

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SOĞUK BİNALARDA İLK ISITMA SÜRECİNİN TEORİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak. Müh. Birkut GÜLER**

**OCAK 2014  
TRABZON**

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

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SOĞUK BİNALARDA İLK ISITMA SÜRECİNİN TEORİK ANALİZİ**

**Mak. Müh. Birkut GÜLER**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"MAKİNE YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09/12/2013**  
**Tezin Savunma Tarihi : 14/01/2014**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI**

**Trabzon 2014**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında**  
**Birkut GÜLER tarafından hazırlanan**

**SOĞUK BİNALARDA İLK ISITMA SÜRECİNİN TEORİK ANALİZİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17/12/2013 gün ve 1534 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 14/01/2014 tarihinde yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI .....**  
**Üye : Prof. Dr. Orhan AYDIN .....**  
**Üye : Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK .....**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Mahallerin ısıtılması amacıyla yapılan projelerde kabul görmüş birtakım kurallar mevcuttur. Bu kabuller ise sistemin kararlı halde olması esasına dayanmaktadır. Ancak uygulamada sistem bir takım sebeplerle kararlı halde değildir.

Bu çalışmada sistemin kararlı olmadığı durumlarda, iç ortam sıcaklığının zaman bağımlı olarak çözümlenmesi yapılmıştır. Kabul görmüş ısıtma projelerinde göz önüne alınmayan kararlı hale gelinceye kadar geçen süre ve bu süreyi etkileyen dış etkenler ortaya koyulmuştur.

Çalışmam boyunca yapan, değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen ve yol gösteren, danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Emin Arıcı'ya minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında gösterdiği yardımlar ve destekler için Yrd. Doç. Dr. Onur Özdal Mengi'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, her zaman yanımda olan, benden maddi ve manevi desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen eşime içtenlikle teşekkür ederim.

Birkut GÜLER

**Trabzon 2014**

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Soğuk Binalarda İlk Isıtma Sürecinin Teorik Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Mehmet Emin Arıcı'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 09/12/2013

**Birkut GÜLER**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Tezin Konusu, Gerekçesi Ve Amacı .....	1
1.3. Literatür Özeti.....	2
1.4. Bina Hacimlerinde Toplam Kapasite Yaklaşımı.....	5
1.5. Bina Duvarlarında Katmanlı Duvar Çözümlemesi.....	6
1.6. Adi Diferansiyel Denklemlerin Sayısal Çözümü .....	6
1.6.1. Euler Yöntemi.....	7
1.6.2. Heun Yöntemi .....	8
1.6.3. Orta Nokta veya Geliştirilmiş Poligon Yöntemi.....	9
1.6.4. Runge-Kutta Yöntemleri .....	9
1.6.4.1. İkinci Dereceden Runge Kutta Yöntemi .....	10
1.6.4.2. Üçüncü Dereceden Runge Kutta Yöntemi .....	11
1.6.4.3. Dördüncü Dereceden Runge Kutta Yöntemi.....	11
1.6.4.4. Yüksek Dereceli Runge-Kutta Yöntemleri .....	12
1.7. Denklem Sistemleri.....	13
1.7.1. Euler Yöntemi.....	13
1.7.2. Runge Kutta Yöntemleri.....	14
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	15
2.1. Sistem Bileşenleri İçin Enerjinin Korunumu İfadeleri.....	15
2.2. Denklem Sisteminin Runge-Kutta Yöntemi İle Ayrıklaştırılması.....	19
2.3. Problem İçin Fiziksel Büyüklükler Sabitler .....	21
3. BULGULAR VE İRDELEME .....	23
3.1. Sabit Dış Ortam Sıcaklığı Koşulu Altındaki Analiz Bulguları ve İrdeleme ..	23
3.2. Değişken Dış Ortam Sıcaklığı Koşulu Altında Analiz Bulguları ve İrdeleme	28
4. SONUÇLAR.....	48

<b>5.</b>	<b>ÖNERİLER.....</b>	<b>49</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>50</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SOĞUK BİNALARDA İLK ISITMA SÜRECİNİN TEORİK ANALİZİ

Birkut GÜLER

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI  
2014, 52 Sayfa

Yaşam ortamlarının ısıtılması makine mühendisliğinin uygulama alanları arasında yer alır. Konforlu ısınmaya olan talep ve mühendislikte enerji verimliliğinin önem kazanması nitelikli tasarımla ilgili beklentileri artırmıştır. Günümüzde uygulanmakta olan ısıtma projelerinde, sistem bileşenlerine ait sıcaklıklar sabit alınır ve ilgili hesaplar bu sabit değerlerle dayandırılır. İlave tablo, grafik ve benzeri dokümanlar da bu sabit değerlere göre düzenlenir. Böylece ısıtma işlemi kararlı bir problem olarak kabul edilmiş olur.

Ancak, ısıtma problemi dış ortam sıcaklığının değişken doğası ve ısıtmanın kesintili olarak gerçekleşmesinin kaçınılmaz oluşu gibi nedenlerden dolayı zaman bağımlı bir problemdir. Isıtma süresince sistem bileşenlerinin (ısıtma sisteminin kendisi, yaşam ortamının havası ve yapı malzemesi) birbiri arasında ve iç ortam havası ve dış ortam havası arasındaki ısı transferi eş zamanlı olarak gerçekleşir. Bu çalışmada her bir sistem bileşenine ait enerjinin korunumu adi diferansiyel denklemlerle temsil edilmiş ve bu denklemler eş zamanlı olarak dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi ile çözülmüştür.

Sayısal sonuçlar, sistem için etkili olan parametrelerin; yapı malzemesi zaman sabiti, bina zarf direnci ve dış ortam sıcaklığı genliği olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Binalarda ısıtma, zaman sabiti, ilk ısıtma süreci, zaman bağımlı ısıtma



Master Thesis

SUMMARY

THEORETICAL ANALYSIS OF COLD BUILDINGS THE HEATING UP PROCESS

Birkut GÜLER

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mechanical Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI  
2014, 52 Pages

Heating of living spaces is the subject of interest for mechanical engineers. Heating comfort demands and importance of energy efficiency concept in engineering have increased the expectations for a qualified design. For the current application of heating project, temperatures of the system components are taken as constant and the related calculations are based on these constant values. Supplementary tables, graphics and similar materials are documented according to the constant values. Therefore, heating process is assumed as a steady-state problem.

However, because of time varying nature of outer temperature and inevitable occurrence of process interruptions, the heating process is a transient problem. During the heating process, heat transfer takes place simultaneously among the system components themselves (heating system itself, air of living environment and structure material) and between the internal and outer air. In the presented study, conservation of energy for each of the system component is represented by ordinary differential equations and these equations are solved simultaneously by fourth order Runge-Kutta method.

Numerical results show that the effective parameters for the system are the time constant of structure material, the building envelope resistance and the amplitude of outer air temperature.

**Key Words:** Heating of buildings, time constant, heating up period, transient heating

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa no

Şekil 1.	Alt sistemler arasındaki enerji dengesinin şematik olarak gösterilmesi.....	17
Şekil 2.	Değişik yapı zaman sabitlerinde su sıcaklığının zamana göre değişimi .....	25
Şekil 3.	Değişik yapı zaman sabitlerinde yapı sıcaklığının zamana göre değişimi.....	25
Şekil 4.	Değişik yapı zaman sabitlerinde hava sıcaklığının zamana göre değişimi .....	25
Şekil 5.	Farklı sabit dış ortam sıcaklıklarında su sıcaklığının zamana göre değişimi ....	26
Şekil 6.	Farklı sabit dış ortam sıcaklıklarında yapı sıcaklığının zamana göre değişimi.	26
Şekil 7.	Farklı sabit dış ortam sıcaklıklarında hava sıcaklığının zamana göre değişimi	26
Şekil 8.	Farklı bina zarf dirençlerinde su sıcaklığının zamana göre değişimi .....	27
Şekil 9.	Farklı bina zarf dirençlerinde yapı sıcaklığının zamana göre değişimi .....	27
Şekil 10.	Farklı bina zarf dirençlerinde hava sıcaklığının zamana göre değişimi .....	27
Şekil 11.	Dış ortam sıcaklığı genliğinin, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Su sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Su sıcaklığı genliği üzerine etkisi .....	33
Şekil 12.	Dış ortam sıcaklığı genliğinin, a) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Yapı sıcaklığı genliği üzerine etkisi.....	34
Şekil 13.	Dış ortam sıcaklığı genliğinin, a) Hava sıcaklığı üzerine etkisi, b) Hava sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı genliği üzerine etkisi .....	35
Şekil 14.	Yapı zaman sabitinin, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Su sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Su sıcaklığı genliği üzerine etkisi .....	36
Şekil 15.	Yapı zaman sabitinin, a) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Yapı sıcaklığı genliği üzerine etkisi.....	37
Şekil 16.	Yapı zaman sabitinin, a) Hava sıcaklığı üzerine etkisi, b) Hava sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı genliği üzerine etkisi .....	38
Şekil 17.	Bina zarfı direncinin, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Su sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Su sıcaklığı genliği üzerine etkisi .....	39
Şekil 18.	Bina zarfı direncinin, a) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Yapı sıcaklığı genliği üzerine etkisi.....	40
Şekil 19.	Bina zarfı direncinin, a) Hava sıcaklığı üzerine etkisi, b) Hava sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı genliği üzerine etkisi .....	41
Şekil 20.	Bina zarfı direncinin değişken yakıt debisiyle, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Su sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Su sıcaklığı genliği üzerine etkisi .....	42
Şekil 21.	Bina zarfı direncinin değişken yakıt debisiyle, a)Yapı sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Yapı sıcaklığı genliği üzerine etkisi.....	43

- Şekil 22. Bina zarfı direncinin değişken yakıt debisiyle, a) Hava sıcaklığı üzerine etkisi, b) Hava sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı genliği üzerine etkisi..... 44
- Şekil 23. Bina zarfı direncinin yakıt debisi üzerine etkileri ..... 45
- Şekil 24. Bina zarfı direncinin yakıt kesilmesi durumunda, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı üzerine etkisi..... 46
- Şekil 25. Yapı zaman sabitinin yakıt kesilmesi durumunda, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı üzerine etkisi..... 47

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Yüzey alanı, [m <sup>2</sup> ]
AID	: Alt ısı değer, [J/kg]
c	: Özgül ısı, [J/kgK]
d	: Diferansiyel operatör
e	: Denklem operatörü,
f	: Denklem operatörü,
g	: Denklem operatörü,
h	: Isı taşınım katsayısı veya adım büyüklüğü [W/m <sup>2</sup> K,-]
k	: Runge-Kutta algoritması birinci denklem eğim veya ısı iletim katsayısı,[- ,W/mK]
L	: Uzunluk, [m]
m	: Yakıt debisi, [kg/s]
M	: Isıl kütle, [J/K]
n	: Değişken sırası
q	: Isı veya Runge-Kutta algoritması ikinci denklem eğim, [Watt,-]
R	: Isıl direnç, [K/W]
r	: Runge-Kutta algoritması üçüncü denklem eğim
T	: Sıcaklık, [K]
U	: Toplam ısı geçiş katsayısı, [W/m <sup>2</sup> K]
V	: Hacim, [m <sup>3</sup> ]
x	: Denklemdaki değişken
y	: Denklemdaki değişken
$\rho$	: Yoğunluk, [kg/m <sup>3</sup> ]
$\tau$	: Zaman sabiti, [1/s]
$\Phi$	: Hesaplanmış diferansiyel denklem

### **Alt İndisler**

dış	: Dış ortam
duvar	: Duvar
g	: Gecikme
giren	: Sisteme verilen
h	: Hava
i	: Değişken indisi
penc	: Pencere
s	: Su
y	: Yapı
–	: Genlik

### **Üst İndisler**

'	: Türev
n	: Türev derecesi

## **1.GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

İnsanlık tarihi boyunca barınma, daimi ihtiyaçlar listesinin ön sıralarında yer almıştır. İnsanların barınak yapmasının altında birçok farklı neden yatmaktadır. Bunlar güvende hissetme, özel hayatı koruma, dışarıdaki tehlikelerden korunma ve ısınma olarak basitçe örneklendirilebilir. Isınma geçmişte olduğu gibi günümüzdeki modern binaların da önemli bir sorunudur. Geçmişte ortama uygun barınaklarını yaparlarken ısıtmada atalarından gelen ve deneme yanılma yöntemiyle elde edilen bilgileri kullanırken günümüzde ısıtma bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Önceleri yaşanan ortamların ısıtılması basit ateşlerde odun, çalı, tezek gibi yakıtların yakılmasıyla başlamış; teknoloji ve bilgi birikimi ilerledikçe, elektrikli ısıtmadan kalorifer sistemlerine kadar gelişmiştir.

Öncelikle mimarların ilgi alanı olan yaşam ortamlarının tasarımı konusu, enerjinin kontrollü tüketiminin gerekliliği nedeniyle makine mühendisliğinin de ilgi alanı haline gelmiştir. Makine mühendislerinin konuya olan ilgisi, bir enerji biçimi olan ısının binalarda verimli kullanımının tasarlanması olarak ifade edilebilir. Mimari tasarımı tamamlanmış bir yaşam ortamı için yapılacak bir ısıtma tasarımı, enerjinin verimli kullanımı ile ilgili ancak sınırlı katkı sağlayabilir. Enerjinin verimli kullanımı ile ilgili etkin bir katkının sağlanması, ısıtma tasarımı ile mimari tasarımın paralel yürütülmesi ile mümkün olabilir. Mimari tasarımda ısıtma ile ilgili olarak en fazla göz ardı edilen husus; yaşam ortamının ilk ısıtma süresi veya hemen hemen aynı etkiyi gösteren kesintili ısıtma süreçleridir. Bu husus, zaman bağımlı ısıtma ile ilgili ayrıntılı araştırmayı gerektirmektedir.

### **1.2. Tezin Konusu, Gereğesi Ve Amacı**

Yaşam mahallerinin (konut, ofis, işyeri, hastane, okul v.b.) ısıtılması ile ilgili temel bağımlı değişken sıcaklıktır. Isıtma projesi uygulamalarında, ısıtılacak ortam ve ısıtılacak ortamın maruz bulunduğu dış ortam sıcaklıklar sabit değerler olarak alınır ve hesaplar bu sabit değerler üzerinden yürütülür. Yürütülmekte olan bu projelerle ilgili günümüzde bir

hesaplama sistematığı oluşmuştur ve bu sistematik mühendisler tarafından güvenle kullanılmaktadır. Isıtmanın kararlı durumda gerçekleşmesi durumunda mevcut hesaplama sistematığı güvenle kullanılabilir. Ancak uygulamada kararlı durumda ısıtma iki nedenden dolayı mümkün olmamaktadır. Bunlardan ilki, ilk ısıtma süreci ve/veya sistemin kesintili çalışmasıdır. İkincisi ve önemli olanı ise ısıtılacak olan yaşam mahalinin periyodik olarak değişen ortam sıcaklığına maruz bulunmasıdır. Diğer taraftan, farklı işletme koşullarında ısıtılan mahallerin maruz kaldığı ısıtma süreci ilk kategorideki gibi kesintili çalışma olarak değerlendirilebilir. Mevcut ısıtma projelendirmelerinde ısıtılan mahallin kesintili ısıtılması durumunda yine ortalama değerlerden hareketle ilave ısı ihtiyacı miktarı “zam” veya “işletme zammı” olarak hesaba alınır. Ancak, periyodik olarak zamanla değişen dış ortam sıcaklığını hesaba alan bir uygulama mevcut değildir.

Isıtma sisteminin projelendirilmesinde göz ardı edilen periyodik ortam sıcaklığının ısıtma ile ilgili parametreler üzerine etkisinin belirlenmesi amacı ile teorik bir çalışma hedeflenmiştir. Isıtıcılar yolu ile ısıtılması istenilen ortama (radyatör, konvektör v.s.) ısı geçişi olurken aynı anda sıcaklığı periyodik olarak değişen dış ortama ısı kaybı olmaktadır. Isıtılacak ortam çevreye ısı kaybederken aynı anda yapı bileşenleri olan duvar, tavan ve döşemeler ile de arasında ısı transferi gerçekleşmektedir. Böylece problem birbirine bağımlı olan; ısıtma sistemi, ısıtılacak ortam ve yapı bileşenleri sistemlerinden oluşan üç denklem ile ifade edilebilir. Bu denklemlerin çözümünden değişken dış ortam sıcaklığına bağlı olarak ısıtıcılarda dolaşan akışkan sıcaklığı, ısıtılacak ortam sıcaklığı ve yapı bileşenleri sıcaklığının zamana göre değişimleri elde edilebilir. Elde edilen zaman bağımlı sıcaklık değişimleri üzerinden; ilk ısıtma süresinin ve kesintili çalışmada ortaya çıkan ısıtma gecikmesinin kısaltılması, değişken dış ortam sıcaklığından kaynaklanan ısıtma düzensizliğinin kontrol edilebilmesi ile ilgili tasarım kriterleri önerilebilir.

### **1.3. Literatür Özeti**

Günümüzde ısıl konfor ve bina ve mekanik sistemlerinin ısıl konfora etkileri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların geneline baktığımızda incelenen temel konular dış ortam sıcaklığı ve çeşitli etkenler ışığında iç ortam sıcaklığındaki değişimlerdir.

Antonopoulos ve Tzivanidis [1] binaların ısı gecikmesini hesaplamak için korelasyon geliştirmek amacıyla çalışma yapmışlardır. Çalışmada, ortalama dış mekan sıcaklığıyla değişen ortalama iç mekan sıcaklığının, güneş ışıınımı, ısıtma gücü yoğunluğu ve çeşitli bina türlerine göre değiştiğini ortaya koymuşlardır. Isıl gecikmeyi iç ortam ısıısının istenilen sıcaklığa ulaşması için geçen süre olarak tanımlamışlardır. Binalardaki zaman bağımlı ısı transferini ve enerji dengesini tanımlayan çiftli diferansiyel denklemleri sonlu farklar yöntemiyle çözmüşler, ele alınan bina türlerine karşılık gelen gecikme değerlerini hesaplamışlar ve en küçük kareler metoduyla amaçladıkları korelasyonu geliştirmişlerdir.

