T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISI POMPASI UYGULAMALARI İÇİN DONATILI BİNA TEMELİ ISIL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

BARIŞ BURAK KANBUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI-PROSES PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ŞEVKET ÖZGÜR ATAYILMAZ

İSTANBUL, 2014

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISI POMPASI UYGULAMALARI İÇİN DONATILI BİNA TEMELİ ISIL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Barış Burak KANBUR tarafından hazırlanan tez çalışması 06.01.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Doç. Dr. Hakan DEMİR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İsmail TEKE

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Yasin ÜST

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, yapım aşamasında olan ve temel hafriyatı kazılıp temeli henüz inşaa edilmemiş binalar için toprak kaynaklı ısı pompalarının sahip olduğu toprak kaynaklı ısı değiştiricilerinin bina temel betonu katmanlarına (grobeton, redye temel vb.) yerleştirilmesi durumundaki ısıl performansının incelenmesi adına donatılı ve donatısız betonların ısı iletim katsayısı analizleri deneysel, sayısal ve analitik olarak yapılmıştır.

Bu çalışmayı yaparken, bilgi birikimlerini benden esirgemeyen ve lisans eğitimimden beri sürekli destek olmaktan üşenmeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ'a; eşdanışmanım Sayın Doç. Dr. Hakan DEMİR'e;

Kendisiyle tanıştığım ilk günden beri bana her alanda destek olan, birikimimde çok önemli bir yere sahip, amirden öte bir abi gibi bana yaklaşan Sayın Mak. Yük. Müh. Aliihsan KOCA'ya; iş arkadaşından ziyade bir dost olarak gördüğüm sevgili Mak.Yük. Müh. Yalçın TOPAÇOĞLU'na; çalışma temposuyla ve dostluğuyla bir takım olmamızda yeri büyük olan sevgili dostum Mak. Müh. M. Gürsel ÇETİN'e; dostum Mak. Müh. Ruşen Can ACET'e ve tüm değerli Mir Ar-Ge A.Ş. çalışanlarına;

Deneysel çalışmalarım esnasında tecrübesinden çok şey öğrendiğim ve vakit geçirmekten büyük keyif aldığım dostum Kutay ÖRGÜNAL'a, Alişan GÖNÜL'e ve YTÜ Yapı İşleri Daire Başkanı Sayın Kudret DÖNMEZ'e;

Sevginin anlamını her geçen gün daha da iyi anlamamı sağlayan ve bunun yanı sıra arkadaşlığının bile paha biçilemez olduğu kız arkadaşım Melike Begüm TANİŞ'e;

Kendimi bildiğim zamandan da önce, benimle ilgilenen, sevgisini esirgemeyen, kendisinden alıp bana katmaktan gocunmayan bitanecik sevgili annem Yurdanur KANBUR'a; bebekliğim, çocukluğum ve bugünüme kadar en yakın dostum, sırdaşım, arkadaşım olan, her anımı paylaşmaktan büyük mutluluk duyduğum canım halam Havva KANBUR'a ve son olarak yaşamımda örnek olarak aldığım, bugünlerde olmamın en büyük pay sahibi, bana emeğin anlamını öğreten, oğlu olmaktan gurur duyduğum babam Necip KANBUR'a;

Teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2014

Barış Burak KANBUR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 11
1.3 Hipotez 12

BÖLÜM 2

TEMEL BETONU İÇERİSİNDEKİ DEMİR MALZEMESİNİN YOĞUNLUĞUNA GÖRE ISI İLETİM KATSAYISININ DENEYSEL İNCELENMESİ 14

2.1 Deneysel Çalışmalar 15
2.1.1 Deney Düzeneğinin Anlatılması 15
2.1.2 Deney Düzeneğinin Hazırlanışı 20
2.1.3 Deneyin Yapılışı 24

BÖLÜM 3

TEMEL BETONU İÇERİSİNDEKİ DEMİR MALZEMESİNİN YOĞUNLUĞUNA GÖRE ISI İLETİM KATSAYISININ SAYISAL VE ANALİTİK İNCELENMESİ 26

3.1 Sayısal Çalışma 26
3.1.1 Sayısal Modelin Oluşturulması 266
3.1.2 Sayısal Çözüm Ağı 28

3.1.3 Sayısal Analiz 29
3.2 Analitik Çalışma 29
3.3 Sonuçların Karşılaştırılması 30

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER 39
KAYNAKLAR 42

EK-A

TS ISO 8302 DENEY DÜZENEĞİ PRENSİBİ HAKKINDAKİ BÖLÜMLER 47

EK-B

TERMOELEMANLARIN KALİBRASYON GRAFİKLERİ VE DENKLEMLERİ 50
ÖZGEÇMİŞ 58

SİMGE LİSTESİ

A	Numune betonların ısı transferi olan yüzeylerinin alanı
k	Isı iletim katsayısı
L	Numune betonun kalınlığı
R	Isıl direnç
ΔT	Numune betonun ısıtıcı plaka ile oda yüzeyi arasındaki yüzey sıcaklık farkı
T	Sıcaklık
Q	Isı transfer miktarı

KISALTMA LİSTESİ

HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
RTD	Resistance Temperature Detectors
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
TS	Türk Standartları

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Yatay ve Dikey Toprak Isı Değiştiricileri[24]……5
Şekil 2.1 Deney için oluşturulan beton geometrilerinin CAD ortamında gösterimi: (a) donatışız beton, (b) 10 mm demir içeren beton, (c) 12 mm demir içeren beton……15
Şekil 2.2 TS ISO 8302 [53]'e göre deney düzeneği ve açıklaması……16
Şekil 2.3 Isı iletim katsayısı tayin edilecek aynı cins betonların ön ve arka yüzeylerindeki termoeleman yerleşimi(izometrik): (a) Isıtıcı plaka altındaki beton, (b) Isıtıcı plaka üzerindeki beton……17
Şekil 2.4 Isı iletim katsayısı tayin edilecek aynı cins betonların ön yüzeylerindeki termoeleman yerleşimi(iki boyutlu): (a) Isıtıcı plaka altındaki beton, (b) Isıtıcı plaka üzerindeki beton……18
Şekil 2.5 Isı iletim katsayısı tayin edilecek aynı cins betonların arka yüzeylerindeki termoeleman yerleşimi(iki boyutlu): (a) Isıtıcı plaka altındaki beton, (b) Isıtıcı plaka üzerindeki beton……18
Şekil 2.6 (a) Deney düzeneği elemanlarının genel görünümü, (b) Beton geometrilerinin yanyüzeyine ve yalıtım malzemesine yerleştirilen termoelemanlar……19
Şekil 2.7 Deney düzeneğinin tüm yan yüzeylerine yalıtım uygulanmış haldeki genel görünümü……20
Şekil 2.8 (a) 10mm çaplı inşaat demiri geometrisi, (b) 12mm çaplı inşaat demiri geometrisi……21
Şekil 2.9 10mm çapında inşaat demiri geometrisi içeren beton geometrisi dökümü için oluşturulan kalıplar……21
Şekil 2.10 12mm çapında inşaat demiri geometrisi içeren beton geometrisi dökümü için oluşturulan kalıplar……22
Şekil 2.11 Dökülen beton geometrileri……22
Şekil 2.12 T1 kodlu termoelemanın kalibrasyon eğrisi……23
Şekil 2.13 Deney düzeneğinin son hali……24
Şekil 3.1 Tasarlanan 8 değişik donatılı beton geometrileri (a) CW12-2 den (h) CW12-9'a kadar……27
Şekil 3.2 Tasarlanan bazı geometrilerin çözüm ağları (a) CW'den (d) CW12-9'a kadar……28
Şekil 3.3 CW modeli hariç her bir model için geçerli olan ısıl direnç şeması……29

Şekil 3.4 Analitik, deneysel ve sayısal çalışmaların birbirlerinden sapmaları……..30
Şekil 3.5 CW modelinin Deney 1 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……31
Şekil 3.6 CW modelinin Deney 2 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……..31
Şekil 3.7 CW10 modelinin Deney 1 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……32
Şekil 3.8 CW10 modelinin Deney 2 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……32
Şekil 3.9 CW12-1 modelinin Deney 1 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……..33
Şekil 3.10 CW12-1 modelinin Deney 2 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……..33
Şekil 3.11 CW12-2'den CW12-9'a kadar olan modellerin deneysel ve analitik çalışmalarının karşılaştırılması……..34
Şekil 3.12 CW12-2 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……...35
Şekil 3.13 CW12-3 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……35
Şekil 3.14 CW12-4 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……...36
Şekil 3.15 CW12-5 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……36
Şekil 3.16 CW12-6 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……37
Şekil 3.17 CW12-7 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……37
Şekil 3.18 CW12-8 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……..38
Şekil 3.19 CW12-9 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi……38

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa
Çizelge 2.1 Her bir model için varyaktan sağlanan güçler 25
Çizelge 3.1 Her bir modelin analitik,sayısal ve deneysel ısı iletim katsayısı değerleri (W/mK)..... 30
Çizelge 3.2: CW12-2'den CW12-9'a kadar olan modellerin analitik ve sayısal değerleri 344

ÖZET

ISI POMPASI UYGULAMALARI İÇİN DONATILI BİNA TEMELİ ISIL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Barış Burak KANBUR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ

Eş Danışman: Doç. Dr. Hakan DEMİR

Betonlar ve donatılı betonlar uzun yıllardır inşaat teknolojisinde önemli bir yere sahiptir. Betonların ve donatılı betonların tercihindeki en önemli parametrenin mekanik özellikler olmasına rağmen son yıllardaki net sıfır enerjili binalar ve ısı pompaları uygulamaları ile betonların ısıl özellikleri de önemli bir yere sahip olmaya başlamıştır. Bugüne kadar yapılan hiçbir bilimsel çalışmada, betonların içerisinde bulunan donatıların beton içerisindeki yerleşimini inceleyen analitik, deneysel veya sayısal çalışma bulunmamıştır. Bu çalışmada, donatı çubukları C30 betonun içerisine değişik hacimlerde ve şekillerde yerleştirilmiştir. Üç adet beton modeli sırasıyla analitik, sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir Sonuçlar ile sayısal modelin, analitik ve deneysel çalışmalarla doğrulandığı görülmüştür. Sayısal modelin doğrulanmasının ardından diğer sayısal modeller analitik ve sayısal olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada beton modellerinin ısı iletkenlik katsayıları 0.99 W/mK ile 1.178 W/mK arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler:

Donatılı Beton, Isı İletim Katsayısı, Toprak Kaynaklı Isı Pompası, Toprak Kaynaklı Isı Değiştirici, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THERMAL PROPERTIES OF BUILDING FOUNDATION CONCRETE FOR HEAT PUMP APPLICATIONS

Barış Burak KANBUR

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Sevket Ozgur ATAYILMAZ

Co-Adviser: Assoc. Prof. Dr. Hakan DEMİR

Concretes and reinforced concretes have been important for years in construction technology. Although the mechanical properties of concretes and reinforced concretes are the most crucial criteria for preference, the thermal properties are also important in recent years owing to rising interests in renewable energy and net zero energy building technologies. Up to now, there was no study that investigates the thermal conductivity of reinforced concrete according to volumes or layouts with experimental, numerical and analytical studies. In this study, reinforced bars were placed in C30 concrete according to different layouts and volumes. Three concrete models were investigated numerical, experimental and analytical methods respectively. By the results, the numerical model was validated by both experimental study and analytical study. After validation, the other concrete models were investigated numerically and analytically. The results illustrate the thermal conductivity values range between 0.99 W/mK and 1.178 W/mK in numerical, analytical and experimental studies.

Keywords: Reinforced Concrete, Thermal Conductivity, Ground Source Heat Pumps, Ground Source Heat Exchangers, Computational Fluid Dynamics.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Beton; çimento, agrega(kum,çakıl vb.) ve gerekirse kimyasal bileşenler kullanılarak meydana getirilen kompozit bir malzemedir. Beton ilk döküldüğü(yaş) durumda plastik özellikleri gösterirken döküldükten 10 saat içinde gitgide katılaşır ve yüksek basınca dayanıklı duruma gelir [1]

Beton, yüksek basınç gerilimine dayanıklı iken, çekme kuvvetine neredeyse hiç dayanamaz. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, çekme bölgelerine çelik çubuklar konulur ve bu yeni kompozit malzeme betonarme adını alır. [1]

Betonu oluşturan hammaddeler doğada kolay bulunan malzemelerdir. Ayrıca ilk anlardaki plastik davranışı ile kolay şekil verilip katılaştıktan sonra uzun yıllar dayanıklı biçimde kullanılabilen bir kompozit malzeme olduğundan beton inşaat sektöründe hala en önemli yapı aracı olarak kullanılmaktadır [2]

Beton üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, inşaat teknolojisinde beton yaygın kullanılan bir yapı elemanı olduğundan çalışmaların çoğu betonun dayanım performansları üzerinedir. Betonun ısıl özellikleri, yapı özellikleri yanında çok fazla önem teşkil etmemektedir.

Son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının artması ve pasif ev teknolojilerin gelişmesi, beton ve betonarme uygulamalarının pasif evlerde kullanımını da gündeme getirmiştir. [3] de, hafif betonların ısıl özellikleri pasif ev teknolojisi açısından incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Taşdemir [4] de, yarı hafif betonların hafif betonlara

göre daha yüksek basınç dayanımı ve daha yüksek elastisite modülüne sahip olmalarından dolayı gelecekte daha yaygın olarak kullanılabileceğini belirtmiş ve çalışmasında hafif betonların ısı yalıtım özelliklerini taşıyıcılık özellikleri ile beraber incelemiştir. Yazar, çalışmasında birim ağırlıkla basınç dayanımı ve ısı iletim katsayısı arasında lineer bir bağlantı bulmuştur. Hafif betonlarla ilgili yapılan pek çok benzeri çalışma bilimsel literatürde mevcuttur. Şengül vd. [5]'te; genişletilmiş perlitlerin hafif betonların ısıl iletim katsayıları üzerindeki etkilerini ele almıştır. Su ve çimento oranı sabit tutulduğu durumda beton yoğunlukları 700 kg/m^3 ve 2000 kg/m^3 arasında değer göstermiştir. Yaşar ve Erdoğan [6], tuğla ve beton gibi hafif betonların ısı iletim katsayılarını incelemekle beraber iki malzeme için de yoğunluk, Young elastiklik modülü ve gerilmeler gibi değerleri incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Demirboğa ve Gül [7]'de, hafif betonların bazı bileşenlerinin ısıl iletkenlik üzerine etkilerini incelemişler ve en yüksek ısıl iletkenlik katsayısını 0,3178 W/mK olarak bulmuşlardır. Benzer bir çalışma Uysal vd. [8] tarafından yapılmış, beton içerisindeki çimento oranı ve diğer özellikler ele alınarak hafif betonların ısı iletim katsayıları ve yoğunlukları incelenmiştir. Demirboğa [9] çalışmasında, farklı mineral karışımları sonucunda hafif betonların ısıl iletkenlik ve gerilmelerini incelemiş, en yüksek ısı iletkenlik katsayısını 1,233 W/mK olarak bulmuştur. Alengaram vd. [10]'da, yeni palmiye ağacı kaplı hafif betonla konvansiyonel olarak bilinen tuğla ve bloğun ısıl iletim özelliklerini karşılaştırmış ve palmiye ağacı kabuklu betonun ısıl iletim katsayısını 0,40 W/mK bulmuştur. Aynı şartlarda yapılan deneylere göre, palmiye ağacı kabuklu beton, tuğla ve bloğa göre sırasıyla %56 ve %33 daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahiptir. Becchio ve arkadaşları, mineralleştirilmiş odun betonların sürdürülebilir hafif beton olup olamayacaklarını araştırmışlardır [11]. Bederina vd. ise [12]'de atık ahşap malzemeleri kullanarak bir hafif betonlardan oluşturulan bir duvarın mekanik özellikleri korunacak şekilde ısı iletim katsayısını arttırmaya çalışmışlardır.

Betonların ısıl iletim katsayıları hakkındaki çalışmalar oldukça eskiye dayanmaktadır. Carman ve Nelson 1921 yılında yaptıkları çalışmada, oldukça geniş bir aralıkta betonların ısıl iletim katsayılarını incelemişlerdir [13]. Oldukça çok sayıda yapılan testler sonucunda her bir test düzeneği için sonuçlar uzun tablolar halinde sunulmuştur. İlgili konu ile ilgili bir başka eski çalışma ise, Campbell ve Thorne'nin

yaptığı 1963 yıllı çalışmadır. Bu çalışmada, üç farklı bileşenin beton ısıl iletkenliği üzerine etkisi incelenmiştir [14]. Kim vd. [15]'de yaş, su/çimento oranı, nem, sıcaklık vb. değişkenleri göz önünde bulundurarak betonların ısı iletim katsayıları hakkında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmanın sonuçlarından biri olarak, 4 farklı nem değeri için bir beton numunesinin ısı iletim katsayıları incelenmiş ve aynı numunenin benzer şartlarda kuru haldeki ısı iletim katsayıları ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Buna göre, beton numunelerinin nemli haldeki ısı iletim katsayıları kuru haldeki ısı iletim katsayılarına göre %20 - %30 civarlarında daha fazla çıkmıştır. Yun vd. ise [16]'da, yalıtılmış betonların ısıl iletkenliklerini değerlendirmiş ve dört farklı agreganın beton üzerindeki termal performansını incelemiştir. Sonuçlar çizgisel eğriler şeklinde grafiklerle gösterilmiştir.

Ayrıca, yüksek gerilmelere dayanıklı betonlar için de ısıl iletkenlik çalışmaları pek çok bilim insanı tarafından gerçekleştirilmiştir. Kodur ve Sultan [17]'de, ısıl genleşme, özgül ısı ve ısıl iletkenlik gibi parametreleri inceleyerek 0^{o}C ve 1000 ^{o}C arasında yüksek gerilmelere karşı dayanıklı betonları termal performanslarını yangın dirençleri açısından değerlendirmişlerdir. Benzer bir çalışma Kodur ve Khaliq tarafından 2011 yılında gerçekleştirilmiştir. 20^{o}C ve 80 ^{o} sıcaklık aralığında ısıl genleşme, ısıl iletkenlik ve özgür ısı parametreleri betonların farklı bileşen tiplerine göre incelenmiştir [18]. Tandıroğlu [19]'da, yüksek gerilmelere dayanıklı olan 24 değişik hafif beton modelini yalıtım amaçlı kullanmak için su/çimento oranı vb. parametreleri değiştirerek ısıl iletkenliklerini incelemiştir.

Betonların ısıl iletkenlikleri pek çok yangın çalışmasında da önem kazanmıştır. Levesque [20]'de donatılı beton levhaların yangın durumundaki performanslarını yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Benzer bir çalışma Sangluaia vd. [21] tarafından gerçekleştirilmiş ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak betonların yangın esnasındaki termal performansları incelenmiştir. Toman ve Cerny, 200^{o}C ve 1000 ^{o}C sıcaklık aralığında ve %0-%8 kg/kg nem aralığında yüksek performanslı betonların ısıl iletkenliklerini test etmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 400^{o}C için, betonların en düşük ısıl iletkenlik değerlerine sahip oldukları görülmüştür [22]. Kızılkanat ise [23] de, yüksek sıcaklıklarda betonların termofiziksel değerlerini incelemiştir.

Isı pompaları, ısıyı düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa taşıyarak soğutma, yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa taşıyarak ısıtma yapan ve termodinamik bir çevrime göre çalışan makinalardır. Isıyı transfer etmek için de bünyesinde bulundurduğu kompresör vasıtasıyla elektrik gücü alır. Isı pompalarını oluşturan elemanlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Buharlaştırıcı (Evaparatör)
- Yoğuşturucu (Kondenser)
- Kısılma Vanası
- Kompresör

Isı pompaları kullandıkları kaynaklar açısından çeşitli sınıflara ayrılırlar. Bunlar aşağıdaki maddelerle belirtilmiştir.

- Hava
- Su
- Toprak

Hava kaynaklı ısı pompaları, günümüzde en çok kullanılan ve en çok bulunabilen ısı pompalarıdır. Diğer kaynaklarla kullanılan ısı pompalarına göre daha ucuz ve ekipmanlarının boyutlarının daha makul olması, hava kaynaklı ısı pompasının avantajlarından en önemlileridir. Bu avantajlarının yanında, hava kaynaklı ısı pompalarında kaynak hava olduğu için, hava sıcaklığının değişiklik göstermesi ve buzlanma problemleri hava kaynaklı ısı pompalarının başlıca iki büyük dezavantajlarıdır. [24]

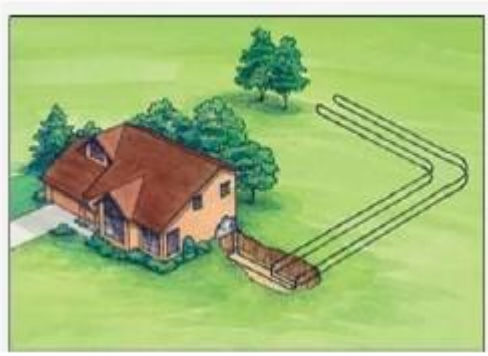
Su kaynaklı ısı pompaları, herhangi bir kuyu veya su kaynağı olduğunda kullanılabilir. Su kaynaklarındaki önemli parametre suyun kalitesi olup, korozyona uğrama riski araştırılmalıdır.(24]

Toprak kaynaklı ısı pompalarında ise, ısı değiştirici toprak ile temas halindedir. Temel olarak, ısı değiştirici boruları toprağa iki farklı şekilde yerleştirilir[25]. Bunlar;

- Dikey toprak ısı değiştiricisi

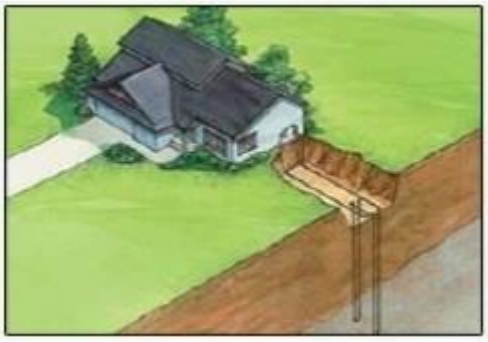
- Yatay toprak ısı değiştiricisi

Olarak sınıflandırılırlar. Şekil 1.1'de bu iki uygulamanın da şematik olarak resmi gösterilmiştir.



1-Yatay borulama

Kepçe yada kazı ile yapılan hafriyat sonucunda açılacak toprakta 1 metreden daha derin bir yerleşimle borular yatay olarak döşenir.Isıtma öncelikli sistemlerde tercih edilir..



2-Dikey borulama

Sondaj makineleri ile açılan kuyulara borular dikey olarak sarkıtılır. Arazinin yatay borulamaya müsait olmadığı yerlerde uygulanır.

Şekil 1.1 Yatay ve Dikey Toprak Isı Değiştiricileri[24]

Toprak ısı değiştiricileri;

- Doğrudan Genleşmeli
- İkincil Akışkanlı

şeklinde olabilir. Doğrudan genleşmeli ısı pompalarında toprak ısı değiştiricisi başka herhangi bir ara eleman kullanılmadan direkt olarak buharlaştırıcı veya yoğuşturucu olarak uygulanabilir. İkincil akışkanlı ısı pompaları uygulamalarında ise, toprak ısı değiştiricisi direkt olarak yoğuşturucu veya buharlaştırıcı olarak kullanılamaz. Isı transferi toprak ile ısı pompası arasında var olan ikincil bir devre ve ikincil bir akışkan ile gerçekleştirilir [25].

