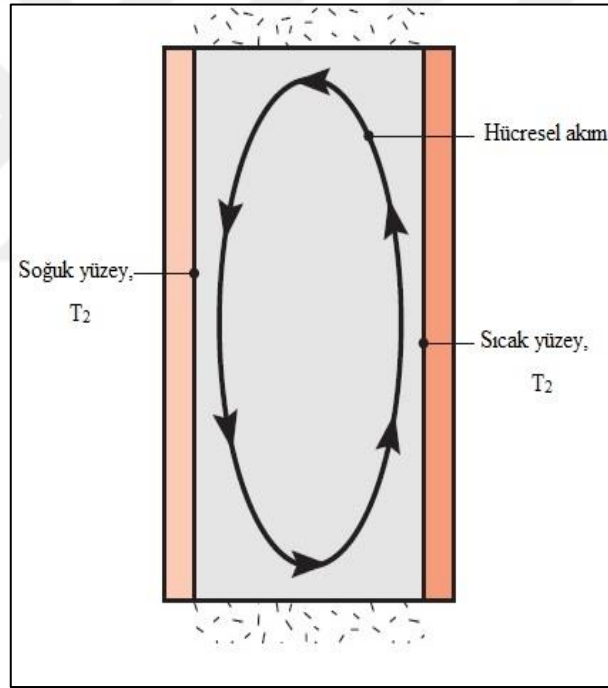


### 1.3.2.1.1. Düşey Dikdörtgen Oyuklarda Doğal Taşınım

Dikdörtgen geometriye sahip oyuk içerisinde ısı akışı,

$$q'' = h(T_1 - T_2) \quad (17)$$

olarak hesaplanır. Ancak buradaki ısı taşınım katsayısı oyuğun boy/en oranı  $\frac{H}{L}$  'ye ve  $\tau$  taban açısının değerine bağlıdır. Düşey dikdörtgen oyuklarda ( $\tau=90^\circ$ ), düşey yüzeyler ısıtılır ve soğutulurken yatay yüzeyler adyabatiktir. Küçük Rayleigh sayıları için,  $Ra_L \leq 10^3$ , kaldırma kuvvetinin oluşturduğu akış zayıftır ve ısı geçişi akışkan boyunca daha çok iletimle gerçekleşir.



Şekil 5. Farklı yan yüzey sıcaklıklarına sahip düşey bir oyukta ( $\tau=90^\circ$ ) hüresel akış [11]

Bu durumda Fourier yasasından yola çıkarak Nusselt sayısı  $Nu_L = 1$  'dir. Rayleigh sayısı arttıkça hüresel akış da hızlanır. Bu esnada yan yüzeylerde ince sınır tabakalar oluşurken orta bölgede akışkan neredeyse durgun halde kalır. Literatürde  $1 < \frac{H}{L} < 10$  oranlarda ortalama  $\overline{Nu}_L$  sayısı için aşağıdaki bağıntı önerilmiştir [11, 13].





$$\overline{Nu}_L = 0.22 \left( \frac{Pr}{0.2+Pr} Ra_L \right)^{0.28} \left( \frac{H}{L} \right)^{-\frac{1}{4}} \quad (18)$$

$$\begin{cases} 2 < \frac{H}{L} < 10 \\ Pr < 10^5 \\ 10^3 < Ra_L < 10^{10} \end{cases}$$

### 1.3.2.2. Zorlanmış Taşınım

Zorlanmış taşınımında akışkan hareketi basınç farkı nedeniyle oluşur. Zorlanmış taşınımında akış, bir fan, pompa ve ya rüzgar gibi bir dış faktörün etkisi ile oluşur. Zorlanmış taşınım iki farklı akım türüne ayrılmaktadır. Bir yüzey üzerinde sınırlandırılmayan serbest bir akışkan var ise dış akış olarak adlandırılır. Akışkan hareketi yüzeyler tarafından sınırlandırılıyor ise bu duruma iç akış denilir.

### 1.3.3. Işınım

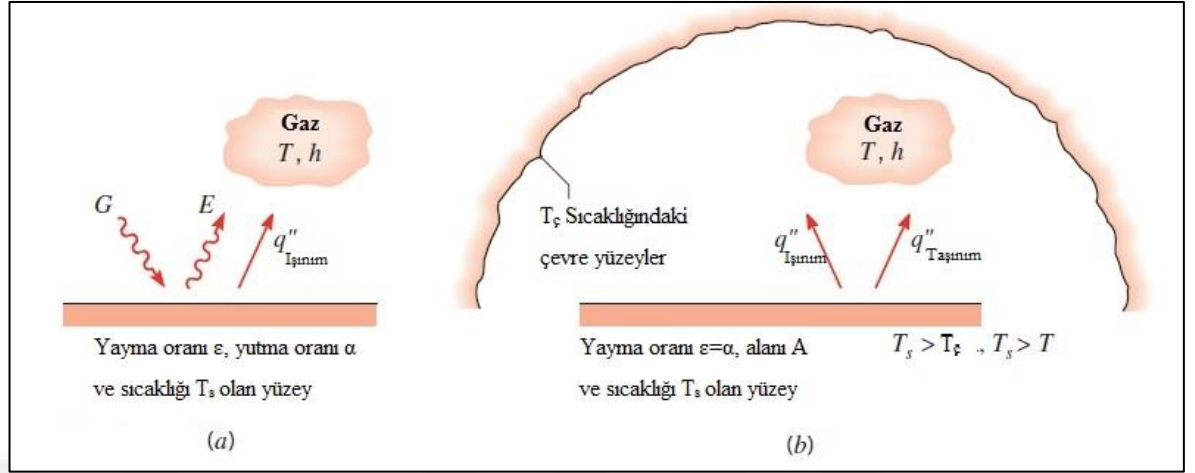
Işınım ile ısı transferi elektromanyetik dalgalar sayesinde enerji yayılımı veya aktarımı ile gerçekleşmektedir. Işınım bu yönü ile diğer ısı transferi çeşitlerinden farklılık göstermektedir. İletim ve taşınımından farklı olarak vakum ortamında da gerçekleşmektedir. Işınım ile ısı transferi sadece sıcaklık farkından kaynaklanmaktadır. Isıl ışınım ile ısı transferi miktarını bulmak için Stephan–Boltzmann ısı ışınım kanunu kullanılmaktadır.

$$q_{yayılan} = (\sigma AT^4) \quad (19)$$

Burada  $T$ ; ideal bir ısı yayıcı ya da siyah yüzey sıcaklığını,  $A$ ; yüzey alanını,  $\sigma$  ise Stephan–Boltzmann sabitini ifade etmektedir. Stephan–Boltzmann sabitinin değeri  $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ . Siyah cisim; siyah karbonla kaplanmış siyah yüzeye sahip parçalar olarak kabul edilmektedir. Bu parçalar ideal siyah yüzeye yakın davranışlar göstermektedir. Diğer yüzeyler (parlak boyanmış, parlatılmış) ideal siyah yüzey kadar enerji yaymasalar da sıcaklıklarından dolayı enerji yayarlar. Bu yüzeylere gri yüzey adı verilir ve aşağıda verilen denklem ile ışınım ile ısı transferi miktarı bulunmaktadır.  $F_\epsilon$  emisivite fonksiyonunu,  $F_G$  şekil faktörü fonksiyonunu belirtmektedir[12].



$$q = F_{\epsilon} F_G \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (20)$$



Şekil 6. Işınım ile ısı alışverişi: (a) bir yüzeyde ve (b) bir yüzey ile daha büyük çevre yüzeyler arasında [11]

Kapalı bir ortamda ışınım ile ısı transferi, bir yüzeyin başka bir yüzeyi kapatacak şekilde yerleştirilmesiyle gerçekleşmektedir. Aşağıda verilmiş olan denklem (21) ile kapalı bir ortamda ışınım ile ısı transferi miktarı hesaplanabilmektedir [12].

$$q = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (21)$$

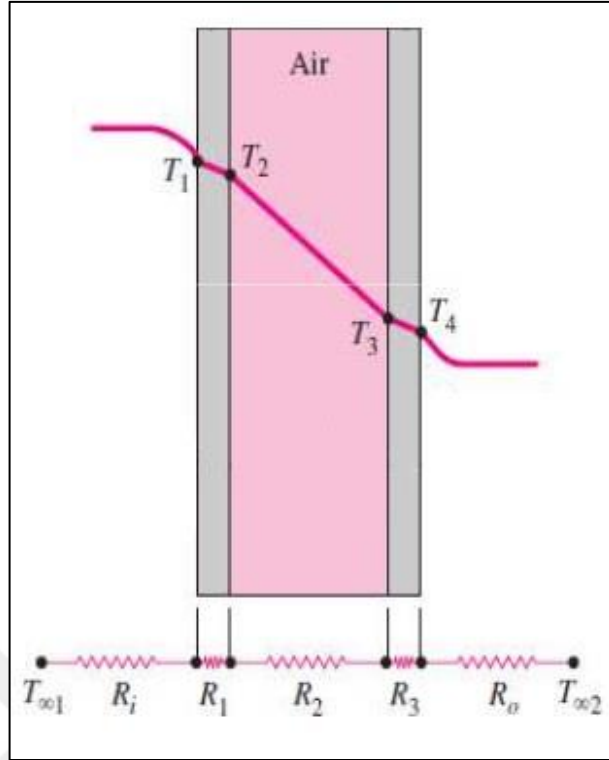
### 1.3.4. Duvar Malzemelerinde Isı Geçişi Hesabı

Yapı duvarları çoğunlukla tabakalı olup, ısı iletkenlikleri farklı olan malzemelerden oluşurlar. Yapı duvarlarındaki ısı geçişi:

$$Q = UA\Delta T \quad (22)$$

bağlantısı ile hesaplanır. Burada  $Q$ ; geçen ısıyı,  $\Delta T$ ; ısı transferi yönündeki sıcaklık farkını ve  $U$  toplam ısı geçirme katsayısını ifade etmektedir. Burada bulunan toplam ısı geçirme katsayısı ( $U$ )denklem (23)'ten elde edilir.





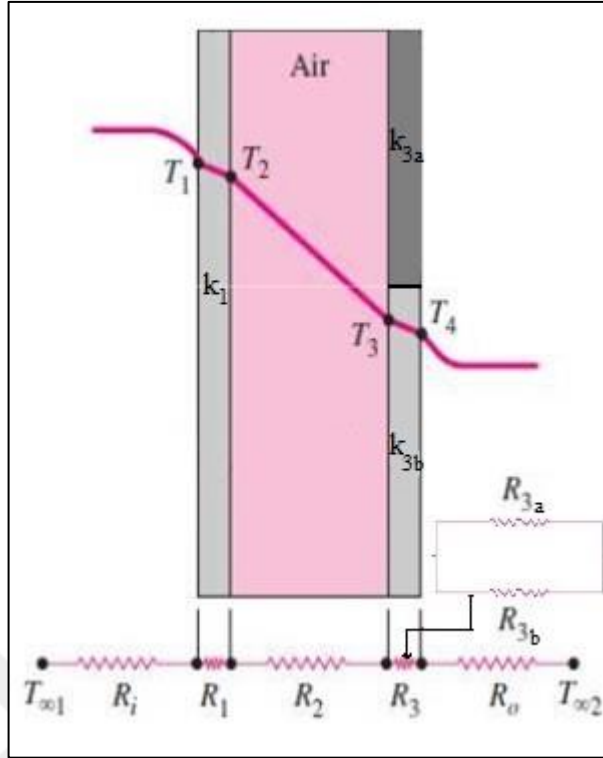
Şekil 7. Boşluk geometrisine sahip seri duvar malzemesi için eşdeğer ısı direnç

$$U = \frac{1}{R_{top}} \quad (23)$$

$$R_{top} = \left[ \frac{L_1}{k} + \frac{1}{h_1} + \frac{L_2}{k} + \frac{1}{h_2} + \dots + \frac{1}{h_n} + \frac{L_n}{k} \right] \quad (24)$$

Burada  $R_{top}$  ; eşdeğer termal direnci,  $L_{(1,2,\dots, n)}$ ; boşlukları ayıran duvar malzemesinin iç duvar kalınlıklarını ve  $k$ ; duvar malzemesinin ısı iletim katsayısını ifade etmektedir. Akışkanın bulunduğu iç geometrideki hava boşluklarının doğal taşınımına bağlı olarak değişen  $h_{(1,2,\dots, n)}$ ; boşluk hücrelerindeki ısı taşınım katsayılarına karşılık gelmektedir.