Antonopoulos ve Tzivanidis[2] binalardaki iç mekân sıcaklığını hesaplamak için sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu çalışmada bina yüzeyinin bütün elemanlarının zaman bağımsız ısı iletimini ve iç mekân enerji dengesini ifade eden bir dizi diferansiyel denklemi implicit sonlu farklar metoduyla çözmüşlerdir. Elde edilen korelasyona göre iç mekân ve dış mekân sıcaklıkları arasındaki bağıntının binanın ısı kapasitesine ve ısı kaybı miktarına göre değişen bir yapıda olduğunu ortaya koymuşlardır.

Antonopoulos ve Koronaki [3] binaların görünen ve uygulamadaki ısı kapasitesi üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada binaların ısı kapasitesi belirlenirken bina yapısında dağılmış halde bulunan bütün elemanların belirli ısılarının toplanmasıyla elde edilen ısı kapasitenin görünüşteki ısı kapasite olduğunu, fakat uygulamadaki ısı kapasitenin bundan farklı olduğunu ortaya koymuşlardır. Isıl elemanların çözümü için bir dizi diferansiyel denklem yazmışlar ve bu denklemleri sonlu farklar yöntemiyle çözmüşlerdir.

Nannei ve Schenone [4] ısı geçişi için matematik modeller oluşturmuşlardır. Bu denklemleri bilgisayar yazılımı aracılığıyla çözmüşlerdir. Daha sonra 4mx4mx3m ölçülerinde bir deneysel oda yaparak bu odanın çeşitli yerlerine ölçüm aletleri koymuşlardır. Bu odanın detaylarını, ısıtma-soğutma sistemlerini ve ölçüm noktalarını detaylı olarak vermişlerdir. Sonuç olarak sayısal çözümle deneysel çalışmanın sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Mendes ve diğerleri [5] binanın ısı analizini yapmış ve devamında elde edilen sonuçlar doğrultusunda kontrol sistemi tasarlanması üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada bina elemanları bir bütün olarak düşünülmemiş, bina dış zarfı iki katmanlı olarak düşünülmüştür. Brezilya'da soğuk bir güne ilişkin durum analizi yapmışlar ve



binanın ısı analizini ve iç hava sıcaklığını ortaya koymak için Matlab/Simulink programını kullanmışlardır.

Lukic [6] yalıtım yanıt faktörü adını verdiği bir indeksten bahsetmiştir. Yalıtım yanıt faktörü etkisini araştırmak için ölçümler yapmıştır. Ölçüm yapılan evde sürekli çalışan bir merkezi ısıtma ve 19-22 °C aralığında devreye girip çıkan 3 kW lık bir elektrikli ısıtıcı kullanmıştır. Farklı senaryolarda ölçümler yapmıştır. Bu ölçümler sonucunda yalıtım yanıt faktörü kullanılarak en uygun ısıtma ya da soğutma sistemlerinin seçilebileceğinden bahsetmiştir.

Shengwei ve diğerleri [7] yaptıkları çalışmada bir binanın verimli olma koşullarını anlatırken binaların modellenmesinde öne çıkan yöntemlerden bahsetmişlerdir. Yapılan çalışmada farklı bir modelleme tekniği kullanarak binayı farklı direnç ve ısı kapasite yaklaşımıyla modellemişlerdir. Çalışmada ısı transferinin yanı sıra otomatik kontrolü de ön plana çıkarmışlardır. Özellikleri verilen bir binada ölçümler yaparak oluşturdukları modellerin çıktılarıyla gerçek ölçüm sonuçlarını karşılaştırmış ve yorumlamışlardır.

Çağrı Ç. [8] Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesinde yaptığı çalışmada bina içi sıcaklığına etki eden çevresel etkenlerden bahsetmiştir. Bu fiziksel etkenlerin odaların yönü, odanın cephesinde bulunan bitki örtüsü ve pencereler gibi binanın mimari yapısıyla ilintili fiziksel özellikler olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesinde her bir odaya nem ve sıcaklık ölçer yerleştirmek suretiyle üç ay süresince ölçümler yapmış, bütün odalarda sıcaklık ve nem değerlerinin farklı olduğunu saptamıştır.

Conceicao ve Lucio [9] Portekiz’de çok sert kış koşulları yaşanmayan bir bölgede ölçümler yapmışlardır. Ayrıca diğer çalışmalardan farklı olarak CO<sub>2</sub> salınımı ve temiz hava analizleri de yapmışlardır. Çalışmada ısı olarak konforsuz mekanlar belirlendikten sonra önce elektrikli ısıtıcı ile daha sonra güneş ışınları vasıtasıyla ısıtılan hava ısıtıcı kollektörler kullanarak mahalleri ısıtmışlardır.iki sistemin karşılaştırmasını yapmak amacıyla, diferansiyel denklemler yazarak Runge-Kutta yöntemiyle çözüm elde etmişlerdir.

Balocco ve diğerleri [10] yalıtımlı bir binanın dışına kaplanan pak-siding isimli cephe kaplama sistemini ANSYS programında benzetim yaparak ısı etki ve mekanik dayanım açısından incelemişlerdir. Duvara montaj şekillerine göre ısı değişimin nasıl bir malzeme yorulması oluşturacağını inceleyerek yalıtımlı bina ile kaplamalı binayı içerideki ısının değişimi açısından karşılaştırmışlardır.

Prabal ve diğeri [11] yaptıkları çalışmada deneysel sonuçlar ile analitik çözümleri karşılaştırmışlardır. Farklı Reynolds sayısı ve hava hızında ısı transferi ve kütle transferinin nasıl değişeceğini ortaya koyacak deneyler yapmışlardır. Bir mika malzeme ve plywood ahşap malzemedan oluşan deney düzeneği kurmuşlardır. Kurulan deney düzeneği ile çeşitli denemeler yapmışlar, kütle transferi ve ısı transfer miktarlarını ölçerek, sayısal çözümlerle karşılaştırmışlardır.

Tariku ve diğeri [12] bir inşaatın yapımında çok çeşitli nem içerikleri olabileceğini ve bina analizlerinde ısı, hava ve nem unsurlarının ön plana çıktığını vurgulamışlardır. Isı akısının ve ısı geçirgenliğinin nem içeriğiyle değiştiğini belirterek nem göz önüne alınmadan ısı transferi ile ilgili çalışma yapıldığında yanlış sonuçlar elde edilebileceğinden bahsetmişlerdir.

#### **1.4. Bina Hacimlerinde Toplam Kapasite Yaklaşımı**

Bilindiği gibi mühendislik problemlerinde bağımlı değişken bir ya da birden fazla bağımsız değişkene bağlı olabilir. Bağımsız değişkenler de kendi aralarında; uzamsal değişkenler, uzamsal olmayan değişkenler olarak sınıflandırılabilir. Eğer bağımlı değişken konuma bağlı ise problem uzamsal bağımlıdır.

Probleme bağımlı değişken konuma bağlı olmayıp, sadece zamana göre değişimi önemli ise toplam kapasite yaklaşımı geçerlidir. Sisteme toplam kapasite yaklaşımıyla yaklaşırsa elde edilen matematiksel modelde denklemler adi diferansiyel denklemlerdir. Toplam kapasite yaklaşımı, toplam kapasite analizi olarak da adlandırılabilir.

Birçok ısı geçiş problemi zaman bağımlıdır. Zamana bağlı problemler genellikle sistemin sınır koşulları değiştiğinde ortaya çıkar. Basit genel ve zamana bağlı bir problem bir katının bulunduğu ısı çevrenin bir anda değişmesidir. Sistem sıcaklığının zamanla değiştiği, fakat herhangi bir anda sistemin her tarafında uniform kaldığı yaklaşım ile çözümler kolaylıkla yapılabilir [13, 14].

Bina hacimlerinde ısı çözümler yapılırken toplam kapasite yaklaşımı yapılarak sadece sıcaklığın zamana bağlı değişimi ele alınmaktadır ve problemle ilgili denklem ya da denklemler adi diferansiyel denklem şeklindedir. Bu yaklaşımda uzamsal bağımlılık problem için birinci öncelik değildir. Bu yaklaşımla kesin bir ısıtma tasarımı

yapılamamakla birlikte tasarımın temelini oluşturmada önemli katkı sağlama olanağı sağlanır.

### **1.5. Bina Duvarlarında Katmanlı Duvar Çözümlemesi**

Teze konu olan problemde bağımsız değişken sadece zaman, bağımlı değişkenler ise sistem bileşenlerine ait sıcaklıklardır. Ancak sistem bileşenlerine ait sıcaklıkların konuma bağlı olarak da değiştiği bir gerçektir. Bu değişim duvarlarda daha da önemlidir. Katmanlı duvar çözümlemesinde amaç, bu değişimin etkisini de hesaba almaktır. Yerel bağımlılığın önemli olduğu katmanlı duvar çözümlemesinde denklem diferansiyel denklem olarak karşımıza çıkar. Diğer taraftan mevcut çalışmada bağımsız değişken sadece zaman olduğu için adi diferansiyel denklem söz konusudur. Katmanlı duvar çözümlemesini de hesaba alacak olan bir çalışmada duvar çözümü bağımsız ama eş zamanlı olarak adi diferansiyel denklem sistemiyle beraber yürütülür. Bir başka deyişle hem zaman hem de yerel bağımlı duvar çözümlemesi sadece zaman bağımlı çözüme bütünleştirilir.

### **1.6. Adi Diferansiyel Denklemlerin Sayısal Çözümü**

Fizik, mekanik, elektrik ve termodinamiğin temel yasaları fiziksel özelliklerdeki ve sistemin konumundaki değişimleri açıklayan deneysel gözlemlere dayanmaktadır. Yasalar, fiziksel sistemin durumunu doğrudan açıklamak yerine genellikle konuma ve zamana bağlı değişimleri ifade eder.

Diferansiyel denklemler uzun yıllardır, dünyada çoğu fiziksel bilimler ve mühendislik dallarında önemli yer tutmaktadır. Bilim adamları ve mühendisler genellikle değişime uğrayan sistemleri incelerler ve diferansiyel denklemler mühendislere bir sistemdeki anahtar değişkenlerin değişimini inceleme ve fiziksel olayı daha iyi anlama olanağı verir.

Fiziksel kanun ve prensiplerin göz önüne alınan değişkenlerdeki sonsuz küçük değişimleri dikkate almak suretiyle bir probleme uygulanmasıyla diferansiyel denklemler elde edilir. Diferansiyel denklemlerin entegralinin alınmasıyla sonsuz küçük değişimler sistemin geneline yayılmış olur.

Bir tek değişkene bağlı bir fonksiyonun bu bağımsız değişkene göre türevlerinin içeren bir denkleme adi diferansiyel denklem denir.

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \quad (1)$$

ifadesi adi diferansiyel denklemdir. Bir adi diferansiyel denklem genel olarak ;

$$f(x, y, y', \dots, y^{(n)}) = 0 \quad (2)$$

şeklinde yazılır.

$\frac{dy}{dx} = f(x, y)$  formundaki adi diferansiyel denklemin çözümünde yöntem;

Yeni değer = eski değer + (eğim x adım büyüklüğü)

$$y_{i+1} = y_i + \Phi \cdot h \quad (3)$$

olarak verilebilir.

Bu eşitliğe göre h aralığı boyunca eski bir  $y_i$  değerinden yeni bir  $y_{i+1}$  değerini enterpolasyonla bulmak için eğim tahmini  $\Phi$  kullanılır. Bu formül ileriye doğru adım adım uygulanabilir, böylece çözümün yörüngesi çizilebilir. Bütün adımlı yöntemler genel olarak bu formda ifade edilebilir. Aralarındaki fark eğim yönteminin farklı olmasıdır.

### 1.6.1. Euler Yöntemi

Diğer bir deyişle Euler-Cauchy veya noktasal eğim olarak da adlandırılır. Birinci türev  $x_i$  deki eğimin doğrudan tahminini verir.

$$\Phi = f(x_i, y_i) \quad (4)$$

Burada  $\Phi = f(x_i, y_i)$  ,  $x_i$  ve  $y_i$  de hesaplanmış diferansiyel denklemlerdir. Genel formülde yerine koyulursa;

$$y_{i+1} = y_i + f(x_i, y_i) \cdot h \quad (5)$$

Adım büyüklüğü  $h$  boyunca doğrusal enterpolasyon yapmak için eğim kullanılarak  $y'$  nin yeni değeri elde edilir.

Euler yönteminde adım aralığı ve adım büyüklüğü küçüldükçe gerçek çözüme daha yaklaşılmaktadır.

### 1.6.2. Heun Yöntemi

Eğim tahminini iyileştirmenin bir yolu biri aralığın başında diğeri sonunda olmak üzere aralık için iki türev hesaplamaktır. Göz önüne alınan aralık için iyileştirilmiş bir eğim elde etmek amacıyla daha sonra bu iki türevin ortalaması alınır. Bu yaklaşım Heun yöntemi diye bilinir.

Euler yönteminden bildiğimiz gibi aralığın başındaki eğim;  
 $y'_i = f(x_i, y_i)$  Şeklinde dir.  $y_{i+1}$ 'in hesaplanması için kullanılır. Euler yönteminde olsa sonucu doğru kabul edilip burada durulacaktı. Fakat heun yönteminde bu bir sonuç değil ara yanıttır.

Heun yöntemi bir deneme düzeltme yaklaşımıdır. Kısaca aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

Deneme

$$y_{i+1}^0 = y_i + f(x_i, y_i)h \quad (6)$$

Düzeltilme

$$y_{i+1} = y_i + \frac{f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, y_{i+1}^0)}{2} h \quad (7)$$

Dikkat edilirse eşitliğin her iki tarafında  $y_{i+1}$  olduğu için bu denklem ancak iteratif olarak uygulanabilir. Bu iterasyon sonucunda doğru yanıtı yeterince yakınsanmayacaktır. Fakat verilecek kesme hatasıyla durdurulabilir.

### 1.6.3. Orta Nokta veya Geliştirilmiş Poligon Yöntemi

Bu teknik Euler yönteminin basitleştirilmiş halidir. Bu teknikte aralığın orta noktasındaki  $y$  değerini tahmin etmek için Euler yöntemi kullanılır.

$$y_{(i+1)/2} = y_i + f(x_i, y_i) \frac{h}{2} \quad (8)$$

Daha sonra bu tahmini değer orta noktadaki eğimi hesaplamak için kullanılır.

$$y'_{(i+1)/2} = f(x_{(i+1)/2}, y_{(i+1)/2}) \quad (9)$$

Bu değer bütün aralıktaki ortalama eğim için geçerli bir yaklaşım olduğu varsayılır. Bu eğim daha sonra  $x_i$  den  $x_{i+1}$  e kadar doğrusal ekstrapolasyon için kullanılır.

$$y_{i+1} = y_i + f(x_{(i+1)/2}, y_{(i+1)/2})h \quad (10)$$

Burada  $y_{i+1}$  her iki tarafta olmadığı için itersyonla çözüme gerek yoktur.

### 1.6.4. Runge-Kutta Yöntemleri

Runge-Kutta yöntemleri, yüksek dereceli türevlerin hesaplanmasına gerek olmaksızın Taylor serisi yaklaşımının doğruluğunu yakalamaktadır. Bu yöntemlerin çok çeşitleri vardır. Fakat en genel anlamda aşağıdaki formda yazılabilir.

$$y_{i+1} = y_i + \Phi(x_i, y_i, h)h \quad (11)$$

Burada  $\Phi(x_i, y_i, h)$  artım fonksiyonu diye adlandırılır ve aralık boyunca temsili türev olarak yorumlanabilir. Artım fonksiyonu aşağıdaki genel formda yazılabilir.

$$\Phi(x_i, y_i, h) = a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_n k_n \quad (12)$$

Burada  $a$  'lar sabittir,  $k$  'lar ise aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
k_1 &= f(x_i, y_i) \\
k_2 &= f(x_i + p_1 h, y_i + q_{11} k_1 h) \\
k_3 &= f(x_i + p_2 h, y_i + q_{21} k_1 h + q_{22} k_2 h) \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
k_n &= f(x_i + p_{n-1} h, y_i + q_{n-1,1} k_1 h + q_{n-1,2} k_2 h + \dots + q_{n-1,n-1} k_{n-1} h) \quad (13)
\end{aligned}$$

Burada p'ler ve q'ler sabittir. k'ler tekrarlamalı bağıntılardır. Yani  $k_2$  eşitliğinin içinde  $k_1$ ,  $k_3$  eşitliğinin içinde  $k_2$  şeklinde devam etmektedir. Her k bir fonksiyonel hesaplama olduğundan Runge-Kutta algoritması bilgisayarlar vasıtasıyla hesaplamak daha kolay bir yöntem olmaktadır.

#### 1.6.4.1. İkinci Dereceden Runge Kutta Yöntemi

$$y_{i+1} = y_i + (a_1 k_1, a_2 k_2)h \quad (14)$$

$$k_1 = f(x_i, y_i) \quad (15)$$

$$k_2 = f(x_i + p_1 h, y_i + q_{11} k_1 h) \quad (16)$$

$a_1, a_2, p_1, q_{11}$  değerleri ikinci dereceden Taylor serisi açılımına eşit alarak hesaplanır. Bunu yapmakla bilinmeyen dört sabit için üç denklem üretilir.

$$a_1 + a_2 = 1 \quad (17)$$

$$a_2 p_1 = \frac{1}{2} \quad (18)$$

$$a_2 q_{11} = \frac{1}{2} \quad (19)$$

Bu çözüm sisteminde  $a_1$  ve  $a_2$  için çok sayıda çözümler olabilir fakat en yaygın olarak kullanılan üç yöntem vardır. Bunlar;

a) Tek düzeltme katsayılı Heun Yöntemi

$$y_{i+1} = y_i + \left(\frac{1}{2}k_1, \frac{1}{2}k_2\right) h \quad (20)$$

b) Orta Nokta Yöntemi

$$y_{i+1} = y_i + (k_2)h \quad (21)$$

c) Ralston Yöntemi

$$y_{i+1} = y_i + \left(\frac{1}{3}k_1, \frac{2}{3}k_2\right) h \quad (22)$$

#### 1.6.4.2. Üçüncü Dereceden Runge Kutta Yöntemi

En yaygın sürümlerinden biri aşağıdadır.