Toprağın kütlesi sonsuz olarak ele alınabilir ve bu da toprağın ısıl kapasitesinin oldukça büyük olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda toprak sıcaklığının sezonlar arasında dahi belirli derinlikten sonra değişim göstermemesi kararlı bir işletim koşullarının

olduğunu göstermektedir. Böylece, toprak kaynaklı ısı pompası, hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha az enerji tüketir [25]

Toprak kaynaklı ısı değiştiricisinin ilk yatırım maliyeti, diğer ısı pompası sistemlerine göre daha yüksek olduğundan, toprak ısı pompası üzerine yapılan çalışmalar daha çok ilk yatırım maliyetini azaltmaya yönelik çalışmalardır. Ayrıca yeni malzemeler ve yeni kurulum yöntemleri de toprak ısı değiştiricisinin gelişimi ve buna bağlı olarak toprak kaynaklı ısı pompasının gelişimine katkı sağlayacaktır.

Toprak kaynaklı ısı pompaları üzerine, performans geliştirme açısından pek çok çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda varolan yöntemler karşılaştırılmış, yeni modeller önerilmiş, sayısal modeller düzenlenmiş ve çeşitli özetler çıkarılmıştır.

Demir'in [25]'deki çalışmasında, toprak ısı değiştiricileri için var olan analitik ve sayısal modelleri yorumlanmış, sonuç olarak analitik ve sayısal modeller oluşturarak toprak kaynaklı ısı pompasının optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Demir yaptığı çalışmada, ideal boru gömme derinliğinin 1.6 m olduğunu ve boruların birbirinden etkilenmeyeceği ideal mesafenin 3 m olduğunu göstermiştir.

Zeng vd. [26]'daki çalışmalarında ise, toprak kaynaklı ısı pompalarında kullanılan dikey tip ısı değiştiricilerin ısı transfer analizin gerçekleştirmiştir. Çalışmada tek ve çift U tüp borular farklı konfigürasyonlarda, yarı üç boyutlu bir model olarak ısı transferi bakımından incelenmiştir. Kuyu ısı direncinin konstrüksiyon malzemesine ve ısı transferini gerçekleştiren akışın kanallarının ayarlanmasına bağlı olduğu sunulmuştur. Yazarlara göre, tek U tüp ile çift U tüp uygulamaları arasında ısıl direncin düşüşü açısından %30-%90 arası değişim gözlenmiştir.

Zhao vd. [27]'deki çalışmalarında, eş eksenli toprak ısı değiştiricisi etrafındaki doymuş toprağın(zeminin) ısı transferini teorik olarak modellemiş ve deneysel olarak incelemiştir. Teorik model Darcy doğal taşınım ifadesi ile geliştirilirken, Keller-Shooting metodu baz alınarak bazı sayısal çözümler elde edilmiştir. Bu çözümler ve modeller ile eş eksenli toprak ısı değiştiricileri çevresinde var olan toprak ısı değiştiricilerinin ısıl performansı incelenmiştir. Yazarlara göre, teorik model ile deney düzeneğinin sınır şartları daha da genişletilmekte ve ısı transfer performansı daha geniş aralıklarda incelenebilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, ısı transferi eş eksenli toprak ısı

değiştiricisinin dış(yanal) yüzeylerine yakın bölgelerde oluşmaktadır. Isı transferini etkileyen başlıca parametreler ise giriş sıcaklığı, gözenekli ortamın başlangıç sıcaklığı ve ısı transferini sağlayan akışkanın debisi olarak belirlenmiştir.

Lee ve Lam [28]'deki çalışmalarında, çoklu yüzey katmanları ve toprak içerisinde homojen olmayan biçimde var olan yeraltı suyu için gereksinimleri karşılayabilen üç boyutlu sonlu fark şeması geliştirerek dikey toprak kaynaklı ısı pompasının toprak ısı değiştirici kısmını geliştirmiştir. Oluşturulan model, HAD programı uygulanarak tek kuyu için sabit yükler altında doğrulanmıştır.

Sharqawy vd. [29]'daki çalışmalarında, toprak kaynaklı ısı pompasının dikey toprak ısı değiştiricisinin ısıl performansını sayısal olarak incelemişlerdir. Aynı zamanda ısı transferi, U tüp borular için sayısal olarak çözülmüş ve bilimsel literatürde iyi bilinen bazı analitik modeller ile karşılaştırılmıştır. Yazarlar, en iyi ısı transfer korelasyonunun boyutsuz formda olduğunu sunmuşlardır.

Kyriakis vd. [30]'da toprak kaynaklı ısı pompalarındaki U tipi dikey toprak ısı değiştiricilerinin yatırım maliyeti ve genel performansını etkileyen en önemli iki parametrenin tasarım ve doğru ölçülendirme olduğunu savunmuşlardır. Yazarlar çalışmalarında dikey tip toprak ısı değiştiricisinin maksimum yükünü belirleyecek hesaplama algoritmasını sunmayı amaçlamışlardır.

Yun vd. [3]'deki çalışmalarında, gittikçe popülaritesi artan pasif evlerdeki termal açıdan yalıtılmış malzemelerin önemine değindikten sonra termal açıdan yalıtılmış hafif beton sınıfındaki betonların bu tür evlerde alternatif bir yapı malzemesi olarak kullanabileceğini belirtmişlerdir. Çalışma, çevre sıcaklığındaki hafif betonların ısıl iletim katsayılarını deneysel olarak belirlemektedir. Sonuçlar incelendiğinde, hafif betonların çeşitlerine göre malzemelerin ısıl iletkenlik sayılarında değişimler görüldüğü gözlemlenmiştir.

Esen ve İnallı [31]'de toprak kaynaklı ısı pompasının dikey toprak ısı değiştiricisinin ekonomikliğinin, ısıl iletkenliğe ve dikey toprak ısı değiştiricisinin ısıl direncine bağlı olduğunu söylemişlerdir. Bu parametreleri ölçmek adına dikey toprak ısı değiştirici çevresi için ısıl cevap testi uygulamışlardır. Yapılan çalışmalarda 60 ve 90 m derinlikleri

için ısıl iletkenlik değerinin değişmediği, ısıl direnç değerinin ise derinlik arttıkça arttığı gözlemlenmiştir.

Lim vd. [32]'de, toprak ısıl özelliklerinin, toprak kaynaklı ısı pompasında çok önemli bir yere sahip olduğunu vurgulamış ve toprak kaynaklı ısı pompasının dikey toprak ısı değiştiricisi üzerinde, yeraltı suyu ve doğal taşınım etkisini içeren, toprağın ait olduğu yerdeki efektif ısıl iletkenlik değerini ölçmek için çalışmışlardır.

Sharqawy vd. [33]'de, toprak kaynaklı ısı pompasının dikey toprak ısı değiştiricisinin tasarımında rol oynayan toprağın ısıl özelliklerini incelemeyi amaçlamıştır. Toprak ısı değiştiricisinde sirküle olan akışkanın sıcaklığını, toprak ısı değiştiricisinin giriş ve çıkışında, işletmenin başlama anından itibaren zamana bağlı olarak incelemiştir. Elde edilen ısıl cevaplar, çizgisel kaynak teorisinin kullanımıyla; ısıl iletkenliğin, ısıl difüzyonun ve toprağın kararlı haldeki ısıl direncinin bulunmasını sağlamıştır.

Wang vd. [34]'de, yeni bir ısıl cevap testi metodu olan Sabit Isıtma-Sıcaklık Metodu'nu (Constant Heating-Temperature Method-CHTM) çalışmışlardır. Yapılan çalışmada CHTM'nin dikey toprak ısı değiştiricisi ve onu çevreleyen toprağın kararlı halde ısı transferini inceleyen zaman periyodunun azaltılması konusunda konvansiyonel CHFM'a(Constant Heating-Flux Method) göre avantaj sağladığı gösterilmiştir. Son olarak, CHTM ve CHFM metotları karşılaştırılmış ve ısı pompası uygulamaları için yararlı bir referans olarak sunulmuştur.

Lee vd. [35]'de farklı başlangıç şartları, farklı toprak tipleri, farklı kimyasal maddeler ve sirkülasyonu sağlayan toprak ısı değiştiricisi borunun farklı şekilleri ile toprak kaynaklı ısı pompalarının karşılaştırmalarını yapmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde çimento grubu uygulamalarında, betonarme grubuna göre daha yüksek ısıl iletkenlikler elde edildiği saptanmıştır. Aynı yazarlar [36]'da ise, kapalı çevrimli dikey tip ısı değiştiricilerin efektif ısıl iletkenliklerini karşılaştırmışlardır.

Congedo vd. [37]'de farklı konfigürasyonlardaki yatay toprak ısı değiştiricilerini simüle etmiş ve nümerik olarak karşılaştırmışlardır. İklim şartları olarak İtalya güney bölgesi iklim koşulları göz önüne alınırken, bir yıllık bir işletme süresi göz önüne alınmıştır. Çalışmada ısı transfer performansını etkileyen en önemli parametrenin toprak ısıl iletkenlik katsayısı olduğu ortaya çıkmıştır. Toprak ısı değiştirici içerisindeki akış hızı ise

bir diğer önemli parametre olarak belirtilmiştir. En iyi ısı değiştirici performansının helisel şekildeki ısı değiştirici olduğu sunulmuştur. Toprak ısı değiştirici içerisinden geçen debinin önemli bir parametre olmadığı gözlemlenmiştir.

Wood vd. [38]'de bina temeli için kullanılan dikey beton kazıklara uygulanan dikey toprak ısı değiştiricilerin(enerji kazıklarının) performansını incelemişlerdir. Belirli bir metrekare'ye sahip alan için her bir enerji kazığına tek U tüp dikey toprak ısı değiştirici uygulanmıştır. 2007/2008 ısıtma sezonu, çalışmanın yapıldığı sezon için belirtilmiştir.

Yuan vd. [39]'da, ısı pompasının önemini belirtmiş ve Çin'de yapılan analitik, nümerik ve deneysel ısı pompası çalışmalarını özet halinde sunmuştur. Aynı zamanda yazarlar, incelenen yazarları yorumlamış ve gelecekteki çalışmalar için yorumlarda bulunmuşlardır. Man vd. ise [40]'da temel beton kazıkları için yeni bir model ve analitik çözüm geliştirmişlerdir. Bakirci vd. [41]'de ısıtma için kapalı çevrimli güneş-toprak kaynaklı dikey toprak ısı değiştiricili ısı pompasının enerji analizini yapmışlardır.

Christodoulides vd. [42]'de sıkıştırılamaz bir akışkan için U tüp ısı değiştirici etrafındaki sıcaklık değişimini ve enerji simülasyonlarını incelemişlerdir. Yazarlara göre, U tüp çapı, toprak ısıl iletkenliğindeki değişim, toprağın özgül ısısı ve U tüp malzeme cinsi, toprak ısı değiştiricisi içerisindeki akışkanın sıcaklığını etkilemektedir. Jalaluddin vd.[43]'de tek U tüp, çift U tüp ve çoklu U tüp için toprak ısı değiştiricilerinin kısa zamanlı performanslarını incelemişlerdir. Yazarlara göre, kısa zamanlı performans analizi sonucunda, en fazla ısı değişimi sırasıyla; çift U tüp, U tüp ve çoklu U tüp için gerçekleşmiştir.

Philippe vd. [44]'de toprak kaynaklı ısı pompalarının yatay toprak değiştiricilerinde termal özelliklerin doğru bir şekilde ölçümü için termal cevap testi yapmıştır. Yazarlar, 4 farklı toprak karakteristiğinde 3 farklı toprak seviyesinde çalışmalar yapmışlardır. Sonuç olarak, farklı toprak karakteristiklerinin farklı termal özelliklere sahip olduğunu göstermiştir.

Naili vd. [45]'de, farklı seviyelerde toprak sıcaklıklarını ölçmüş ve ısı transfer katsayılarını belirtmiştir. Yazarlar bu aşamadan sonra toprak ısı değiştiricisi için deneysel bir çalışma gerçekleştirmiş ve çalışma sonuçlarında belirli aralıklarda enerji tasarrufu tespit etmişlerdir. Sagia vd. [46]'da, toprak kaynaklı ısı pompasının dikey

toprak ısı değiştiricisinin ısıl direnci ve ısı iletimini incelemişlerdir. Dikey toprak ısı dğeiştiricisi olarak U şeklinde tüpler kullanılmıştır.

Isı pompalarına ait toprak ısı değiştiricilerin hakkında farklı değişkenler ele alınarak pek çok nümerik çalışma yapılmıştır. Benazza vd. [47]'de toprak ısı değiştiricilerinin soğutma sezonundaki performanslarını boru uzunluğu, boru çapı, toprağın ısı iletkenlik katsayısı gibi parametrelere incelemişlerdir. Aynı zamanda, ısı akılarının zamana bağlı olarak değişimi de grafiklerde gösterilmiştir.

Fujii vd. [48]'de spiral toprak ısı değiştiricilerin optimum tasarımı için sonlu elemanlar metodu uygulanarak sayısal bir çalışma yapılmış ve çalışmanın geçerliliği önceden yapılan çalışmalarla ve bazı ısıl cevap testleriyle gerçekleştirilmiştir.

Chong vd. [49]'da, spiral şeklindeki ısı pompalarının üç boyutlu model oluşturarak sayısal çalışmalarını yapmışlardır. 5 farklı spiral boru mesafesi, 3 farklı spiral boru çapı, 3 farklı toprak özelliği nümerik olarak modellenmiş ve her bir modelin ısıl performansları elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Gustafsson vd. [50]'de, topraktaki bir ısı değiştirici içindeki doğal taşınımı CFD ortamında modelleyerek çözmüştür. CFD modeli kararlı şartlar altında modellenmekle beraber boru tipi tek U tipi olarak belirlenmiş ve boru boyu ise 3 metre olarak tasarlanmıştır. CFD çalışması, bazı teorik çalışmalar ve laboratuvar deneyleri ile karşılaştırılmış ve uyumlu olduğu görülmüştür.

Wu vd. [51]'de İngiltere koşulları için 3 boyutlu bir yatay spiral toprak ısı değiştirici modellemişler ve iki aylık bir periyod için farkı çap ve boru mesafeleri göz önünde bulundurarak deneysel ölçümler yapmışlardır. Ortalama COP değeri 2.5 olarak belirlenmiştir.

Fujii vd. [52]'de Japonya şartlarında çift ve tek katmanlı olmak üzere spiral şeklinde toprak ısı değiştiricileri soğutma ve ısıtma periyodları için modellemiştir. Modelin sınır şartları [48]'deki modelin sınır şartlarıyla aynıdır. Çalışma, üst katman için optimum yüksekliğin toprak altından 1.5 m altta olduğunu, aynı zamanda alt katmanın ise optimum değerler için 2 m altta olması gerektiğini belirlemiştir.

Toprak kaynaklı ısı pompaları ile ilgili yapılan dikey toprak ısı değiştiricili veya yatay toprak ısı değiştiricili ekipmanlar hakkında yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında, pek çok çalışmanın, ısı pompası performansını geliştirmek için toprak ısı değiştirici içerisindeki akışları ve toprak ısı değiştirici etrafındaki toprağın ısıl performanslarını inceledikleri görülmektedir. Toprak ısı değiştirici çevresindeki toprağın ısıl özelliklerini belirlemek amacıyla ısıl cevap testleri yapılmıştır. Yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında toprak ısı değiştirici performansının ısı pompası performansını büyük oranda etkilediği, bunun yanında toprak ısı değiştirici etrafındaki toprak ısı iletim katsayısının da toprak ısı değiştiricilerini büyük oranda etkilediği görülmektedir.

İncelenen literatür çalışmaları sonucunda, toprak ısı değiştirici etrafındaki toprak ısı iletim katsayılarını inceleyen pek çok çalışma bulunmuş, fakat bu tezin konusu olan ve toprak ısı değiştiricilerinin bina temel betonuna yerleştirilmesi durumunu inceleyen herhangi bir bilimsel literatür çalışması bulunamamıştır. Dikey toprak kaynaklı ısı pompalarının, bina temeli için kullanılan dikey beton kazıklara(enerji kazıkları) uygulanması için çeşitli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, bina temeline ısı değiştirici boruların yerleştirildiği herhangi bir literatür çalışması bulunmamaktadır.

Yapılan literatür çalışmaları sonucunda tez konusu olan konunun orijinalliği ortaya çıkarılmış ve *Tezin Amacı* kısmında bu konuya değinilmiştir.

1.2 **Tezin Amacı**

Toprak ısı değiştiricileri yatay ve dikey olmak üzere iki genel sınıfa ayrılmış olup, toprak kaynaklı ısı pompası için topraktan ısı çeken/ ısı alan ısı pompası ekipmanlarıdır. Toprak ısı değiştiricilerinin performansı ısı pompalarının performansının önemli bir parametresi olduğundan toprak ısı değiştiricisi performansının arttırılması aynı zamanda ısı pompası performansının arttırılması anlamına gelmektedir. Sonuç olarak toprak kaynaklı ısı pompasının geri ödeme süresini indirebilmek için toprak ısı değiştiricileri üzerinde yapılacak yeni metotlar veya uygulamalar önem arz etmektedir [25].

Toprak kaynaklı ısı pompalarının önemli dezavantajlarından biri, ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır[25]. Özellikle yatay toprak ısı değiştirici için hafriyat, dikey toprak ısı

değiştirici için sondaj maliyetleri, ilk yatırım maliyetlerini oldukça arttırmakta ve toprak kaynaklı ıs pompalarının geri ödeme süresini yükseltmektedir.

Toprak ısı değiştiricileri etrafında bulunan toprak türü de önemli bir etkendir. Toprağın ısı iletim katsayısı değeri toprak ısı değiştiricisinin performansını birinci derecede etkileyen bir parametre olduğundan toprak ısıl özellikler önem arz etmektedir. Çakıllı toprak, kuru-ağır toprak, nemli toprak ve granit için ısı iletim katsayıları [53]'de sırasıyla 0.52 W/mK, 0.95 W/mK, 1.30 W/mK ve 2.93 W/mK olarak gösterilmiştir.

Bu çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompası için yatay toprak ısı değiştiricisi uygulaması durumunda yatay topraklı ısı değiştiricisinin, yapılması planlanan yeni binaların temel betonu atılması sırasında temel betonu içerisine yatay olarak yerleştirileceği amaçlanmıştır. Bu sayede toprak kaynaklı ısı pompasının, yatay toprak ısı değiştirici sebebiyle sahip olduğu ilk yatırım maliyetinin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Toprak kaynaklı ısı pompası ilk yatırım maliyetinin düşürülmesinin yanı sıra, temel betonu içerisine yerleştirilen yatay ısı değiştiricinin, beton içerisinde var olan demirler vasıtasıyla daha yüksek bir performansa sahip olması düşünülmektedir. Bunu incelemek adına tez kapsamında farklı demir yoğunluklarında beton plakaların ısı iletim katsayıları deneysel, analitik ve sayısal olarak araştırılması ve karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Bu araştırma ve karşılaştırma sonucunda, beton içerisindeki demir yoğunluğuna bağlı olarak ısı iletim katsayısı grafiğinin çıkarılması hedeflenmektedir.

1.3 **Hipotez**

Toprak kaynaklı ısı pompalarının yatay toprak ısı değiştiricileri uygulamaları, ilk yatırım maliyeti açısından diğer ısı pompalarına göre oldukça yüksektir. Isı pompası yatay ısı değiştiricisi, yapılması planlanan yeni bir binanın temel betonu içerisine yerleştirildiğinde toprak kaynaklı ısı pompası yatay toprak ısı değiştiricisi için ek bir hafriyat masrafı oluşmamakta ve ilk yatırım maliyeti önemli oranda düşürülebilecektir.

Temel betonu içerisinde var olan ve beton dayanımını arttırmak için kullanılan demir/çelik geometrileri, temel betonu içerisine gömülen ısı değiştirici boruların performansını, toprak içerisine gömülen ısı değiştirici borulara göre arttırabilir. Bunun

sonucu olarak aynı alana döşenecek olan toprak ısı değiştiricisi, beton içerisinde olduğu zaman toprağa göre daha yüksek bir performansa sahip olabilir.

BÖLÜM 2

TEMEL BETONU İÇERİSİNDEKİ DEMİR MALZEMESİNİN YOĞUNLUĞUNA GÖRE ISI İLETİM KATSAYISININ İNCELENMESİ

Beton ve betonarmenin ısıl özellikleri açısından yapılan literatür çalışmalarının sayısı fazla olmasina rağmen, donatılı betonların ısıl iletkenlik katsayılarının bugüne kadar bilimsel olarak karşılaştırılmaması sonucu, bu çalışmada aşağıdaki 3 farklı türdeki beton-donatılı beton ısı iletim katsayısı açısından deneysel,sayısal ve analitik olarak incelenmiştir.

- İçerisinde herhangi bir demir geometrisi olmayan beton(grobeton)
- İçerisinde 10 mm çapta demir bir geometri bulunan beton(10 mm donatılı beton)
- İçerisinde 12 mm çapta demir bir geometri bulunan beton(12 mm donatılı beton)

Tez kapsamında her bir beton türünden 2 adet 50x50x10 cm lik beton plakalar dökülmüş ve tek bir yönden olmak üzere ısı iletim katsayıları deneysel olarak TS ISO 8302 Standardına [53] uygun olarak incelenmiştir.

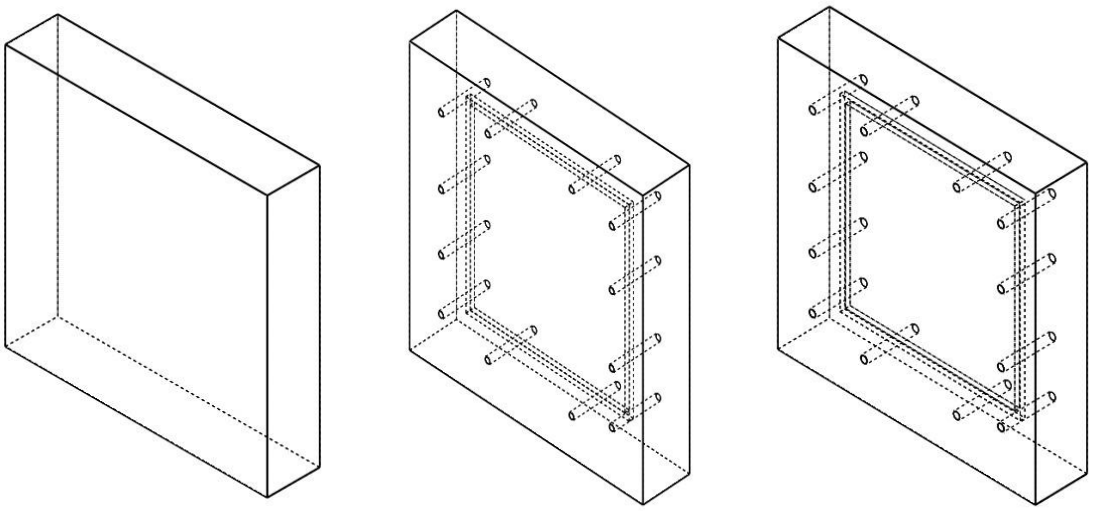
Deneysel çalışma ardından, aynı beton türleri sayısal olarak incelenmek amacıyla bilgisayarda modellenmiş ve HAD analizi ile üç kartezyen koordinat için de ısı iletim katsayıları bulunmuştur.