Şekil 8. Boşluk geometrisine sahip paralel duvar malzemesi için eşdeğer ısı direnç

Paralel katmanlara sahip duvarlar için denklem (25) kullanarak ısı direnç elde edilir.

$$R_3 = \left[ \frac{R_{3a} R_{3b}}{R_{3a} + R_{3b}} \right] \quad (25)$$

#### 1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma kapsamında farklı iç boşluk geometrilerine sahip briket modellerinin toplam ısı geçirme katsayısını belirlemek amacıyla biri simetrik olmak üzere dört farklı iç geometriye sahip duvar briket modeli kullanılmıştır. Deneysel çalışma için bir bina mekânını simüle etmek amacıyla ısı yalıtımlı bir odacık ve bu odacığın bir yüzeyinde ölçümlerin yapılacağı briket modellerinin bulunduğu deney düzeneği kurulmuştur. Briket modellerinin yüzeylerinde bulunan çeşitli noktalarda sıcaklık ölçümleri termoeleman çiftleri yardımıyla yapılmış ve toplam ısı geçirme katsayısı hesaplanmıştır. Bu sayede farklı ısı değerlerinde briket modellerinin içyapı geometrilerinin toplam ısı geçirme katsayısı üzerindeki etkisi elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmaların incelenmesi ile görülmüştür ki asimetrik içyapı geometrisine sahip duvar malzemelerinde ısı geçiş



yönünün değişmesi durumunda toplam ısı geçirme katsayısının nasıl değişebileceği konusunda bir çalışma tespit edilememiştir. Bu tez çalışması kapsamında sınırlı sayıda asimetrik içyapı geometrisine sahip briket modelleri için deneysel bir çalışma yapılmıştır.



## 2. YAPILAN ÇALIŞMA

### 2.1. Deney Düzenegi

#### 2.1.1. Deney Düzeneginde Kullanılan Cihazlar

##### Termoeleman

İki farklı metal alaşımının uçlarının kaynaklanmasıyla oluşturulan sıcaklık ölçü elemanlarına termoeleman adı verilir. Burada kaynak yapılan noktaya sıcak nokta denilirken, açık kalan ve ölçü aletine bağlanacak olan iki uç kısma ise soğuk nokta denilmektedir. Termoelemanda sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından yararlanılarak ölçüm yapılmaktadır. Kaynak yapılan noktanın sıcaklığına bağlı olarak serbest uçlar arasında metal çiftinin özelliğine denk düşen milivoltlar düzeyinde gerilim oluşmaktadır. Bu özellikten yararlanılarak sıcaklık ölçümü gerçekleştirilir [16]. Bu çalışmadaki sıcaklık ölçümlerinde K Tipi bakır-konstant termoeleman kullanılmıştır.

##### Güç Kaynağı

Güç kaynağı bir düzenegin ya da sistemin gereksinim duyduğu enerjiyi sağlamak için kullanılan cihazdır. Ayarlanabilir bir doğru akım (DC) ile çalışan güç kaynağı farklı devrelerin ihtiyaç duyduğu gerilim ve akım değerlerine ayarlanarak istenilen koşullarda güç temin eder. Bu çalışmada ısıtıcı fişeğe güç verme amacıyla (GW Instek GPS-4303) güç kaynağı kullanılmış olup Şekil 9’da görseli mevcuttur.



Şekil 9. Çalışmada kullanılan güç kaynağı



### Multimetre

Çok amaçlı bir ölçü aleti türüdür. Standart parametreler olan akım, direnç ve gerilim dışında frekans, sıcaklık, kapasitans ve birçok parametrenin ölçümü için kullanılmaktadır. Üzerindeki komütatör ile istenilen ölçme değeri seçilip ölçüm yapılmaktadır [17]. Bu çalışmada kullanılmış olan multimetre Şekil 10'da görülmekte olup, termoeleman yardımıyla sıcaklık değerlerini ölçmek amacıyla kullanılmıştır

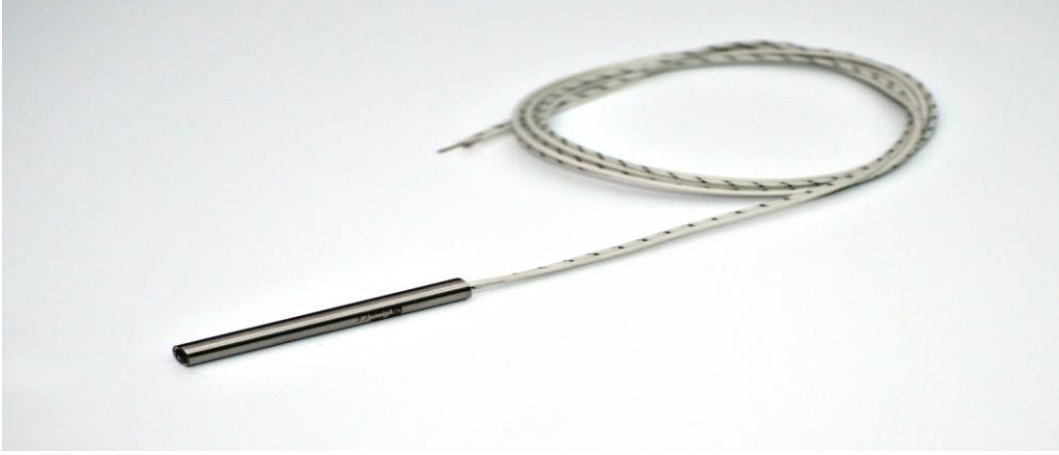


Şekil 10. Multimetre

### Isıtıcı Fişek Rezistans

Fişek rezistans; elektrikli ısıtma gerektiren küçük alanlarda ve kalıplarda yüksek güçlerde kullanılarak güçlü ısıtma oluşturmaktadır. Rezistans telinin tümü fişek rezistansın ekseninde bulunan seramik taşın etrafında eşit hadde aralıkları ile sarılarak magnezyum oksit tozu ile dış boru kılıfından izole edilmiş halde kalibre edilerek üretilmektedir. Rezistans teli ile boru kılıfı arasında ki MgO (Magnezyum Oksit) tozunun inceliğinden dolayı hızlı ve verimli ısı oluşur ve bu sayede daha az enerji ile daha çok ısı elde edilir [18]. Oluşturulan düzenekte kullanılan ısıtıcı AVM 5463/19 T.M model ve 30 V ve 80 W değerlerinde çalışmaktadır. Çalışmada odacığı ısı vermek amacıyla ısıtıcı rezistans kullanılmış olup, Şekil 11'de bir örneği görülmektedir.





Şekil 11. Isıtıcı fişek rezistans

### 2.1.2. Deney Düzeneginde Kullanılan Malzemeler

#### Strafor

Strafor (EPS-Expanded Polistiren) sert köpük petrolden üretilen termoplastik bir yalıtım malzemesidir. Bünyesinde bulunan çok sayıdaki ( $1 \text{ m}^3$  EPS de 3-6 milyar) küçük kapalı gözenekli hücrelerinde durgun hava hapsolmuştur. Isı yalıtımını bu gözenekler mükemmel hale getirir. Isı yalıtımında en iyi yalıtımını sağlayan EPS ayrıca öteki malzemelerden ekonomik olması nedeni ile tercih edilmektedir. Straforun ısı iletim katsayısı  $0,039 \text{ W/m.K}$  'dir. Deney düzeneğindeki yalıtımlı odacığın altı yüzünde bu malzeme kullanılmıştır.

#### Alçı

Alçı taşının pişirilip, toz haline getirilip  $158^\circ\text{C}$  derecede pişirilmesinden elde edilen alçı, kimyasal bir bileşik olan kalsiyum sülfat hemihidrat'ın ısıtılıp, kurumaya bırakıldığında hızlıca donan, beyaz renkli ince bir toz maddedir. Alçı yangına dayanıklı, hafif ve kolay şekil alabilen ve ısı yalıtımı sağlayan bir malzemedir. Alçının ısı iletim katsayısı  $0,35 \text{ W/mK}$ 'dir [19]. Bu çalışmada alçı yalıtımlı odacıkta sızdırmazlık sağlamak amacıyla iç yüzey kaplaması olarak kullanılmıştır.

#### PVC (Dekota)

PVC (Dekota) levha rijit PVC levhanın bir türevidir. Aralarındaki fark yoğunluğunun daha düşük olmasıdır. Bu işlem Toz PVC hammaddesinin içine ajan denilen kimyasallar homojen bir biçimde karıştırılarak ve çekme hattında işlenerek gerçekleştirilmektedir. Piyasada Dekota veya Foreks adlarıyla da bilinmektedir. Önceliği açık hava reklam sektörü





olmak üzere inşaatlarda da sıklıkla kullanılan çok amaçlı bir üründür. Bu çalışmadaki model duvar briketlerinin yapımında kullanılmıştır.

#### Silikon

Silikon su yalıtımı, dolgu ve yapıştırma malzemesi olarak kullanılmaktadır. İnşaatlarda, yapılarda ve binalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sahip olduğu yüksek performanstan ve sızdırmazlık kalitesinden dolayı tercih edilmektedir. Silikon içeriğindeki yapı malzemelerinden dolayı kolay ve güçlü bir biçimde mevcut alana yapışabilmektedir. Birçok gözenekli ve gözeneksiz yapılarda herhangi bir astara ihtiyaç duyulmadan sorunsuz yapışma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca hiçbir inşaat malzemesi ile reaksiyona girmez ve mevcut alanda aşındırma yapmamaktadır. Silikon -60 ve +180 dereceye kadar dayanıklıdır [20]. Deney düzeneğinde yalıtımlı odacığı oluşturan strafor levhaları birbirine yapıştırma amacıyla kullanılmıştır.

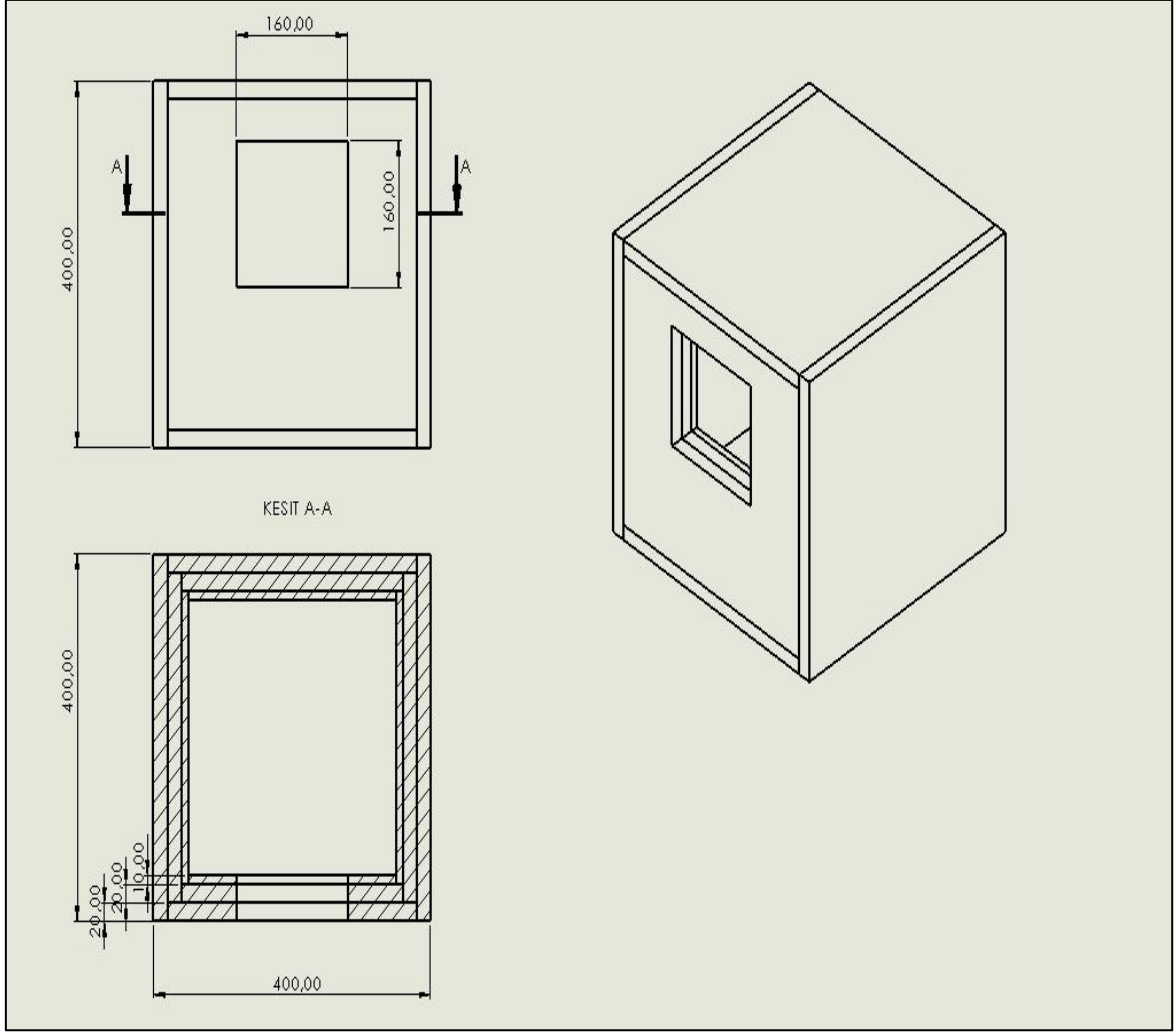
#### Hızlı Yapıştırıcı

Hızlı yapıştırıcı metal, ahşap, plastik gibi birçok yüzey ile uyumlu olup bu yüzeyleri birbiri ile kolayca yapıştırmaktadır. Hızlı Yapıştırıcı iki bileşenli yapısıyla son derece güçlü ve kaliteli bir yapıştırıcıdır. Siyanoakrilat bazlı bu yapıştırıcı; hızlı, kolay ve sağlam yapıştırma sağlayan bir adet yapıştırıcı ve bir adet yapıştırıcı aktivatör spreyden oluşmaktadır. PVC'den yapılmış model briketlerdeki levhaların yapıştırılmasında bu yapıştırıcı kullanılmıştır.