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1, 4k_2 + k_3)h \quad (24)$$

Burada

$$k_1 = f(x_i, y_i) \quad (25)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1h\right) \quad (26)$$

$$k_3 = f(x_i + h, y_i - k_1h + 2k_2h) \quad (27)$$

#### 1.6.4.3. Dördüncü Dereceden Runge Kutta Yöntemi

En çok kullanılan Runge-Kutta yöntemi dördüncü derecedendir. İkinci dereceden yaklaşımda olduğu gibi sonsuz sayıda versiyonu vardır. Aşağıda verilen yapı en çok kullanılan versiyondur. Bu nedenle klasik dördüncü dereceden Runge-Kutta adını almıştır.



$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \quad (28)$$

Burada

$$k_1 = f(x_i, y_i) \quad (29)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_1h\right) \quad (30)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}k_2h\right) \quad (31)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + k_3h) \quad (32)$$

şeklinde olacaktır.

#### 1.6.4.4. Yüksek Dereceli Runge-Kutta Yöntemleri

Daha doğru sonuç gereken yerlerde beşinci dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılabilir.

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{90}(7k_1 + 32k_3 + 12k_4 + 32k_5 + 7k_6)h \quad (33)$$

Burada;

$$k_1 = f(x_i, y_i) \quad (34)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{4}h, y_i + \frac{1}{4}k_1h\right) \quad (35)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{4}h, y_i + \frac{1}{8}k_1h + \frac{1}{8}k_2h\right) \quad (36)$$

$$k_4 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i - \frac{1}{2}k_2h + k_3h\right) \quad (37)$$

$$k_5 = f\left(x_i + \frac{3}{4}h, y_i + \frac{3}{16}k_1h + \frac{9}{16}k_4h\right) \quad (38)$$

$$k_6 = f\left(x_i + h, y_i - \frac{3}{7}k_1h + \frac{2}{7}k_2h + \frac{12}{7}k_3h - \frac{12}{7}k_4h + \frac{8}{7}k_5h\right) \quad (39)$$

şeklindedir. Fakat burada dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemleriyle elde edilen kazanç ile karşılaştırıldığında çaba ve karmaşıklığın artması nedeniyle dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi en sık kullanılan yöntemdir.

### 1.7. Denklem Sistemleri

Mühendislikte ve bilimdeki birçok problem tek bir denklem yerine eş zamanlı adi diferansiyel denklemler sisteminin çözümünü gerektirir. Bu tür sistemler genel olarak aşağıdaki formda ifade edilebilir.

$$\frac{dy_1}{dx} = f_1(x, y_1, y_2, \dots, y_n)$$

$$\frac{dy_2}{dx} = f_2(x, y_1, y_2, \dots, y_n)$$

.

.

$$\frac{dy_n}{dx} = f_n(x, y_1, y_2, \dots, y_n) \quad (40)$$

Bu tür bir sistemin çözümü  $x$  'in başlangıç değerinde bilinen  $n$  adet başlangıç koşulu gerektirir. Denklem sistemlerinin çözümünde iki adet yöntem vardır, Bunlar;

#### 1.7.1. Euler Yöntemi

Bir denklem için 1,6 numaralı kısımda açıklanan bütün yöntemler yukarıdaki sistemlere genelleştirilebilir. Mühendislik uygulamaları binlerce eş zamanlı denklem içerebilir. Her bir durumda bir denklem sisteminin çözümü bir sonraki adıma geçmeden önce her denklem için bir adımlı tekniğin her bir adımda basit olarak uygulanmasını içermektedir.

### 1.7.2. Runge Kutta Yöntemleri

Yüksek dereceli Runge-Kutta yöntemlerinden her biri denklem sistemlerine uygulanabilmektedir. Ancak eğimler hesaplanırken dikkatli olunmalıdır. Yani önce başlangıç değerindeki her bir değişken için eğimleri buluyoruz. Bu eğimler ( $k_1$ 'ler seti) daha sonra aralığın orta noktasındaki bağımlı değişkenin tahmini için kullanılır. Bu kez bu orta nokta değerleri, orta noktadaki eğimleri( $k_2$ 'ler) hesaplamak için kullanılır. Bu yeni eğimlerle yeniden başlangıç noktasına dönülerek, orta noktada bağımlı değişkenin yeni tahmini değeri hesaplanır, bunlar ise orta noktada yeni eğim tahminleri ( $k_3$ 'ler) yapmaya yarar. Bu eğimler daha sonra aralığın sonundaki bağımlı değişkeni tahmin etmek için kullanılır, bunlar da aralığın sonundaki eğimleri ( $k_4$ 'ler) tahmin etmeye yarayacaktır. Son olarak bu  $k$ 'lar artım fonksiyonunda kullanılır ve son tahmini yapmak için başa dönülür [15].

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, tezin konusu alt başlığında da temas edildiği gibi, ısıtma sisteminin projelendirilmesinde göz ardı edilen değişken ortam sıcaklığının ısıtma ile ilgili parametreler üzerine etkisinin belirlenmesi amacı ile teorik bir çalışma hedeflenmiştir. Ortam ısıtmasında ısıtılması istenilen ortama ısı transferi ve ortamdaki çevreye ısı kaybı aynı anda gerçekleşmektedir. Sistem analizi, ısıtmanın sıcak sulu kalorifer sistemi olduğu kabul edilerek gerçekleştirilmiştir. Isıtma sistemi iş akışkanı, ısıtılacak ortam akışkanı ve yapı elemanı malzemesi için enerjinin korunumu ifadeleri ayrı ayrı elde edilerek çözülmüştür. Yapılan çözümlerinde dış ortam sıcaklığının değişken ve sabit olduğu iki ayrı durum ele alınmıştır. Dış ortam sıcaklığının sabit olduğu durumda hava, su ve yapı sıcaklıklarının değişimi verilmiştir. Dış ortam sıcaklığının farklı olduğu durumda ise su, yapı, hava sıcaklıklarının değişiminin yanı sıra, zaman kaymaları ve genlik değerlerinin değişimi de verilmiştir. Bahsedilen zaman kayması değişken dış ortam sıcaklığının periyottaki maksimum değere ulaştığı süre ile ele alınan bileşen sıcaklığının periyottaki maksimum sıcaklığa ulaştığı süre arasındaki farktır. Genlik ise bileşen sıcaklığının periyottaki maksimum ve minimum değerleri arasındaki farktır.

### 2.1. Sistem Bileşenleri İçin Enerjinin Korunumu İfadeleri

Sistem bileşenleri; sistem iş akışkanı olarak su, yaşam ortamı akışkanı olarak hava ve yapı malzemesi olarak beton olmak üzere genel olarak enerjinin korunumu ifadeleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{Sisteme} \\ \text{transfer edilen} \\ \text{ısı} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{Sistemde} \\ \text{üretilen ısı} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{Sistemden} \\ \text{transfer} \\ \text{edilen ısı} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \text{Isı transfer} \\ \text{süresince sistemdeki} \\ \text{ısı enerjisi değişimi} \end{array} \right\}$$

Sistem bileşenlerinin her biri için bu genel ifade toplam kapasite yaklaşımı ile (uzamsal bağımlılığı göz ardı ederek) adi diferansiyel denklemlerle ifade edilebilir.

Isıtma sistemindeki su döngüsü için enerjinin korunumu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\dot{m}_y AID - q_s = \rho_s V_s c_{p,s} \frac{dT_s}{dt} \quad (41)$$

Suya dışarıdan herhangi bir ısı geçişi olmayıp gerekli olan ısı yaktın yanması sonucu açığa çıkmaktadır. Burada denklemin sol tarafındaki ilk terim sistemde üretilen ısı, ikinci terim sistemden yaşam mahalline transfer edilen ısıyı ve denklemin sağındaki terim de zamanla meydana gelen değişimi ifade etmektedir. Benzer olarak hava ve yapı elemanı için korunum denklemleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilirler:

$$q_s - q_h = \rho_h V_h c_{p,h} \frac{dT_h}{dt}, \quad (42)$$

$$q_y = \rho_y V_y c_{p,y} \frac{dT_y}{dt} \quad (43)$$

Sudan yaşam mahalline, yaşam mahallinden dış ortama ve yaşam mahallinden yapı malzemesine transfer edilen ısılar sırasıyla;

$$q_s = U_s A_s (T_s - T_h) \quad (44)$$

$$q_h = U_h A_h (T_h - T_\infty) \quad (45)$$

$$q_y = U_y A_y (T_h - T_y) \quad (46)$$

şeklindedir. Diğer taraftan, üretilen ısı,

$$\dot{q} = \dot{m}_y AID \quad (47)$$

olarak ifade edilir. Su, hava ve yapı malzemesi için, ısı kapasiteler,

$$M_s = \rho_s V_s c_s, \quad (48)$$

$$M_h = \rho_h V_h c_h, \quad (49)$$

$$M_y = \rho_y V_y c_y, \quad (50)$$

ve ısı dirençler,

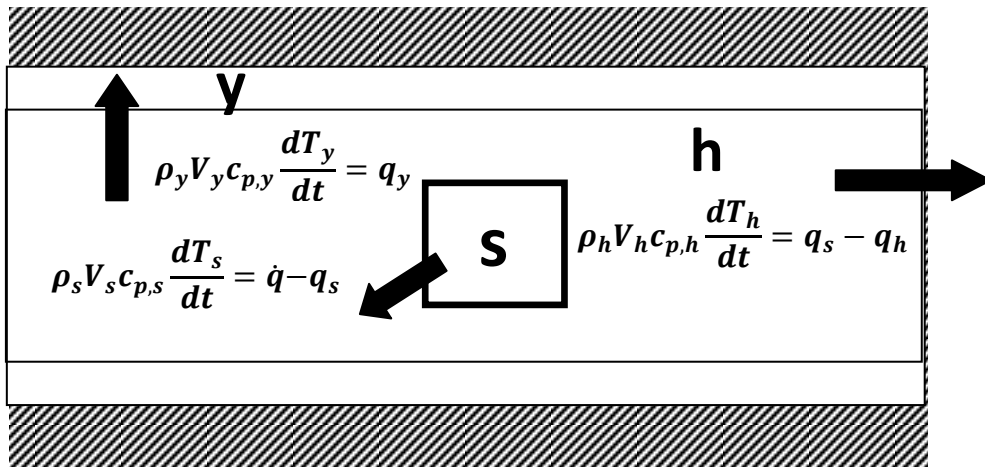
$$R_s = \frac{1}{U_s A_s}, \quad (51)$$

$$R_h = \frac{1}{U_h A_h}, \quad (52)$$

$$R_y = \frac{1}{U_y A_y}, \quad (53)$$

olarak yazılır.

48–50 denklemlerinde  $\rho$ ,  $V$  ve  $c$ , yoğunluk hacim ve özgül ısıyı temsil etmektedir. Alt indisler ise su için s, hava için h, yapı elemanları için y kullanılmıştır.  $\dot{q}$  ise su döngüsünde üretilen ısıyı temsil etmektedir. Akışın düşük ısı değerinin birim zamanda tüketilen akış değeriyle çarpılmasıyla elde edilmektedir.  $q$  ise sistemler arasındaki ısı transfer miktarını temsil etmektedir. Sistem bileşenlerini temsil eden denklemler, bileşenler arasındaki enerji dengesinin şematik olarak gösterildiği Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Alt sistemler arasındaki enerji dengesinin şematik olarak gösterilmesi

Yukarıda verilen 41, 42 ve 43 numaralı denklemlerindeki ısı kapasite ve ısı dirençler yerine yazılır ve yeniden düzenlenirse bu denklemler aşağıdaki şekilde elde edilmiş olur:

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{mH}{M_s} - \frac{1}{R_s M_s} T_s + \frac{1}{R_s M_s} T_h, \quad (54)$$

$$\frac{dT_h}{dt} = \frac{1}{R_s M_h} T_s - \frac{1}{M_h} \left( \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_h} \right) T_h + \frac{1}{R_h M_h} T_{dış} - \frac{1}{R_y M_h} T_h + \frac{1}{R_y M_h} T_y, \quad (55)$$

$$\frac{dT_y}{dt} = \frac{1}{R_y M_y} T_h - \frac{1}{R_y M_y} T_y, \quad (56)$$

Yukarıda elde edilmiş olan (53), (54) ve (55) numaralı denklemlerin her biri, bağımsız değişken sadece zaman olduğu için birer adi diferansiyel denklemdir. Diğer taraftan bu denklemler kendi aralarında aynı bağımlı değişkenleri paylaştıkları için birbirine bağlı (coupled) denklemlerdir. Böylece denklemler adi diferansiyel denklem takımı olarak düşünülür ve denklem sisteminin bağımlı değişkenleri olan su, hava ve yapı elemanı sıcaklıklarının elde edilmesi ancak eş zamanlı çözüm ile mümkün olur. Tezin genel bilgiler bölümünde de ifade edildiği gibi, adi diferansiyel denklem sistemi çözümünde kullanılan değişik yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden birinci bölümlerde bahsedilmiştir. Bu çalışmada dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada dış ortam sıcaklığı önce sabit kabul edilerek çözümler yapılmış daha sonra ise literatürde verilen ve periyodik olarak değişen dış ortam sıcaklığı için çözümler yapılmıştır. Literatürde değişken dış ortam sıcaklığı aşağıda verilmektedir [16].

$$T_{dış} = \frac{|T_{max} - T_{min}|}{2} \sin\left(\frac{2\pi t}{p} - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{|T_{max} - T_{min}|}{2} + T_{min} \quad (57)$$

Burada, p 24 saatlik periyot,  $T_{max}$  ve  $T_{min}$  gün içindeki en yüksek ve en düşük sıcaklıklar, t ise saniye olarak zamandır.

## 2.2. Denklem Sisteminin Runge-Kutta Yöntemi İle Ayrıklaştırılması

Çalışmanın başlangıcında anlatılmış olan adi diferansiyel denklemlerin çözüm yöntemlerinden olan dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi bizim problemimizde elde ettiğimiz 54,55,56 numaralı denklem takımına uygulanacaktır. Yani önce su, hava ve yapı sıcaklıklarının başlangıç değerlerinde her bir değişken için eğimleri belirlenmektedir. Bu eğimler  $(k_1, q_1, r_1)$  daha sonra aralığın orta noktasındaki su, hava ve yapı sıcaklıklarının tahmini için kullanılmaktadır. Bu kez bu orta nokta değerleri orta noktadaki eğimleri  $(k_2, q_2, r_2)$  hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu yeni eğimlerle yeniden başlangıç noktasına dönülerek, orta noktadaki su, hava ve yapı sıcaklıklarının yeni tahmini değeri hesaplanır, bunlar ise orta noktadaki yeni eğim tahminleri  $(k_3, q_3, r_3)$  yapmamızı sağlamaktadır. Bu eğimler daha sonra aralığın sonundaki su, hava ve yapı sıcaklıklarının tahmini değerlerini bulmakta kullanılmaktadır. Bu tahmini değerlerde aralığın sonundaki eğimleri  $(k_4, q_4, r_4)$  tahmin etmeye yarayacaktır. Son olarak bu eğimler artım fonksiyonunda kullanılır ve son tahmini yapmak için başa döner. Yani bu hesaplanan 4 eğim kullanılarak, ortalama bir eğim elde edilir. Bu eğim ile tahminler yapılır. Bu döngü ise belirlemiş olduğumuz artım miktarı kadar sürecektir.

54,55,56 numaralı denklem takımı için dördüncü dereceden Runge-Kutta ifadeleri içinde  $f, g$  ve  $e$  fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Su hava ve yapı sıcaklıklarını ise ne kadar sık zaman dilimi içinde hesaplanması gerektiği ise  $h$  artım miktarıyla belirlenmiştir.

$$k_1 = f(t, T_s, T_h, T_y); \quad (58)$$

$$q_1 = g(t, T_s, T_h, T_y); \quad (59)$$

$$r_1 = e(t, T_s, T_h, T_y); \quad (60)$$

$$k_2 = f\left(t + \frac{h}{2}, T_s + h * \frac{k_1}{2}, T_h + h * \frac{q_1}{2}, T_y + h * \frac{r_1}{2}\right); \quad (61)$$

$$q_2 = g\left(t + \frac{h}{2}, T_s + h * \frac{k_1}{2}, T_h + h * \frac{q_1}{2}, T_y + h * \frac{r_1}{2}\right); \quad (62)$$

$$r_2 = e\left(t + \frac{h}{2}, T_s + h * \frac{k_1}{2}, T_h + h * \frac{q_1}{2}, T_y + h * \frac{r_1}{2}\right); \quad (63)$$



$$k_3 = f\left(t + \frac{h}{2}, T_s + h * \frac{k_2}{2}, T_h + h * \frac{q_2}{2}, T_y + h * \frac{r_2}{2}\right); \quad (64)$$

$$q_3 = g\left(t + \frac{h}{2}, T_s + h * \frac{k_2}{2}, T_h + h * \frac{q_2}{2}, T_y + h * \frac{r_2}{2}\right); \quad (65)$$

$$r_3 = e\left(t + \frac{h}{2}, T_s + h * \frac{k_2}{2}, T_h + h * \frac{q_2}{2}, T_y + h * \frac{r_2}{2}\right); \quad (66)$$

$$k_4 = f(t + h, T_s + h * k_3, T_h + h * q_3, T_y + h * r_3); \quad (67)$$

$$q_4 = g(t + h, T_s + h * k_3, T_h + h * q_3, T_y + h * r_3); \quad (68)$$

$$r_4 = e(t + h, T_s + h * k_3, T_h + h * q_3, T_y + h * r_3); \quad (69)$$

$$k = \frac{(k_1 + 2 * k_2 + 2 * k_3 + k_4)}{6} \quad (70)$$

$$q = \frac{(q_1 + 2 * q_2 + 2 * q_3 + q_4)}{6} \quad (71)$$

$$r = \frac{(r_1 + 2 * r_2 + 2 * r_3 + r_4)}{6} \quad (72)$$

Sıcaklıkların zaman adımına göre değişimini veren ifadeler ise,

$$t = t + h; \quad (73)$$

$$T_s = T_s + h * k; \quad (74)$$

$$T_h = T_h + h * q; \quad (75)$$

$$T_y = T_y + h * r; \quad (76)$$

şeklindedir.