2.1 **Deneysel Çalışmalar**

Deneysel çalışma içerisinde üç farklı beton donatısı için ısı iletim katsayısı deneyi yapılmıştır. Deney düzeneği TS ISO 8302 Standardı temel alınarak yapılmıştır. Çalışmanın amacı, her bir beton geometrisinin tek bir Kartezyen koordinatta ısı iletim katsayısını tayin etmektir.

2.1.1 Deney Düzeneğinin Anlatılması

Deney düzeneği için öncelikli olarak ikisi donatışız C 30 sınıfı beton, ikisi içerisinde 10 mm çaplı inşaat demiri bulunduran C 30 sınıfı beton ve son ikisi içerisinde 12 mm çaplı inşaat demiri bulunduran C 30 sınıfı beton olmak üzere altı adet 50x50x10 cm ebatlarında beton geometri oluşturulmuştur. Aşağıdaki şekilde bu geometriler görülebilir.

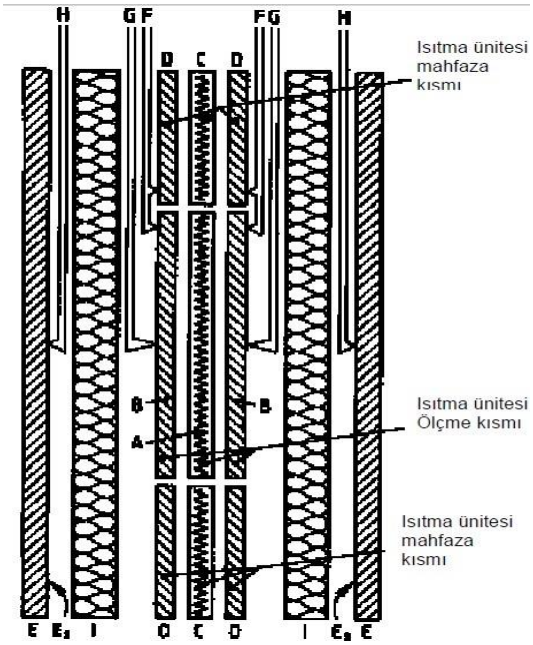


(a) (b) (c)

Şekil 2.1 Deney için oluşturulan beton geometrilerinin CAD ortamında gösterimi: (a) donatışız beton, (b) 10 mm demir içeren beton, (c) 12 mm demir içeren beton

Beton geometriler oluşturulduktan sonra TS ISO 8302 [54]'e göre ısı iletim katsayısı deneyi yapılmıştır. Standarda göre ısıtıcı plaka, ısı iletim katsayısı saptanacak aynı iki malzeme arasında sandviç yapılır. Her iki malzemenin de diğer yüzeylerine ısı transferinden dolayı oluşacak ısı akışının gerçekleşmesini sağlayan soğutucu yüzeyler

bulunmaktadır [54]. Şekil 2.2'de [54]'de gösterilen deney tertibatı şematiği gösterilmiştir. TS ISO 8302 Standardının düzenek anlatımı ile ilgili kısımları EK-A'da sunulmuştur.



(a)

Açıklama

A	Ölçme kısmı ısıtıcısı
B	Ölçme kısmı yüzey plâkaları
C	Mahfaza kısmı ısıtıcısı
D	Mahfaza kısmı yüzey plâkaları
E	Soğutma ünitesi
E_s	Soğutma ünitesi yüzey plâkası
F	Diferansiyel termometre
G	Isıtma ünitesi yüzey termoçiftleri
H	Soğutma ünitesi yüzey termoçiftleri
I	Deney parçası

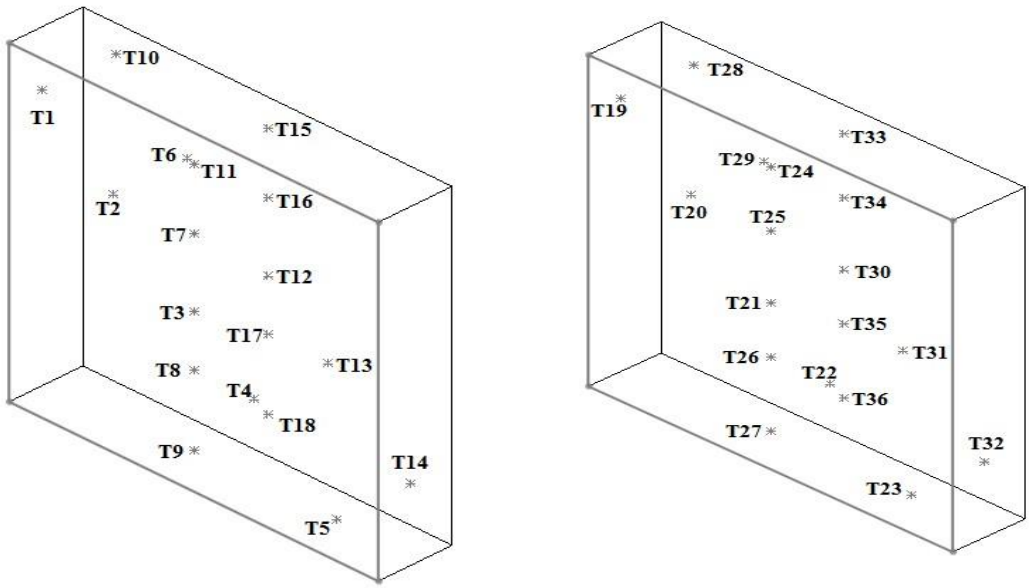
(b)

Şekil 2.2 TS ISO 8302 [53]'e göre deney düzeneği ve açıklaması

Isı iletim katsayısı deneyi için betonun çeşitli yüzeylerine termoelemanlar (termocouple) yerleştirilmiştir. Isı iletim katsayısı deneyleri, beton yapıların 50x50 cm'lik yüzeylerine termoelemanlar yerleştirilerek yapılmıştır. Buna göre, beton yapıların diğer yüzeylerinden (50x10 cm'lik yüzeyler) ortama olan ısı transferlerinin sıfıra yakın olması istenmiştir. Bu nedenle, beton yapıların diğer yüzeylerine yalıtım malzemeleri yerleştirilmiştir. Çalışma içerisinde, 50x10 cm'lik yüzeylere yalıtım malzemeleri yerleştirilmesine rağmen, yapılan deneyin doğruluğunun ölçülmesi açısından 50x10 cm'lik yüzeylerden birine, yalıtım malzemesine temas eden noktalar için iki adet termoeleman yerleştirilmiştir. Aynı zamanda, diğer yüzeylerden olan ısı transferini engellemek için yerleştirilen yalıtım malzemelerinin ortama bakan yüzeylerine de iki adet termoeleman yerleştirilmiştir. Böylelikle, ısı transferi olmaması istenen yüzeylerden meydana gelen ısı transferi de belirlenmiş ve daha doğru bir deney sonucu elde edilmiştir.

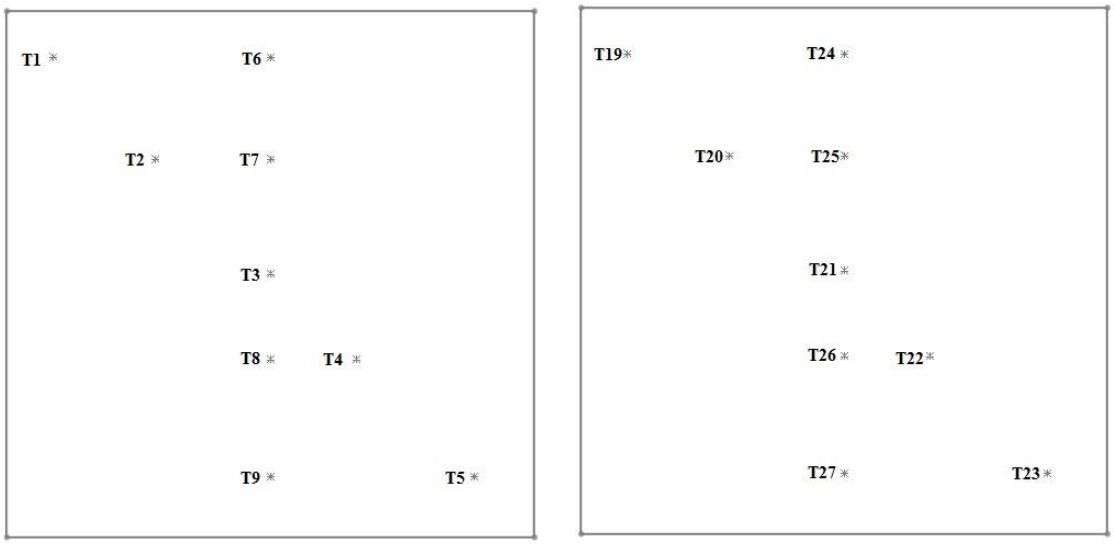
Termoelemanlar beton geometrilerinin yüzeylerine farklı adetlerde yerleştirilmiştir. Beton geometrisinin 50x50 cm'lik yüzeyi, deneyin asıl amacı olan ısı iletim katsayısının ölçümü için uygulama yüzeyi olduğundan bir beton geometrisinin sahip olduğu iki adet 50x50 cm'lik yüzeye, her birinde 9 adet olmak üzere toplam 18 adet termoeleman yerleştirilmiştir. [53]'e göre bir yapı malzemesinin ısı iletim katsayısı tayini için, ısıtıcı plakanın iki tarafına da aynı malzemeden koyulması gerektiğinden, bir beton geometrisindeki ısı iletim katsayısını ölçmek için kullanılan toplam 18 adet termoeleman, ikinci beton geometrisi için de düşünüldüğünde toplam 36 adet olmuştur.

Şekil 2.3'de bir beton geometrisi için yapılan ısı iletim katsayısı deneyinde kullanılan aynı beton geometrileri üzerindeki termoelemanlar izometrik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'de ise termoelemanlar, beton geometrilerin sırasıyla ön ve arka yüzeylerinde iki boyutlu olarak gösterilmiştir.



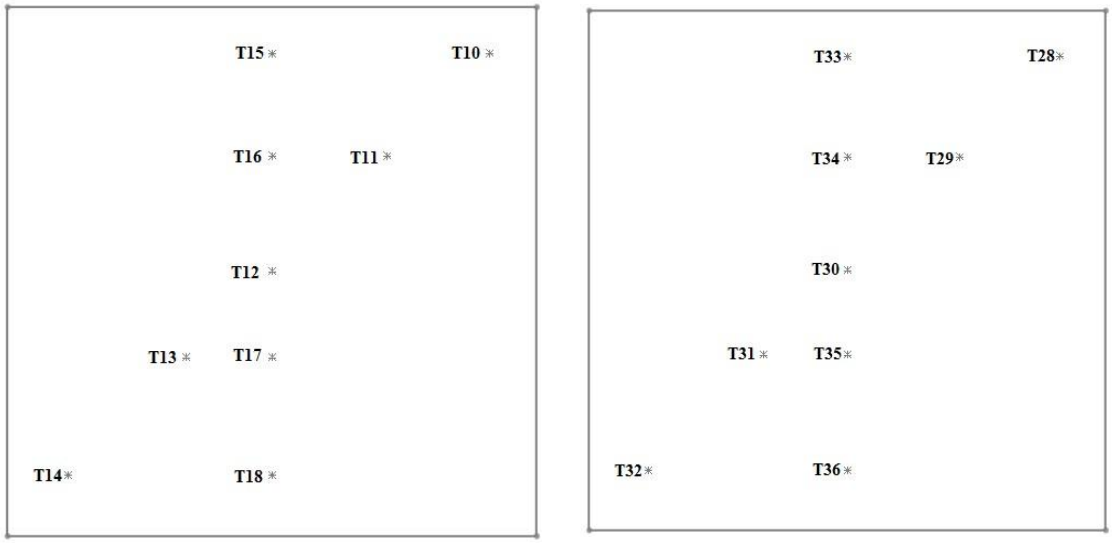
(a) (b)

Şekil 2.3 Isı iletim katsayısı tayin edilecek aynı cins betonların ön ve arka yüzeylerindeki termoeleman yerleşimi(izometrik): (a) Isıtıcı plaka altındaki beton, (b) Isıtıcı plaka üzerindeki beton



(a) (b)

Şekil 2.4 Isı iletim katsayısı tayin edilecek aynı cins betonların ön yüzeylerindeki termoeleman yerleşimi(iki boyutlu): (a) Isıtıcı plaka altındaki beton, (b) Isıtıcı plaka üzerindeki beton

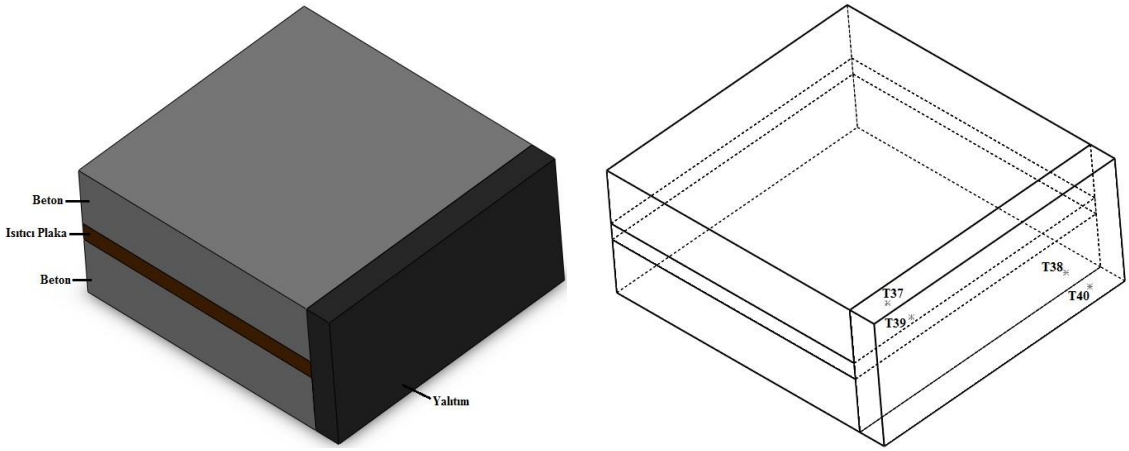


(a) (b)

Şekil 2.5 Isı iletim katsayısı tayin edilecek aynı cins betonların arka yüzeylerindeki termoeleman yerleşimi(iki boyutlu): (a) Isıtıcı plaka altındaki beton, (b) Isıtıcı plaka üzerindeki beton

Beton geometrisinin 50x10 cm'lik yüzeyleri, ısı transferinin olmaması istenen ve bu yüzden yalıtım malzemeleri ile örtülen yüzeylerdir. Yalıtım uygulamasına rağmen bu yüzeylerden mutlaka dış ortama ısı transferi oluşağından, 50x10 cm'lik dört adet

yüzeyden biri seçilmiş ve yalıtıma bakan kısmına iki adet termoeleman yerleştirilmiştir. Aynı zamanda, yalıtım uygulaması ardından, yalıtımın çevreye bakan yüzeyine de iki adet termoeleman yerleştirilmiştir. Böylelikle, 50x10 cm'lik yüzeylerden açığa çıkan ısı akısı belirlenmiş ve ısı iletim katsayısı deneyi için oluşturulan uygulama yüzeyine etkiyen ısı akısı doğru bir şekilde incelenmiştir. Şekil 2.6a'da, deney düzeneği elemanları ve bu düzeneğe uygulanan yalıtımın sadece bir yüzeydeki görünümü görülmektedir. Şekil 2.6b'de ise, ısı transferi olmaması istenen yüzeylerden meydana gelen ısı kaybını ölçmek için kullanılan termoelemanların yerleşimi gösterilmiştir. Şekil 2.6b için, T37 ve T38 kodlu termoelemanlar beton geometrilerin yalıtıma bakan yüzeylerine yerleştirilmiş termoelemanlardır. T39 ve T40 ise, yalıtım malzemesinin ortam şartlarına bakan yüzeyine yerleştirilmiş termoelemanlardır.

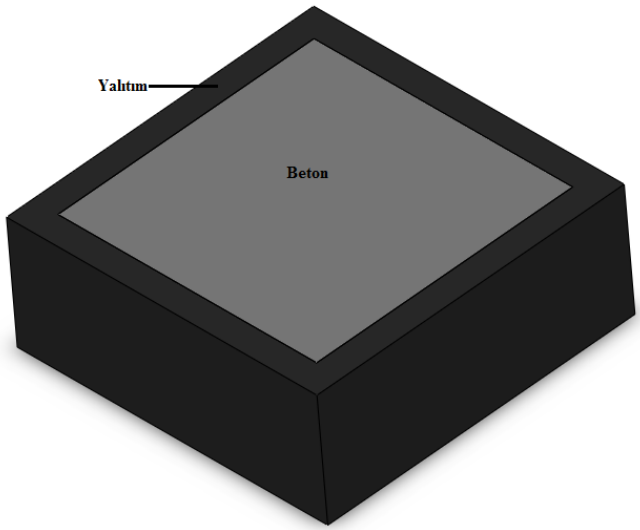


(a) (b)

Şekil 2.6 (a) Deney düzeneği elemanlarının genel görünümü, (b) Beton geometrilerinin yanyüzeyine ve yalıtım malzemesine yerleştirilen termoelemanlar

Ayrıca, ortamın sıcaklık değeri ölçümü için bir adet termoeleman da düzeneğe ait olarak yerleştirilmiştir.

Düzeneğe uygulanan yalıtım malzemelerinin tümünün göründüğü genel görünüm ise Şekil 2.7'de görülebilir.



Şekil 2.7 Deney düzeneğinin tüm yan yüzeylerine yalıtım uygulanmış haldeki genel görünümü

2.1.2 Deney Düzeneğinin Hazırlanışı

Deney düzeneğinin hazırlanma aşamasında tezin ilk kısmında da belirtilen 50x50x10 cm boyutlara sahip donatışız, içerisinde 10 mm çapında inşaat demiri geometrisi bulunan ve içerisinde 12 mm çapında inşaat demiri geometrisi bulunan 3 farklı beton geometrisi dökülmüştür. Beton sınıfı olarak C30 tercih edilmiştir. C30 beton sınıfının tercih edilmesinin sebebi, Türkiye'de bina temel betonlarında, kolon ve kirişlerde tercih edilen beton olmasıdır.

Şekil 2.8'de, donatılı beton geometrileri için üretilen 10mm'lik ve 12 mm'lik inşaat demirlerinden oluşan geometriler görülebilir.

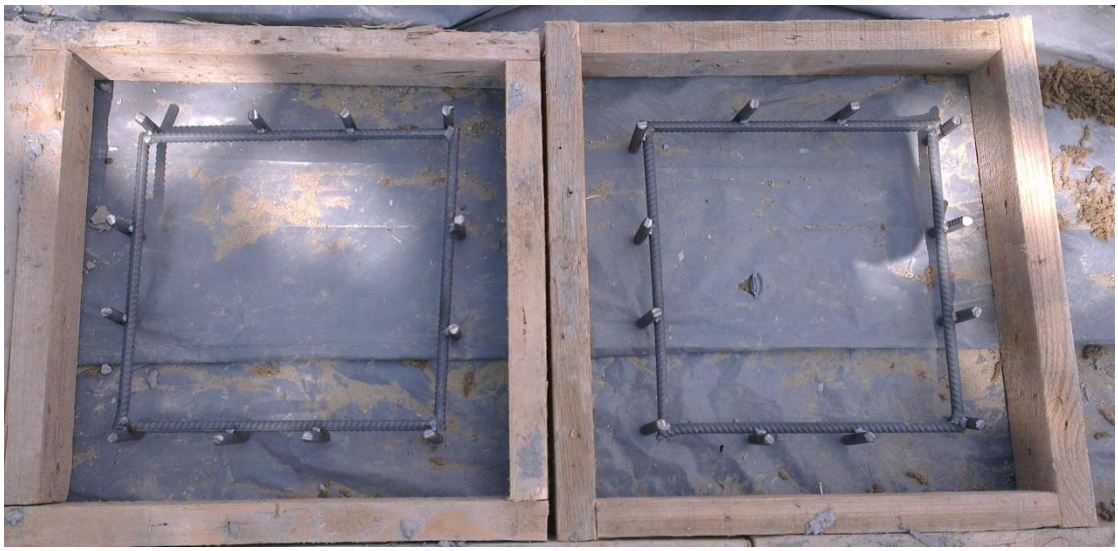


Şekil 2.8 (a) 10mm çaplı inşaat demiri geometrisi, (b) 12mm çaplı inşaat demiri geometrisi

Demir geometrileri üretildikten sonra, donatılı betonlar için 50x50x10cm boyutlarındaki beton dökümü için oluşturulan kalıplara yerleştirilmiştir. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da sırasıyla 10mm'lik ve 12mm'lik demirlerin yerleştirildiği kalıplar görülebilir.



Şekil 2.9 10mm çapında inşaat demiri geometrisi içeren beton geometrisi dökümü için oluşturulan kalıplar.

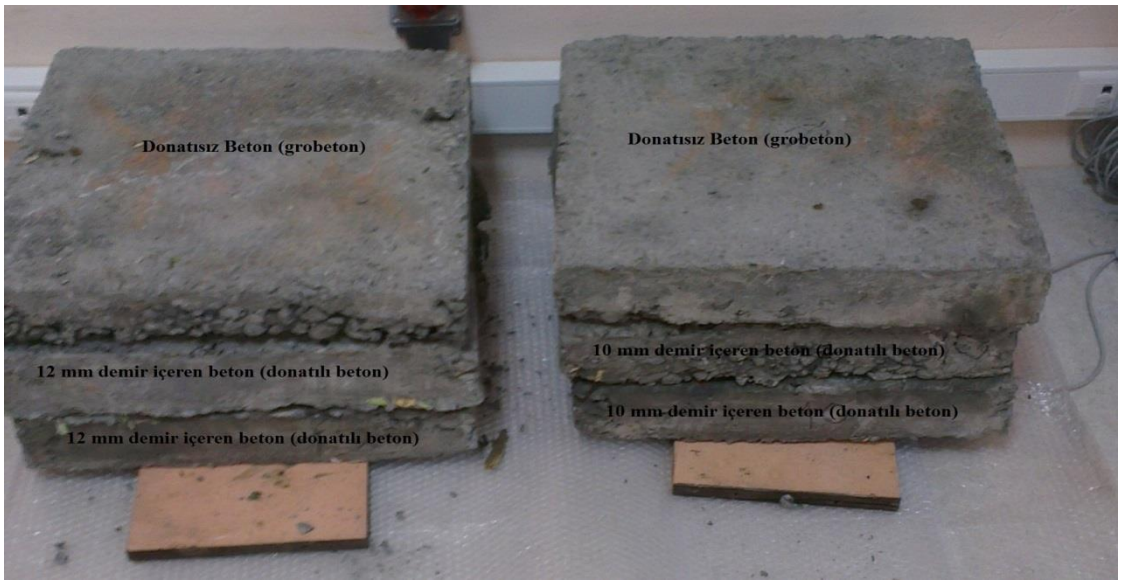


Şekil 2.10 12mm çapında inşaat demiri geometrisi içeren beton geometrisi dökümü için oluşturulan kalıplar.