### 2.1.3. Yalıtımlı Odacık

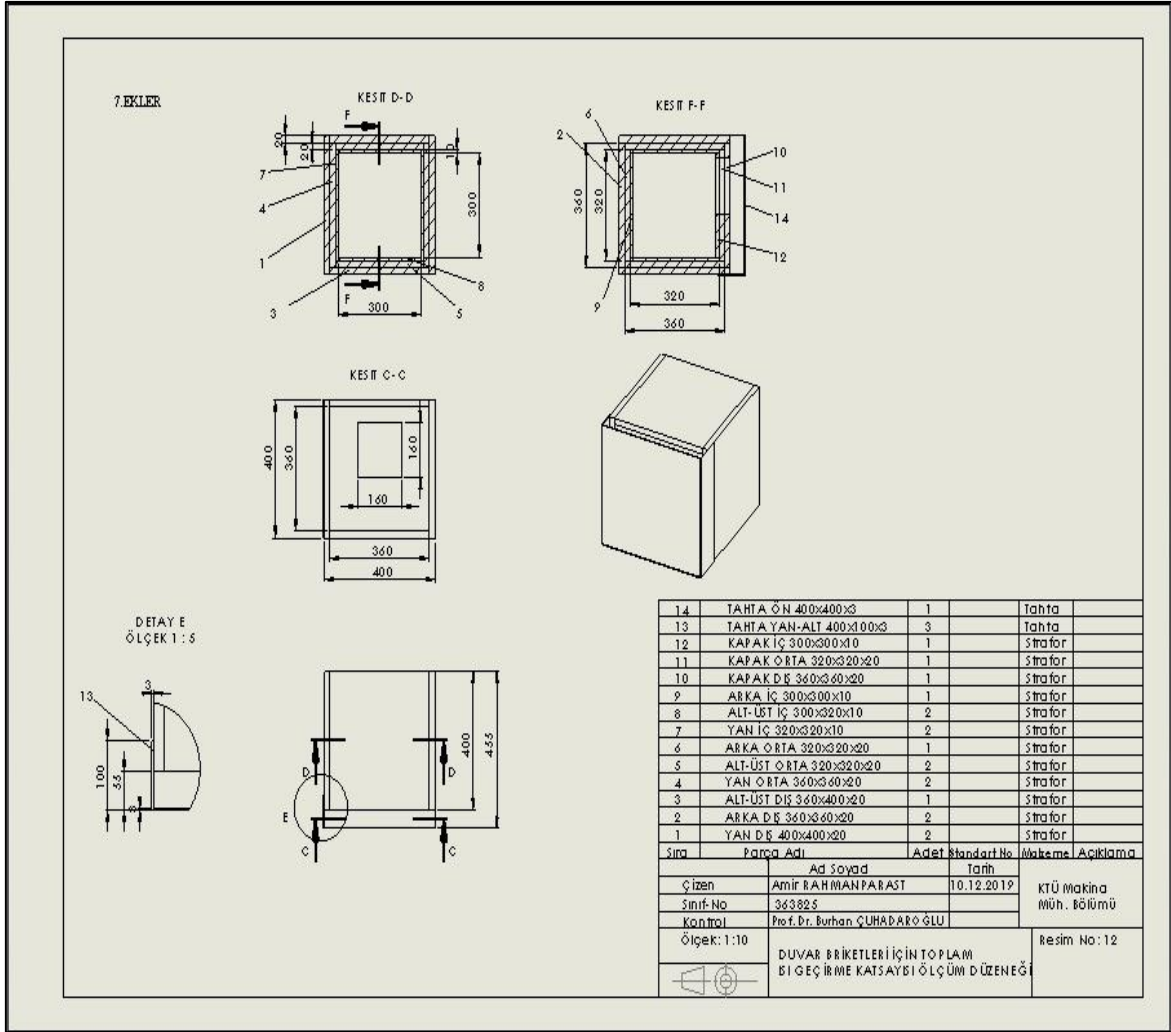
Toplam ısı geçirme katsayısı ölçümü yapılacak olan duvar briket modellerinin sabit ısı akısı altında deneye tabi tutulması için boyutları 400x400x400 mm olan küp şeklinde yalıtımlı bir odacık Solidworks'ta tasarlanmıştır. Tasarlanan odanın teknik çizimleri Şekil 12 ve 13'de görülmektedir. Tüm odacık; içerisinde üretilen ısının tamamının sadece odacığın bir yüzünde yer alan deney örneğinden geçebilmesi için strafor ısı yalıtım malzemesinden yapılmıştır.





Şekil 12. Yalıtımlı odacığın kesit ve perspektif görünüşleri





Şekil 13. Odacık ve kapağın montaj görünümü

Solidworks'da tasarlanan yalıtımlı odacığın imalatı için stroforlar lazer kesim tekniği ile belirlenen ölçülerde kesilmiştir. Odacığın bir yüzeyinin üst kısmında deney örneğinin yerleştirilmesi için Şekil 14'de gösterildiği gibi 160x160x50 mm ölçülerinde kare şeklinde kesme işlemi yapılmıştır.





Şekil 14. Deney örneğinin yerleştirildiği yüzey

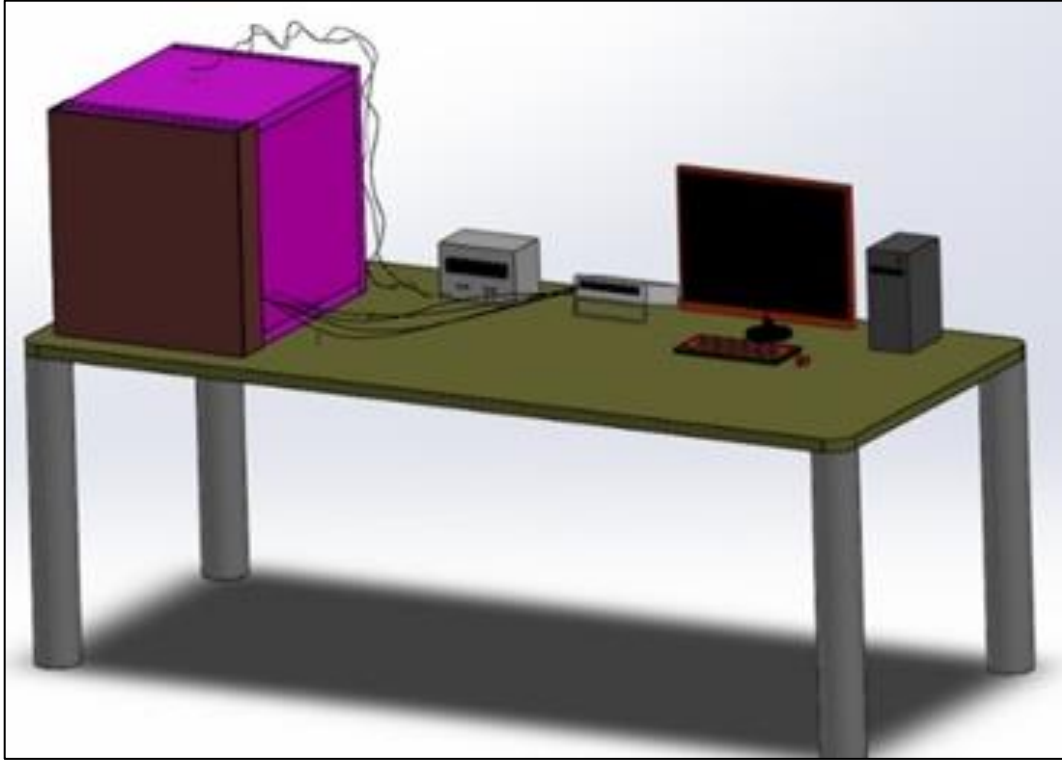
Deney örneğinin yerleştirildiği yüzey dışındaki diğer yüzeyler alçı malzeme ile kaplanarak yüzeylerde mutlak yalıtım sağlanması amaçlanmıştır. Bu nedenle hazne hacim merkezine yerleştirilen ısıtıcıdan gelen tüm ısı enerjisinin kablo kayıpları göz ardı edilerek duvar malzemesinden geçtiği kabul edilmektedir (Şekil 15)



Şekil 15. İç yüzeyleri alçı kaplanmış odacık

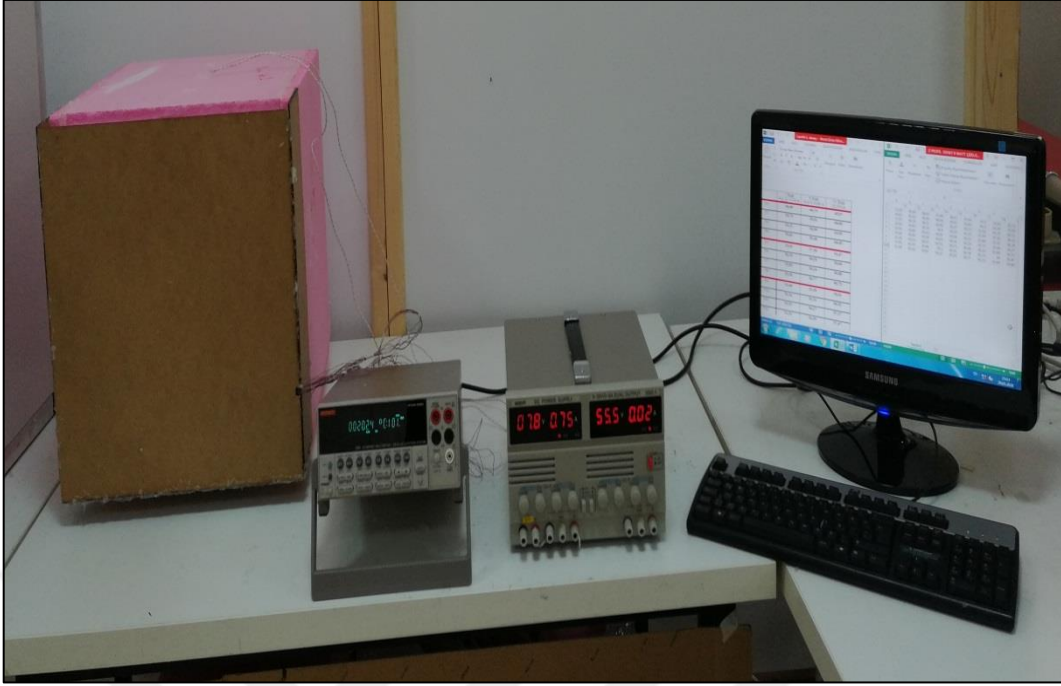


Deneyde kontrollü ısı geçişi sağlamak amacıyla ısıtıcı fişeğin bağlandığı akım ve voltaj değerleri ayarlanabilir bir güç kaynağı kullanılmıştır. Güç kaynağına bağlı bulunan ısıtıcı fişeek, odacığın st yüzeyinde yalıtıma uygun ölçülerde açılmış olan dairesel kesitli boşluktan odacığın iç kısmına yerleştirilmiştir. Oluşturulan farklı i geometrilere sahip deney rneği ısı gücünün sabit tutulduğu odacığa, odanın bir duvarı olacak şekilde bir yüzeyde 160x160x50mm ölçülerde hazırlanmış olan kare kesitli boşluğa yerleştirilmiştir. Deney örneğinin konumlandırıldığı odacık duvarı, odacığa yerleştirilirken ısı yalıtımını sağlamak amacıyla duvarın kenar boşlukları silikon yardımıyla doldurulmuştur. Deney örneğinin dış ortama açık yüzeyinde yapılacak sıcaklık ölçülerinin oluşabilecek hava sirkülasyonundan etkilenmesini önlemek için, dış ortam ile hava akışı ilişkisi plaka vasıtasıyla engellenerek ortadan kaldırılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünümleri şekil 16 ve 17'de sunulmuştur.