### 2.3. Problem İçin Fiziksel Büyüklükler Sabitler

Çözüm algoritması, sistem değişkenlerini boyutlu büyüklükler olarak alır ve sonuçları da ( $T_s, T_h, T_y$ 'nin zamana bağlı değişimini) boyutlu üretir. Dış ortam sıcaklığının genliğini belirleyen günün en yüksek ve en düşük sıcaklıkları  $T_{max}$  ve  $T_{min}$  değerleri ile ısı dirençler ve ısı kapasiteleri  $R_h, R_s, R_y, M_h, M_s, M_y$  programa istenilen değerlerde atanır. Atanan değerlerin belirlenmesinde uygulamadaki karşılıklarının gözetilmesi durumunda sonuçların anlaşılabilirliğine katkı sağlanır. Isıtma için gerekli olan yakıt debisi  $\dot{m}$ , isteğe bağlı olarak belirlenebilir. Ancak, sonuçların ısıtma uygulaması için anlamlı olabilmesi bakımından yakıt debisinin net ısı kaybı ile  $Q = \frac{T_h - T_{dış}}{R_h}$  şeklinde ilişkilendirilmesi daha doğrudur. Burada  $T_{\infty}$ , en düşük dış ortam sıcaklığı olarak alınırsa sistemin sabit yakıt debisi ile çalışacağı öngörülmüş olur. Eğer Q'nun hesaplanmasında  $T_{dış}$  için Denklem (57) deki ifade kullanılıyorsa değişken yakıt debisi uygulanıyor olacaktır.

Bina zarfı için ısı direnç olan  $R_h$ , duvar ve pencerelerden oluşan dirençlerdir.  $R_{duvar}$  ve  $R_{penc}$  sırasıyla duvara ve pencereye ait ısı dirençler olmak üzere  $R_h = \frac{R_{duvar} \cdot R_{penc}}{R_{duvar} + R_{penc}}$  olmaktadır. Binada dış ortama maruz toplam yüzeyin % 20 si pencere olması durumunda  $A_T = A_{duvar} + A_{penc}$  olacaktır. Diğer taraftan ısı direnç,  $U$  toplam ısı geçiş katsayısı olmak üzere,  $R = 1/(AU)$  şeklinde tanımlanır. Bu durumda

$$R_a = \frac{\sum 1/(AU)_{duvar} \cdot 1/(AU)_{penc}}{\sum 1/(AU)_{duvar} + 1/(AU)_{penc}} \quad (77)$$

veya

$$R_a = \frac{\left[ \sum \frac{1}{0.8A_T U} \right]_{duvar} \cdot \left( \frac{1}{0.2A_T U} \right)_{penc}}{\sum \left( \frac{1}{0.8A_T U} \right)_{duvar} + \left( \frac{1}{0.2A_T U} \right)_{penc}} \quad (78)$$

ve buradan da,

$$R_a = \frac{1}{A_T} \frac{\left[ \sum \frac{1}{0.8U} \right]_{duvar} \cdot \left( \frac{1}{0.2U} \right)_{penc}}{\sum \left( \frac{1}{0.8U} \right)_{duvar} + \left( \frac{1}{0.2U} \right)_{penc}} \quad (79)$$

olur.

Burada pencere için  $U$  değeri çift camlı olma durumuna göre tablolardan hazır alınabilmektedir. duvar için  $U$  değeri, katman sayısı ve cinsine göre aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\frac{1}{U_{wall}} = \frac{1}{h_{iç}} + \frac{L_1}{k_1} + \dots + \frac{L_n}{k_n} + \frac{1}{h_{dış}} \quad (80)$$

Dış ortama kaybedilen ısı ile beton tarafından çekilen ısıнын toplamı, radyatörler tarafından sağlanan ısıya eşit olacağından dolayı,

$$q = \frac{T_h - T_{dış}}{R_h} = \frac{T_s - T_h}{R_s} + \frac{T_h - T_y}{R_y} \quad (81)$$

olarak yazılır.  $R_h$ ,  $R_y$  ve  $R_s$  sabit değerler olarak hesaplanmaktadır. Yakıtın alt ısı değeri sabit kabul edilmek üzere birim zamandaki yakıt tüketimi  $\dot{m}$  çalışmanın bir kısmında sabit alınırken çalışmanın son kısmında her zaman adımı için hava sıcaklığına bağlı olarak hesaplatılarak program döngüsüne dahil ettirilmiştir. Çalışmada ele alınan binanın birtakım özellikleri bütün çalışmalarda sabittir. Hava hacmi 500 m<sup>3</sup>, su hacmi 0,05 m<sup>3</sup>, binanın yüzey alanı 400 m<sup>2</sup> alınmıştır.

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

Yapılan çalışmada üç ayrı durum analiz edilmiştir. Analiz edilen ilk durum, dış ortam hava sıcaklığının sabit olduğu durumdur. Bu analizde, sabit dış ortam sıcaklığı koşulu altında yapı zaman sabitinin, farklı bina zarfı dirençlerinin su, hava ve yapı sıcaklıklarının zamana göre değişimleri üzerine etkileri incelenmiştir. Analiz edilen ikinci durum, dış ortam sıcaklığı değişken olması durumudur. Dış ortam sıcaklığının değişken alınması durumunda değişken sıcaklığın genliği yeni bir parametre olarak probleme girmektedir. Böylece ikinci durum analizinde, dış ortam sıcaklığı genlik değerinin, yapı zaman sabitinin, farklı bina zarfı dirençlerinin su, hava ve yapı sıcaklıklarının zamana göre değişimleri üzerine etkileri incelenmiştir. Her iki tip analizde de, yakıt debisi sabit alınmıştır. Son olarak da yine değişken dış ortam sıcaklığı koşullarında içerdeki hava sıcaklığını 22 °C değerinde sabit kalacak şekilde farklı bina zarf dirençlerinde yakıt debisinin nasıl değiştiği ve sıcaklıklar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analizler 5 günlük periyot süresince yapılmıştır.

Bulguları sunulan örnek analiz; toplam yüzey alanı 400 m<sup>2</sup>, toplam malzeme kütlesi 31500 kg olan bir bina için yapılmıştır. Binanın dış duvarları içeride 1 cm dışarıda 3 cm sıva ve arada 25 cm tuğla olarak alınmıştır ve zarf direncindeki değişiklik duvara yalıtım eklenmesi yolu ile düzenlenmiştir. Toplam düşey yüzeylerin % 20'sinin pencere olduğu kabul edilmiştir.

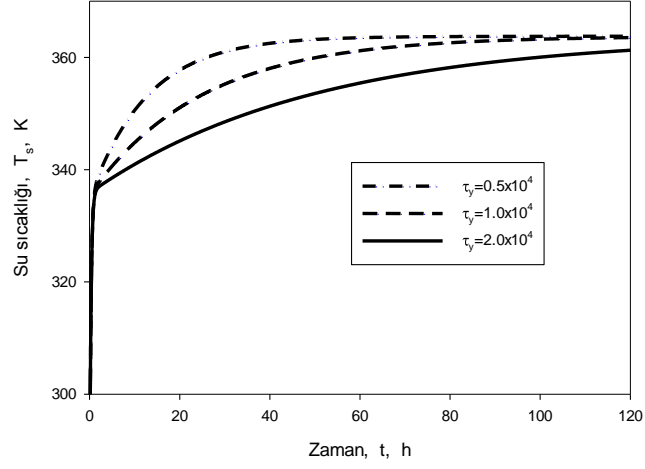
#### 3.1. Sabit Dış Ortam Sıcaklığı Koşulu Altındaki Analiz Bulguları ve İrdeleme

Bu analizde dış ortam sıcaklığı sabit alınarak su, hava ve yapı elemanı sıcaklıklarının zamana göre değişimi elde edilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 2'den Şekil 10'a kadar olan grafiklerde sunulmuştur. Şekil 2'de değişik yapı zaman sabitlerinde su sıcaklığının zamana göre değişimi, dış ortam sıcaklığının 5 °C olması durumu için görülmektedir. Benzer olarak yapı zaman sabitinin yapı sıcaklığı ve iç ortam havası sıcaklığı üzerindeki etkisi sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir. Her bir sıcaklık üzerindeki etki zaman sabitinin 0.5x10<sup>4</sup>, 1x10<sup>4</sup>, 2 x10<sup>4</sup> saniye değerleri için gösterilmiştir. Yapı zaman sabitlerinin bu değerleri alması bina hacminin sırasıyla 10, 20, 40 m<sup>3</sup> değerlerini alması anlamına

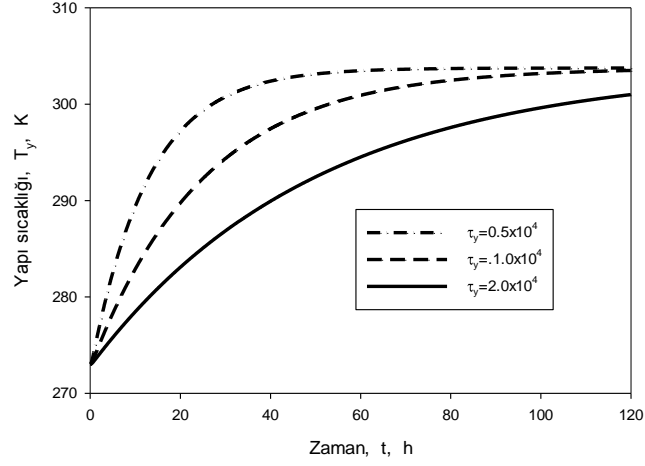
gelmektedir. Şekil 2'den Şekil 5'e kadar sıcaklığın zamana göre değişimi incelendiğinde yapı zaman sabitinin ilk ısıtma sürecine olan etkisi çok açık bir şekilde görülmektedir. Artan zaman sabiti su, hava ve yapı sıcaklıklarının kararlı hale gelme süresini uzatmaktadır. Örneğin yapı zaman sabitinin  $\tau_y = 0.5 \times 10^4$  s değerine iç ortam hava sıcaklığı yaklaşık 40 saat sonra kararlı hale gelirken  $\tau_y = 2 \times 10^4$  s değerinde kararlı hale gelme süresi 120 saat sonra bile gerçekleşmemektedir.

Daha sonra zaman sabitinin  $0.75 \times 10^4$  değeri için değişik dış ortam sıcaklığı değerlerinde, su, hava ve yapı sıcaklıklarının değişimleri incelenmiştir. Şekil 5'den Şekil 7'e kadar sıcaklığın zamana göre değişimleri incelendiğinde dış ortam hava sıcaklığının hem ilk ısıtma sürecine hem de genel sıcaklık değişimi üzerine etkisi görülmektedir. Dış ortam sıcaklığındaki artış ve azalış su, hava ve yapı sıcaklıklarını doğrudan etkilemektedir.  $T_{dış} = 10^{\circ}\text{C}$  olması durumunda 25 saat sonra kararlı hale gelirken  $T_{dış} = 0^{\circ}\text{C}$  olması durumunda ise 50 saat sonra ancak kararlı hale gelmektedir. Sıcaklıkların karakteristik eğrisi dış ortam sıcaklığındaki artış ya da azalış kadar ötelenmektedir.

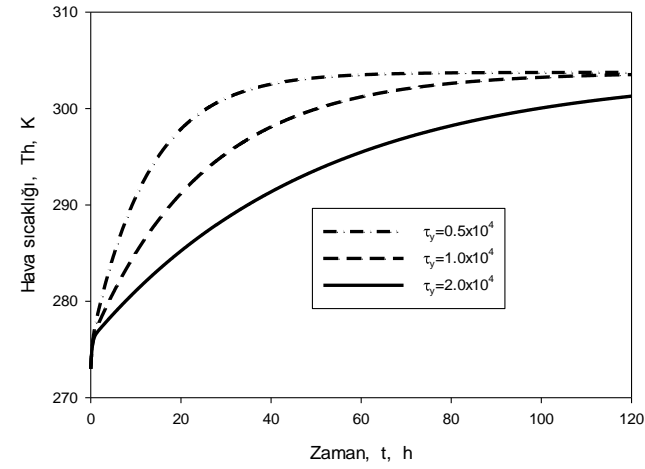
En son olarak da dış ortam sıcaklığının  $0^{\circ}\text{C}$  ve zaman sabitinin  $0,75 \times 10^4$  değerinde değişik bina zarf dirençlerinde su, hava, yapı sıcaklıklarının değişimi incelenmiştir. Bina zarfı direnç değerlerinin bu değerleri alması sırasıyla yalıtımsız, 5 cm ve 10 cm XPS malzeme ile yalıtım değerlerine karşılık gelmektedir. Şekil 8'dan Şekil 10'e kadar sıcaklığın zamana göre değişimleri incelendiğinde bina zarf direncinin genel sıcaklık değişimi üzerine etkisi görülmektedir. Grafiklerde yalıtımsız binalarda ulaşılmak istenen konfor sıcaklığına ancak 2.günün sonunda ulaşılabilirdiği görülmektedir. 5 cm ve 10 cm yalıtımlı binalarda ise ulaşılmak istenen sıcaklığa 1.günün sonuna varmadan ulaşılmaktadır. Bunun yanı sıra 5 cm yalıtımlı ve 10 cm yalıtımlı olma durumunda sistem bileşenleri 5 günün sonunda kararlı hale gelmemektedir, bunun nedeni ise sabit yakıt debisiyle, sistem bileşenleri sıcaklığı sürekli artmaktadır.  $23^{\circ}\text{C}$  sıcaklığına ulaşma süresinin 5 cm ve 10 cm yalıtım olması durumunda yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülmektedir.



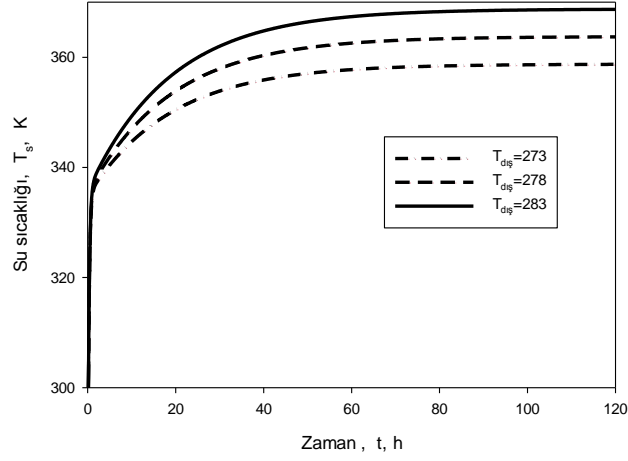
Şekil 2. Değişik yapı zaman sabitlerinde su sıcaklığının zamana göre değişimi ( $T_{dış} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



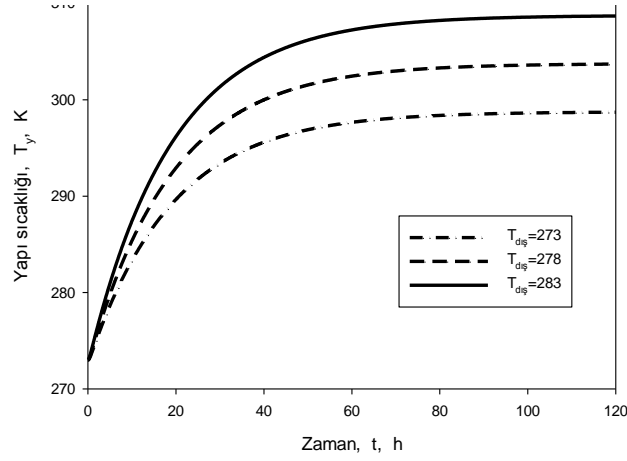
Şekil 3. Değişik yapı zaman sabitlerinde yapı sıcaklığının zamana göre değişimi ( $T_{dış} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



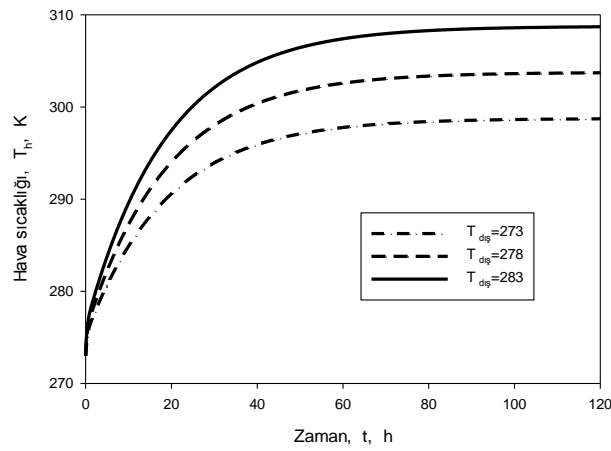
Şekil 4. Değişik yapı zaman sabitlerinde hava sıcaklığının zamana göre değişimi ( $T_{dış} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