Oluşturulan kalıpların ardından, C30 sınıfı beton kalıplara dökülerek aşağıdaki gibi 3 farklı beton geometrisi oluşturulmuştur.

- Herhangi bir demir geometrisi içermeyen beton(grobeton)- 2 adet
- 10 mm çapında demir geometrisi içeren beton(donatılı beton)- 2 adet
- 12 mm çapında demir geometrisi içeren beton(donatılı beton)- 2 adet

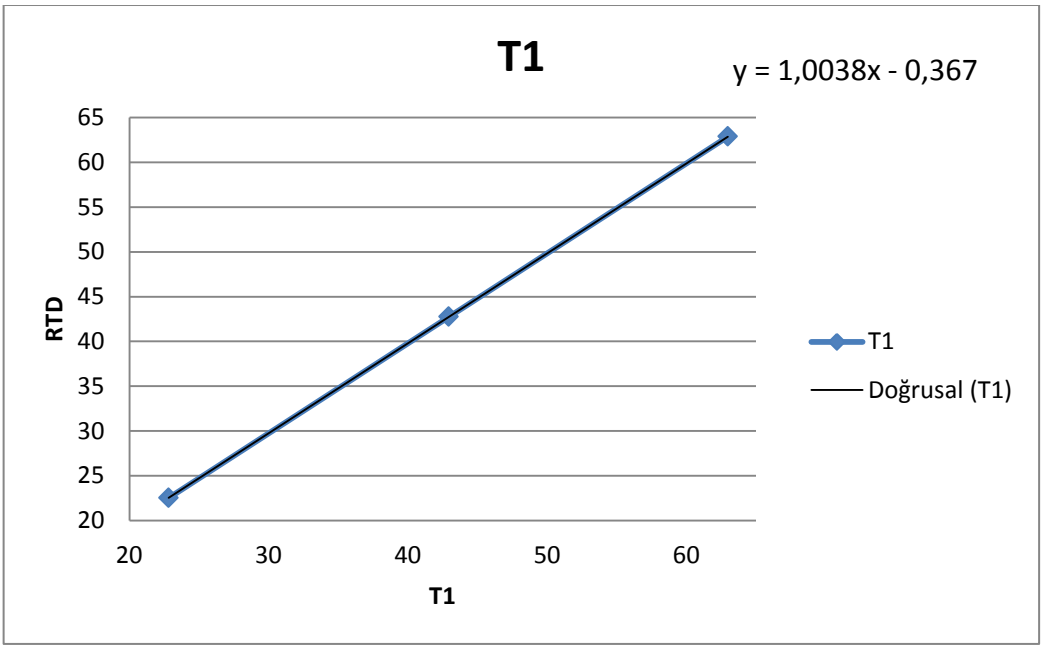
Şekil 2.11'de üretilen bu beton geometrileri görülebilir.



Şekil 2.11 Dökülen beton geometrileri

Beton geometrileri oluşturulduktan sonra, ısı iletim katsayısı deneyinde kullanılan termoelemanların kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Beton geometrileri üzerinde bulunan termoelemanlar "2.1.1 Deney Düzeneğinin Anlatılması" bölümünde detaylı olarak gösterilmiştir. Deney düzeneği için toplam 41 adet termoeleman kullanılmıştır. 40 adet termoeleman beton yüzeylerinde uygulanırken, geri kalan bir adet termoeleman ise ortam sıcaklığı tespiti için kullanılmıştır.

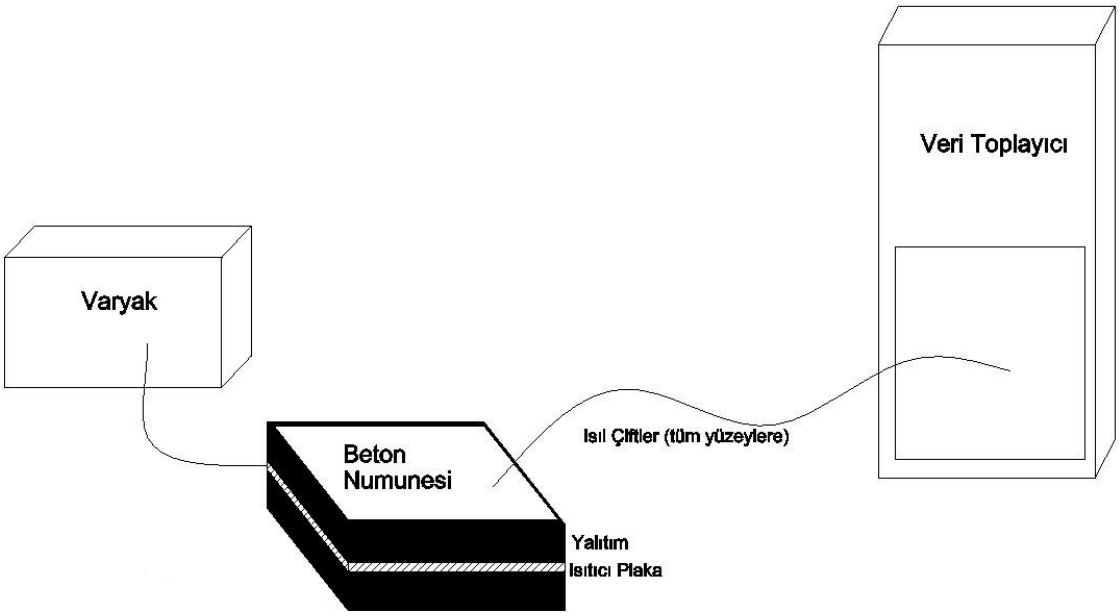
Termoelemanların kalibrasyon işlemleri için, termoelemanlar haricinde bir adet RTD sıcaklık ölçer, bır adet ısıl kütle ve bir adet banyo kullanılmıştır. Tüm termoelemanlar ve RTD sensörü bir ısıl kütleye yapıştırılmış ve bu ısıl kütle, banyo içerisinde sırasıyla 20^{o}C, 40^{o}C ve 60^{o}C sıcaklıklarına sahip su içerisine yerleştirilmiş ve kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Farklı su sıcaklıklarında ölçüm alan RTD sensörü ile kalibre edilecek olan termoelemanların aldığı ölçümler, tek tek karşılaştırılmış ve RTD ile termoelemanlar arasında tek tek bir eğri grafiği oluşturulmuştur. Son olarak, oluşturulan eğrilerin denklemleri çıkarılmış ve bu denklemler veri toplayıcı sisteme yerleştirilerek kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır. Şekil 2.12'de örnek olarak T1 kodlu termoelemanın kalibrasyon eğrisi ve denklemi görülmektedir.



Şekil 2.12 T1 kodlu termoelemanın kalibrasyon eğrisi

2.1.3 Deneyin Yapılışı

Numunelerin hazırlanması ve ısıl çiftlerin kalibrasyonunun yapılmasının ardından deney düzeneği çalışmaya hazır duruma getirilmiştir. Düzenekte ısıtıcı plakaya elektrik vermesi için bir adet varyak kullanılmıştır. Ayrıca, düzenekteki numunelerin çeşitli yüzeylerine yukarıda belirtildiği gibi yerleştirilen ısıl çiftler veri toplayıcıya bağlanmış ve veri toplayıcının da bilgisayara bağlanmasıyla sonuçların dijital ortamda okunması sağlanmıştır. Şekil 2.13'te deneyin yapılışı için hazır olan düzeneğin son hali, şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.13 Deney düzeneğinin son hali

Deneyler esnasında her bir numune için bir kod belirlenmiş ve ileriki sayısal çalışmalarda da karışıklık yaratmaması sebebiyle bu kodlar üzerinden sonuçların karşılaştırılması sağlanmıştır. Deney düzeneğinde test edilen üç adet numunenin isimleri ve kodları;

- Herhangi bir demir geometrisi içermeyen beton(grobeton)= CW
- 10 mm çapında demir geometrisi içeren beton(donatılı beton)= CW10
- 12 mm çapında demir geometrisi içeren beton(donatılı beton)= CW12-1

olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.1'de her bir deney numunesine varyak tarafından verilen güçler gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Her bir model için varyaktan sağlanan güçler

Model Adı	Deney 1	Deney 2
CW	31.54 W	54.00 W
CW10	30.75 W	52.00 W
CW12-1	30.22 W	54.40 W

Her bir deney düzeneği için verilen güçler yukarıdaki tabloda belirtildiği gibi uygulandıktan sonra ısı iletim katsayısı aşağıdaki Fourier ısı iletim denklemi ile bulunur.

$$\dot{Q} = -kA\frac{dT}{dx} \tag{2.1}$$

ve buradan ısı iletim katsayısı

$$k = \frac{\dot{Q}.L}{\Delta T.A} \tag{2.2}$$

olarak bulunur.

Her bir deney düzeneğinde aynı modelden iki adet yerleştirildiği için, ısı iletim katsayısının belirlenmesinde L=0,1 m A=0,25m^2 değerlerini alır. Değişen ısı miktarlarına denk gelen k ısı iletim katsayıları bu tezin sonuçlar kısmında gösterilmiştir.

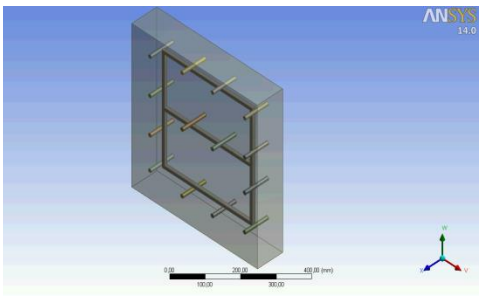
BÖLÜM 3

3.1. Sayısal Çalışma

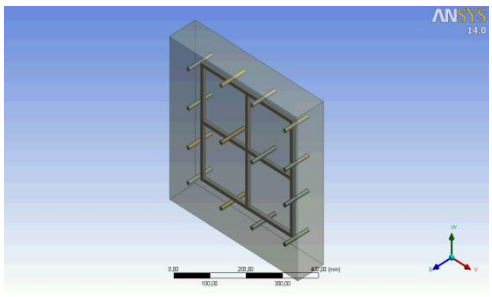
Deneysel çalışmaya paralel olarak, deneyleri gerçekleştirilen numunelerin ve bu numunelere ek olarak bilgisayar ortamında tasarlanmış olan diğer donatılı beton numunelerin sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, deneyleri yapılan CW, CW10 ve CW12-1 modellerinin yanında, beton geometrisi içinde 12 mm çaplı inşaat demirlerinden oluşan X,Y ve Z koordinatlarında farklı yoğunlukta ve sayıda bulunan demir geometrileri oluşturulmuştur.

3.1.1. Sayısal Modelin Oluşturulması

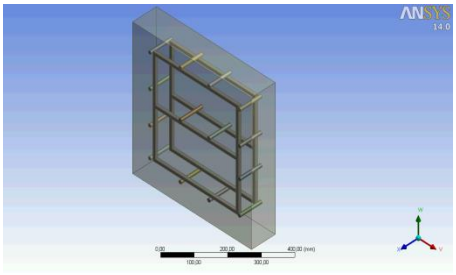
Deneyi yapılan geometrilerin tasarımı Şekil 2.1'de önceden gösterilmişti. Şekil 3.1'de ise CW12-2'den CW12-9'a kadar olan 8 farklı model gösterilmektedir.



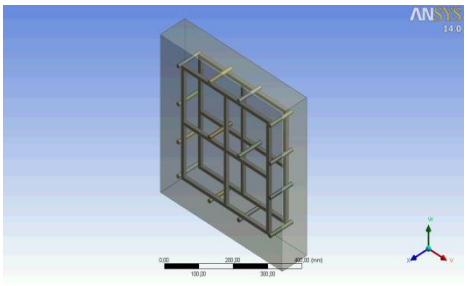
(a) CW12-2



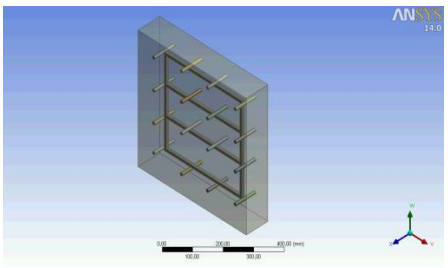
(b) CW12-3



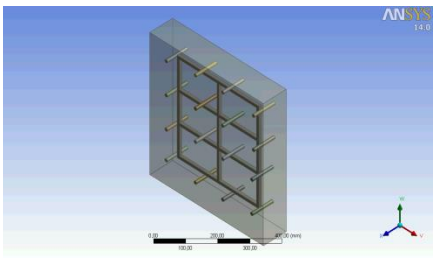
(c) CW12-4



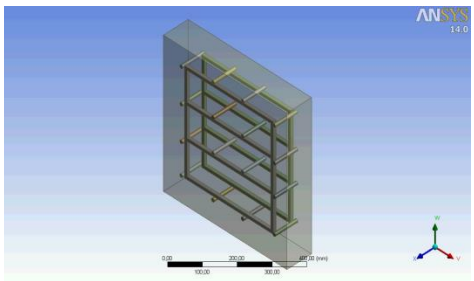
(d) CW12-5



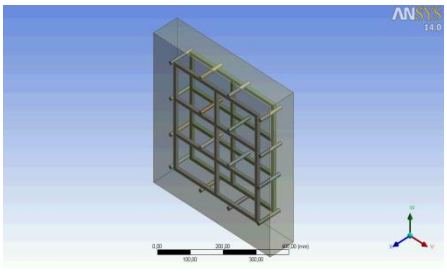
(e) CW12-6



(f) CW12-7



(g) CW12-8

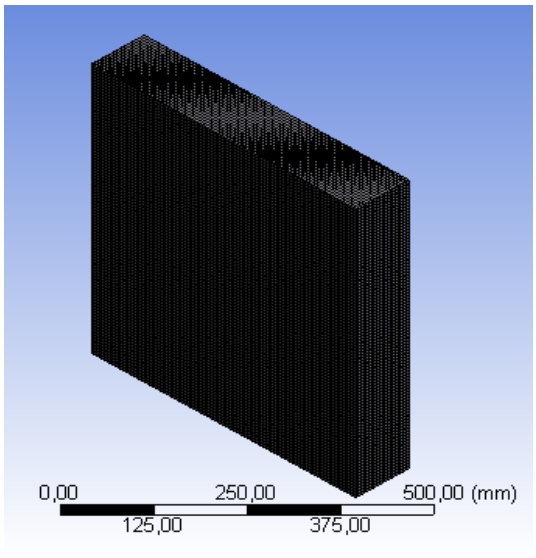


(h) CW12-9

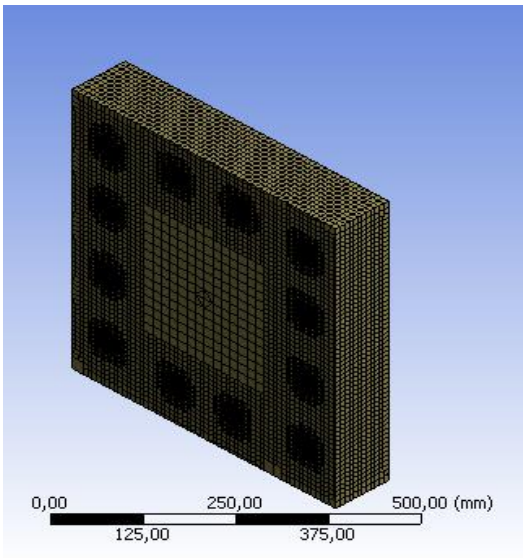
Şekil 3.1 Tasarlanan 8 değişik donatılı beton geometrileri (a) CW12-2 den (h) CW12-9'a kadar

3.1.2. Sayısal Çözüm Ağı

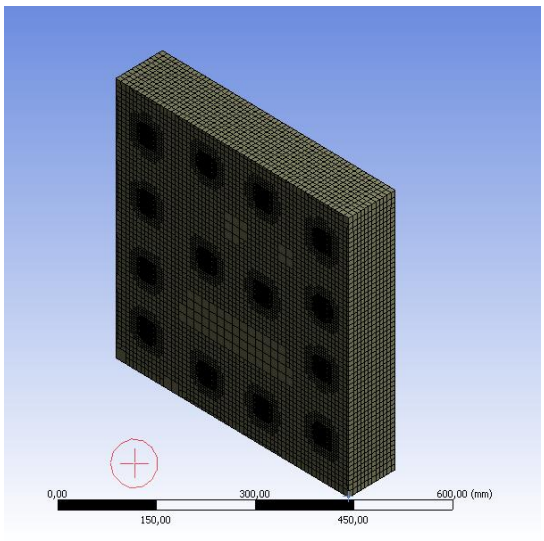
CW modelinden CW12-9 modeline kadar tasarlanan her bir model için çözüm ağı ANSYS Meshing modülünde oluşturulmuştur. Dikdörtgen prizma şeklinde oluşturulan geometrilere uygulanan çözüm ağı metodu "CutCell Meshing" metodu olarak bilinen çözüm ağı metodu olarak belirlenmiştir. Şekil 3.2'de CW, CW12-1, CW12-2 ve CW12-9'a ait ağ modelleri gösterilmiştir.



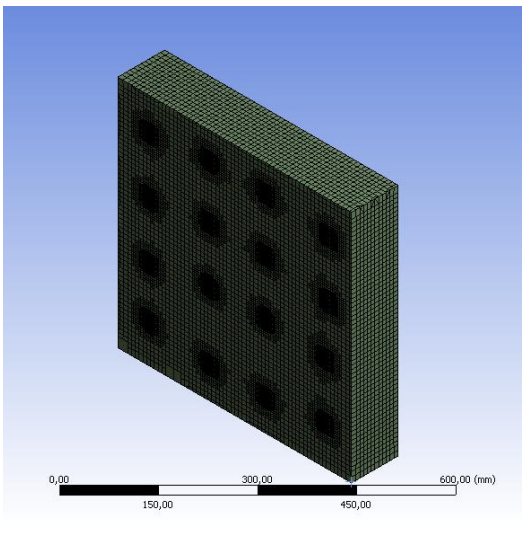
(a) CW



(b) CW12-1



(c) CW12-2



(d) CW12-9

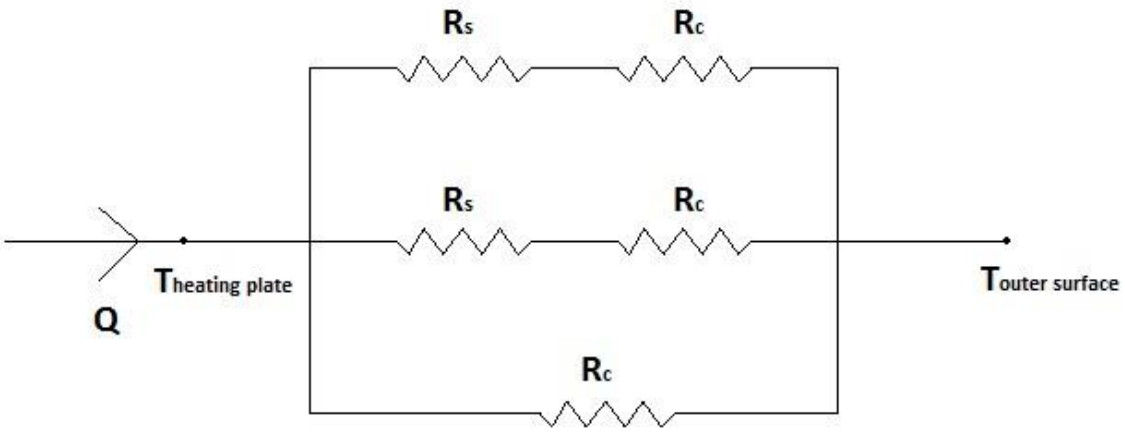
Şekil 3.2 Tasarlanan bazı geometrilerin çözüm ağları (a) CW'den (d) CW12-9'a kadar

3.1.3. Sayısal Analiz

Numunelerin sayısal analizi HAD analizi olarak gerçekleştirilmiştir. CW, CW10 ve CW12-1 geometrileri için deneysel çalışmalarla eş sınır koşulları oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu geometrilere ait sayısal çalışmaların deneylerle ve analitik çalışmayla belirli hata oranlarına rağmen uyumlu olması sonucunda, tasarlanan sınır şartları CW12-2'den CW12-9'a kadar uygulanmıştır. CW12-1 modeli için belirlenen Deney 1 sınır şartları, CW12-2'den CW12-9'a kadar olan tüm modeller için sayısal analizdeki ısı akısı girişi olarak belirlenmiştir.

3.2. Analitik Çalışma

Deney düzeneğinde ve sayısal analizde çalışılan her bir beton numunesi için analitik çalışma adına birer ısıl direnç devresi oluşturulmuş ve her bir devre için deney düzeneğinde ve sayısal çalışmada uygulanan ısı miktarlarının uygulanmasıya analitik çalışma sonuçları elde edilmiştir. CW düzeneği içerisinde herhangi bir donatı barındırmadığından tek bir dirence (beton direnci) sahipken CW10 ve diğer tüm CW12 modelleri demir donatılar içerdiğinden CW'den farklı bir direnç devresine sahiptir. Şekil 3.3'de CW modeli hariç her model için geçerli olan direnç devresi gösterilmiştir.



Şekil 3.3 CW modeli hariç her bir model için geçerli olan ısıl direnç şeması

3.3. Sonuçların Karşılaştırılması

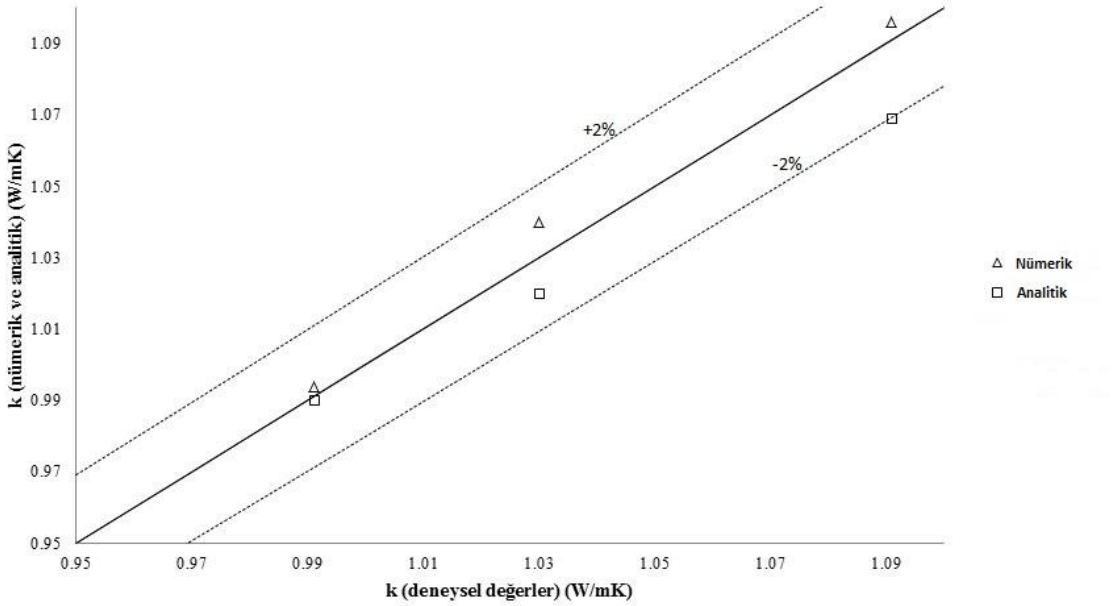
Donatılı, donatısız betonların ısı iletim katsayılarının tespit edilmesinin ardından, bina temel betonunun içerisine yerleştirilmiş olan DN 32 boruların toprak ısı değiştiricisi olarak kullanılması durumundaki sayısal analizi yapılmış ve aynı şartlardaki toprak ısı değiştirici ile bu performans karşılaştırılmıştır.