şekil 16. Deney düzeneğinin sanal görünümü





Şekil 17. Deney düzeneğinin görünümü

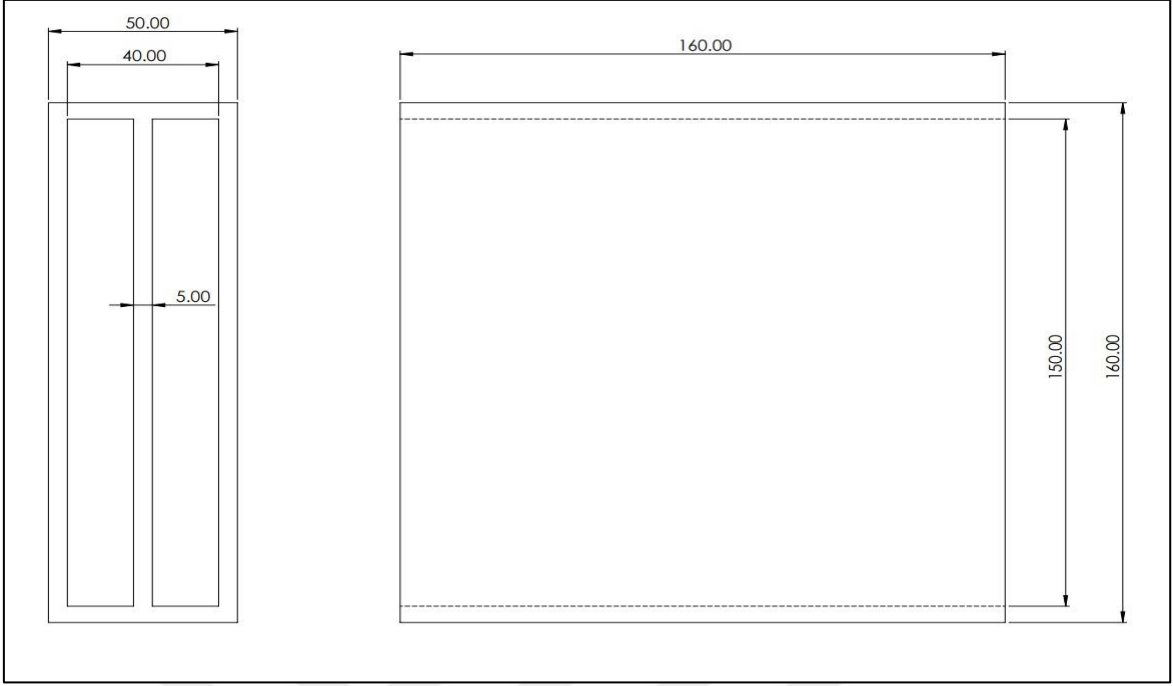
Kabuller:

- Sistem içerisindeki duvarlarda mutlak yalıtım kabulü yapılmıştır . Isıtıcıdan çıkan ısının tamamını tuğla yüzeylerinden geçtiği kabul edilmiştir.

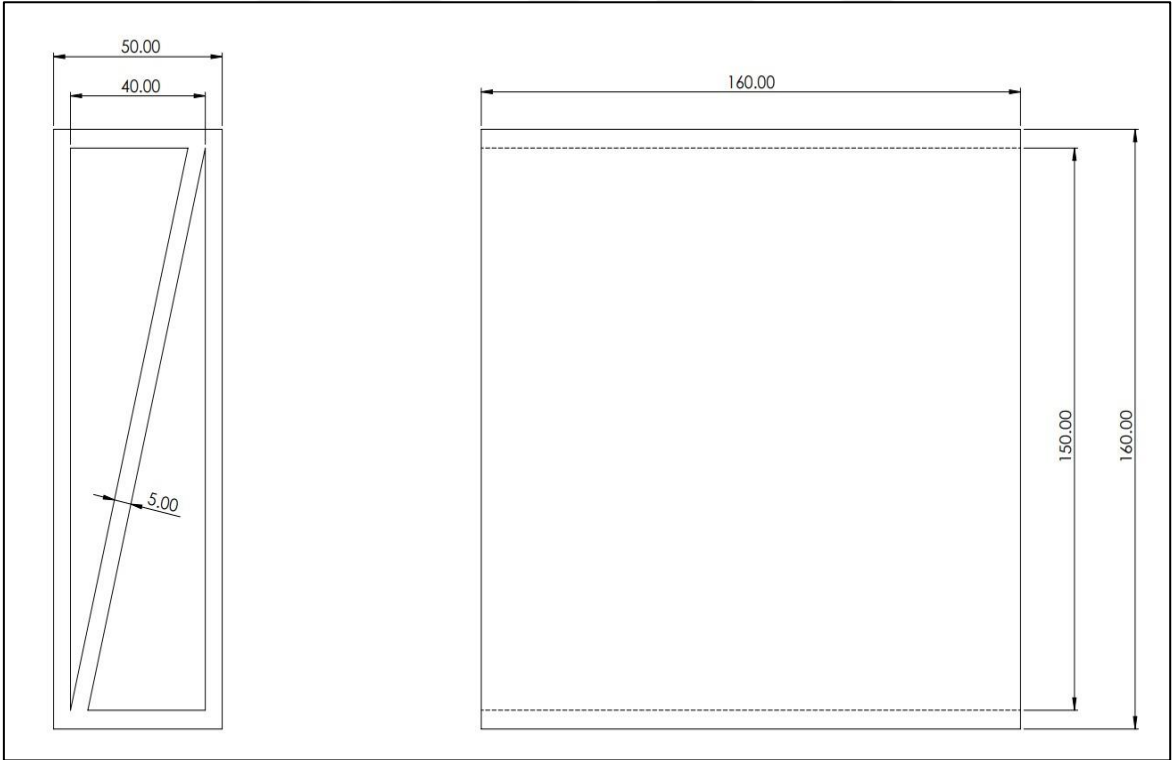
## 2.2. Deneysel Çalışma Modelleri

Deneysel çalışma yapmak için dört farklı iç geometriye sahip deney örneği Solidworks programı ile modellenmiştir. Deney örneklerinin iç tasarımı; farklı eğim açılara sahip çapraz ayırıcı ile oluşturulmuş iki bölümlü asimetrik briket modelleri şeklinde modellenmiştir. Asimetrik geometrilere sahip modeller, simetrik I profilli deney örneğinden elde edilen bulgular ile kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında üzerinde toplam ısı geçirme katsayısı ölçümleri yapılmış olan örneklere ait içyapı geometrileri ve ölçüler Şekil 18, 19, 20 ve 21’de görülmektedir.



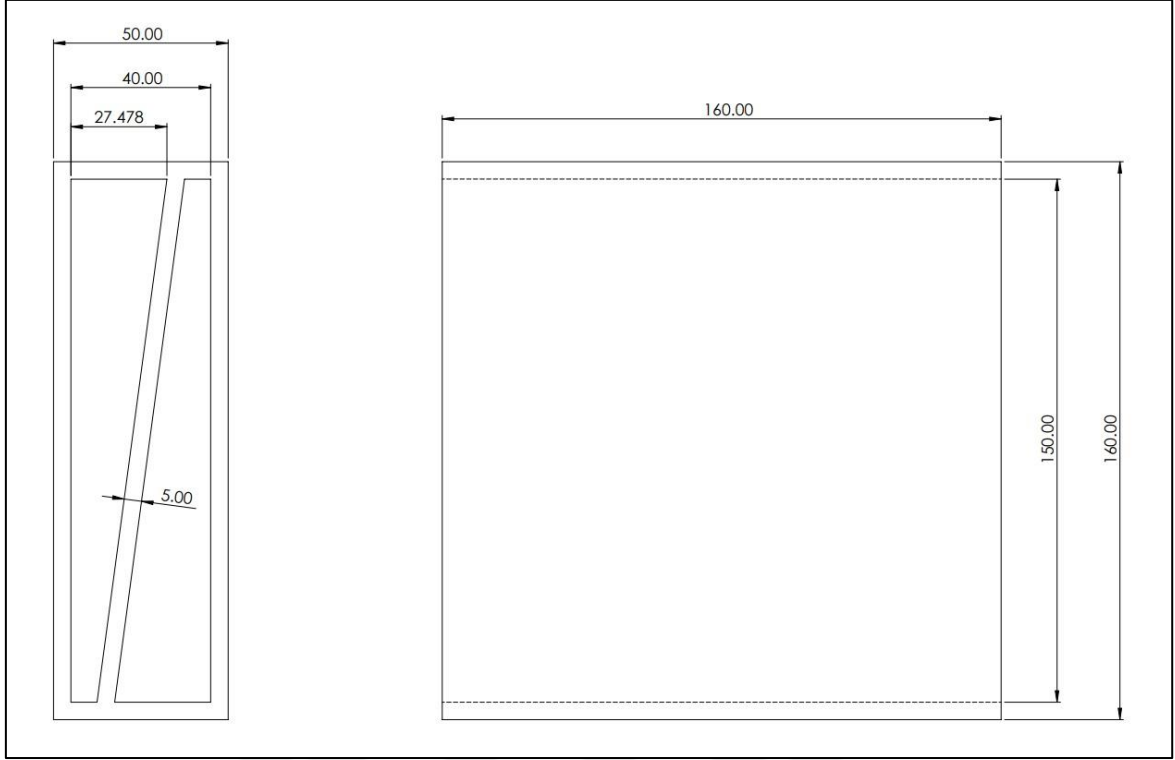


Şekil 18. I Profilli briket modeli

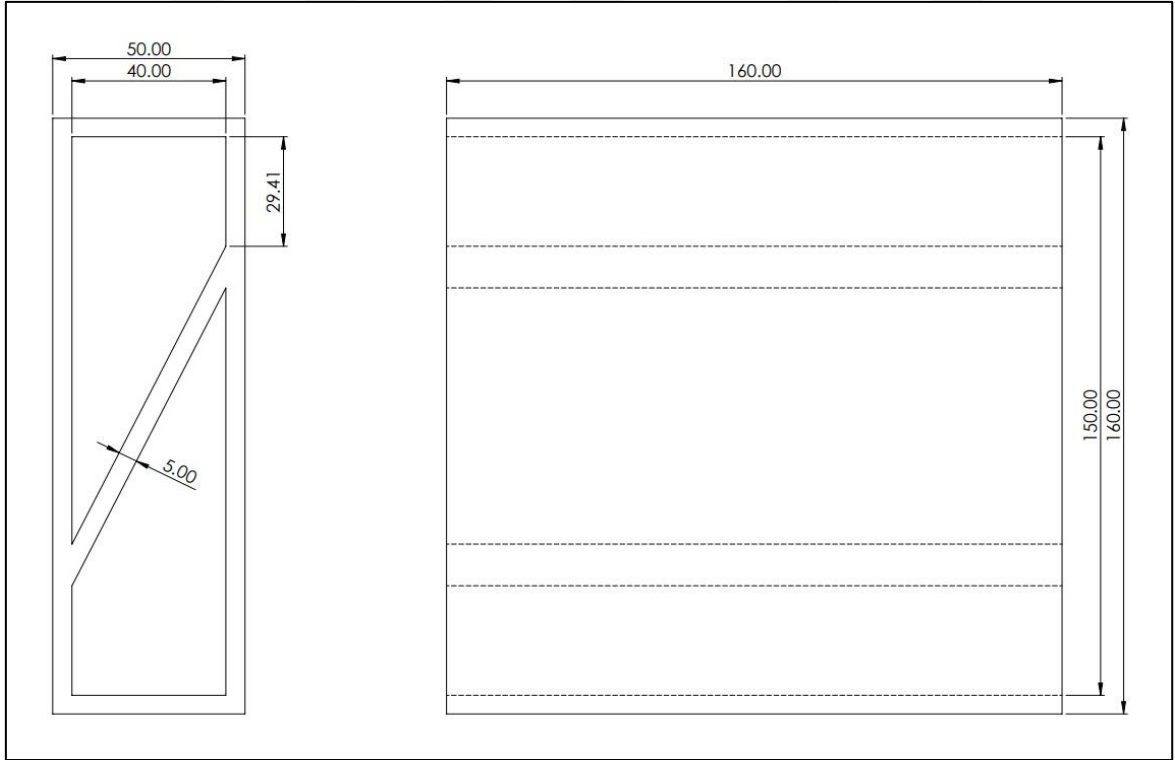


Şekil 19. Z1 Profilli briket modeli





Şekil 20. Z2 Profilli briket modeli





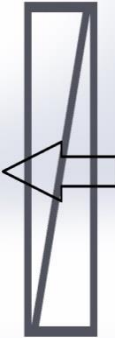
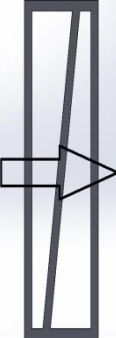



Şekil 21. Z3 Profilli briket modeli





Çalışmada kullanılan 4 farklı briket modeli (deney örneği) için ısı geçiş yönüne bağlı olarak (Left-Right) yapılmış olan kodlama Tablo 1’de görülmektedir. Buna göre I profili simetrik geometriye sahip olduğundan ısı geçiş yönü ayırımına gerek göstermez iken diğer asimetrik geometriye sahip profiller için soldan sağa (LR) ve sağdan sola (RL) ayırımı yapılmıştır.