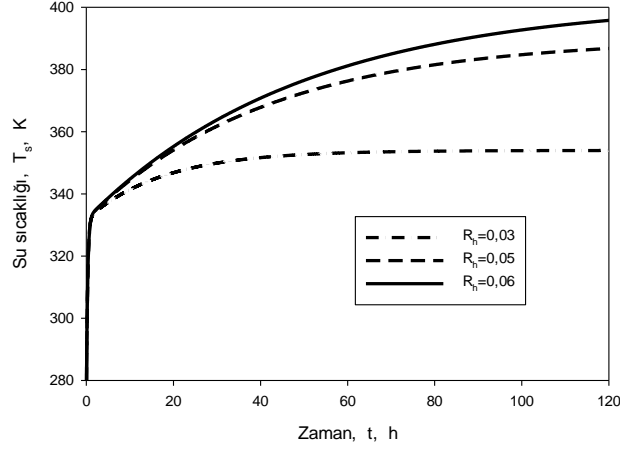
Şekil 5. Farklı sabit dış ortam sıcaklıklarında su sıcaklığının zamana göre değişimi ( $\tau_y=0.75 \times 10^4$ )



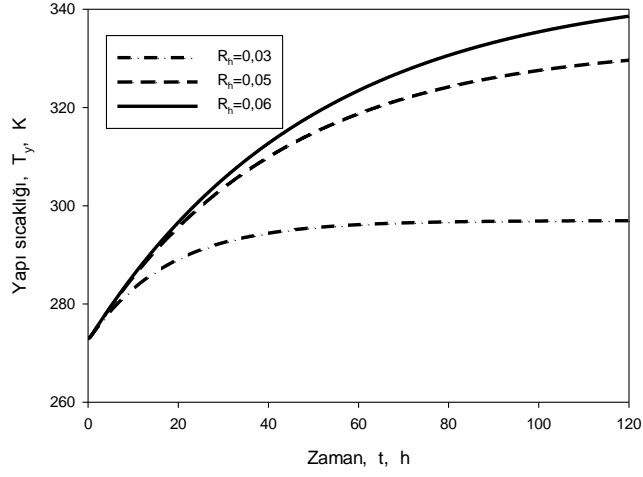
Şekil 6. Farklı sabit dış ortam sıcaklıklarında yapı sıcaklığının zamana göre değişimi ( $\tau_y=0.75 \times 10^4$ )



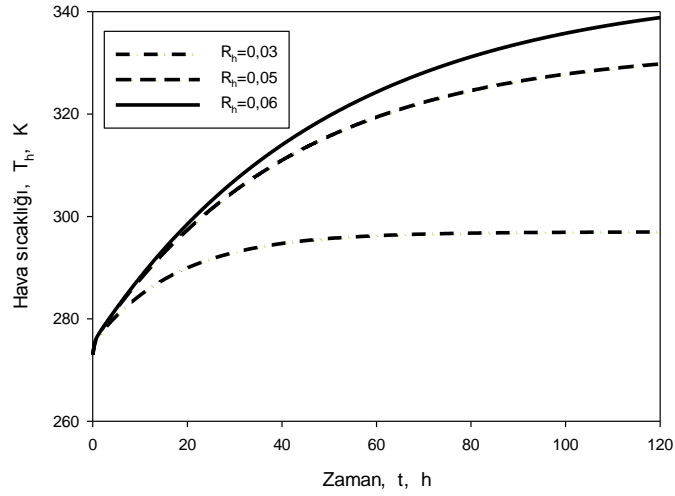
Şekil 7. Farklı sabit dış ortam sıcaklıklarında hava sıcaklığının zamana göre değişimi ( $\tau_y=0.75 \times 10^4$ )



Şekil 8. Farklı bina zarf dirençlerinde su sıcaklığının zamana göre değişimi ( $T_{dış} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



Şekil 9. Farklı bina zarf dirençlerinde yapı sıcaklığının zamana göre değişimi ( $T_{dış} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



Şekil 10. Farklı bina zarf dirençlerinde hava sıcaklığının zamana göre değişimi ( $T_{dış} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ )



### 3.2. Değişken Dış Ortam Sıcaklığı Koşulu Altında Analiz Bulguları ve İrdeleme

Şekil 2'den Şekil 10'e kadar bulguları sunulan durumdan farklı olarak gerçek uygulamalarda dış ortam sıcaklığı sabit olmayıp periyodik olarak değişen karaktere sahiptir. Periyodik olarak değişen ortam sıcaklığı için literatürden [16] gelen ifade kullanılmıştır.

Elde edilen bulgular Şekil 11'den Şekil 25'ya kadar verilen grafiklerde sunulmuştur. Şekil 11'de değişik dış ortam genliklerinde su sıcaklığının, zamana göre değişimi, su sıcaklığı genlik ve su sıcaklığı zaman gecikmesi değerlerinin periyotlar süresince değişimi verilmiştir. Benzer olarak Şekil 12'de değişik dış ortam genlik değerlerinde yapı sıcaklığının zamana göre değişimi, yapı sıcaklığı genlik ve yapı sıcaklığı zaman gecikmesi değerlerinin periyotlar süresince değişimi verilmiştir. Şekil 13'de ise değişik dış ortam genlik değerlerinde hava sıcaklığının zamana göre değişimi, hava sıcaklığı genlik ve hava sıcaklığı zaman gecikmesi değerlerinin periyotlar süresince değişimi verilmiştir. Şekil 11 ile Şekil 23 arasında değişken dış ortam şartlarında yapılan çalışmada  $R_s = 0.005$  ve  $M_s = 2 \times 10^5$  olarak alınmıştır ve bunun anlamı da  $\tau_s = 1000$  s, ve sistemde dolaşan su hacmi  $0,04 \text{ m}^3$  demektir. Transfer olabilecek toplam ısı miktarı ve ısı transferinin başlamasına neden olacak sıcaklık farkından söz edildiğinde suyun ısıl direnci söz konusu olmaktadır.  $R_s = 0.005$  olması su sıcaklığı ile mahal sıcaklığı arasındaki farkın  $60^\circ\text{C}$  olması anlamına gelmektedir. Çalışmada  $M_h = 6 \times 10^5$  ve  $R_h = 0,0021$  olarak alınmıştır. Bunun anlamı da  $\tau_h = 1266$  s, ve hava hacminin  $10 \text{ m}^3$  olması demektir. Çalışmada kazanda üretilen ısı  $Q_{\text{giren}} = 12000 \text{ W}$  alınmıştır. Buradaki  $Q_{\text{giren}}$ , Denklem (41)'de de görüldüğü gibi yakıt debisi ile yakıtın alt ısıl değerinin çarpımıdır. Şekil 20'den Şekil 23'e kadar verilen grafiklerde ulaşılmak istenen  $23^\circ\text{C}$  hava sıcaklığına göre yakıt debisi değişmektedir. Şekil 24 ve Şekil 25'de ise bileşen sıcaklıkları ulaşılmak istenen değere ulaşıncaya yakıt ani olarak kesilmektedir.

Şekil 11'den Şekil 13'e kadar verilen grafiklerde dış ortam sıcaklığının yapı bileşeni sıcaklıkları üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 11/a, Şekil 12/a ve Şekil 13/a grafikleri incelendiğinde dış sıcaklık genliğinin yapı bileşeni sıcaklık genliklerine doğru orantılı olarak yansıdığı görülür. Bu yansıma su sıcaklığında az, iç ortam sıcaklığında ve yapı malzemesi sıcaklığında ise daha fazladır. Şekil 11/b, Şekil 12/b ve Şekil 13/b'deki grafiklerde, farklı dış ortam sıcaklığı genliklerinde bileşen sıcaklıklarındaki zaman

gecikmesi görülmektedir. İlk periyotlarda zaman gecikmeleri, düşük dış ortam sıcaklığı genliklerinde uzarken yüksek genliklerde kısalmaktadır. Bunun anlamı, ilk periyotlarda dış ortam genliği ile bileşenlerin tepki vermeleri arasında ters bir orantı vardır. İlerleyen periyotlarda ise zaman gecikmesi azalarak sabitleşmekte yaklaşık olarak da dış ortam genliğinden bağımsız olmaktadır. Bu durum da üçüncü periyottan sonra gerçekleşmektedir ki bu da bileşen sıcaklıklarının periyodik olarak kararlı duruma gelme süresi ile hemen hemen aynıdır. Şekil 11/c, Şekil 12/c ve Şekil 13/c'deki grafiklerde görüleceği gibi dış ortam genliği ile bileşen genlikleri arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Bu ilişki ilerleyen periyotlarda daha net görülmektedir. Su sıcaklığında ikinci periyottan sonra (Şekil 11/c), yapı ve iç ortam sıcaklığında yaklaşık üçüncü periyottan sonra periyodik tam gelişmişlik koşullarının gerçekleştiği görülmektedir.

Şekil 14'den Şekil 16'ya kadar olan grafiklerde değişik yapı zaman sabitlerinin, değişken dış ortam sıcaklığı şartlarında su, hava ve yapı sıcaklıkları üzerine etkileri görülmektedir. Sunulan grafikler dış ortam sıcaklığı genliğinin 15°C değeri için elde edilmiştir. Bu grafiklerde, üç ayrı yapı zaman sabitinin sıcaklıklar, zaman gecikmesi ve genlik üzerindeki etkisi görülmektedir. Grafikler incelendiğinde yapı zaman sabitinin artması, yani yapının daha büyük kütleyle sahip olunması durumunda, ilk ısıtma süresinin çok uzadığı, neredeyse 5 günlük periyot sonunda dengeye ulaşılamadığı, genlik değerlerinin periyotlar boyunca çok azaldığı, beklenen sıcaklık artışlarının gerçekleşmediği görülmektedir. Diğer taraftan düşük zaman sabitli bina durumunda kararlı duruma erken ulaşıldığı, dış ortam genliğinin bileşenlere ait sıcaklık genliklerine yansımalarının daha belirgin olduğu görülmektedir. Bileşen sıcaklıklarındaki bu davranış hava ve yapı elemanında çok belirgin, suda ise az etkilidir. Yani dış ortam sıcaklığındaki değişim en az su sıcaklığını etkilemektedir. Bu davranışlardan bazı pratik sonuçlar çıkarılabilir. Yapı zaman sabitinin iki temel bileşeni; yapı malzemesini çevreleyen havanın ısıl direnci (taşınım direnci) ve yapı malzemesinin ısıl kapasitesi ( $\rho Vc$ )'dir. Taşınım direncinin sabit olduğu kabul edilirse, yapı malzemesi ısıl kapasitesinin ilk ısıtma sürecine doğrudan etkisi net olarak ortaya çıkmış olur. Düşük ısıl kapasiteli yapı elemanlı binalarda ilk ısıtma süresi kısalmaktadır. Ancak, dış ortam sıcaklığı genliğinin etkisi iç ortamda daha belirgin hissedilecektir. Diğer taraftan, yüksek ısıl kapasiteli yapı elemanlı binalarda ilk ısıtma süresi uzayacak, dış ortam sıcaklık genliğinin iç ortama yansımaları daha az olacaktır. Yapı zaman sabitinin genlik ve zaman kayması üzerine etkilerine bakıldığında, yapı zaman sıcaklığının genlik ve zaman kayması değerlerinin su ve hava sıcaklığının genlik ve zaman

kayması değerlerine göre daha belirgin bir şekilde etkilendiği görülmektedir. Yüksek kütleli binaların yapı sıcaklığı zaman kayması ve genlik değerleri beşinci periyot sonunda halen azalma eğilimi göstermektedir. Bu da yapı elemanının halen ısınmakta olduğunu göstermektedir.

Şekil 17 ile Şekil 19 arasındaki grafiklerde değişik bina zarfı direnç değerlerinin, değişken dış ortam sıcaklığı şartlarında su, hava ve yapı sıcaklıkları üzerine etkileri görülmektedir. Benzer çalışmada bu defa genlik  $10^{\circ}\text{C}$  için dört ayrı bina zarfı direnci şartlarında sıcaklıklar, gecikme ve genlik üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 17'de değişik bina zarfı direnç değerlerinin su sıcaklığı, su sıcaklığı gecikmesi ve su sıcaklığı genliği üzerine etkileri görülmektedir. Benzer olarak Şekil 18'de bina zarfı direncinin yapı malzemesi sıcaklığı, yapı malzemesi sıcaklık gecikmesi ve sıcaklık genliği üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 19'da ise bina zarfı direncinin; hava sıcaklığı, hava sıcaklığı zaman gecikmesi ve hava sıcaklığı genlik değişimleri üzerine etkileri görülmektedir. Çalışmada ele alınan farklı bina zarfı direnç değerleri sırasıyla, 0 cm, 2cm, 5cm, 10 cm yalıtımlı binayı temsil etmektedir. Elde edilen değerlere göre yalıtımsız binada ilk ısıtma süreci çok uzundur. Beş günlük periyot sonunda denge değerlerine ulaşılamamaktadır. Yalıtımlı binalarda sabit yakıt debisi ile çalışıldığında periyotlar süresince sıcaklık değerleri artış göstermektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça kararlı hale gelme süresi uzamakta ve beklenildiği gibi bileşen sıcaklıkları yükselmektedir. Yalıtım kalınlığı azaldıkça kararlı hale gelme süresi kısalmakta, ancak dış ortam sıcaklığı genliği bileşen sıcaklıklarına çok belirgin olarak yansımaktadır. Su, yapı ve hava sıcaklığı zaman kayması grafiklerinde 5 cm ve 10 cm yalıtımlı bina durumlarının grafikleri tamamen aynıdır ve ilk periyottan itibaren sürekli sabittir. Bu da binanın 5 cm ve 10 cm yalıtımlı olması durumunda dış ortam sıcaklığındaki değişimden etkilenmeden sıcaklıkların sürekli arttığını göstermektedir. Genlik değerleri ise aynı karakterde olmasına rağmen yalıtım miktarıyla doğru orantılı artmaktadır. Bu ise yalıtım miktarıyla ulaşılan maksimum sıcaklıkların birbirleriyle doğru orantılı olduklarını göstermektedir.

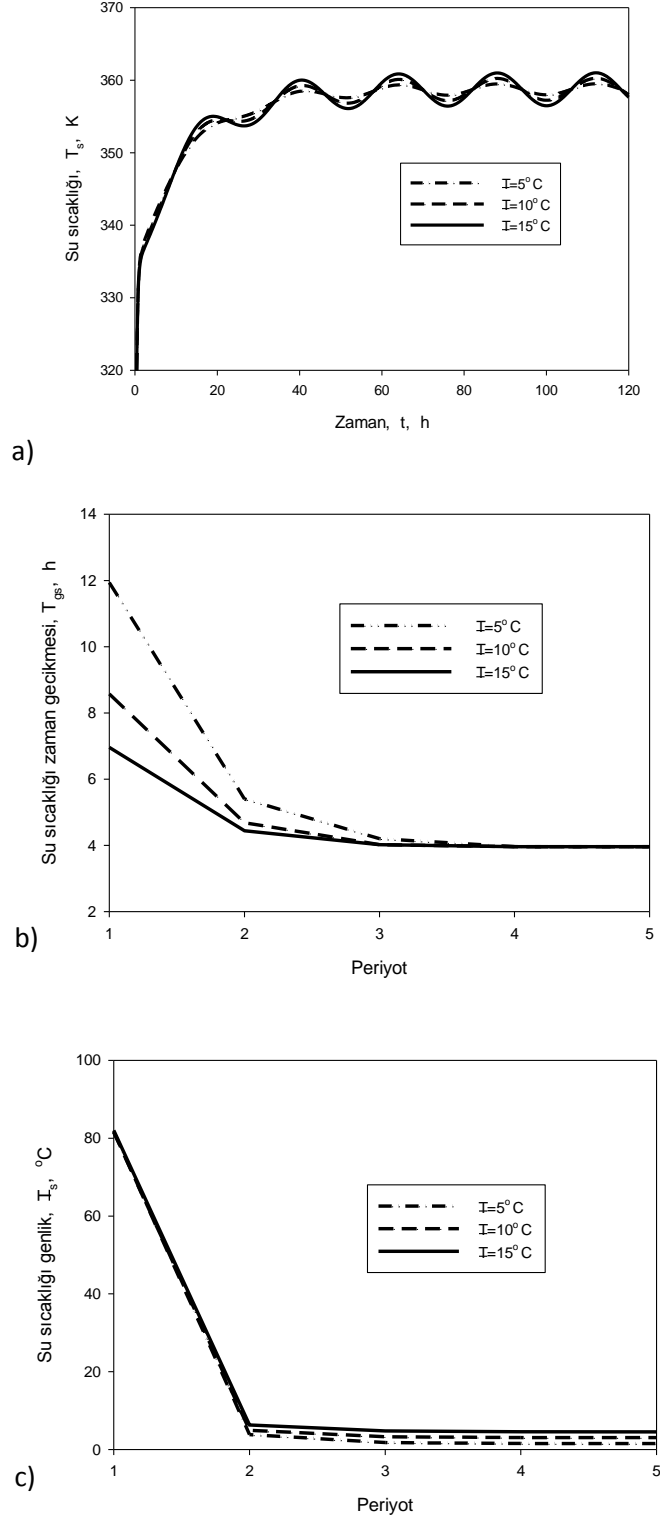
Şekil 19'a kadar olan grafiklerle ilgili çalışmalarda yakıt debisi sabit alınmıştır. Şekil 20 ile Şekil 22 arasında sunulan grafiklerde ise değişken yakıt debisinin etkisi farklı zarfı direnci değerlerinde,  $10^{\circ}\text{C}$  dış sıcaklık genliği ve  $\tau_y = 2 \times 10^4$  s yapı zaman sabiti değerleri için verilmiştir. Şekil 20 ve Şekil 22 arasındaki grafiklere baktığımızda 5 cm ve 10 cm yalıtımlı binalarda su sıcaklığı periyotlar boyunca düşmekte iken yalıtımsız binada su sıcaklığı dengeye ulaştıktan sonra değişim göstermemektedir. Bunun nedeni yalıtımlı

binalarda istenilen hava ve yapı sıcaklığına kısa sürede ulaşılmıştır ve yakıt debisi azalmaktadır. Yalıtımsız binada ise yakıt debisi sabit seyretmektedir. Yapı ve hava sıcaklığı, yalıtımlı binalarda yakıt debisinin azalmaya başladığı sürece kadar sürekli artmış, daha sonra düşmeye başlamıştır. Buna rağmen incelenen beşinci periyot sonunda yalıtımsız bina ile aynı bileşen sıcaklıklarına sahiptir. Şekil 20 ile Şekil 22 arasındaki grafiklerde zaman gecikmeleri incelenirse, yalıtımlı binalarda zaman gecikmesi değeri periyotlar boyunca sert bir düşüş göstermekte ve beşinci periyot sonunda negatif bir değerde sabitlenmekte iken, yalıtımsız binalarda zaman gecikmesi pozitifdir ve tüm periyotlar süresince aynı değerdedir. Bunun anlamı, yalıtımlı binalarda bileşen sıcaklıkları yakıt debisinin azalmasıyla düşmeye başlamış ve bu düşüş miktarı kararlı hale gelmiştir. Yalıtımlı binalarda genlik değeri üçüncü periyoda kadar düşerken üçüncü periyottan sonra yükselmektedir. Bunun nedeni ise üçüncü periyottan sonra yakıt miktarındaki azalma etkisini göstermiş ve sıcaklıklardaki düşme miktarı artmıştır. Şekil 20 ile Şekil 22 arasındaki grafiklerin irdelenmesi esnasında Şekil 23'deki yakıt debisi grafiğini de göz önünde bulundurmak gereklidir. Şekil 23 'de değişik bina zarfı direnç değerlerinde hava sıcaklığını 22<sup>0</sup>C değerinde sabit tutabilmek için yakıt debisinin nasıl değiştiği gösterilmiştir. Bulgulara bakıldığında yalıtımsız binalarda yakıt kontrolü yapmak neredeyse anlamsızdır. İncelenen beş periyot süresince yakıt debisi başlangıç debisinde olmak zorundadır. Yalıtımlı binalarda ise yakıt debisi periyotlar boyunca düşmektedir. 5 cm ve 10 cm yalıtımlı binalarda yakıt debisi beşinci periyotta sıfırdır. Ayrıca 5 cm ve 10 cm yalıtımlı binaların karakteristik eğrileri aynıdır, bu ise 10 cm yalıtım ile 5 cm yalıtımın yakıt tasarrufu bakımından aynı sonuçları verdiğini göstermektedir.