CW, CW10 ve CW12-1 modelleri için yapılan deneysel, analitik ve sayısal çalışmaların sonucu Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Her bir modelin analitik,sayısal ve deneysel ısı iletim katsayısı değerleri (W/mK)

Model	Experimental	Numerical	Analytical
CW	0.991	0.994	0.99
CW10	1.03	1.04	1.02
CW12-1	1.091	1.096	1.069

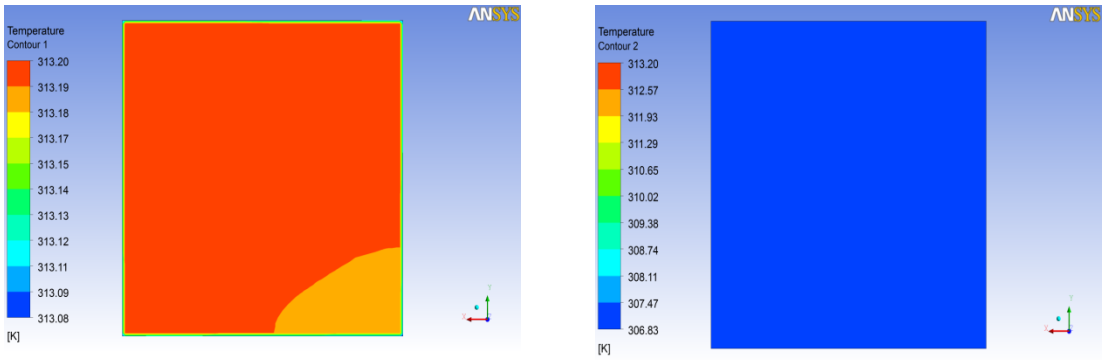
Yapılan deneysel, analitik ve sayısal çalışmaların birbirleri ile olan hataları ise Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Analitik, deneysel ve sayısal çalışmaların birbirlerinden sapmaları

Sonuç olarak CW, CW10 ve CW12-1 için yapılan analitik, nümerik ve sayısal analizler karşılaştırıldığında, sayısal ve analitik değerlerin deneysel değerler ile arasında %2 bandında bir sapma görülmüştür.

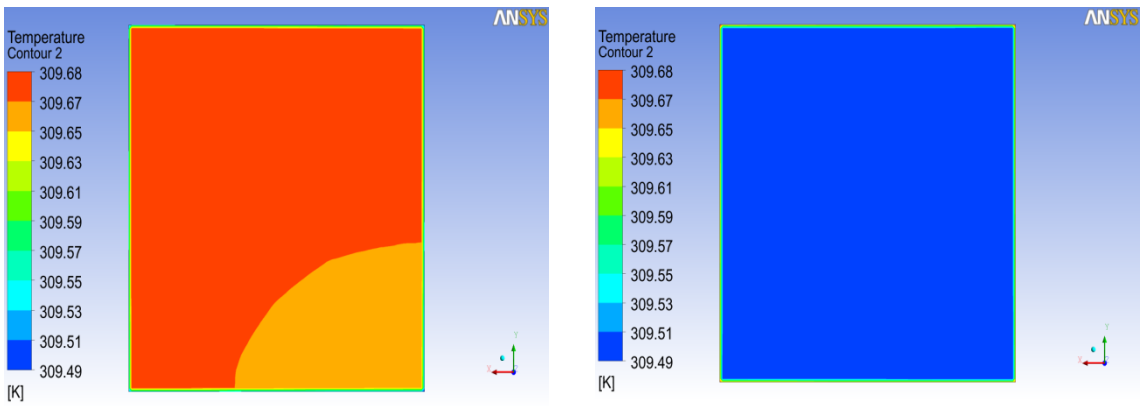
Şekil 3.5'de sayısal analizleri analizleri gerçekleştirilen CW modelinin Deney 1 için ısıtıcı plakaya bakan ve odaya bakan yüzeylerindeki sıcaklık değerleri görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 3.5 CW modelinin Deney 1 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi

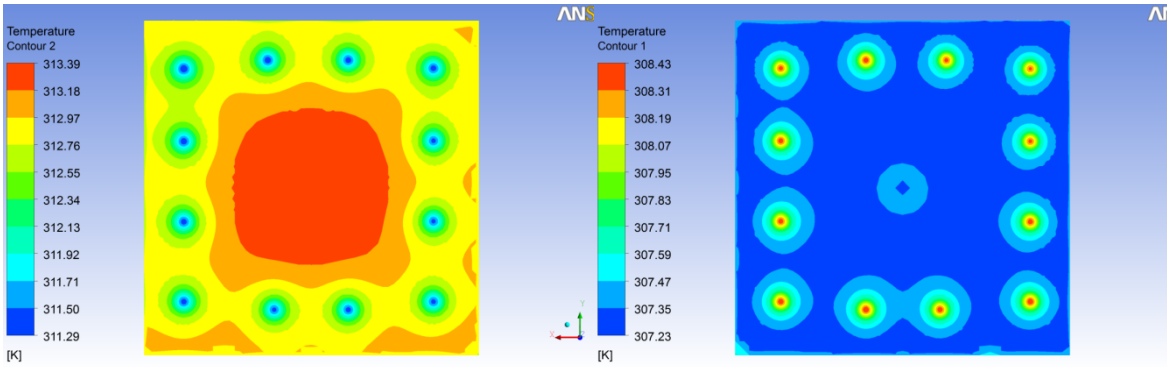
Şekil 3.6'da sayısal analizleri analizleri gerçekleştirilen CW modelinin Deney 2 için ısıtıcı plakaya bakan ve odaya bakan yüzeylerindeki sıcaklık değerleri görülmektedir.



(a) (b)

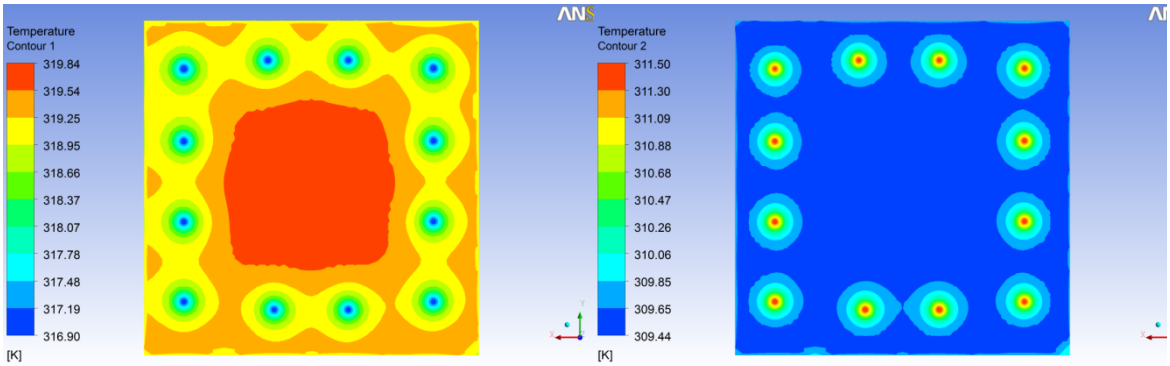
Şekil 3.6 CW modelinin Deney 2 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de ise sırasıyla Deney 1 ve Deney 2 değerlerine göre CW10 modelinin her iki yüzeyindeki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir.



(a) (b)

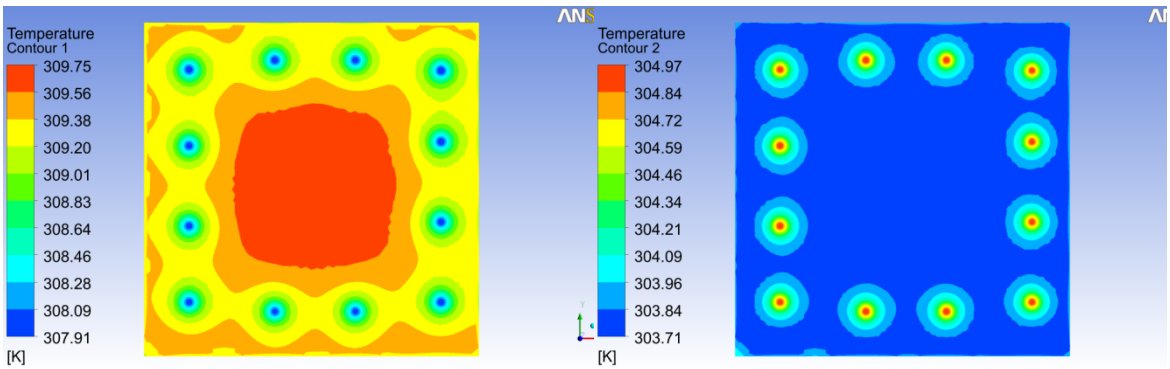
Şekil 3.7 CW10 modelinin Deney 1 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi



(a) (b)

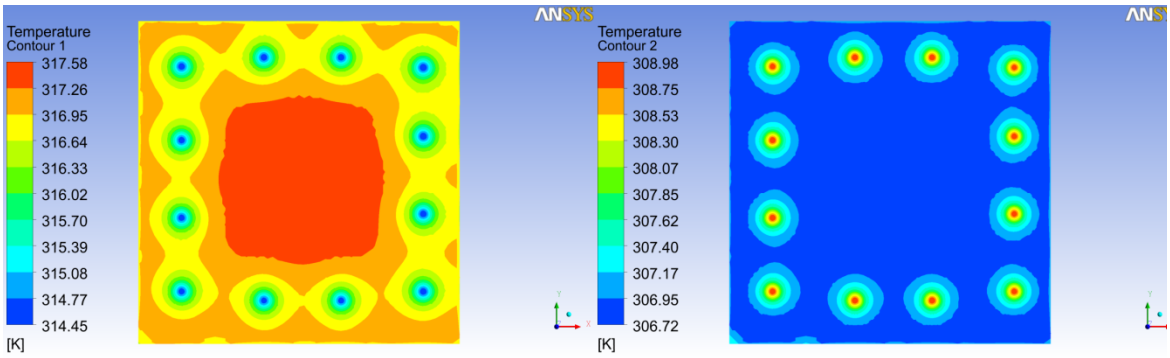
Şekil 3.8 CW10 modelinin Deney 2 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da ise sırasıyla Deney 1 ve Deney 2 değerlerine göre CW10 modelinin her iki yüzeyindeki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.9 CW12-1 modelinin Deney 1 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi



(a) (b)

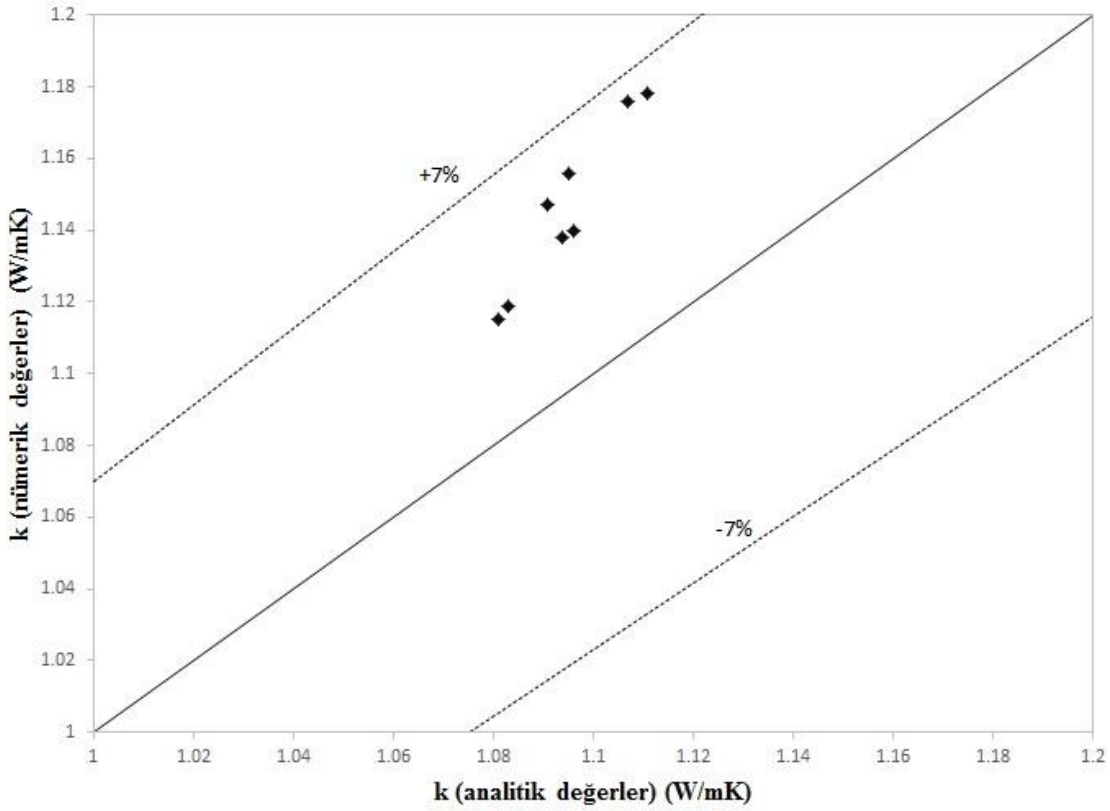
Şekil 3.10 CW12-1 modelinin Deney 2 değerlerine göre sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi

CW, CW10 ve CW12-1 modelleri için yapılan analizlerin ardından CW12-2'den CW12-9'a kadar 8 farklı donatılı beton modeli hem sayısal hem de analitik olarak incelenmiştir. Çizelge 3.2'de bu modellerden elde edilen değerler gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 CW12-2'den CW12-9'a kadar olan modellerin analitik ve sayısal değerleri

Model	$T_{ıp}$ (K)	T_{oy} (K)	$k_{nümerik}$ (W/mK)	$k_{analitik}$ (W/mK)
CW12-2	309.24	303.82	1.115	1.081
CW12-3	309.22	303.82	1.119	1.083
CW12-4	309.12	303.85	1.147	1.091
CW12-5	309.09	303.86	1.156	1.095
CW12-6	309.12	303.81	1.138	1.094
CW12-7	309.13	303.83	1.140	1.096
CW12-8	308.99	303.85	1.176	1.107
CW12-9	308.98	303.85	1.178	1.111

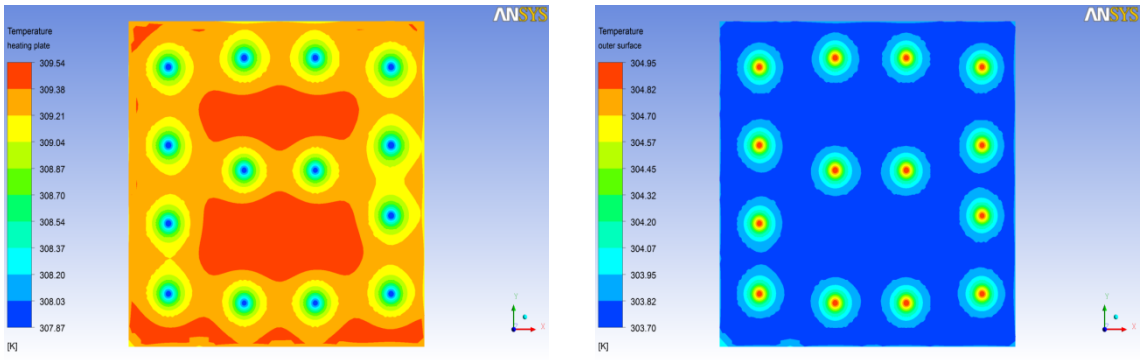
Bu modellerin sayısal ve analitik değerlerinin karşılaştırıldığı ve sapmaların gösterildiği eğri ise Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 CW12-2'den CW12-9'a kadar olan modellerin deneysel ve analitik çalışmalarının karşılaştırılması

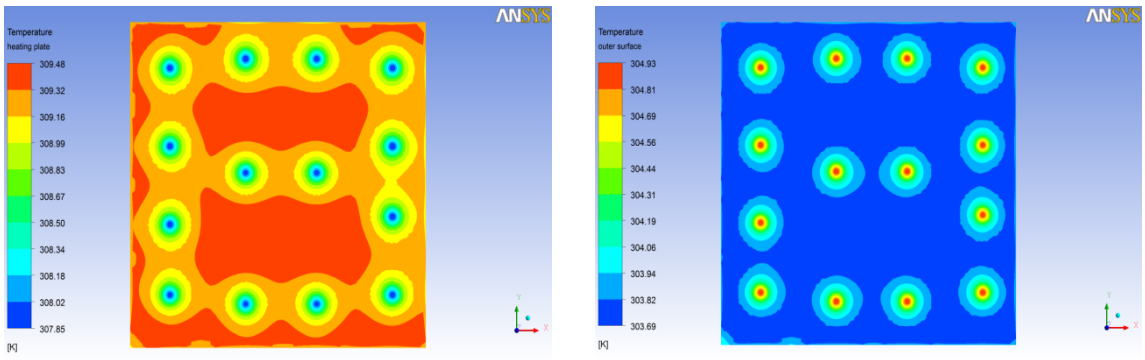
Şekil 3.11'den de görüleceği üzere sayısal çalışmalar ile deneysel çalışmalar arasındaki sapma %7 bandında görülmektedir.

Ayrıca, her bir model için yapılan sayısal çalışmalar sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımları şekillerle gösterilmiştir. Şekil 3.12'de CW12-2 modelinin ısıtıcı plakaya ve odaya bakan yüzeyleri gösterilmiştir. Bundan sonra Şekil 3.13,3.14,3.15,3.16,3.17,3.18 ve 3.19'da sırasıyla CW12-3, CW12-4, CW12-5, CW12-6, CW12-7, CW12-8 ve CW12-9 modellerinin sıcaklık dağılımları gösterilmiştir.



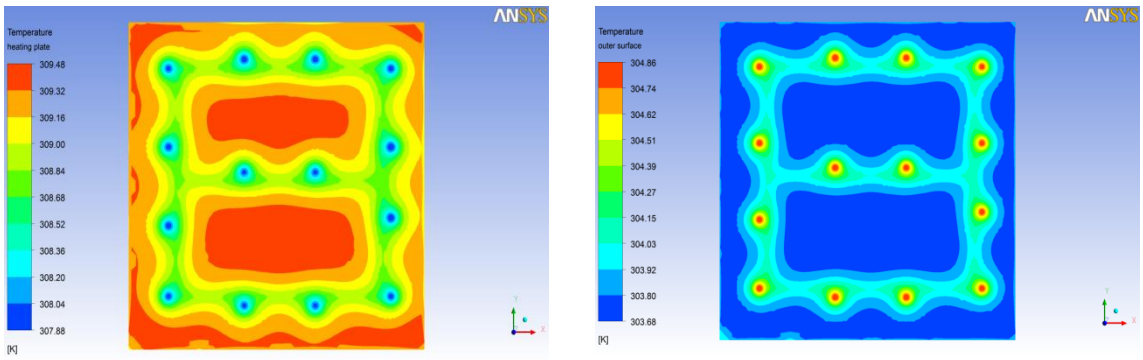
(a) (b)

Şekil 3.12 CW12-2 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi



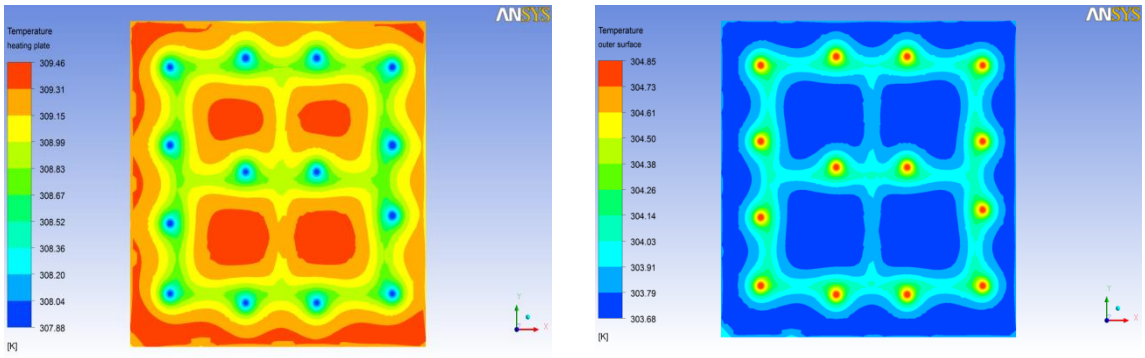
(a) (b)

Şekil 3.13 CW12-3 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi



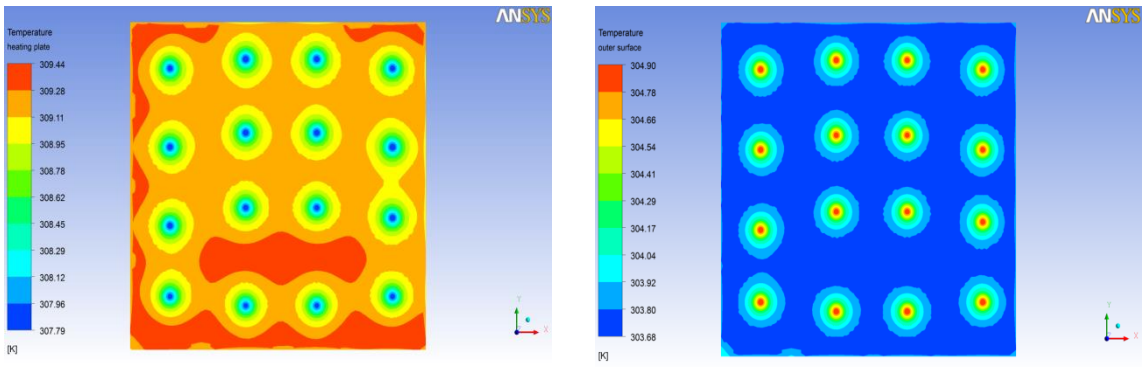
(a) (b)