Tablo 1. Deney yapılan örneklere ait kodlama

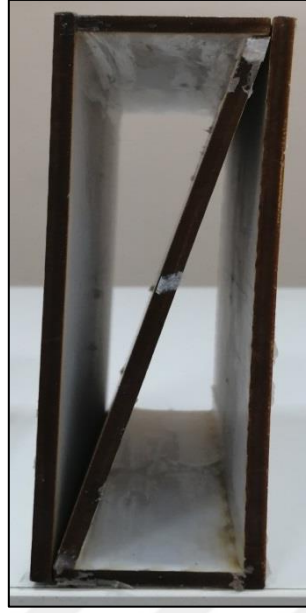
I	Z1		Z2		Z3	
	Z1-LR	Z1-RL	Z2-LR	Z2-RL	Z3-LR	Z3-RL
						

Deney örnekleri PVC (Dekota) malzeme kullanılarak lazer kesme tekniği ile ölçülere uygun olarak yapılan kesim işlemi sonrasında plakalrın hızlı yapıştırıcı ve silikon ile yapıştırılması yöntemi ile üretilmiştir. Bu şekilde üretilmiş olan deney örneklerine ait görseller Şekil 22’de görülmektedir.

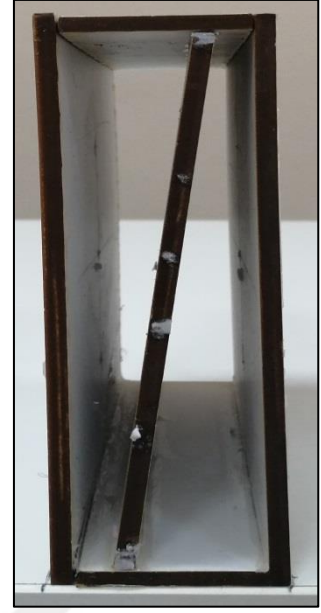




a) I Profili



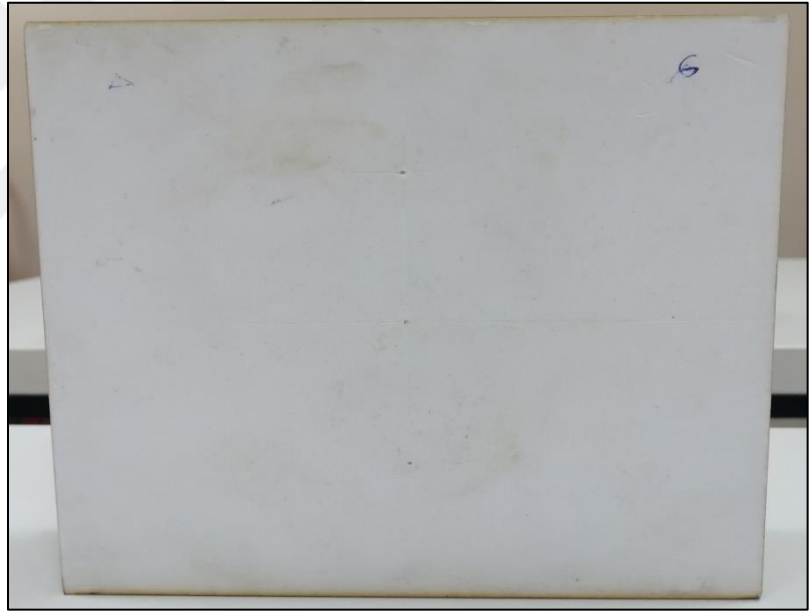
b) Z1 Profili



c) Z2 Profili



d) Z3 Profili



e) Yan görünüş

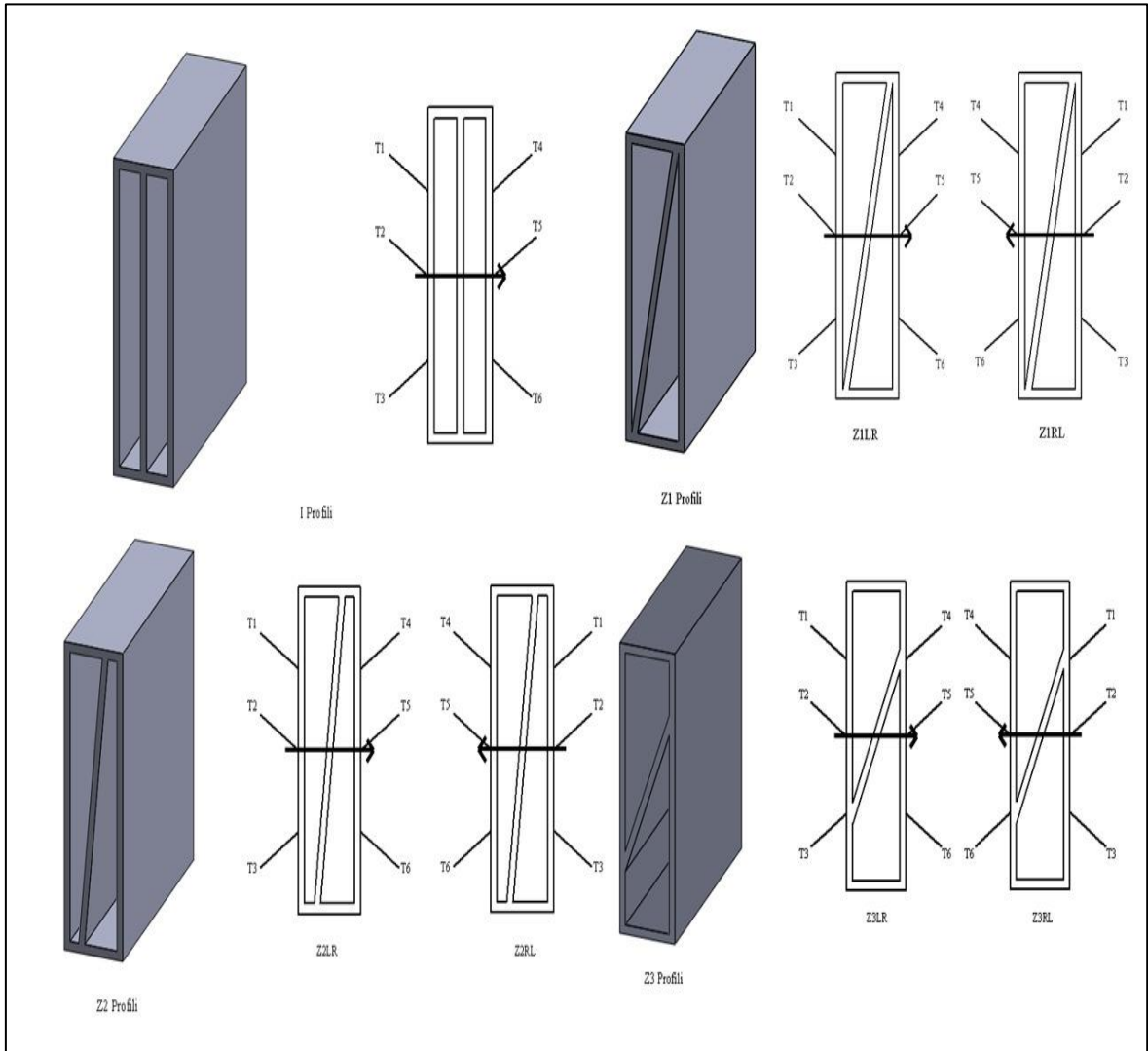
Şekil 22. Deneysel çalışma yapılan örnekler

### 2.2.1. Ölçüm Noktaları

Oluşturulan deney örneklerinin her yüzeyinde üç farklı noktada sıcaklık ölçümleri yapılacak şekilde termoelemanların kaynak edilmiş uçları yüzey üzerinde konumlandırılmıştır. K tipi termoelemanların kullanıldığı ölçüm sisteminde, toplam 6 ölçüm noktasında okunan gerilim değerleri kullanılan bir okuyucu kart ile multimetreye ve



oradan da bilgisayara aktarılmış ve °C cinsinden sıcaklık olarak kaydedilmiştir. Termoelemanlar deney örneği modelin yüzey ortasındaki düşey ekseninde biri tam merkezde, diğer ikisi de bu noktanın üst ve altında 40 mm uzaklıkta yüzeye temas edecek şekilde konumlandırılmak suretiyle okunmuş olan sıcaklıklardan ortalama yüzey sıcaklıklar elde edilmiştir. Sıcaklığın ölçüldüğü noktaların konumları Şekil 23 ve 24'de görülmektedir.



Şekil 23. Deney örneklerinin yüzeylerindeki termoelemanların konumları





Şekil 24. Deney örneği yüzeyinde termoelemanların bağlantısı

Numaralandırılmış termoelemanların kaynaklanmamış diğer uçları sıcaklık ölçümlerini elde etmek amacıyla multimetre içerisindeki okuyucu kart üzerine uygun sıra ve renk dizisine göre Şekil 25'te gösterildiği gibi bağlanmıştır.



Şekil 25. Termoelemanların okuyucu karta bağlantısı



### 2.3. Belirsizlik Analizi

Yapılan deneysel çalışmada ölçülen güç ve sıcaklık hatalarını elde etmek için belirsizlik analizi yöntemi kullanılmıştır. Pratikte deneye ait hata oranlarını elde etmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Deneysel bulguların hata analizi için belirsizlik analizi adı verilen hassas bir yöntem Kline ve McClintock tarafından ortaya atılmıştır [15]. Bu yöntemde ölçülmesi gereken büyüklük  $R$ , bu büyüklüklere etki eden  $n$  adet bağımsız değerler ise  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  olsun. Bu durumda

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (25)$$

formunda olur. Her bir değişkene ait hata oranları;  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  ve  $R$  hata oranı  $w_R$  ise

$$w_R = \left[ \left( \frac{\delta r}{\delta x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\delta r}{\delta x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\delta r}{\delta x_n} w_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

şeklinde verilmektedir.

Deney düzeneğinde kullanılan K tipi termoelemanların hata oranları üretici firma tarafından  $\pm 1.1$  °C olarak verilmektedir. Mültimetre cihazı için hata oranı  $\pm 1$  °C olarak verilmektedir. Kullanılan güç kaynağının verdiği değerlerin hata oranı ise firma tarafından %0.5 olarak belirlenmektedir. Denklem (26) ele alarak sadeleştirirsek sıcaklık için;

$$w_T = [(w_1)^2 + (w_2)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

burada  $w_1$ ; termoeleman hata oranı ,  $w_2$ ; mültümetre hata oranı ve  $w_T$  ise yapılan sıcaklık ölçümlerinin belirsizliğidir. Denklem (27) kullanarak yapılan sıcaklık ölçümlerinin belirsizliği 1.486 °C olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler denklem (26)'da yerine yazıldığında belirsizlik % 5.31 olarak belirlenmiştir.