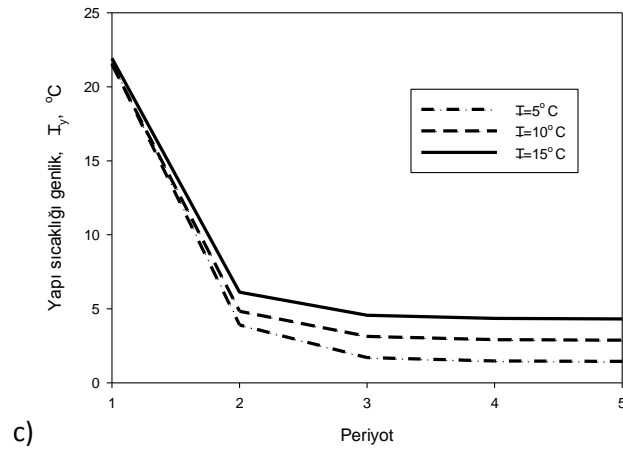
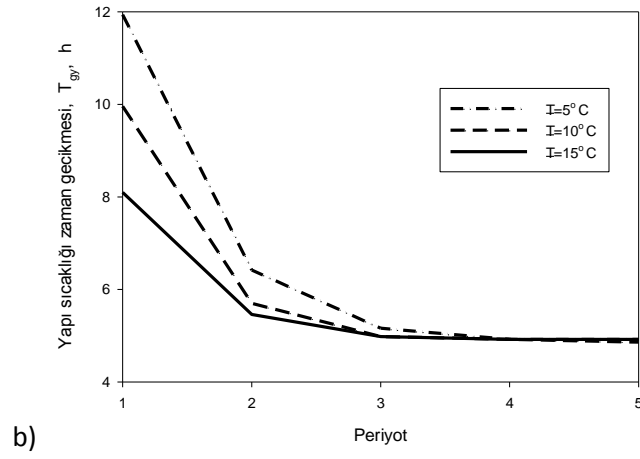
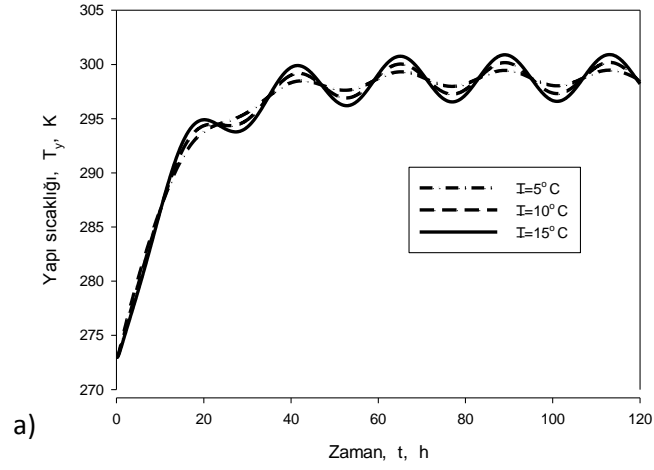
Şekil 24'de su sıcaklığı 87<sup>0</sup>C, yapı ve hava sıcaklığı ise 25<sup>0</sup>C değerine ulaşınca yakıtın ani olarak kesilmesi durumunda, bina zarf direncinin bileşen sıcaklıkları üzerine etkileri gösterilmiştir. Yalıtım miktarı arttıkça bileşen sıcaklıklarında düşüş daha az olmaktadır. Su sıcaklığı yakıtın kesilmesi sonrasında çok sert bir düşüş göstermekte ve daha sonra yalıtım miktarıyla ters orantılı olarak soğumaktadır. 5 cm ve 10 cm yalıtımlı binalarda su sıcaklığı yalıtımsız binaya oranla daha yüksek seyrederken beşinci günün sonunda ani bir düşüş yaşamakta ve yalıtımsız binalarla aynı değere gelmektedir. Hava ve su sıcaklıkları yalıtım miktarıyla orantılı olarak daha yüksek seyretmektedir. İncelenen periyot sonunda yalıtımsız bina ile 10 cm yalıtımlı bina bileşen sıcaklıkları arasında yaklaşık 6<sup>0</sup>C sıcaklık farkı oluşmaktadır. 5 cm ve 10 cm binalar yakıt kesilmesinden itibaren dış ortam sıcaklığından az miktarda etkilenmektedir. Yalıtımsız ve 2 cm yalıtımlı

bina ise dış ortamdaki değişikliklerden etkilenmektedir. Grafiklerde göze çarpan önemli bir nokta ise yakıt kesilmesiyle beraber 10 cm yalıtımlı binanın yapı sıcaklığı 5 cm yalıtımlı binaya göre önce keskin bir düşüş göstermekte fakat daha sonra daha yüksek sıcaklık değerlerinde seyretmektedir.

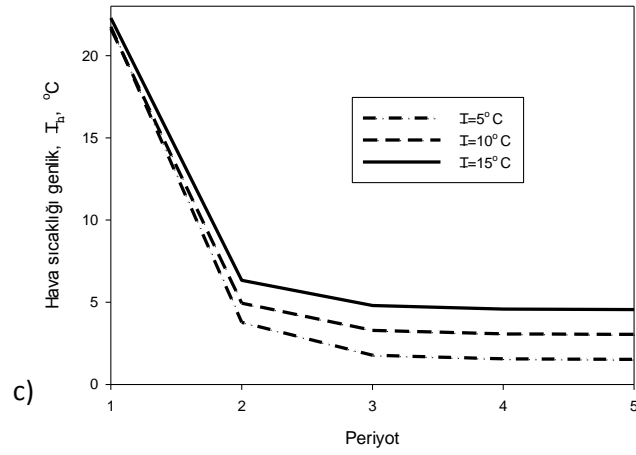
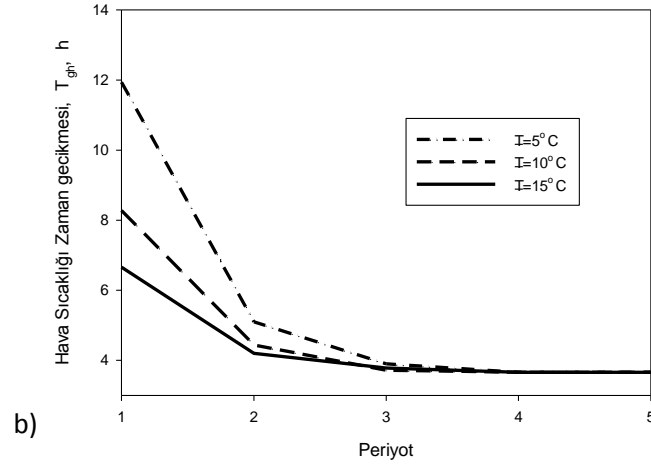
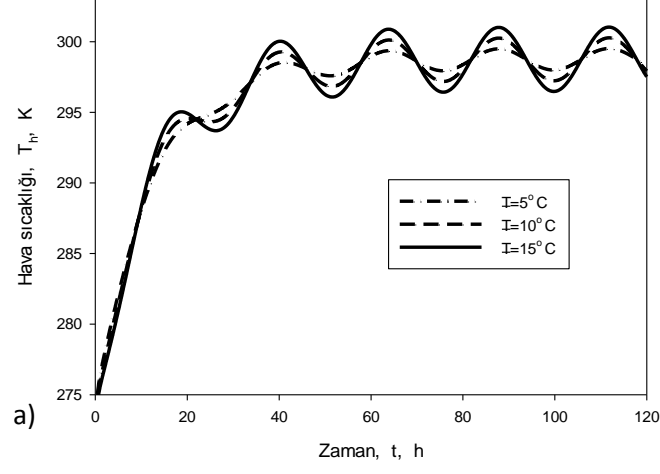
Şekil 24'de su sıcaklığı  $87^{\circ}\text{C}$ , yapı ve hava sıcaklığı ise  $25^{\circ}\text{C}$  değerine ulaşınca yakıtın ani olarak kesilmesi durumunda, yapı zaman sabitinin, bileşen sıcaklıkları üzerine etkileri gösterilmiştir. Yapı zaman sabiti arttıkça, yani büyük kütleli binalarda sıcaklıklarda düşüş daha az olmaktadır. Su sıcaklığı yakıtın kesilmesi sonrasında çok sert bir düşüş göstermekte ve daha sonra yapı zaman sabitiyle ters orantılı olarak soğumaktadır. Büyük kütleli binalarda su sıcaklığı küçük kütleli binaya oranla daha geç soğumaktadır. Hava ve su sıcaklıkları bina kütlesiyle orantılı olarak daha yüksek seyretmektedir. İncelenen periyot sonunda büyük kütleli bina ile küçük kütleli binanın bileşen sıcaklıkları arasında yaklaşık  $5^{\circ}\text{C}$  sıcaklık farkı oluşmaktadır. Büyük kütleli binalar yakıt kesilmesinden itibaren dış ortam sıcaklığındaki değişimden daha az etkilenmektedir. Grafiklerde göze çarpan önemli bir nokta bir önceki grafikte olduğu gibi yakıt kesilmesinden sonra büyük kütleli binanın yapı sıcaklığı önce keskin bir düşüş göstermekte fakat daha sonra daha yüksek sıcaklık değerlerinde seyretmektedir.



Şekil 11. Dış ortam sıcaklığı genliğinin, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Su sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Su sıcaklığı genliği üzerine etkisi

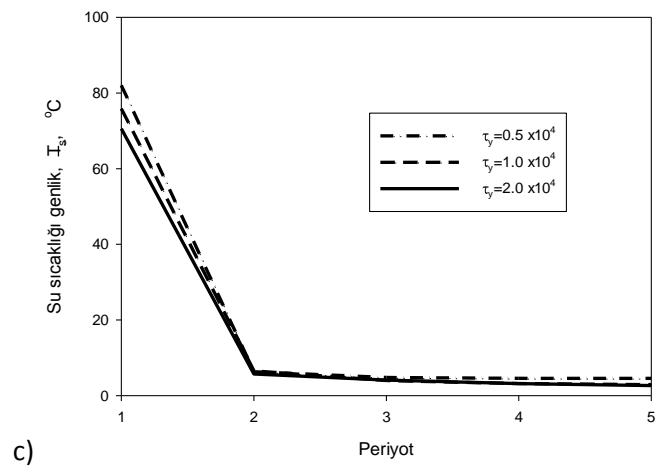
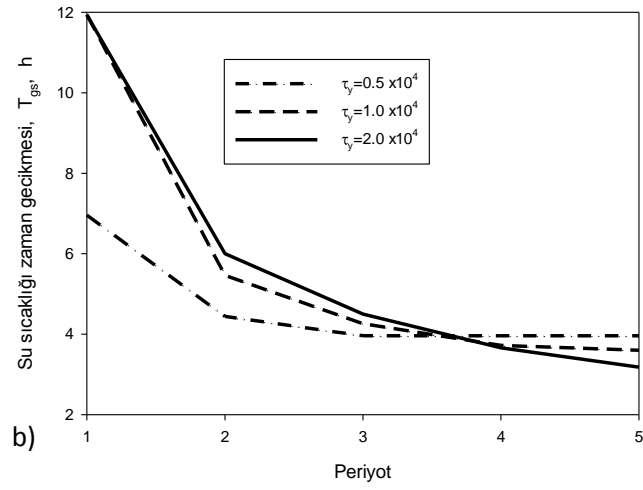
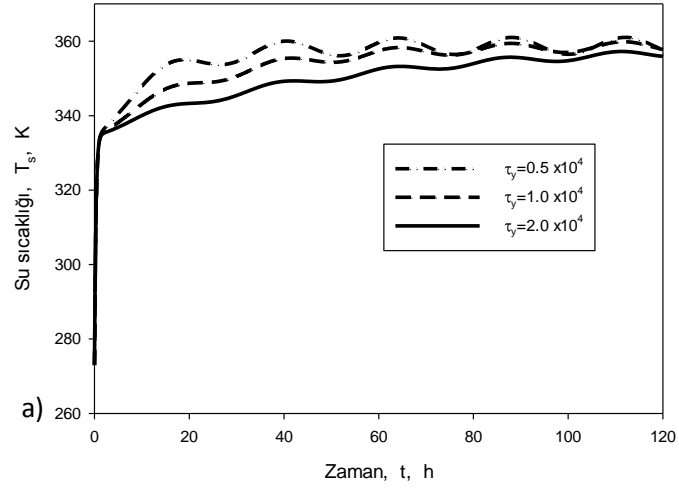


Şekil 12. Dış ortam sıcaklığı genliğinin, a) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Yapı sıcaklığı genliği üzerine etkisi

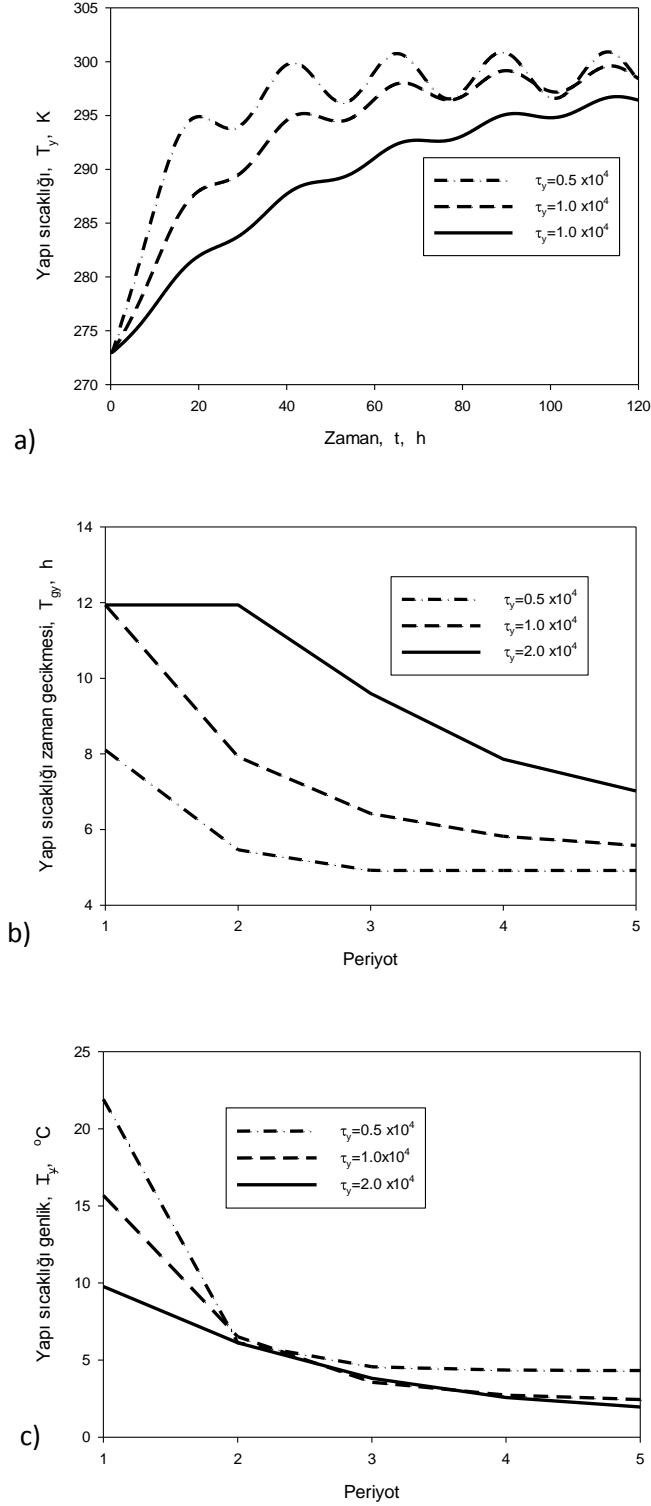


Şekil 13. Dış ortam sıcaklığı genliğinin, a) Hava sıcaklığı üzerine etkisi, b) Hava sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı genliği üzerine etkisi