Şekil 3.14 CW12-4 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi



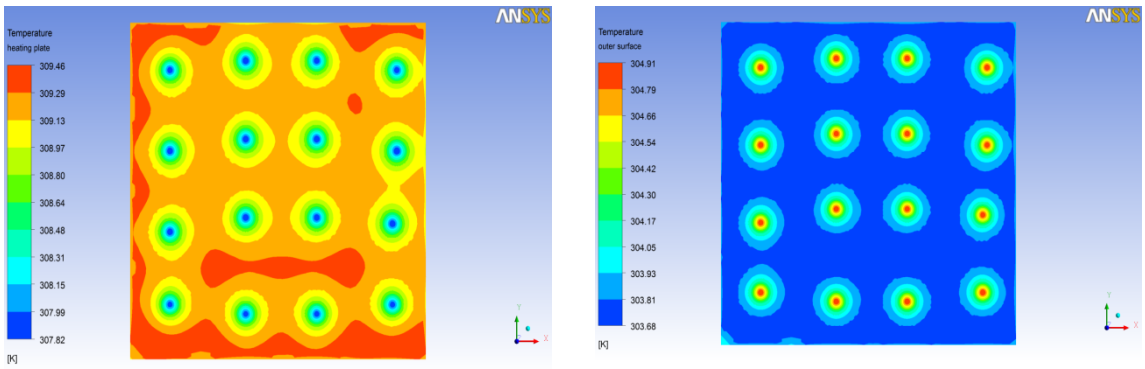
(a) (b)

Şekil 3.15 CW12-5 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi



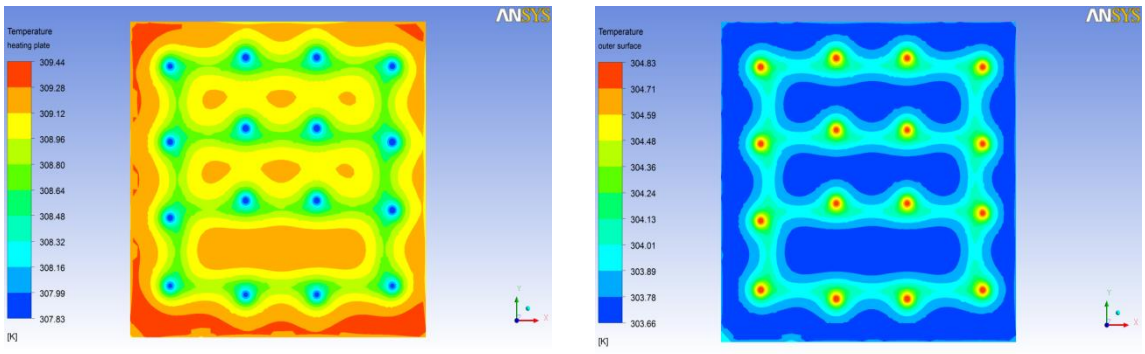
(a) (b)

Şekil 3.16 CW12-6 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi



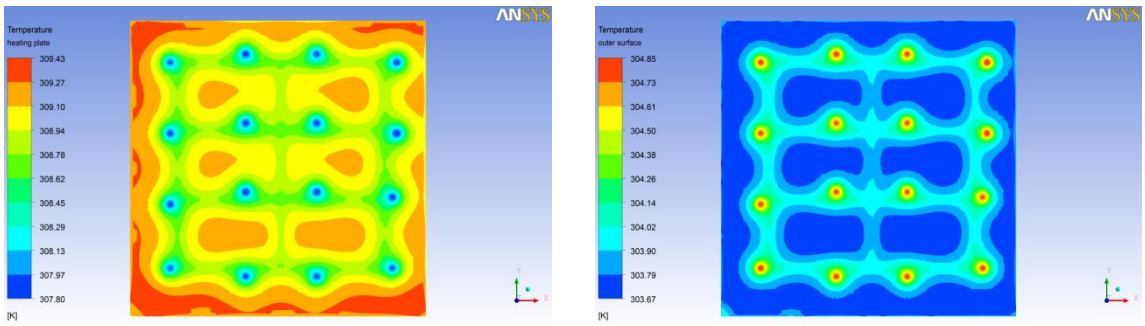
(a) (b)

Şekil 3.17 CW12-7 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi



(a) (b)

Şekil 3.18 CW12-8 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi



(a) (b)

Şekil 3.19 CW12-9 modelinin sayısal analiz sonucu yüzey sıcaklık dağılımları, (a) ısıtıcı plaka yüzeyi (b) oda yüzeyi

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, bina temelinde kullanılan C30 betonunun laboratuvar şartlarında ısıl iletim katsayısı analizleri deneysel olarak incelenmekle beraber analitik ve sayısal olarak da çözümlenmiş ve sonuç olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, farklı donatı çubuk çapları ve farklı donatı demirlerinin yerleşim şekillerine göre donatılı betonun ısı iletim katsayıları da deneysel, analitik ve sayısal sonuçlarla tespit edilmiştir.

Yapılan tüm deneysel, sayısal ve analitik çalışmaların sonuçları incelendiğinde aşağıdaki çıktılara ulaşılır.

- Donatılı beton içerisindeki donatı demirinin çapının artması ısı iletim katsayısında önemli bir etki oluşturmamaktadır.
- Oluşturulan sayısal modelin deneysel ve analitik çalışmalarla karşılaştırıldığında kabul edilebilir bir sapma içerisinde kalması, doğru bir sayısal modellemenin yapıldığını göstermektedir.
- Doğrulanan sayısal model ile bundan sonraki donatılı betonu da ısı değiştirici olarak kullanabilecek toprak ısı değiştirici modelleri/çalışmaları için bir kolaylık oluşturabilir.
- Doğrulanan sayısal model ile farklı donatı döşeme tiplerine göre yüzeydeki sıcaklık dağılımları incelenebilir.

- Deneysel, sayısal ve analitik çalışmaların karşılaştırıldığı durum için ısıl iletkenlik katsayısı 0.99 W/mK ile 1.096 W/mK arasında değişiklik gösterirken, karşılaştırma sonucunda sayısal modelin doğrulanmasının ardından oluşturulan farklı geometrilerin ısıl iletkenlik katsayısı değerleri 1.081 W/mK ile 1.178 W/mK arasında değişmektedir.
- Sayısal modelin doğrulanması aşamasında sayısal ve analitik modelin sahip olduğu değerler, deneysel çalışmanın çıktıları ile +%2 ve -%2 bandında sapma göstermiştir. Doğrulamanın yapılmasının ardından incelenen modellerde ise sayısal çalışmalarla analitik çalışmalar arasındaki sapma %7 bandının içerisinde kalmıştır.
- Çalışmalar sonucunda, beton içerisindeki demir donatının arttırılması ile ısıl iletkenlik katsayısında kayda değer bir artış gözlenmemiştir.
- Toprak kaynaklı ısı değiştiricilerin uygulaması için bakıldığında, donatısız veya içerisindeki donatı çeşidiyle betonun sahip olduğu ısı iletkenlik katsayısı değerinin kimi toprak çeşitlerine göre daha yüksek iken, kimi toprak çeşitlerine göre daha düşük olduğu anlaşılmıştır.
- Yapılacak TKIP uygulamalarında, toprak çeşidinin belirlenmesi ile toprak ısı değiştiricilerinin bina temel beton katmanlarına veya bina temel altı toprağına gömülüp gömülmeyeceğine bu çalışma sonucunda elde edilen donatılı ve donatısız beton ısı iletim katsayıları değerleri dayanak oluşturabilir.
- Toprak kaynaklı ısı değiştiricilerin, toprak yerine bina temel betonu katmanlarına yerleştirilmesinin daha avantajlı olduğu durumlarda, ısı pompasının COP değeri arttırılabilir.
- Deneysel değerlerin doğrulanması için yapılan çalışmalara bakıldığında sayısal ve analitik değerlerin birbirinden sapması yaklaşık %4 civarında olup bu sapmanın giderek arttığı gözlenmektedir. Aynı şekilde CW12-2'den CW12-9'a kadar olan modeller için bakıldığında sayısal model ile analitik model arasındaki sapma %7 bandındadır. Bu sapmanın nedeni incelendiğinde, üzerinde çalışılan analitik direnç devresinin tek boyutlu ısı geçişine göre olmasından dolayı

oluştuğu görülmüştür. İki boyutlu bir analitik model geliştirildiğinde, sayısal model ile aradaki sapma daha az olacaktır.

- Çalışmada incelenen beton numuneleri kuruması için yaklaşık 2 hafta bekletilmiş ve kuru bir şekilde deneyleri yapılan numunelerdir. Nemli bir betonda ısı iletim katsayılarının kuru betondan %20 - %30 oranda daha fazla olduğu düşünüldüğünde, kuru beton yerine nemli bir betonun içerisine toprak ısı değiştirici yerleştirildiğinde ısıl performans artacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Topçu, A., (2013). Betonarme 1 Ders Notları, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/Betonarme1/Sunular/Betonarme_1_1.pdf , 10 Temmuz 2013

[2] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, İnşaat Teknolojisi-Beton 1, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/insaat/moduller/Beton1.pdf , 10 Temmuz 2013

[3] Yun, T.S., Jeong, Y.J., Han, T.S. ve Youm, K.S., (2013). "Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes", Energy and Buildings, 61: 125-132.

[4] Taşdemir, C., (2003). "Hafif Betonların Isı Yalıtım ve Taşıyıcılık Özellikleri", Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 427: 57-61.

[5] Sengul, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F. ve Tasdemir M.A.,(2011). "Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete", Energy and Buildings, 43(2-3): 671-676.

[6] Yasar, E. ve Erdogan, Y., (2008). "Strength and thermal conductivity in lightweight building materials", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67(4): 513-519.

[7] Demirboga, R. ve Gul, R., (2003). "The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete", Cement and Concrete Research, 33(5): 723-727.

[8] Uysal, H., Demirboga, R., Sahin, R. ve Gul, R., (2004). "The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete", Cement and Concrete Research, 34(5): 845-848.

[9] Demirboga, R., (2007). "Thermal conductivity and compressive strength of concrete incorporation with mineral admixtures", Building and Environment, 42(7): 2467-2471.

[10] Alengaram, U.J., Al Muhit, B.A., Jumaat, M.Z. ve Jing, M.L.Y., (2013). "A comparison of the thermal conductivity of oil palm shell foamed concrete with conventional materials", Materials and Design, 51: 522-529.

[11] Becchio, C., Corgnati, S.P., Kindinis, A. ve Pagliolico, S., (2009). "Improving environmental sustainability of concrete products: Investigation on MWC thermal and mechanical properties", Energy and Buildings, 41(11): 1127-1134.

[12] Bederina, M., Marmoret, L., Mezreb, K., Khenfer, M.M., Bali, A ve Queneudec, M., (2006). "Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes: Experimental study and modeling", Concstruction and Building Materials, 21(3): 662-668.

[13] Carman, A.P. ve Nelson, R.A., (1921). The Thermal Conductivity and Diffusivity of Concrete, University of Illinois Bulletin, University of Illinois Press.

[14] Campbell-Alan, D. ve Thorne, C.P., (1963). "The thermal conductivity of concrete", Magazine of Concrete Research, 15(43): 39-48.

[15] Kim, K.H., Jeon, S.E., Kim, J.K. ve Yang, S., (2003). "An experimental study on thermal conductivity of concrete", Cement and Concrete Research, 33(3): 363-371.

[16] Yun, T.S., Jeong, Y.J., Han, T.S. ve Youm, K.S., (2013). "Evalation of Thermal Conductivity for Thermally Insulated Concretes", Energy and Buildings, 61(1): 125-132.

[17] Kodur, V.K.R. ve Sultan, M.A., (2003)." Effect of Temperature on Thermal Properties of High-Strength Concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, 15(2): 101-107.

[18] Kodur, V. ve Khaliq, W., (2011). "Effect of Temperature on Thermal Properties of Different Types of High-Strength Concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, 23(6): 793-801.

[19] Tandiroglu, A., (2010). "Temperature-Dependent Thermal Conductivity of High Strength Lightweight Raw Perlite Aggregate Concrete", International Journal of Thermopyhsics, 31(6): 1195-1211.

[20] Levesque, A., (2006). Fire Performance of Reinforced Concrete Slabs, Yüksek Lisans Tezi, Worcester Polythecnic Institute, Worcester, Massachusetts.

[21] Sangluaia, C., Haridharan, M.K., Natarajan, C. ve Rajaraman, A., (2013). Behaviour of Reinforced Concrete Slab Subjected To Fire, International Journal Of Computational Engineering Research (online), 3(1), http://www.ijceronline.com/papers/Vol3_issue1/AG03101950206.pdf , 24 Kasım 2013

[22] Toman, J. ve Cerny, R., (2001). "Thermal Conductivity of High Performance Concrete in Wide Temperature and Moisture Ranges", Acta Polytechnica, 41(1): 8-10.

[23] Kizilkanat, A.B., Yuzer, N. ve Kabay, N., (2013). "Thermo-phsical properties of concrete exposed to high temperature", Construction and Building Materials, 45(1): 157-161.

[24] Topaçoğlu, Y., (2010). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Eko-Ev Tasarımı ve Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Ekserji Analizi, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

[25] Demir, H., (2006). Toprak Kaynaklı Isı Pompası ve Toprak Isı Değiştiricilerinin Optimizasyonu ve Geliştirilmesi, Doktora Tezi, YTÜ, Istanbul.

[26] Zeng, H., Diao, N. ve Fang, Z., (2003). "Heat Transfer Analysis of Boreholes in Vertical Ground Heat Exchangers", International Journal of Heat and Mass Transfer, 46(23): 4467-4481.

[27] Zhao, J., Wang, H., Li, X. ve Dai, C., (2008). "Experimental Investigation and Theoretical Model of Heat Transfer of Saturated Soil around Coaxial Ground Heat Exchanger", Applied Thermal Engineering, 28(2-3): 116-125.

[28] Lee, C.K. ve Lam, H.N., (2012). " A modified multi-ground-layer for borehole ground heat exchangers with an inhomogeneous groundwater flow", Energy, 47(1): 378-387.

[29] Sharqawy, M.H., Mokheimer, E.M. ve Badr, H.M, (2009). "Effective pipe-to-borehole thermal resistance for vertical ground heat exchangers", Geothermics, 38(2): 271-277.

[30] Kyriakis, N., Michopoulos, A. ve Pattas, K., (2006). "On the maximum thermal load of ground heat exchangers", Energy and Buildings, 38(1): 25-29.

[31] Esen, H. ve İnallı, M., (2009). "In-situ thermal response test for ground source heat pump system in Elazığ,Turkey", Energy and Buildings, 41(4): 395-401.

[32] Lim, K., Lee, S. ve Lee, C., (2007). "An Experimental Study on the Thermal Performance of Ground Heat Exchanger", Experimental Thermal and Fluid Scinece, 31(8): 985-990.

[33] Sharqawy, M.H., Said, S.A., Mokheimer, E.M., Habib, M.A, Badr, H.M. ve Al-Shayea, N.A., (2009). "First in situ determination of the ground thermal conductivity for borehole heat exchanger applications in Saudi Arabia", Renewable Energy, 34(10): 2218-2223.

[34] Wang, H., Qi, C., Du, H. ve Gu, J., (2010). "Improved Method and Case Study of Thermal Repsonse Test for Borehole Heat Exchangers of Ground Source Heat Pump System", Renewable Energy, 35(3): 727-733.

[35] Lee, C., Park, M., Nguyen, T.B., Sohn, B., Choi, J.M. ve Choi, H., (2012). "Perofmance Evaluation of Closed-Loop Vertical Heat Exchangers by Conducting in-situ Thermal Response Tests", Renewable Energy, 42: 77-83.

[36] Lee, C., Park, M., Nguyen, T.B., Sohn, B., Choi, J.M. ve Choi, H., (2011). "Comparison of Effective Thermal Conductivity in Closed-Loop Vertical Ground Heat Exchangers", Applied Thermal Engineering, 31(17-18): 3669-3676.

[37] Congedo, P.M., Colangelo, G. ve Starace, G., (2012). "CFD Simulations of Horizontal Ground Heat Exchangers: A Comparison Among Different Configurations", Applied Thermal Engineering, 33-34: 24-32.

[38] Wood, C.J., Liu., H. ve Riffat, S.B., (2010). “An Investigation of the Heat Pump Performance and Ground Temperature of a Piled Foundation Heat Exchanger System for a Residental Building”, Energy, 35(12): 4932-4940.

[39] Yuan, Y., Coa, X., Sun, L., Lei, B. ve Yu, N., (2012). “Ground Source Heat Pump System: A Review Simulation in China”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(9): 6814-6822.

[40] Man, Y., Yang, H., Diao, N., Liu, J. ve Fang, Z., (2010). “A New Model and Analytical Solutions for Borehole and Pile Ground Heat Exchangers” International Journal of Heat and Mass Transfer, 53(13-14): 2593-2601.

[41] Bakirci, K., Ozyurt, O., Comakli, K. ve Comakli, O., (2011). “Energy Analysis of a Solar-Ground Source Heat Pump System with Vertical Closed-Loop for Heating Applications”, Energy, 36(5): 3224-3232.

[42] Christodoulides, P., Florides, G., Pouloupatis, P., Messaritis, V. ve Lazari, L., (2012). “Ground Heat ExchangerModeling Developed for Energy Flows of an Incompressible Fluid”, World Academy of Science,Engineering and Technology, 63: 479-483.

[43] Jalaluddin, Miyara, A., Tsubaki, K. ve Yoshida, K., (2010). “Thermal Performance of Three Types of Ground Heat Exchangers in Short Time Period of Operation”, International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 12-15, Purdue.

[44] Philippe, M., Marchio, D., Lesueur, H. ve Vrain, A., (2010). “ An Evluation of Ground Thermal Properties Measure Accuracy by Thermal Response Test of Horizontal Ground Heat Exchangers”, Proceedings World Geothermal Congress, April 25-29, Bali.

[45] Naili, N., Attar, I. ve Farhat, A., (2012). “Experimental Analysis of Horizontal Groung Heat Exchanger for Northern Tunisia”, Journal of Electronics Cooling and Thermal Control, 2: 44-51.

[46] Sagia, Z., Stegou, A. ve Rakopulos, C., (2012). “Borehole Resistance and Heat Conduction Around Vertical Ground Heat Exchangers”, The Open Chemical Engineers Journal, 6: 32-40.

[47] Benazza, A., Blanco, E., Aichouba, M., Rio, J.R. ve Laouedj, S., (2011). “Numerical Investigation of Horizontal Ground Coupled Heat Exchanger”, Energy Procedia, 6(1): 29-35.

[48] Fujii, H., Nishi, K., Komaniwa, Y. ve Chou, N., (2012). “Numerical Modelling of Slinky-Coil Horizontal Ground Heat Exchangers”, Geothermics, 41(1): 55-62.

[49] Chong, C.S.A., Gan, G., Verhoef, A., Garcia, R.G. ve Vidale, P.L., (2013). “Simulation of Thermal Performance of Horizontal Slinky-Loop Heat Exchangers for Ground Source Heat Pumps”, Applied Energy, 104(1): 603-610.

[50] Gustafsson, A.M., Westerlund, L. ve Hellström, G., (2010). “CFD-Modelling of Natural Convection in a Groundwater-Filled Borehole Heat Exchanger”, Applied Thermal Engineering, 30(6-7): 683-691.

[51] Wu, Y., Gan, G., Verhoef, A., Vidale, P.L. ve Gonzalez, R.G., (2010). "Experimental Measurementand Numerical Simulation of Horizontal-Coupled Slinky Ground Source Heat Exchangers", Applied Thermal Engineering, 30(16): 2574-2583.

[52] Hufii, H., Yamasaki, S., Maehara, T., Ishikami, T. ve Chou, N., (2013). "Numerical Simulation and Sensivity Study of Double-Layer Slinky –Coil Horizontal Ground Heat Exchangers", Geothermics, 47(1): 61-68.

[53] Özbek, A., Yılmaz, T., Yılmaz, A. ve Büyükalaca, O., (2011), "Tek Katmanlı Toprakta Dip, Maksimum, Minimum Sıcaklıklar ve Bunların Derinlikleri ile İlgili Bağlantılar", 10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan, İzmir.

[54] TS ISO 8302, (2002). Isı Yalıtımı- Kararlı Halde Isıl Direncin ve İlgili Özelliklerin Tayini- Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı, TSE, Ankara.

EK-A

TS ISO 8302 DENEY DÜZENEĞİ PRENSİBİ HAKKINDAKİ BÖLÜMLER

1.6.2.1 Çift deney parçalı cihaz
Çift deney parçalı cihazlarda (Şekil 1 a), ısıtma ünitesi olarak adlandırılan bir ısıtıcı ve metal yüzey plâkalarında oluşan bir merkezî yuvarlak veya kare şeklinde düz plâka hemen hemen aynı iki deney parçası arasında sandviç yapılır. Isı akışı deney parçalarının içinden soğutma ünitesi olarak adlandırılan yuvarlak veya kare şeklindeki, izotermal tertibata doğru gerçekleştirilir.

1.6.2.2 Tek deney parçalı cihaz
Tek deney parçalı cihazlarda (Şekil 1 b), ikinci deney parçası yerine yalıtım parçası ve koruma plâkası konulmuştur. Böylece yalıtım parçası ve koruma plâkasının oluşturduğu kombinasyonun bir yüzeyi ile diğer yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı sıfır olur. Bu standardın bütün diğer uygulanabilir kriterlerinin yerine getirilmesi şartıyla bu tip cihazlarla özelliklerin doğru olarak ölçülmesi ve rapor edilmesi sağlanmış olur; ancak çift deney parçalı sıcak plâka cihazında yapılan bu modifikasyon, raporda belirtilmelidir.

1.6.3 Isıtma ve soğutma üniteleri
Tek yönlü yeknesak ve sabit ısı akış hızı yoğunluğunun tayin edildiği ısıtma ünitesi, dar bir boşlukla ayrılan mahfaza kısmıyla çevrilmiştir. Soğutma ünitesi sürekli düz bir plâka tertibatından oluşur fakat bunların ısıtma ünitesi ile benzer şekilde olmaları tercih edilir.

1.6.4 Kenar yalıtımı ve yardımcı mahfazalı kısımlar
Özellikle oda sıcaklığının altında veya üzerinde herhangi bir sıcaklıkta çalışıldığı zaman ilâve kenar yalıtımı ve/veya yardımcı mahfazalı kısımlar gereklidir.

1.6.4 Mahfazalı sıcak plâka cihazının tanımı
Mahfazalı sıcak plâka terimi, tam tertibatlı cihaz için kullanılır ve bu nedenle "mahfazalı sıcak plâka cihazı" olarak adlandırılır. Deney parçalarının yerleştirildiği cihazın genel görünüşü Şekil 1'de verilmiştir.

1.6.6 Isı akış hızı yoğunluğunun ölçülmesi
Ölçme bölgesinde kararlı halin tesis edilmesiyle, ısı akış hızı yoğunluğu, q; ısı akış hızı (Φ) ve ölçme alanının (A) ölçmesinden tayin edilir.