### 3. BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1. Yüzey Sıcaklığı Ölçümleri

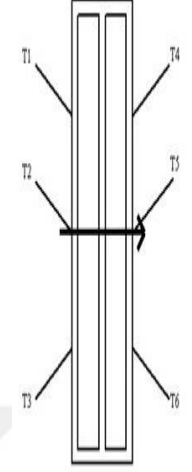
Deneysel çalışmada yalıtımlı odacık içerisindeki ısıtıcının 7, 9 ve 12 W değerlerindeki  $\dot{Q}$  ısı güç değerleri için deney örneklerinde yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Her iki yüzeydeki 3 farklı noktada yapılan sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak bu değerler ile toplam ısı geçirme katsayısı hesabı yapılmıştır. Toplam ısı geçirme katsayısı hesabında Denklem (23)'den yararlanılarak elde edilen  $U = Q/(A\Delta T)$  bağıntısı kullanılmıştır. Burada yer alan  $A$ ; deney örneği yüzey alanı olup,  $A=0.16 \text{ m} \times 0.16 \text{ m} = 0.0256 \text{ m}^2$  olarak göz önüne alınmıştır.  $\Delta T$  sıcaklık farkı hesabında her bir yüzeyde yapılmış olan 3 sıcaklık ölçüm değerinin ortalamalarının farkı göz önüne alınmıştır. Deney örnekleri üzerinde yapılmış olan yüzey sıcaklığı ölçümleri Tablo 2'den Tablo 8'e kadar olan tablolarda detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2'de simetrik I profili için olan yüzey sıcaklık değerleri, profilin üst tarafından tabanına doğru gidildikçe beklentiye uygun olarak sıcaklığın her iki yüzeyde de hafice düşmekte olduğunu göstermektedir. Aynı davranış diğer profiller için yapılmış olan sıcaklık ölçümlerinde de ağırlıklı olarak ortaya çıkmıştır.



Tablo 2. I Profili için yüzey sıcaklıkları ve  $U$  değerleri

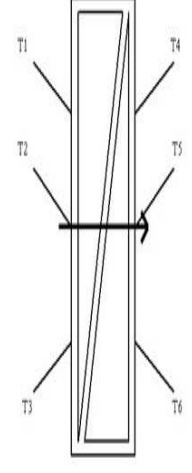
Yüzey Sıcaklığı (°C)	$\dot{Q}$ (W)		
	7	9	12
$T_1$	36.69	40.73	45.97
$T_2$	35.73	39.61	44.6
$T_3$	35.21	38.99	43.85
$T_{L-ORT}$	35.88	39.78	44.81
$T_4$	26.37	27.43	28.12
$T_5$	25.68	26.55	27.05
$T_6$	25.29	26.05	26.39
$T_{R-ORT}$	25.78	26.68	27.19
$\Delta T = T_{L-ORT} - T_{R-ORT}$	10.10	13.10	17.62
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	27.07	26.84	26.60



Tablo 3 ve 4'te yer alan sıcaklık değerleri Z1 olarak kodlanmış olan tam köşegenli profile ait değerleri göstermektedir. Her iki tablodaki değerlerin kıyaslanması ile görülmektedir ki; sağdan sola olan ısı geçişindeki ortalama sıcaklıklar farkı soldan sağa doğru olan ısı geçişine göre artış göstermektedir.

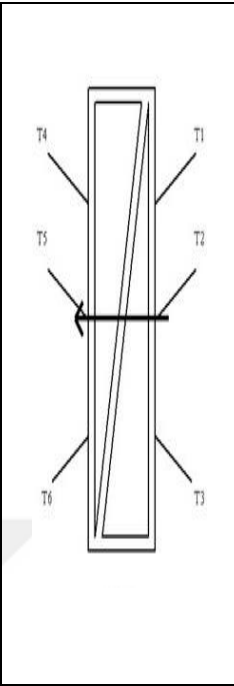
Tablo 3. Z1-LR Profili için yüzey sıcaklıkları ve  $U$  değerleri

Yüzey Sıcaklığı (°C)	$\dot{Q}$ (W)		
	7	9	12
$T_1$	35.14	40.45	45.9
$T_2$	35.64	39.87	45.22
$T_3$	35.33	39.52	44.77
$T_{L-ORT}$	35.37	39.95	45.30
$T_4$	25.25	26.43	27.19
$T_5$	25.07	26.21	26.98
$T_6$	24.9	25.97	26.65
$T_{R-ORT}$	25.1	26.20	26.94
$\Delta T = T_{L-ORT} - T_{R-ORT}$	10.63	13.74	18.36
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	25.23	25.58	25.54




Tablo 4. Z1-RL Profili için yüzey sıcaklıkları ve  $U$  değerleri

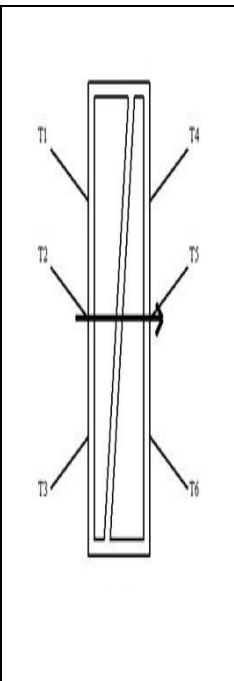
Yüzey Sıcaklığı (°C)	$\dot{Q}$ (W)		
	7	9	12
$T_1$	36.41	40.45	46.26
$T_2$	35.96	39.89	45.56
$T_3$	35.51	39.26	44.7
$T_{R-ORT}$	35.96	39.87	45.51
$T_4$	25.28	26.19	27.06
$T_5$	25.24	26.01	26.97
$T_6$	24.76	25.28	26.18
$T_{L-ORT}$	25.1	25.83	26.74
$\Delta T = T_{R-ORT} - T_{L-ORT}$	10.87	14.04	18.77
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	25.16	25.04	24.97



Tablo 5 ve 6'da yer alan sıcaklık değerleri Z2 olarak kodlanmış olan düşeye yakın köşegenli profile ait değerleri göstermektedir. Tablo değerleri göstermektedir ki; ortalama sıcaklıklar farkı tam köşegenli durumdakine benzer şekilde sağdan sola doğru olan ısı geçişinde, soldan sağa doğru olan ısı geçişine göre artış göstermektedir.

Tablo 5. Z2-LR Profili için yüzey sıcaklıkları ve  $U$  değerleri

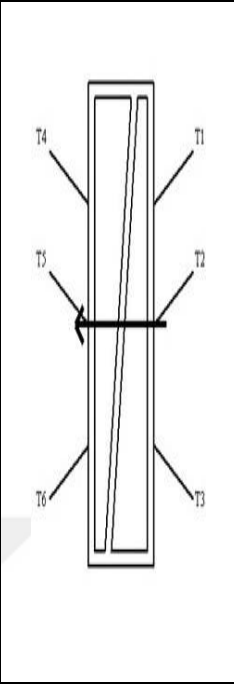
Yüzey Sıcaklığı (°C)	$\dot{Q}$ (W)		
	7	9	12
$T_1$	34.94	37.73	46.49
$T_2$	34.38	37.03	45.62
$T_3$	34.14	36.7	45.18
$T_{L-ORT}$	34.49	37.15	45.76
$T_4$	24.01	23.46	27.3
$T_5$	23.16	22.35	25.67
$T_6$	23.24	22.32	25.71
$T_{R-ORT}$	24.47	22.71	26.23
$\Delta T = T_{L-ORT} - T_{R-ORT}$	11.02	14.44	19.54
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	24.82	24.34	23.99






Tablo 6. Z2-RL Profili için yüzey sıcaklıkları ve  $U$  değerleri

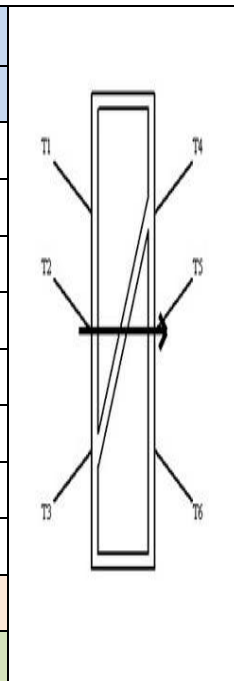
Yüzey Sıcaklığı (°C)	$\dot{Q}$ (W)		
	7	9	12
$T_1$	36.76	40.46	46.41
$T_2$	35.87	39.4	45.14
$T_3$	35.66	39.13	44.81
$T_{R-ORT}$	36.1	39.66	45.45
$T_4$	25.12	25.31	26.1
$T_5$	24.51	24.61	25.21
$T_6$	24.6	24.87	25.33
$T_{L-ORT}$	24.74	24.93	25.55
$\Delta T = T_{R-ORT} - T_{L-ORT}$	11.35	14.74	19.91
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	24.09	23.85	23.55



Tablo 7 ve 8'de ise Z3 olarak kodlanmış olan ve yataya yakın köşegenli profile ait olan yüzey sıcaklık değerleri görülmektedir. Tablo değerleri göstermektedir ki; ortalama sıcaklıklar farkı diğer profillerin tersine, soldan sağa doğru olan ısı geçişinde sağdan sola doğru olan ısı geçişine göre artış göstermektedir.

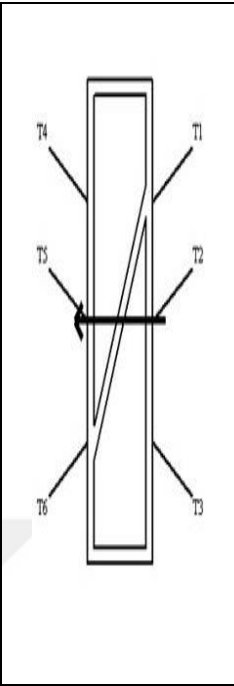
Tablo 7. Z3-LR Profili için yüzey sıcaklıkları ve  $U$  değerleri

Yüzey Sıcaklığı (°C)	$\dot{Q}$ (W)		
	7	9	12
$T_1$	36.38	39.97	46.24
$T_2$	36.08	39.81	46.03
$T_3$	35.12	38.69	44.5
$T_{L-ORT}$	35.86	39.49	45.59
$T_4$	27.09	27.92	29.94
$T_5$	25.85	26.38	27.83
$T_6$	25.22	25.61	26.82
$T_{R-ORT}$	26.05	26.64	28.2
$\Delta T = T_{L-ORT} - T_{R-ORT}$	9.81	12.85	17.4
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	27.88	27.35	26.95




Tablo 8. Z3-RL Profili için yüzey sıcaklıkları ve  $U$  değerleri

Yüzey Sıcaklığı (°C)	$\dot{Q}$ (W)		
	7	9	12
$T_1$	34.79	38.64	45.14
$T_2$	34.28	38.34	44.67
$T_3$	33.39	37.84	43.30
$T_{R-ORT}$	34.15	38.27	44.37
$T_4$	25.55	26.43	28.55
$T_5$	24.21	25.58	27.32
$T_6$	23.91	25.01	26.25
$T_{L-ORT}$	24.56	25.67	27.37
$\Delta T = T_{R-ORT} - T_{L-ORT}$	9.6	12.6	17
$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	28.5	27.90	27.58



Yüzey sıcaklık ölçümlerine ait bulgular göstermektedir ki; çalışma kapsamında göz önüne alınmış asimetrik geometriye sahip iç boşluklu duvar briket modellerinin her iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı, geometrik yapıya ve ısı geçiş yönüne bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca; modellerden geçen ısının artması ile birlikte her durumda yüzey sıcaklıkları arasındaki farkın da artmakta olduğu belirlenmiştir. Ortaya çıkan değişimlerin kıyaslanabileceği referans olarak simetrik iç boşluk geometrisine sahip I profilli model göz önüne alındığında şu bulgulara ulaşılmıştır:

1. Her iki yüzeydeki sıcaklık farkları ile içyapı geometrisi arasındaki ilişki gözden geçirildiğinde görülmektedir ki; içyapıyı bir köşegen olarak bölen levhanın tabanla yapmış olduğu açının belirli bir değerinde sıcaklık farkı en yüksek değerini almaktadır. Nitekim tam köşegene sahip Z1 profilindeki sıcaklık farkı simetrik I profiline göre biraz artmakta, taban açısı Z1 profilinden biraz daha yüksek olan Z2 profilindeki sıcaklık farkı da Z1 profiline göre biraz daha yüksek olmaktadır. Sonuç itibarıyla yüzeyler arasındaki sıcaklık farkını en yüksek değerine çıkaracak olan bir köşegen geometrisinin Z2 ve I profili arasında olabileceği anlaşılmaktadır.