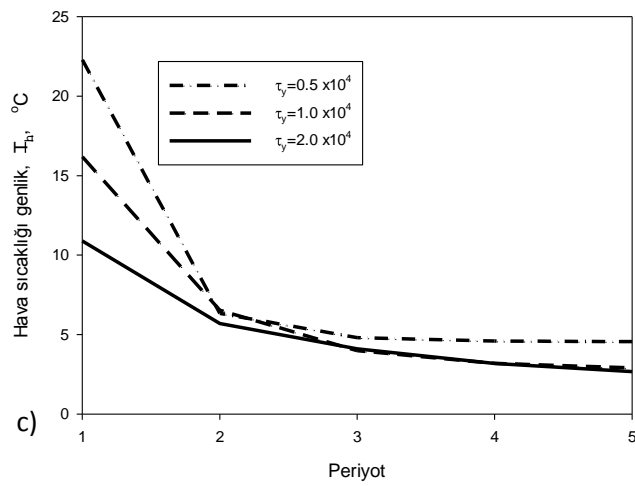
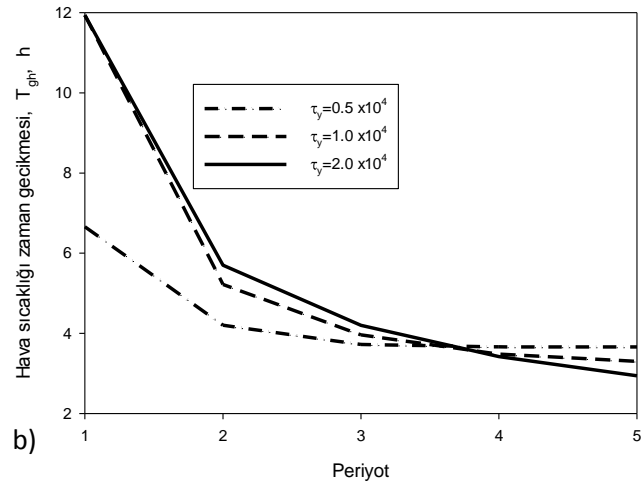
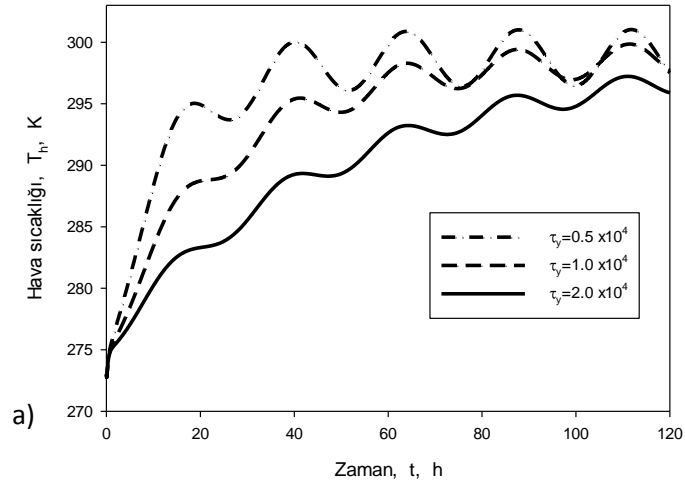




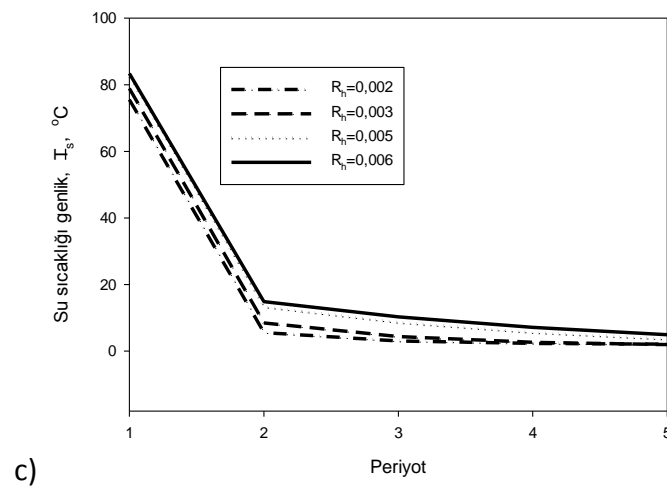
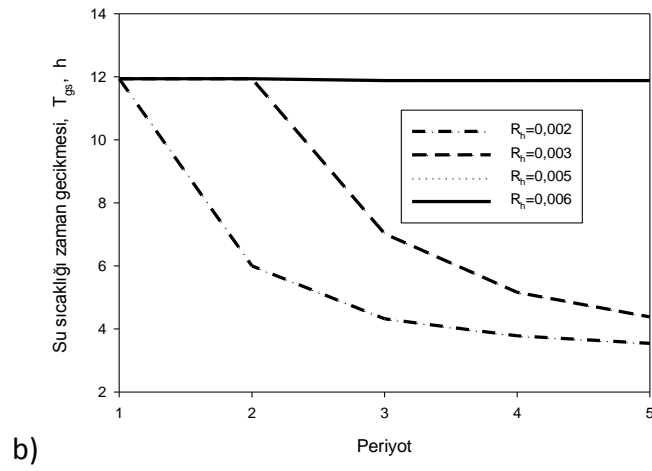
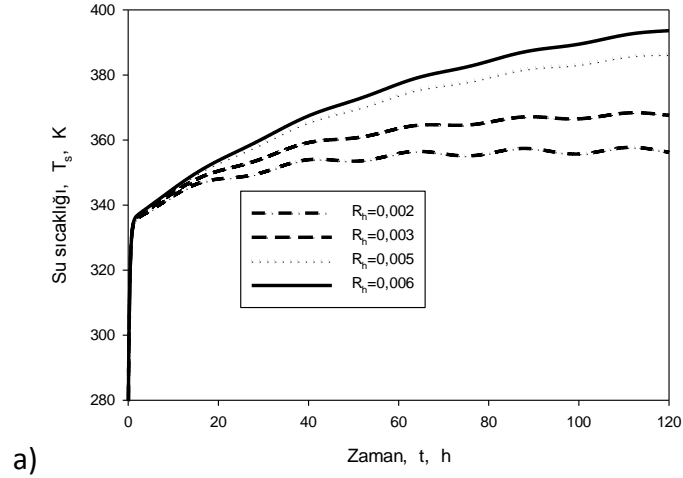
Şekil 14.Yapı zaman sabitinin, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Su sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Su sıcaklığı genliği üzerine etkisi



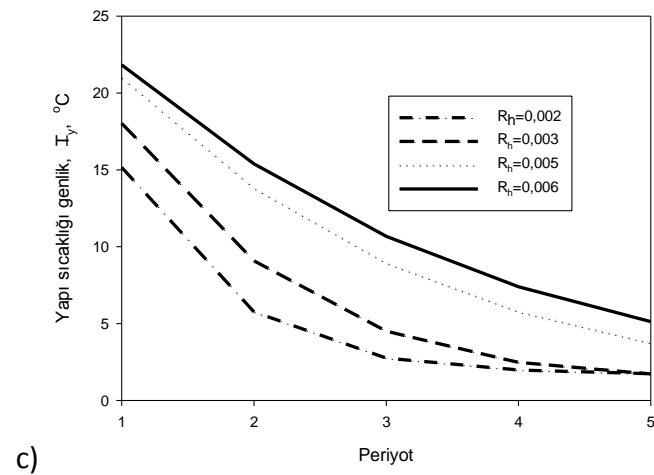
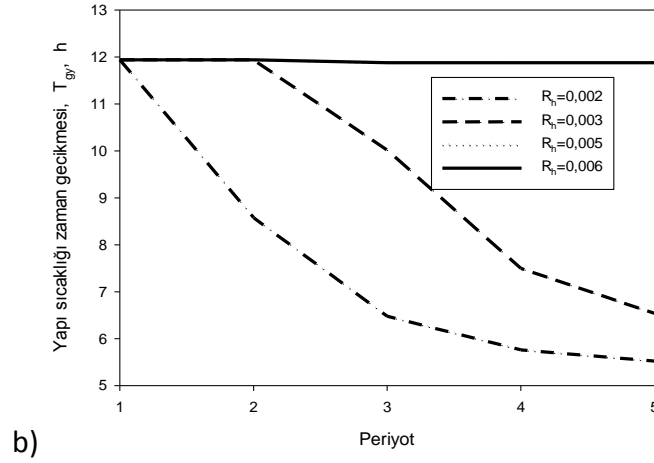
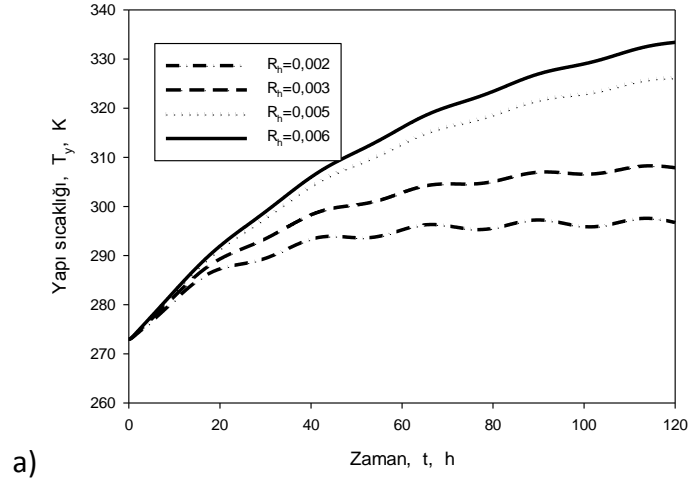
Şekil 15. Yapı zaman sabitinin, a) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Yapı sıcaklığı genliği üzerine etkisi



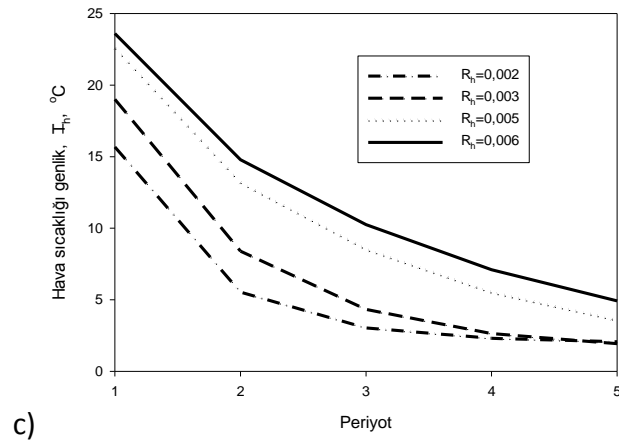
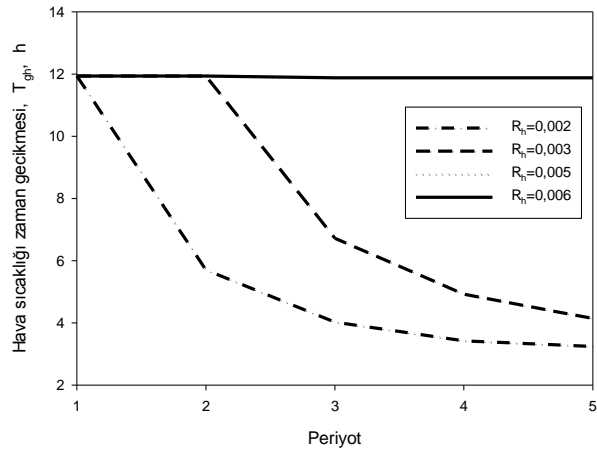
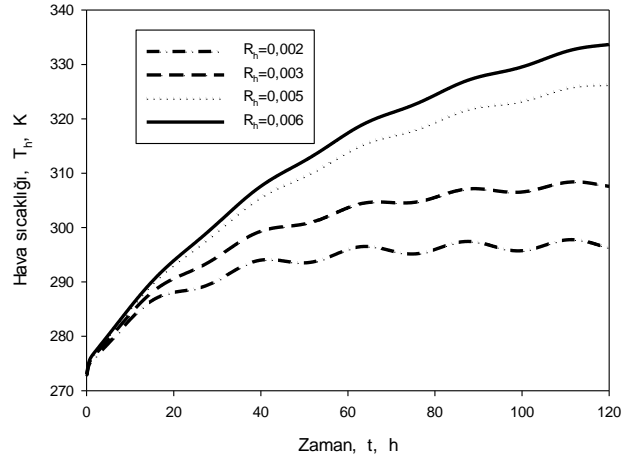
Şekil 16. Yapı zaman sabitinin, a) Hava sıcaklığı üzerine etkisi, b) Hava sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı genliği üzerine etkisi



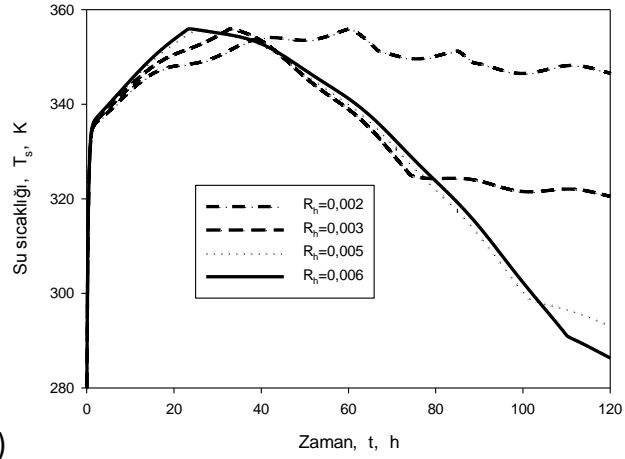
Şekil 17. Bina zarfı direncinin, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Su sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Su sıcaklığı genliği üzerine etkisi



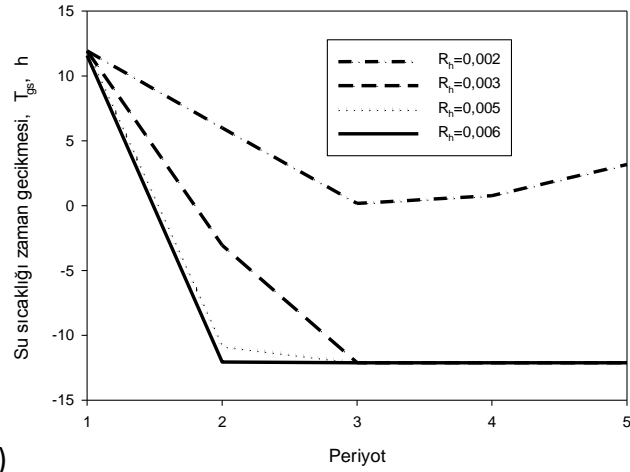
Şekil 18. Bina zarfı direncinin, a) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Yapı sıcaklığı genliği üzerine etkisi



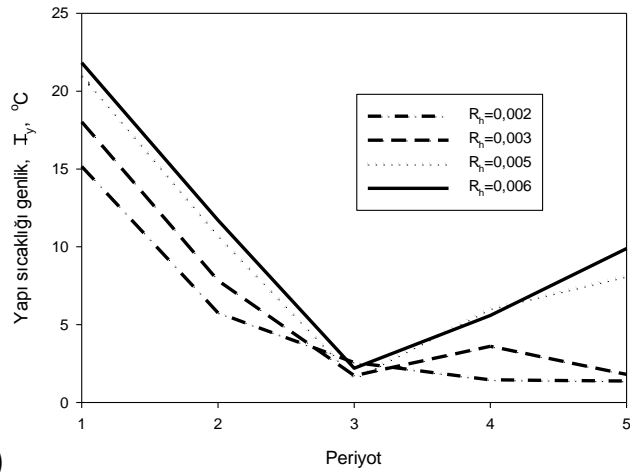
Şekil 19. Bina zarfı direncinin, a) Hava sıcaklığı üzerine etkisi, b) Hava sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı genliği üzerine etkisi



a)

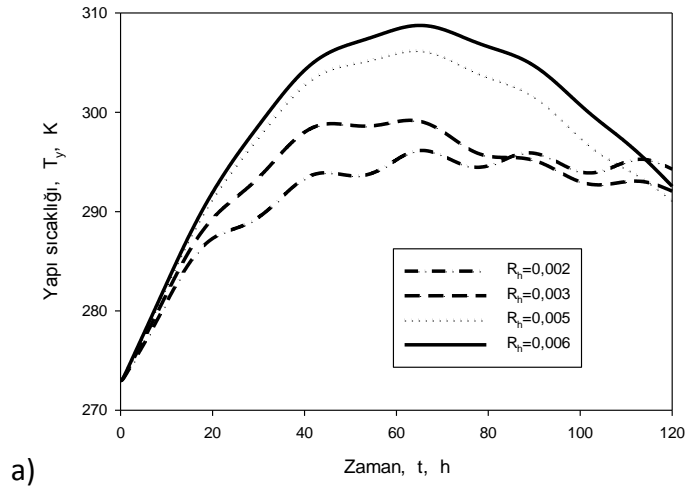


b)

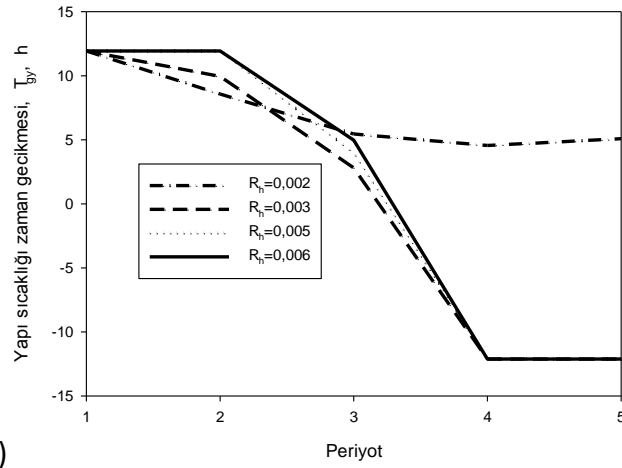


c)