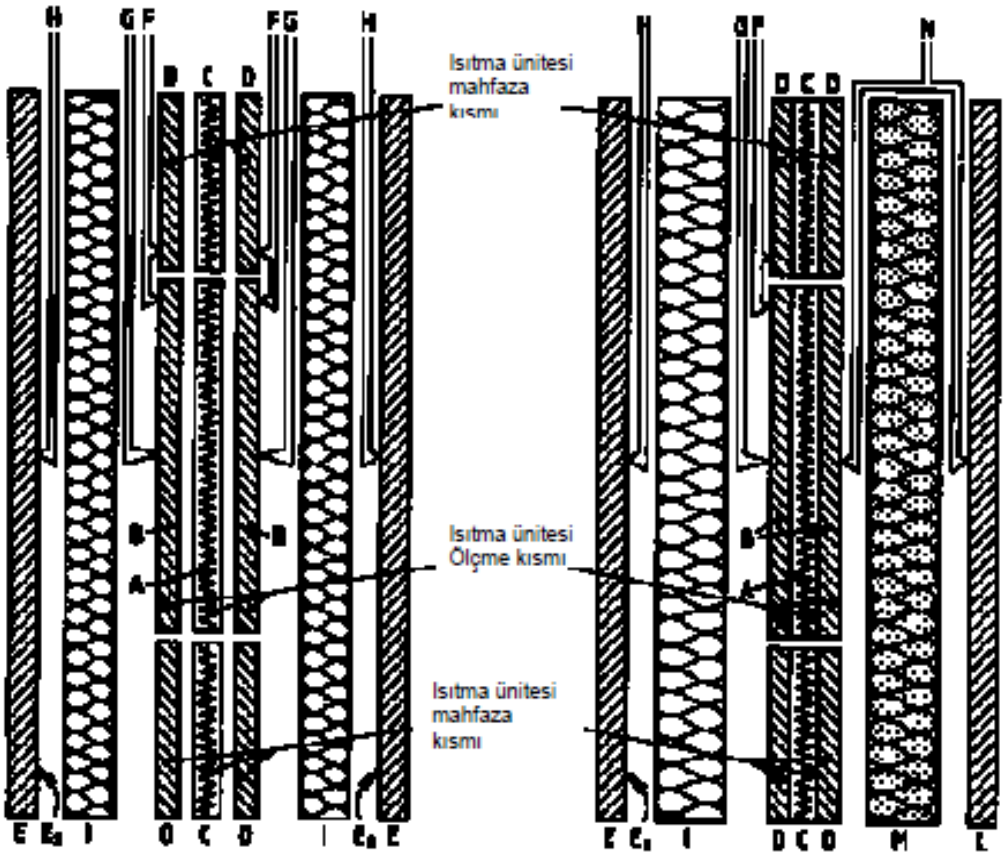
1.6.7 Sıcaklık farkının ölçülmesi
Deney parçasının iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı, ΔT, metal plâkaların yüzeyine ve/veya mümkün olduğu takdirde deney parçasının yüzeyine monte edilen sıcaklık algılayıcıları ile ölçülür.

1.6.8 Isıl direncin veya aktarım faktörünün ölçülmesi
Isıl direnç, R, Madde 1.8.1'de verilen şartların gerçekleştirilmesi halinde q, A ve ΔT'den hesaplanır. Deney parçasının kalınlığı, d, ölçülürse, aktarım faktörü, τ, hesaplanabilir.

1.6.9 Isıl öz iletkenliğin hesaplanması
Deney parçasının ortalama ısıl öz iletkenliği, λ, Madde 1.8.2'de verilen şartların gerçekleştirilmesi ve deney parçasının kalınlığının ölçülmesi halinde hesaplanır.

1.6.10 Cihaz sınırlamaları
Metodun uygulanması, cihazın deney parçasında tek yönlü sabit ısı akış yoğunluğu temin edebilmesi ve sıcaklık, boyut ve cihazın sağladığı elektromotor kuvveti ölçmelerindeki doğrulukla sınırlıdır.

1.6.11 Deney parçası sınırlamaları
Metodun uygulanmasını sınırlayan diğer bir faktör de deney parçasından/parçalarından kaynaklanır. Deney parçaları aynı kalınlıkta ve formda olmayabilir (çift deney parçalı cihazların kullanılması durumunda) ve ayrıca yüzeyler mükemmel bir düzlüğe ve paralelliğe de sahip olmayabilir.



a) Çift deney parçalı cihaz **b)** Tek deney parçalı cihaz

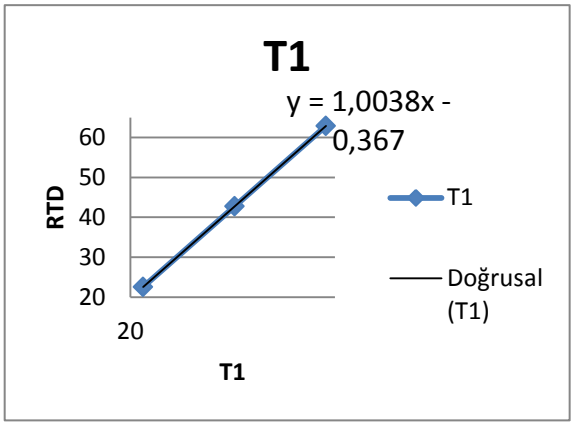
Açıklama

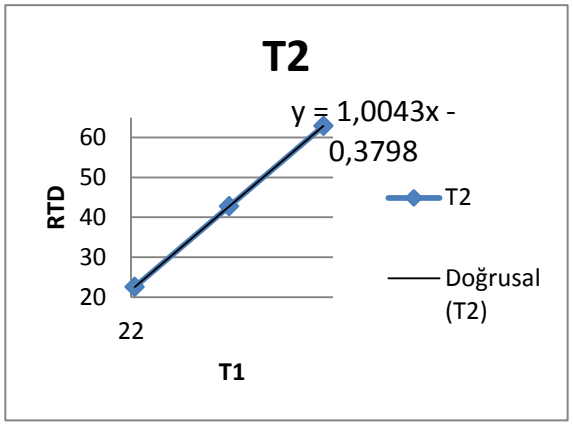
A	Ölçme kısmı ısıtıcısı
B	Ölçme kısmı yüzey plâkaları
C	Mahfaza kısmı ısıtıcısı
D	Mahfaza kısmı yüzey plâkaları
E	Soğutma ünitesi
E_s	Soğutma ünitesi yüzey plâkası
F	Diferansiyel termometre
G	Isıtma ünitesi yüzey termoçiftleri
H	Soğutma ünitesi yüzey termoçiftleri
I	Deney parçası
L	Mahfaza plâkası
M	Mahfaza plâkası yalıtımı
N	Mahfaza plâkası diferansiyel termoçiftleri

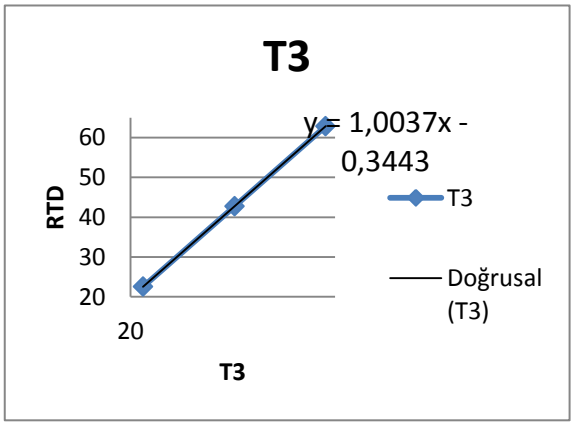
Şekil 1 - Tek ve çift deney parçalı mahfazalı sıcak plâka cihazının genel görünüşü

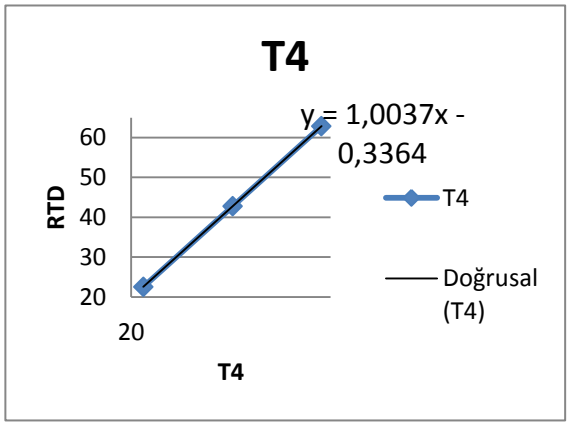
EK-B

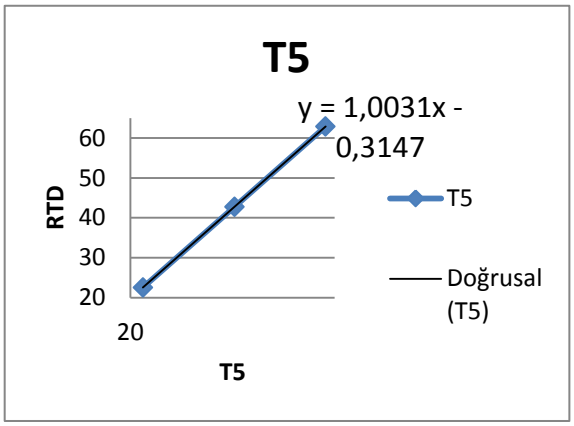
TERMOELEMANLARIN KALİBRASYON GRAFİKLERİ VE DENKLEMLERİ

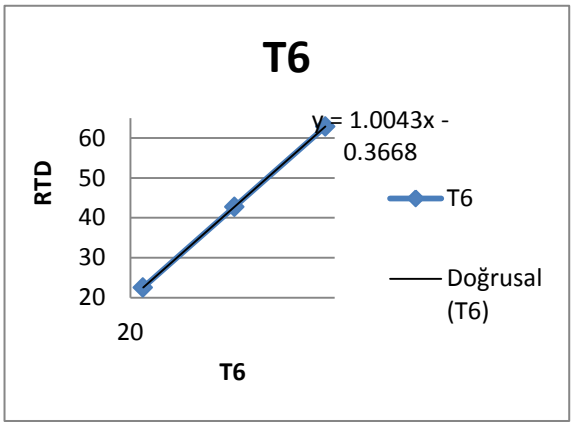


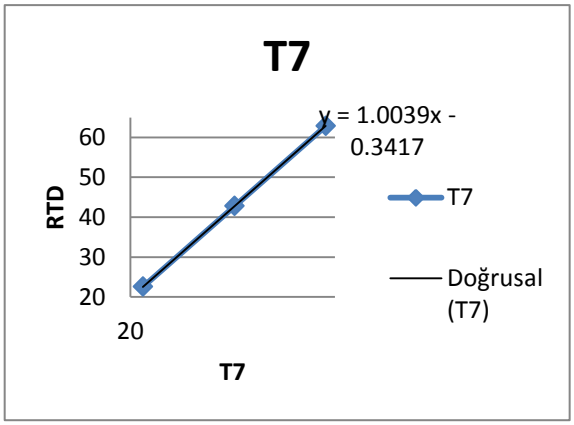


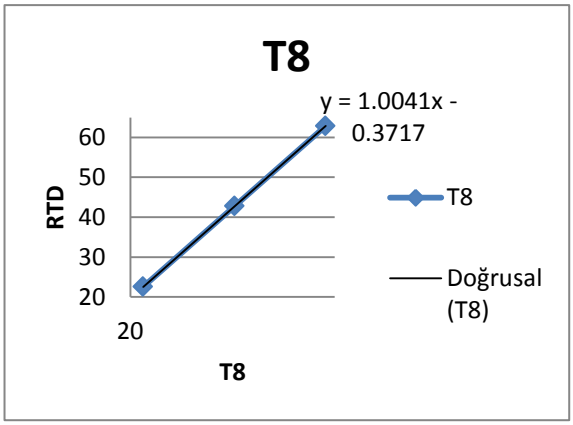


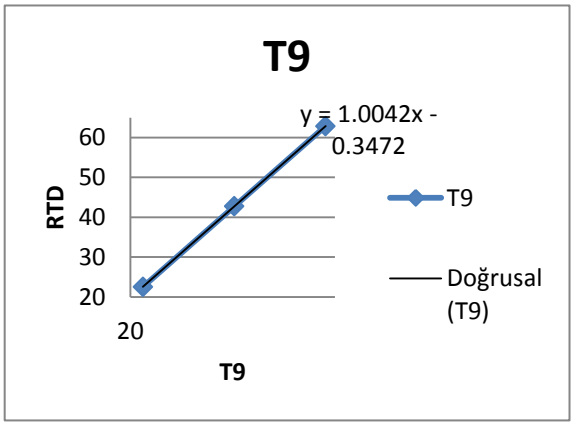


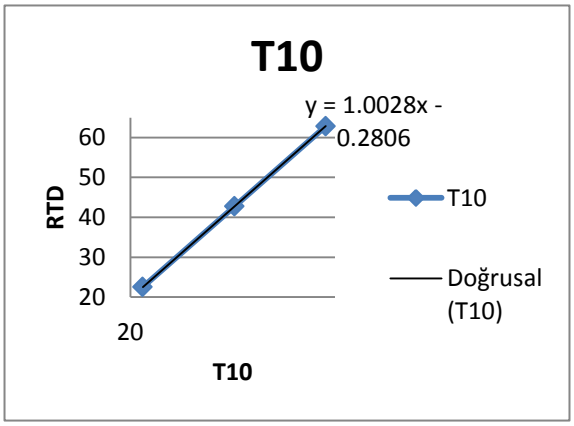

T5
y = 1,0031x - 0,3147
RTD
60
50
40
30
20
20
T5
T5
Doğrusal (T5)

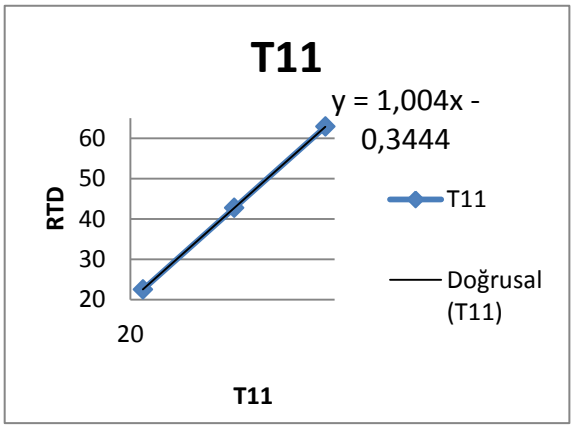

T6
y = 1.0043x - 0.3668
RTD
60
50
40
30
20
20
T6
T6
Doğrusal (T6)

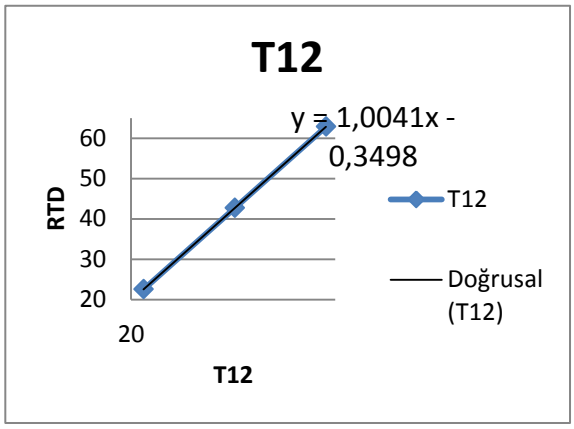

T7
y = 1.0039x - 0.3417
RTD
60
50
40
30
20
20
T7
T7
Doğrusal (T7)

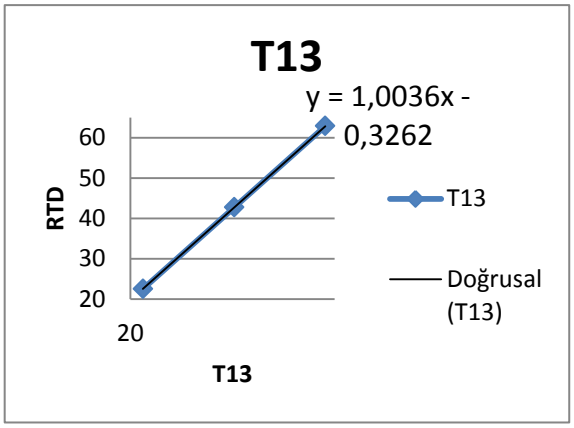

T8
y = 1.0041x - 0.3717
RTD
60
50
40
30
20
20
T8
T8
Doğrusal (T8)

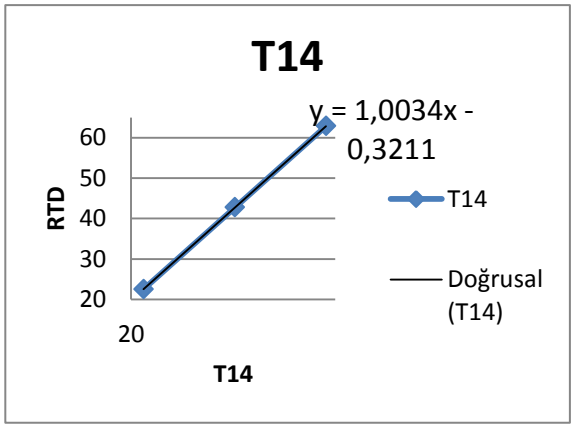

T9
y = 1.0042x - 0.3472
RTD
60
50
40
30
20
20
T9
T9
Doğrusal (T9)

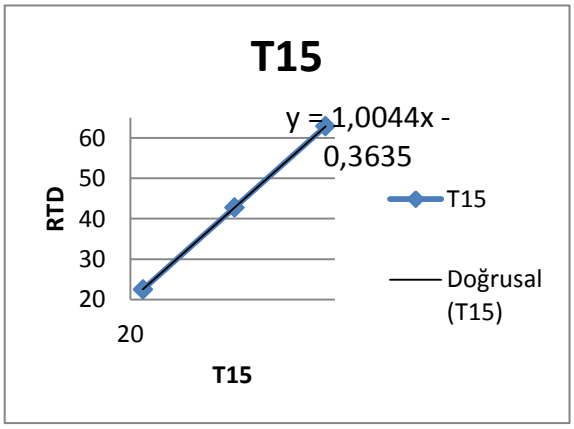

T10
y = 1.0028x - 0.2806
RTD
60
50
40
30
20
20
T10
T10
Doğrusal (T10)

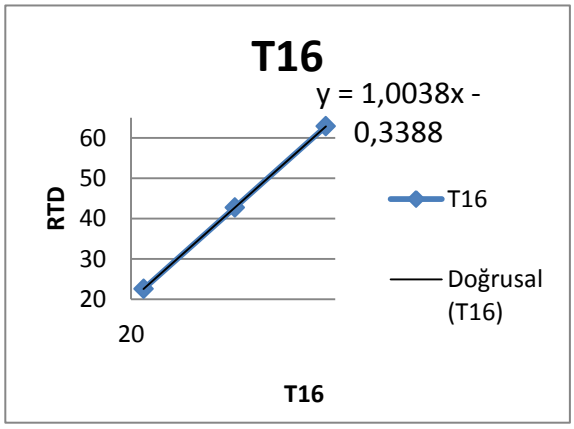

T11
y = 1,004x - 0,3444
RTD
60
50
40
30
20
20
T11
T11
Doğrusal (T11)

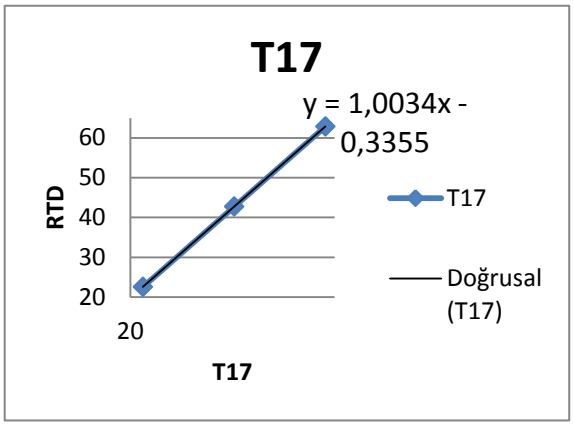

T12
y = 1,0041x - 0,3498
RTD
60
50
40
30
20
20
T12
T12
Doğrusal (T12)

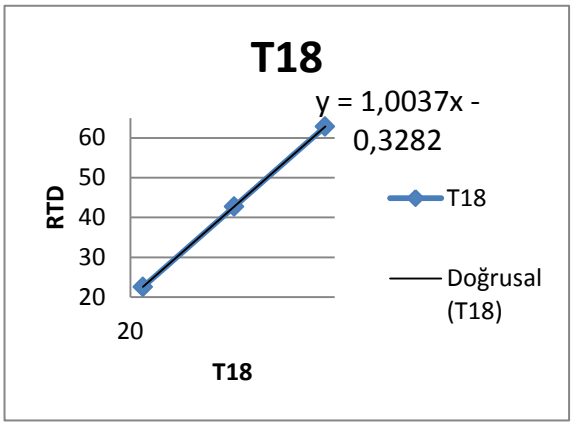

T13
y = 1,0036x - 0,3262
RTD
60
50
40
30
20
20
T13
T13
Doğrusal (T13)

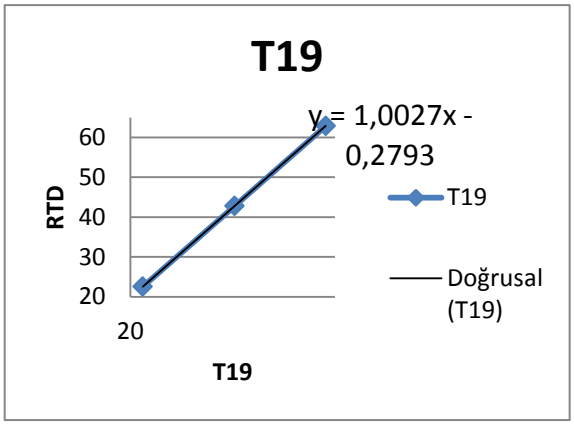

T14
y = 1,0034x - 0,3211
RTD
60
50
40
30
20
20
T14
T14
Doğrusal (T14)

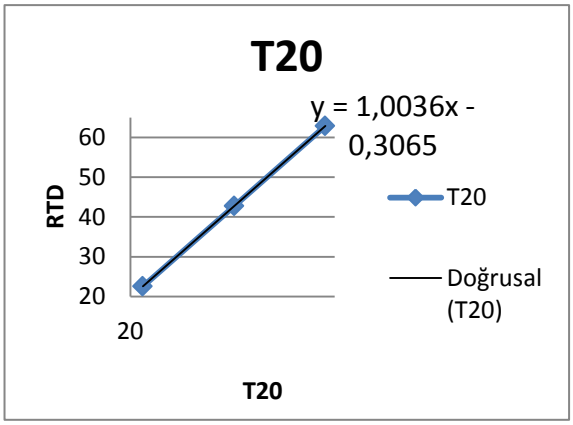

T15
y = 1,0044x - 0,3635
RTD
60
50
40
30
20
20
T15
T15
Doğrusal (T15)

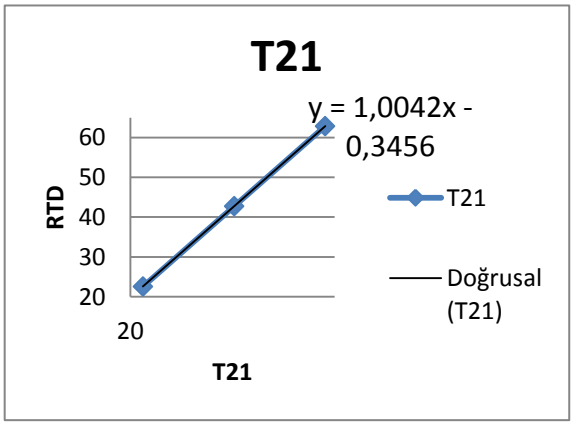

T16
y = 1,0038x - 0,3388
RTD
60
50
40
30
20
20
T16
T16
Doğrusal (T16)