2. Çalışmada yapılmış olan sıcaklık ölçümleri ile anlaşılmıştır ki; asimetrik iç boşluk geometrisine sahip profillerde yüzey sıcaklıkları arasındaki fark ısı geçiş yönüne de bağlıdır. Nitekim Z1 ve Z2 profilleri için bu çalışmada yapılmış olan kodlama esas alındığında; ısı geçiş yönünün sağdan sola olması durumunda ölçülen sıcaklık farkları ısı



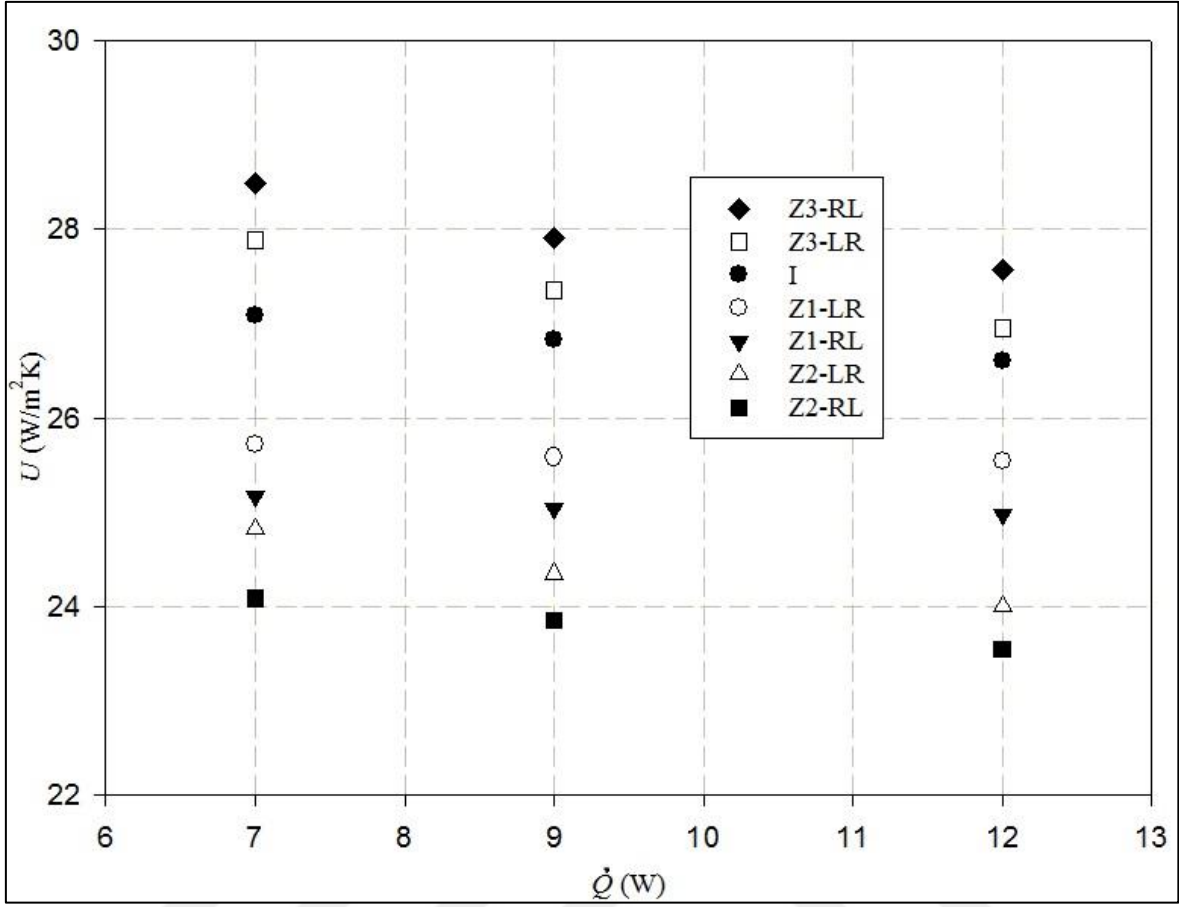
geçişinin soldan sağa olması durumuna göre daha yüksek iken; Z3 profilinde ise ısı geçişinin soldan sağa olması durumundaki yüzey sıcaklık farkları, sağdan sola doğru olan ısı geçişine göre daha yüksektir. Bu bulgu ısı geçiş etkisinde kalan asimetrik içyapı geometrisine sahip modellerin içyapı boşluklarında ortaya çıkan doğal taşınım mekanizmasının bu yönü ile ayrıca incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

### 3.2. Toplam Isı Geçirme Katsayısı

Deneysel çalışmada göz önüne alınmış olan 4 deney örneği üzerinde 7 farklı durumda ve 3 farklı ısı güç değerinde yapılmış olan yüzey sıcaklık ölçümlerine bağlı olarak  $U$  toplam ısı geçirme katsayıları hesaplanmış ve yukarıda yer alan Tablo 2'den 8'e kadar olan tablolarda verilmiştir. Yapı bileşenlerinde ısı performans değerlendirmede  $U$  değeri önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır. Toplam ısı geçirme katsayısında ortaya çıkabilecek olan belirli düzeydeki değişim doğrudan doğruya ısı enerjisinden tasarruf ve çevresel etkiler açısından olumlu sonuçlar anlamına gelmektedir. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında göz önüne alınmış olan örnek asimetrik içyapıya sahip modellerin toplam ısı geçirme katsayılarının, ısı geçiş yönüne bağlı olarak değişmekte olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Şekil 26'da görülen değişimler bütün deney örneği profillerde artan ısı güç ile birlikte  $U$  değerlerinde hafifçe bir düşme eğilimi olduğunu göstermenin yanı sıra, modellerden olan ısı geçişinin yönündeki değişmeye bağlı olarak  $U$  değerlerinin de değişmekte olduğunu göstermektedir.

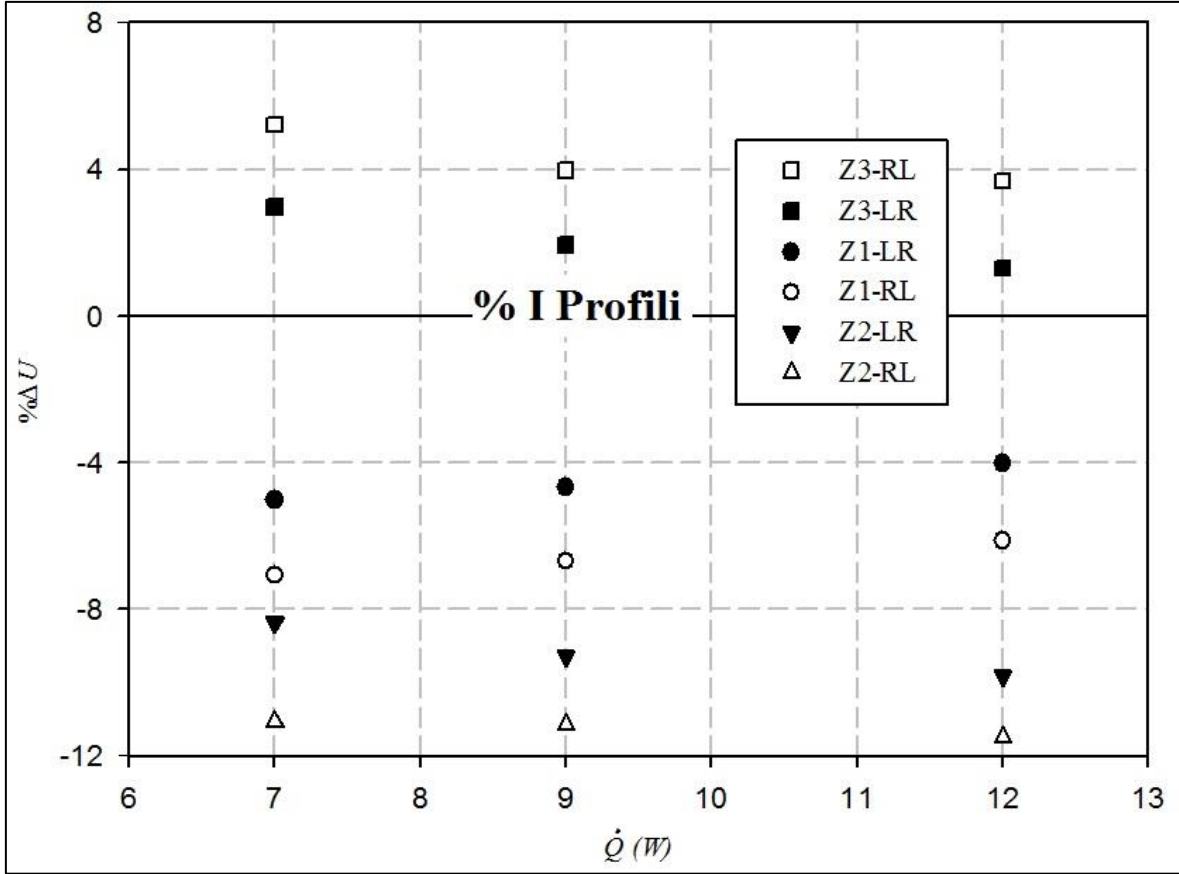
Şekil 26'da de görüldüğü gibi; simetrik I profiline göre en düşük toplam ısı geçirme katsayısı sağdan sola ısı geçişi için Z2 profilinde (Z2-RL) ortaya çıkmaktadır. Doğal olarak bu profilin her iki dış düzeyi arasındaki sıcaklık farkı da diğer profillere göre en yüksek değeri almaktadır (Tablo 6). Toplam ısı geçirme katsayısındaki düşme ısıtma sisteminde tasarruf anlamına geldiğinden enerji kullanımı açısından da "iyileşme" olarak tanımlanabilir. Simetrik I profiline göre oransal iyileşmeye ait değişimler Şekil 27'de yer almaktadır.





Şekil 26. Deney örneklerinde toplam ısı geçirme katsayısının ısıl güce bağlı olarak değişimi





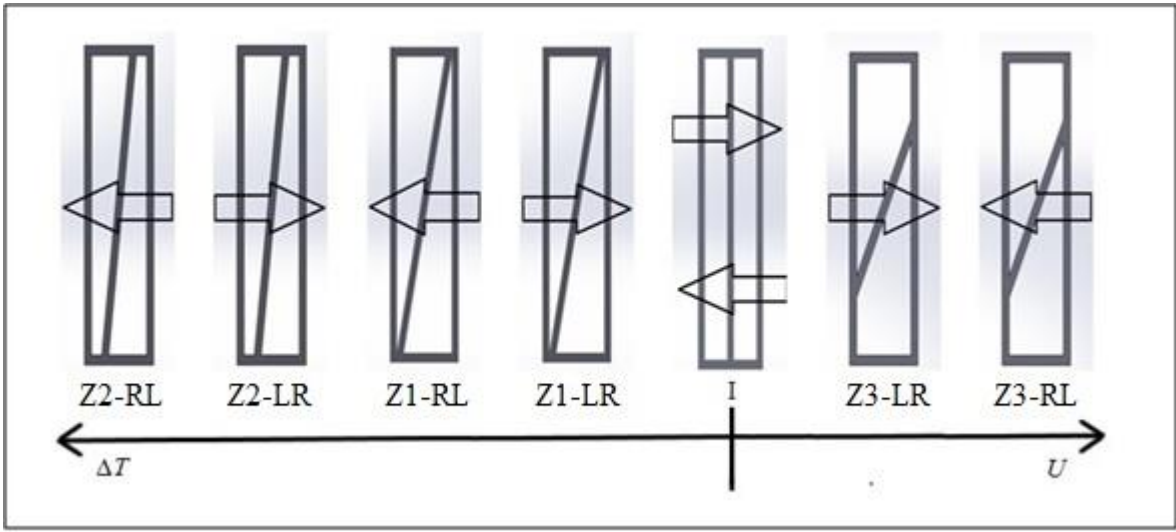
Şekil 27. Profillerin toplam ısı geçirme katsayılarının düz profile göre oransal değişimi

Z2-RL profili için simetrik I profiline göre; toplam ısı geçirme katsayısında yaklaşık %11.5 düzeyinde bir azalma (iyileşme) olduğu Şekil 27'de görülmektedir. Buna karşın Z3-RL profilinde ise toplam ısı geçirme katsayısının simetrik I profiline göre yaklaşık olarak %4-5 aralığında artmakta (kötüleşmekte) olduğu tespit edilmiştir. Tam köşegen durumuna ait olan Z1-LR ve Z1-RL profilleri toplam ısı geçirme katsayısı açısından simetrik I profiline göre biraz daha iyi olmakla birlikte yüksek taban açılı Z2 profiline göre biraz daha kötü durumdadır.

Elde edilen bu değişimlerin sıcaklık farkı ve toplam ısı geçirme katsayısına bağlı sıralı diyagram gösterimi Şekil 28'de görülmektedir. Bu çalışmada göz önüne alınmış olan profillerin içyapı geometrileri ve incelenen parametreler arasındaki ilişki incelendiğinde düşey orta bölmenin çapraz konuma doğru değişmesi ile birlikte  $U$  toplam ısı geçirme katsayısının düşmekte olduğu ve belirli bir konumda en düşük değerini aldıktan sonra (Z2 profili) tekrar artmaya başladığı (Z1 profili) ve çapraz iç bölmenin taban açısındaki büyüme ile birlikte tekrar artmaya başladığı görülmektedir. Z3 profilinde çapraz ayırıcı bölümün konumunun profil içerisindeki hava tabakalarının bulunduğu bölümlerin her iki



dış yüzeye temas etmesine izin vermekte olduğuna dikkat edilmelidir. Bu yapıdaki iç bölümlere sahip profilde ortaya çıkacak olan doğal taşınım mekanizmasının ısı transferini iyileştirmesi kaçınılmazdır. Bu yapıda Şekil 5'te de verilmiş olan ısı taşınım mekanizmasında olduğu gibi yüzey sıcaklıkları arasındaki farka bağlı olarak  $Ra$  sayısı artmakta ve buna bağlı olarak da  $Nu$  sayısının artması ile birlikte ısı taşınımı da artmaktadır.



Şekil 28. Profillerin sıcaklık farkı ve toplam ısı geçirme katsayısına göre sıralanması

$U$  toplam ısı geçirme katsayısı açısından çalışmadan elde edilen bulgular şu şekilde sıralanabilir:

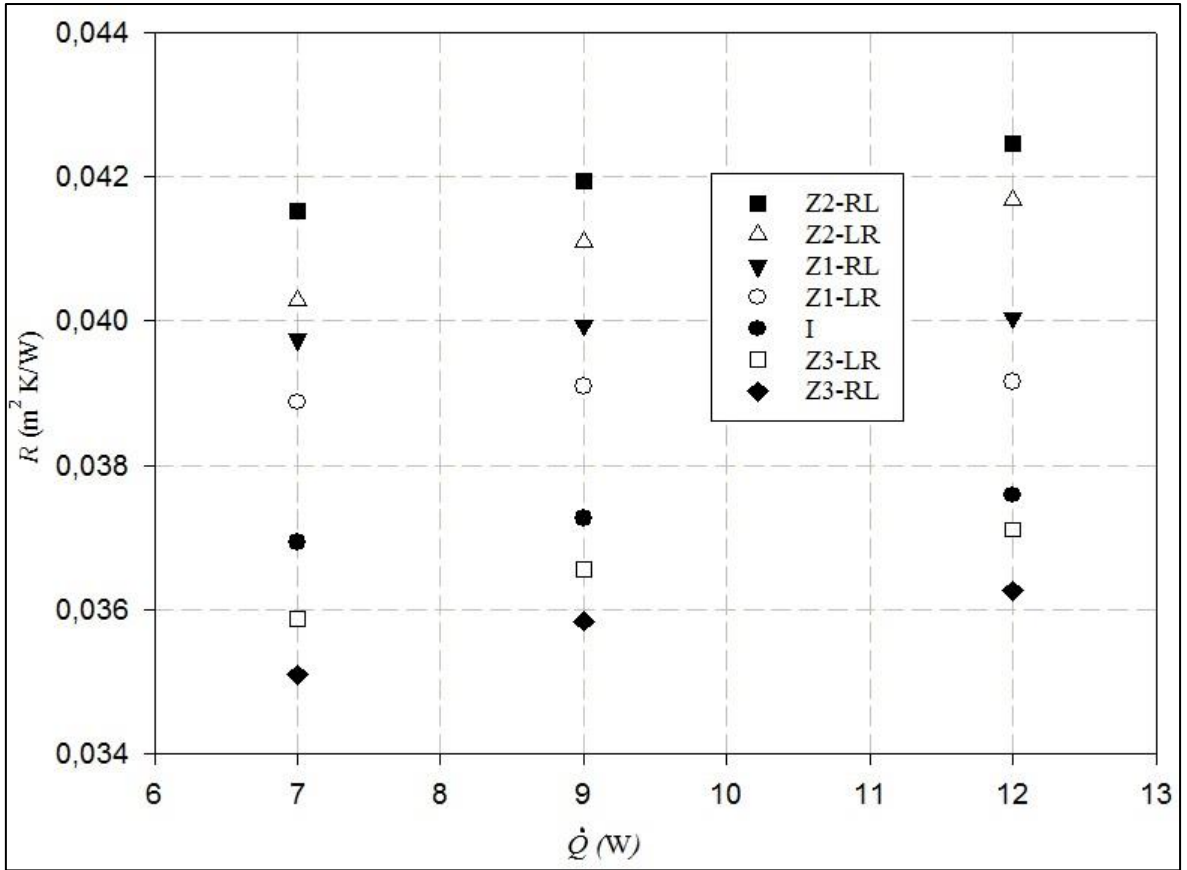
1. Toplam ısı geçirme katsayısı ile içyapı geometrisi arasındaki ilişki gözden geçirildiğinde görülmektedir ki; içyapıyı bir köşegen olarak bölen levhanın tabanla yapmış olduğu açının belirli bir değerinde  $U$  en düşük değerini almaktadır. Nitekim tam köşegene sahip Z1 profili için  $U$  değeri simetrik I profiline göre biraz düşmekte, taban açısı Z1 profilinden biraz daha yüksek olan Z2 profilindeki  $U$  değeri de Z1 profiline göre biraz daha düşük olmaktadır.  $U$  değerinin en düşük olacağı köşegen geometrisinin Z2 ve I profili arasında olabileceği anlaşılmaktadır.

2. Çalışmadan elde edilmiş olan  $U$  değerleri ile anlaşılmıştır ki; asimetrik iç boşluk geometrisine sahip profillerin toplam ısı geçirme katsayıları ısı geçiş yönüne de bağlıdır. Nitekim ısı geçiş yönünün sağdan sola olması durumunda elde edilen  $U$  değerleri Z1 ve Z2 profilleri için soldan sağa doğru olan profillere göre daha düşük iken; Z3 profilinde ise ısı



geçişinin soldan sağa olması durumundaki  $U$  değeri, sağdan sola doğru olan ısı geçişine göre daha düşüktür.

3.  $U$  toplam ısı geçirme katsayısının tersi olarak bilinen  $R$  toplam ısı geçirme direncine ait değişimlerden de görülmektedir ki; simetrik I profiline göre en yüksek ısı direnci  $Z2-RL$  profilinde ortaya çıkarken, en düşük ısı direnci  $Z3-RL$  profilinde elde edilmiştir.



Şekil 29. Deneysel örneklerde eşdeğer termal direncin ısı güce bağlı olarak değişimi



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmada göz önüne alınmış olan 4 farklı duvar briket model örneği için 2 farklı ısı geçiş yönünde oluşturulmuş olan toplam 7 konfigürasyon ve 3 farklı ısı güç için yapılmış olan deneylerde şu sonuçlara ulaşılmıştır:

i) Bütün örneklerde artan ısı güç değeri ile birlikte toplam ısı geçirme katsayısı hafifçe düşme eğilimi göstermektedir.

ii) Örnek iç boşluğunun bir köşegen ile asimetric olarak bölünmesi durumunda elde edilen modellerin toplam ısı geçirme katsayıları, düşey olarak bölünmüş simetric I profiline göre farklılık göstermektedir.

iii) İç bölümü asimetric olan bölen köşegenin yan yüzeylere yaslanması ile ortaya çıkan geometrik yapıya sahip örneklerin (Z3) toplam ısı geçirme katsayıları I profilli örneğe göre daha yüksektir.

iv) Z3 örneğinde (düşük taban açılı köşegen durumu) sağdan sola doğru olan ısı geçişi (Z3-RL) için toplam ısı geçirme katsayısı, soldan sağa doğru olan ısı geçişi (Z3-LR) için olan toplam ısı geçirme katsayısından daha yüksektir.

v) Z1 örneğinde (tam köşegen durumu) soldan sağa doğru olan ısı geçişi (Z1-LR) için toplam ısı geçirme katsayısı, sağdan sola doğru olan ısı geçişi (Z1-RL) için olan toplam ısı geçirme katsayısından daha yüksektir.

vi) Z2 örneğinde (yüksek taban açılı köşegen durumu) soldan sağa doğru olan ısı geçişi (Z2-LR) için toplam ısı geçirme katsayısı, sağdan sola doğru olan ısı geçişi (Z2-RL) için olan toplam ısı geçirme katsayısından daha yüksektir.

vii) Bütün modeller ve ısı geçirme yönleri göz önüne alındığında Z2 örneğinde sağdan sola doğru ısı geçişi (Z2-RL) için en düşük toplam ısı geçirme katsayısı elde edilmiştir.

viii) İç yapı geometrisi ve ısı geçirme yönüne bağlı olarak toplam ısı geçirme katsayısında ortaya çıkan değişimin nedeni, iç yapı içerisinde ortaya çıkan doğal dolaşımın ısı taşınımına olan etkisi olup, yeni bir araştırma konusu olarak ayrıca incelenmelidir.

ix) Yapıların bulunduğu derece-gün bölgesine bağlı olarak (çok yüksek ve çok düşük dış sıcaklık bölgeleri) toplam ısı geçirme katsayısı ısı geçiş yönüne bağlı olan duvar malzemelerinin yapı duvarlarında kullanılması önemli bir ısı tasarrufu sağlayabilir.





## 5. KAYNAKLAR

1. Hendry, E. A.W., Masonry walls: materials and construction, Construction and Building Materials 15 (2001) 323-330
2. AlHazmy, Majed M., Numerical investigation on using inclined partitions to reduce natural convection inside the cavities of hollow bricks. International Journal of Thermal Sciences 49,11 (2010): 2201-2210.
3. Arendt, K., Krzaczek, M. ve Florczuk, J., Numerical analysis by FEM and analytical study of the dynamic thermal behavior of hollow bricks with different cavity concentration, International Journal of Thermal Sciences 50 (2011) 1543-1553
4. Ait-Taleb, T., Abdelbaki, A., ve Zrikem, Z., Simulation of coupled heat transfers in a hollow tile with two vertical and three horizontal uniform rectangular cavities heated from below or above, Energy and Buildings 84 (2014) 628-632
5. Bassiouny, R., Ali, M.R.O. ve NourEldeen, E.H., Modeling the Thermal Behavior of Egyptian Perforated Masonry Red Brick Filled with Material of Low Thermal Conductivity, Journal of Building Engineering 5 (2016) 158-164
6. Madera, J., Kocía, J., Kocía, V. ve Kruis, J., Parallel modeling of hygrothermal performance of external wall made of highly perforated bricks, Advances in Engineering Software 113 (2017) 47-53
7. Vivancos, J. L., Soto, J., Perez, I., Ros-Lis, J. V., and Martínez-Máñez, R., A new model based on experimental results for the thermal characterization of bricks, Building and Environment 44 (2009) 1047-1052.
8. Morales, M.P., Juárez, M.C., López-Ochoa, L.M. ve Doménech, J., Study of the geometry of a voided clay brick using rectangular perforations to optimize its thermal properties, Applied Thermal Engineering 31 (2011) 2063-2065
9. Gossard, D. ve Lartigue, B., Three-dimensional conjugate heat transfer in partitioned enclosures: Determination of geometrical and thermal properties by an inverse method, Applied Thermal Engineering 54 (2013) 549-558
10. Diao, R., Sun, L. ve Yang, F., Thermal performance of building wall materials in villages and towns in hot summer and cold winter zone in China, Applied Thermal Engineering 128 (2018) 517-530
11. Bergman, T., Lavine, A., Incropera, F., ve Dewitt, D., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Seventh Edition, John Wiley & Sons, New Jersey ,2011.



12. Holman, J. P., Heat transfer, Tenth Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc, New York, 2010.
13. Catton, I., Natural Convection in Enclosures, Proc. 6th Int. Heat Transfer conf., Toronto, 1978, Canada, C. 6, s. 13-31
14. Toydemir, N., Gürdal, E., ve Tanaçan, L., Yapı Eleman Tasarımında Malzeme, Birinci Baskı, Mart Matbaacılık, İstanbul, 2000
15. Genceli, O. F., Ölçme Tekniği, Birinci Baskı , Birsen Yayınevi, İstanbul , 2016
16. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Termokupl\\_Termoeleman](https://tr.wikipedia.org/wiki/Termokupl_Termoeleman), 10 Mayıs 2020
17. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Multim%C3%A8tre\\_Multimetre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Multim%C3%A8tre_Multimetre), 30 Mayıs 2020
18. <https://www.emfarezistans.com/yazi/fisek-rezistans-nedir> Isıtıcı Fişek Rezistans, 20 Haziran 2020
19. <https://www.gelgez.net/alci-nedir-alci-nasil-olusur-ozellikleri-nelerdir-nerelerde-kullanilir/> Alçı, 20 Haziran 2020
20. <https://www.kanyonyapi.net/blog/silikon-nedir-silikon-cesitleri-nelerdir/> Silikon, 20 Haziran 2020



## ÖZGEÇMİŞ

Lise öğrenimini Tebriz Dr. Moein lisesinde tamamladı. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Makina Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2017 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Amir RAHMANPARAST iyi derecede İngilizce, Türkçe, Farsça ve Azerice bilmektedir.