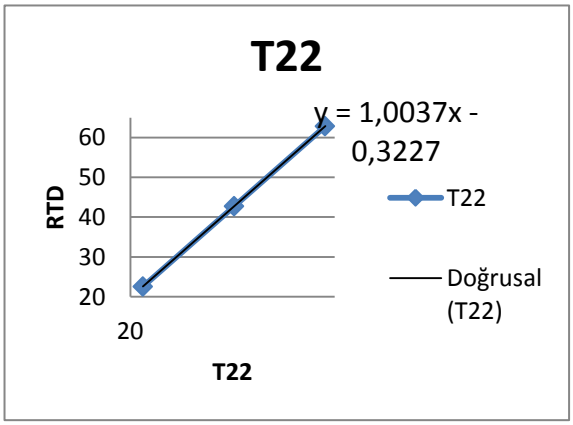

T17
y = 1,0034x - 0,3355
RTD
60
50
40
30
20
20
T17
T17
Doğrusal (T17)

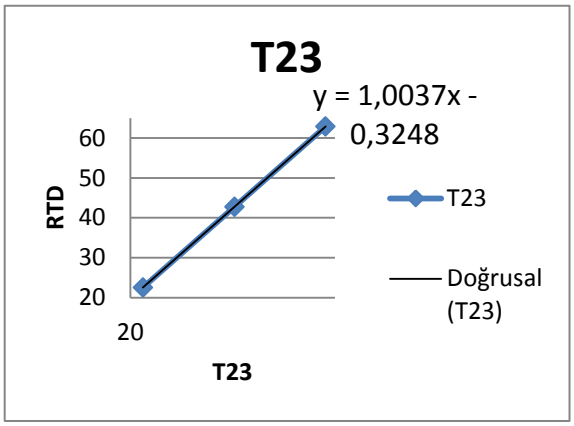

T18
y = 1,0037x - 0,3282
RTD
60
50
40
30
20
20
T18
T18
Doğrusal (T18)

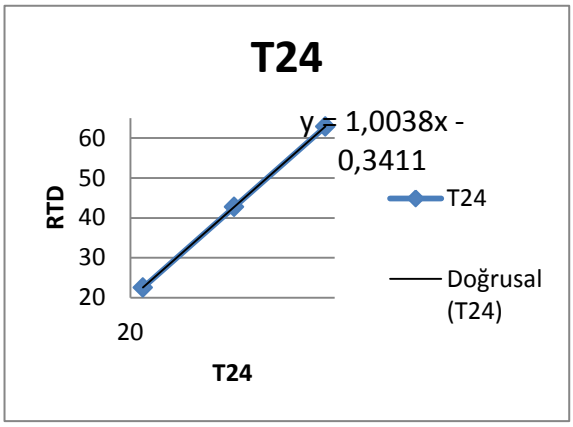

T19
y = 1,0027x - 0,2793
RTD
60
50
40
30
20
20
T19
T19
Doğrusal (T19)

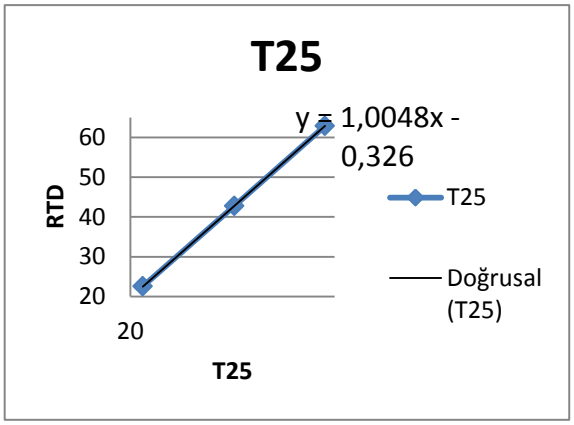

T20
y = 1,0036x - 0,3065
RTD
60
50
40
30
20
20
T20
T20
Doğrusal (T20)

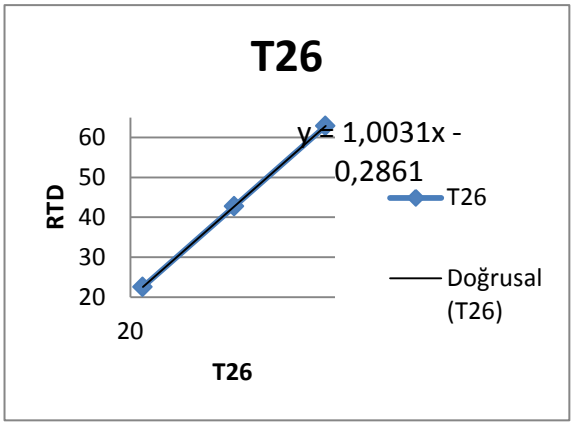

T21
y = 1,0042x - 0,3456
RTD
60
50
40
30
20
20
T21
T21
Doğrusal (T21)

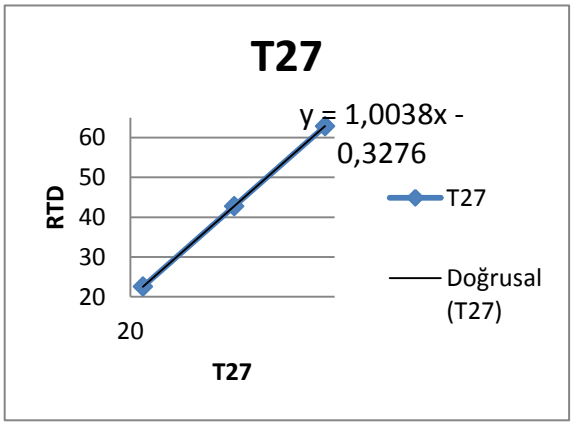

T22
y = 1,0037x - 0,3227
RTD
60
50
40
30
20
20
T22
T22
Doğrusal (T22)

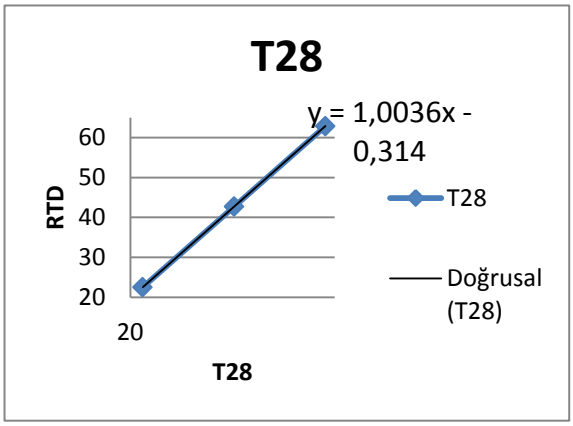

T23
y = 1,0037x - 0,3248
RTD
60
50
40
30
20
20
T23
T23
Doğrusal (T23)

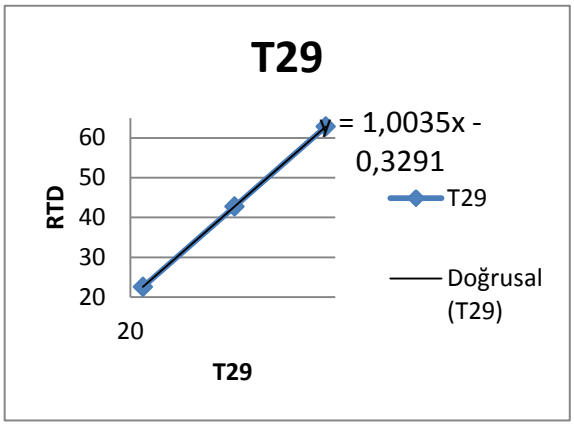

T24
y = 1,0038x - 0,3411
RTD
60
50
40
30
20
20
T24
T24
Doğrusal (T24)

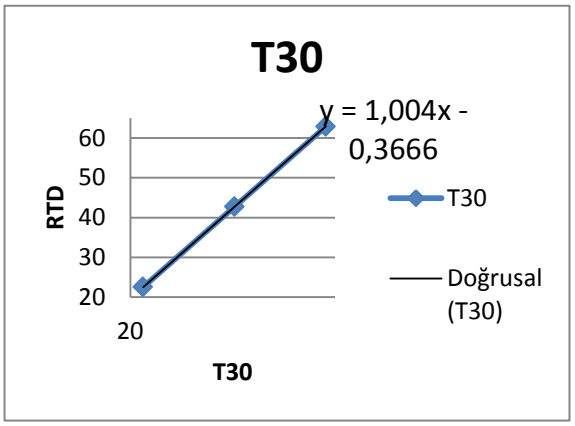

T25
y = 1,0048x - 0,326
RTD
60
50
40
30
20
20
T25
T25
Doğrusal (T25)

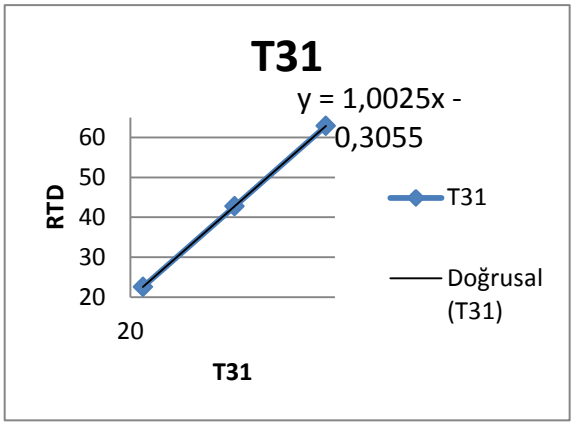

T26
y = 1,0031x - 0,2861
RTD
60
50
40
30
20
20
T26
T26
Doğrusal (T26)

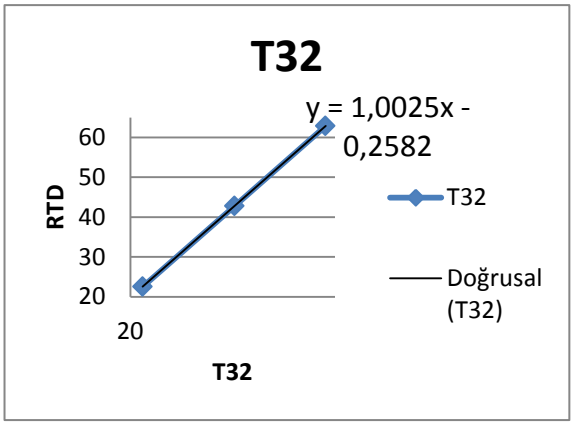

T27
y = 1,0038x - 0,3276
RTD
60
50
40
30
20
20
T27
T27
Doğrusal (T27)

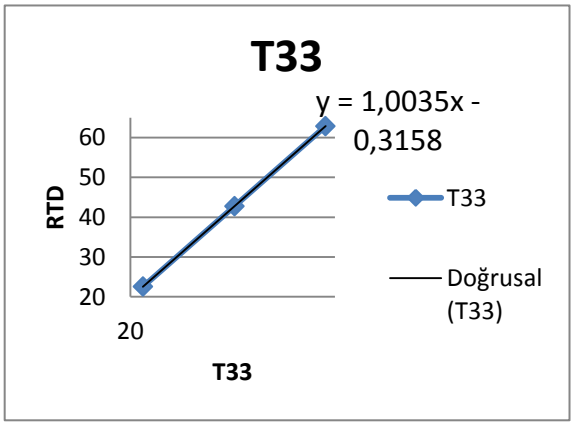

T28
y = 1,0036x - 0,314
RTD
60
50
40
30
20
20
T28
T28
Doğrusal (T28)

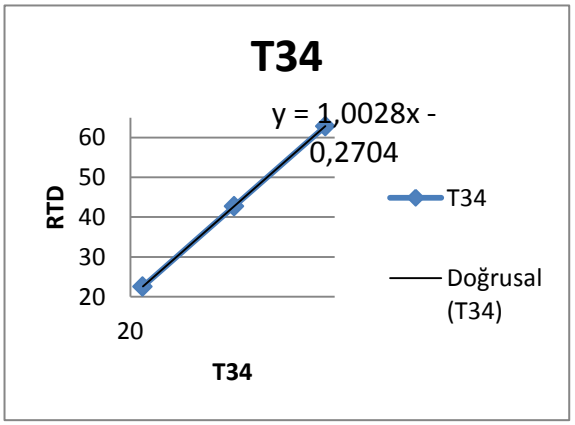

T29
y = 1,0035x - 0,3291
RTD
60
50
40
30
20
20
T29
T29
Doğrusal (T29)

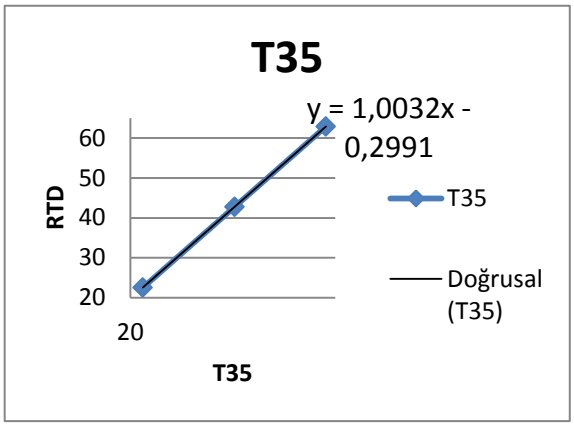

T30
y = 1,004x - 0,3666
RTD
60
50
40
30
20
20
T30
T30
Doğrusal (T30)

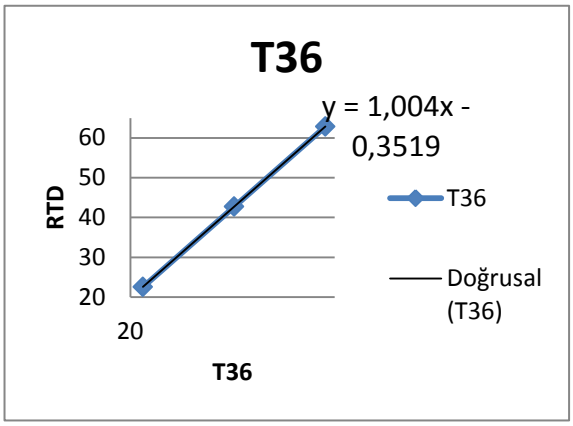

T31
y = 1,0025x - 0,3055
RTD
60
50
40
30
20
20
T31
T31
Doğrusal (T31)

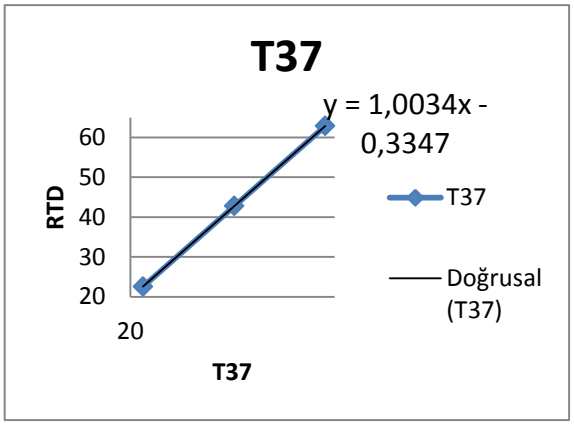

T32
y = 1,0025x - 0,2582
RTD
60
50
40
30
20
20
T32
T32
Doğrusal (T32)

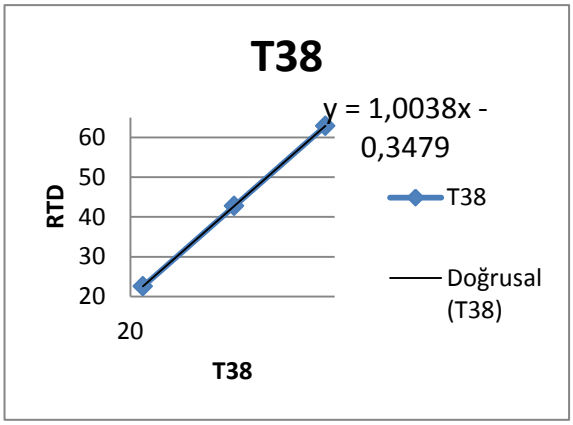

T33
y = 1,0035x - 0,3158
RTD
60
50
40
30
20
20
T33
T33
Doğrusal (T33)

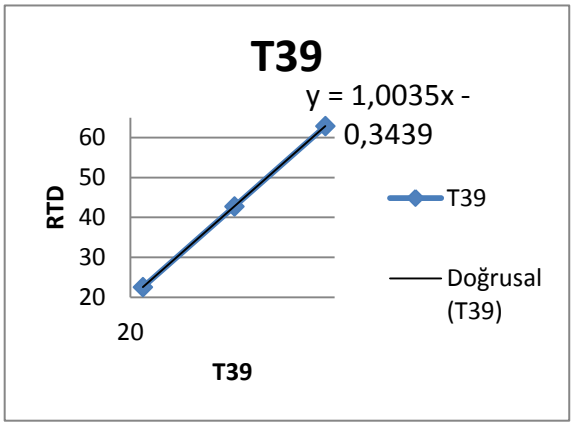

T34
y = 1,0028x - 0,2704
RTD
60
50
40
30
20
20
T34
T34
Doğrusal (T34)

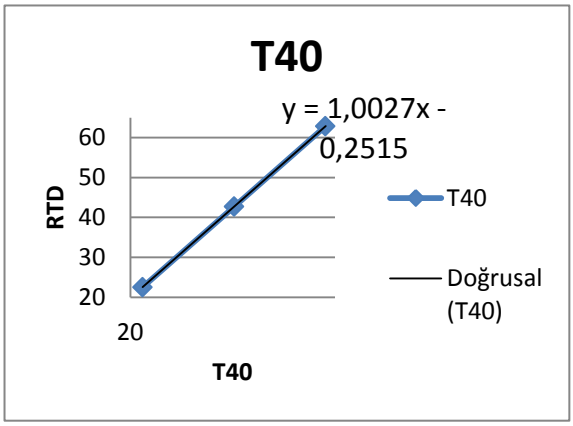

T35
y = 1,0032x - 0,2991
RTD
60
50
40
30
20
20
T35
T35
Doğrusal (T35)

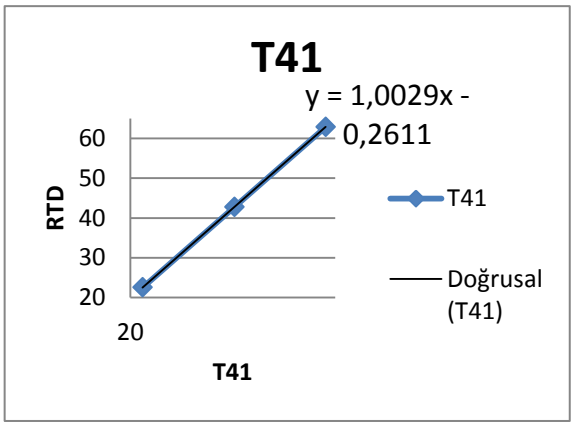

T36
y = 1,004x - 0,3519
RTD
60
50
40
30
20
20
T36
T36
Doğrusal (T36)


T37
y = 1,0034x - 0,3347
RTD
60
50
40
30
20
20
T37
T37
Doğrusal (T37)


T38
y = 1,0038x - 0,3479
RTD
60
50
40
30
20
20
T38
T38
Doğrusal (T38)


T39
y = 1,0035x - 0,3439
RTD
60
50
40
30
20
20
T39
T39
Doğrusal (T39)


T40
y = 1,0027x - 0,2515
RTD
60
50
40
30
20
20
T40
T40
Doğrusal (T40)


T41
y = 1,0029x - 0,2611
60
50
40
30
20
RTD
20
T41
T41
Doğrusal (T41)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Barış Burak KANBUR
Doğum Tarihi ve Yeri	:30.01.1991 – Kadıköy/İstanbul
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:kanburbarisburak@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Üsküdar Çağrıbey Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2013-	Mir Araştırma – Geliştirme A.Ş	Ar-Ge Mühendisi
2012-2013	Mir Araştırma – Geliştirme A.Ş	Ar-Ge Asistan Mühendisi
2011-2012	Mir Araştırma – Geliştirme A.Ş	Uzun Dönem Stajyer

YAYINLARI

Makale

1. **Kanbur, B.B.**, Çubuk, H., Çalıkıran C., Kaya, K., Atayılmaz, Ş.Ö., (2013)., "Farklı Radyant Panel Konfigürasyonlarına Göre Panel Isı Akılarının İncelenmesi", Tesisat Mühendisliği, 135, ss:14-25.

2. **Kanbur, B.B.,** Pınarbaşı A., Koca A., (2013). "Yüksek Katlı Binalara Etkiyen Rüzgar Yükleri Sonucunda Oluşan Doğal Havalandırmanın HAD Ortamında İncelenmesi ", Mühendis ve Makina, 54(637), ss: 44-53

Bildiri

1. Saygılı, A., Utlu, Z., **Kanbur, B.B.,** Birtane, T., (2013) "Increasing the Cooling Quality in İnjection Moulding by New Developed AirCore", 7th International Advanced Technologies Symposium, 30 Oct- 1 Nov, Istanbul.

2. **Kanbur, B.B.,** Atayilmaz Ş.Ö, Demir, H., Koca, A., Gemici, Z., " Investıgatıng the Thermal Conductivity of Reinforced Concrete Models with Numerical and Experimental Methods", 7th International Advanced Technologies Symposium, 30 Oct- 1 Nov, Istanbul.

3 **Kanbur, B.B.,** Atayılmaz, Ş.Ö., Koca, A., Gemici, Z., Teke, İ., (2013) "A Study on the Optimum Insulation Thickness and Energy Savings of a Radiant Heating Panel Mounted a Wall for Various Parameters", Mediterranean Congress of Climatization, 3-4 October, Istanbul.

4 **Kanbur, B.B.,** Atayılmaz, Ş.Ö., Koca, A., Gemici, Z., Teke, İ.,"Radyant Isıtma Sistemleri için Binalardaki Optimum Yalıtım Kalınlıklarının

İncelenmesi”,19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 9-12 Eylül, Samsun

5 **Kanbur, B.B.,** Atayılmaz, Ş.Ö., Koca, A., Gemici, Z., Teke, İ.,”Radyant Panellerdeki Isı Akılarının HAD Metoduyla İncelenmesi”,19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 9-12 Eylül, Samsun

6 Koca, A., Gemici, Z., Bedir, K., Böke, E., **Kanbur, B.B.**, Topaçoğlu, Y., (2013). “Thermal Comfort Analyses of Novel Low Exergy Radiant Heating Cooling Systems and Energy Potential Comparing to Conventional Systems”, The Sixth International Exergy, Energy and Enviromental Symposium, July 1-4, Rize

7 **Kanbur, B.B.**, Çubuk, H., Çalıkıran C., Kaya, K., Atayılmaz, Ş.Ö., (2013)., “Farklı Panel Konfigürasyonları için Radyant Panel Isı Akılarının İncelenmesi”, 11. Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan, İzmir

8 Koca, A., Gemici, Z., Bedir, K., Böke, E., Topaçoğlu, Y, **Kanbur, B.B.**, (2013). “Radyant Isıtma Sistemlerinin Termal Konfor Analizleri”, 11. Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan, İzmir.

9 **Kanbur, B.B.**, Pınarbaşı A., Koca A., (2013). “Aynı Bölgedeki Yüksek ve Alçak Katlı Binaların Rüzgar Yüklerinin İncelenmesi”, 11. Tesisat Mühendisliği Kongresi, , 17-20 Nisan, İzmir.