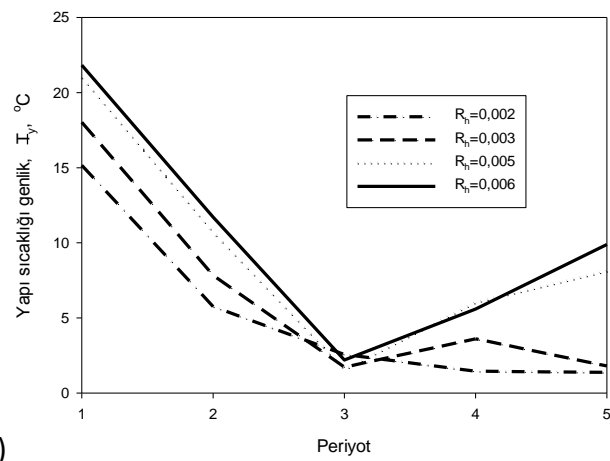
Şekil 20. Bina zarfı direncinin değişken yakıt debisiyle, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Su sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Su sıcaklığı genliği üzerine etkisi



a)



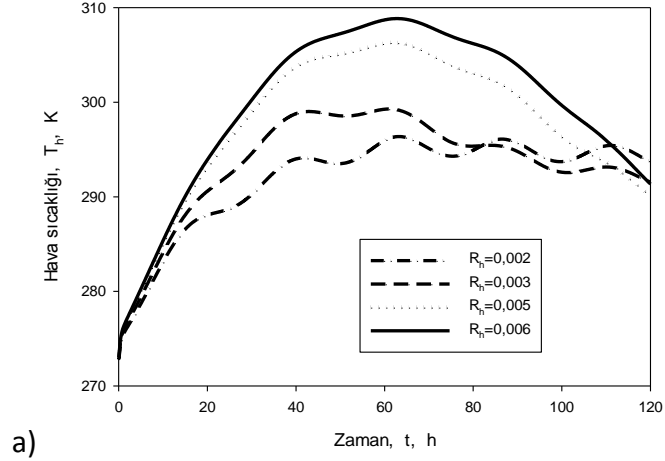
b)



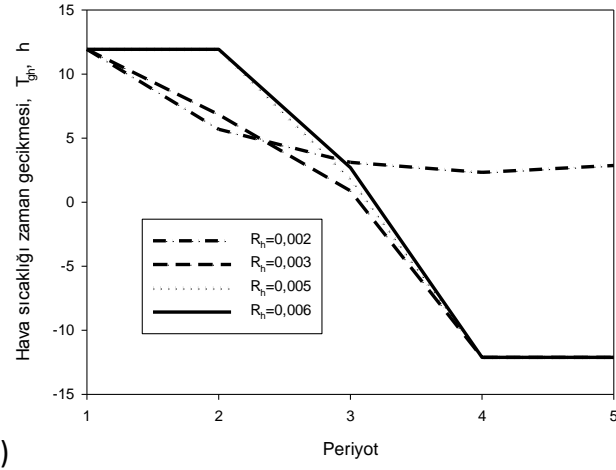
c)

Şekil 21. Bina zarfı direncinin değişken yakıt debisiyle, a)Yapı sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Yapı sıcaklığı genliği üzerine etkisi

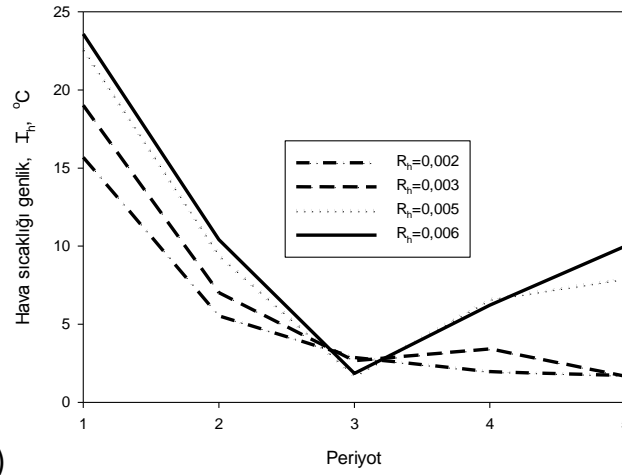




a)

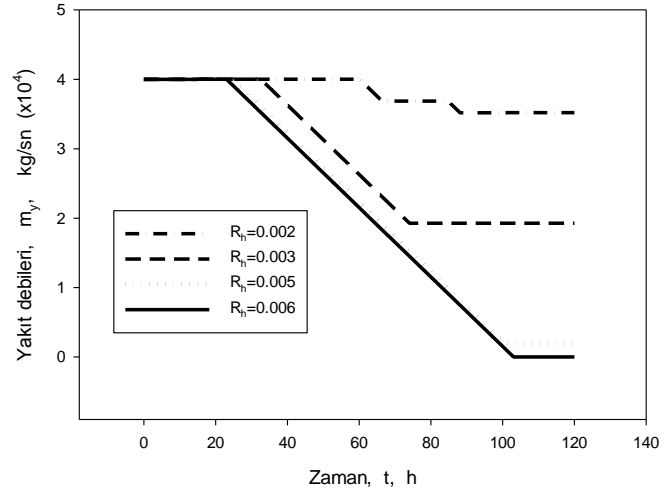


b)

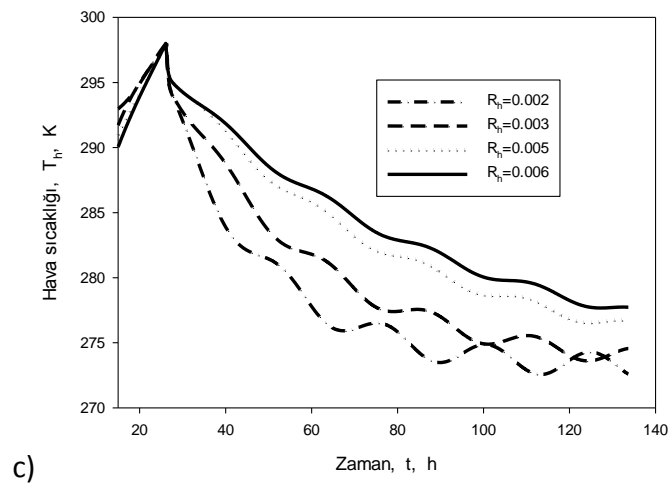
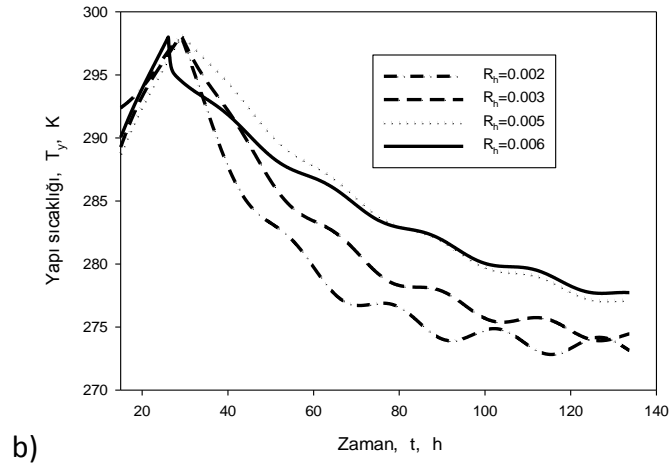
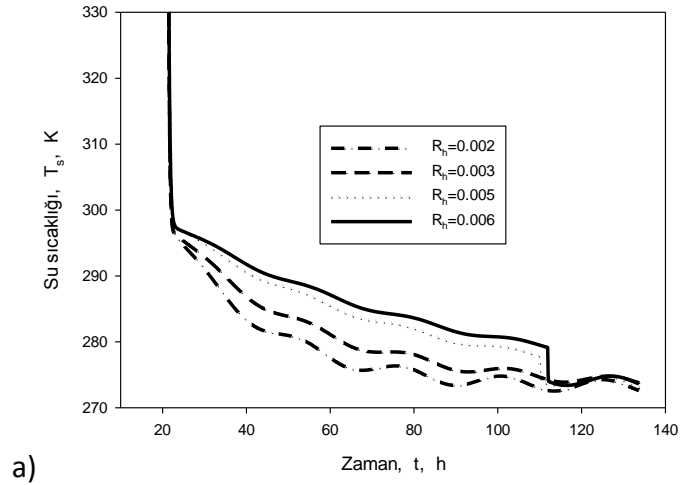


c)

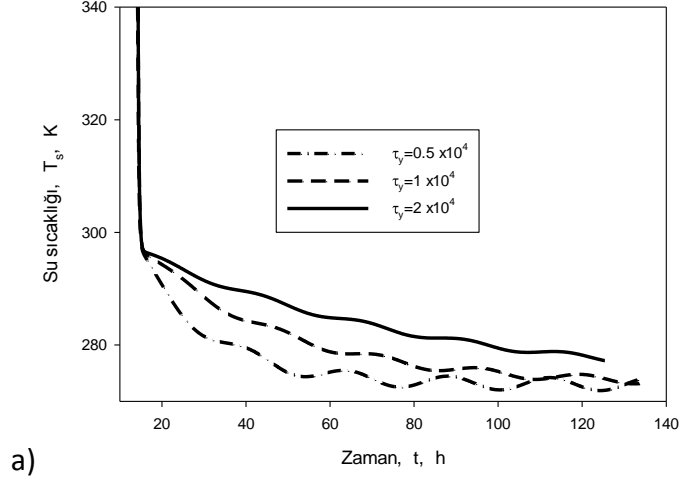
Şekil 22. Bina zarfı direncinin değişken yakıt debisiyle, a) Hava sıcaklığı üzerine etkisi, b) Hava sıcaklığı gecikmesi üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı genliği üzerine etkisi



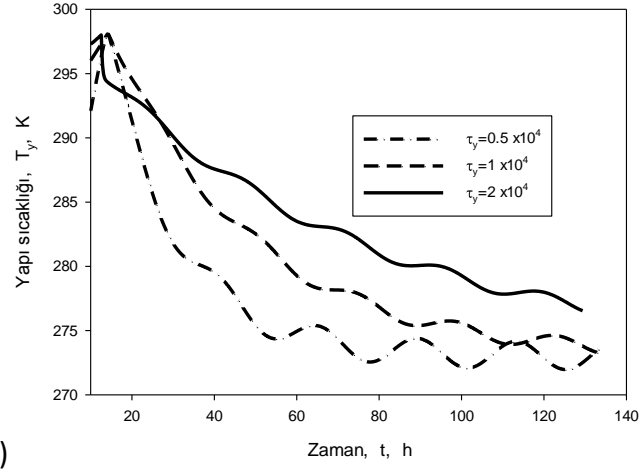
Şekil 23. Bina zarfı direncinin yakıt debisi üzerine etkileri



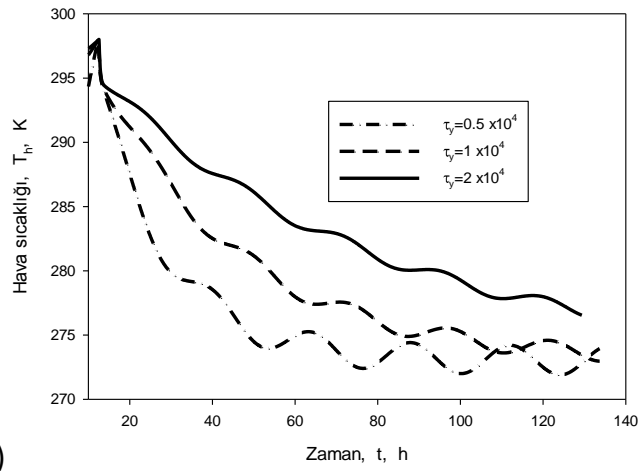
Şekil 24. Bina zarfı direncinin yakıt kesilmesi durumunda, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı üzerine etkisi



a)



b)



c)

Şekil 25. Yapı zaman sabitinin yakıt kesilmesi durumunda, a) Su sıcaklığı üzerine etkisi, b) Yapı sıcaklığı üzerine etkisi c) Hava sıcaklığı üzerine etkisi

#### 4. SONUÇLAR

Binalarda ısıtma sürecinin değişken ortam sıcaklığı koşulları altında teorik analizi konulu yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Sabit dış ortam sıcaklığı düştükçe, bileşen sıcaklıklarının kararlı hale gelme süresinin uzadığı görülür.
2. Sabit dış ortam sıcaklığında yapı zaman sabitinin artmasıyla ısıtma sürelerinin uzadığı görülür.
3. Sabit dış ortam sıcaklığında bina zarfı ısıl direncinin artmasıyla ısıtma sürelerinin azaldığı görülür.
4. Değişken dış ortam sıcaklığında, dış ortam sıcaklık genlik değeri, bileşen sıcaklıklarına yansımaktadır.
5. Bileşen sıcaklıkları zaman kayması ve genlik değeri belirli zamandan sonra dış ortam sıcaklığından bağımsız hale gelmektedir.
6. Büyük kütleli binalarda bileşen sıcaklıklarının periyodik olarak kararlı hale gelme süreleri uzamaktadır.
7. Büyük kütleli binalarda zaman kayması ve genlik değerleri periyotlar boyunca kararlı bir tutum göstermektedir.
8. Bina zarfı direnci arttıkça, istenen sıcaklığa kısa sürede ulaşılmakta, fakat periyodik olarak kararlı hale gelme süresi uzamaktadır.
9. Yalıtım kalınlığı, 5 cm değerinden sonra zaman gecikmesi belirleyici parametre olmaktan çıkmaktadır.
10. Bina zarf direnci artarken, artışın bileşen sıcaklıkları genliklerine etkisi önce hızlı, daha sonra yavaş olmaktadır.
11. Düşük bina zarfı dirençlerinde, bileşen sıcaklık genlikleri yüksek olmakta böylece kararlı ısıtma sağlanamamaktadır.
12. Artan yapı zaman sabiti ile birlikte bileşenlere ait sıcaklık genlikleri azalmaktadır.
13. Yakıt kesilmesi durumunda bileşen sıcaklıkları büyük kütleli binalarda daha uzun süre sıcaklıklarını korumaktadır.
14. Binalarda ilk ısıtma süresi; yapı malzemesi zaman sabiti, bina zarf direnci ve dış ortam sıcaklığı genliği gibi parametrelere bağlı olarak kısalıp uzamaktadır.

## 5. ÖNERİLER

1. Bileşen sıcaklıkları istenen değere ulaştığında yakıt debisinin yeniden düzenlenmesine yönelik bir ilişki geliştirilmelidir.
2. Problemin çözüm algoritması bina zarfındaki bir boyutlu zaman bağımlı ısı transferini içerecek şekilde geliştirilmelidir.
3. Hemen hemen bütün sayısal çalışmalarda olduğu gibi, buradaki sayısal bulgular, deneysel bulgularla test edilmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

1. Antonopoulos, K. A. ve Tzivanidis, C. A., Correlation for the thermal delay of buildings, Renewable Energy, 6,7 (1995) 687-699.
2. Antonopoulos, K. A. ve Tzivanidis, C., Finite-difference prediction of transient indoor temperature and related correlation based on the building time constant, International Journal of Energy Research, 20 (1996) 507-520.
3. Antonopoulos, K. A. ve Koronaki, E., Apparent and effective thermal capacitance of buildings, Energy, 23,3 (1997)183-192.
4. Nannei, E. ve Schenone, C., Thermal transients in buildings: development and validation of a numerical model, Energy and Buildings, 29 (1999) 209-215.
5. Mendes, N., Oliveira, G. H. C. ve Araujo, H. X., Building thermal performance analysis by using matlab simulink, Seventh International IBPSA Conference, Ağustos 2001, Rio de Jenario, Bildiriler kitabı, 473-480.
6. N.Lukic., The transient house heating condition-the daily changes of the building envelope response factor(BER), Renewable Energy, 30(2004),537-549.
7. Shengwei, W. ve Xinhua, X., Simplified building model for transient thermal performance estimation using GA-based parameter identification, Internal Journal of Thermal sciences, 45 (2006) 419-432
8. Çakır, Çağrı., Assessing thermal comfort conditions; a case study on the METU Faculty of Architecture Building, Yüksek lisans tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
9. Conceição, E.Z.E. ve Lucio, M.M.J.R., Thermal study of school buildings in winter conditions, Building and Environment, 43 (2008) 782-792.
10. Balocco, C., Grazzini, G., Cavalera, A., Transient Analysis of An External Building Cladding, Energy and Buildings, 40 (2008)1273-1277.
11. Talukdar, P., Osayintola, O.F., Olutimayin, S.O., Simonson, C.Y., An experimental data set for benchmarking 1-D, transient heat and moisture transfer models of hygroscopic building materials. Part II: Experimental, numerical and analytical data, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50 (2007) 4915-4926.
12. Tariku, F., Kumaran, K., Fazio, P., Transient model for coupled heat, air and moisture transfer through multilayered porous media., International Journal of Heat and Mass Transfer, 53 (2010) 3035-3044.

13. Incropera F. P., DeWitt D. P., Isı ve kütle geçişinin temelleri., Literatür yayınları Vol.51, İstanbul, 2004., Çeviren: Derbentli T., Genceli O., Güngör A., Hepbaşlı A., İlken Z., Özbalta N., Özgüç F., Parmaksızoğlu C., Uralcan Y.,.
14. Çengel Y. A., Isı ve kütle transferi., Güven Bilimsel., İzmir, 2011 ., Çeviri editörü : Tanyıldızı V, Dağtekin İ.
15. Chapra S. C., Canale R. P., Mühendisler için sayısal yöntemler., Literatür Yayınları Vol.82, İstanbul, 2008., Çeviren: Heperkan H, Kesgin U.
16. Thekkeld, J. L., Thermal environmental engineering, Englewood, Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1070.



## ÖZGEÇMİŞ

Birkut GÜLER 1981 yılında Ordu’da doğdu. 1998 yılında Anadolu Tapu Kadastro Meslek Lisesi’nden mezun olup 1999 yılında Y.T.Ü Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ne girdi. 2003 yılında Makine Fakültesi Endüstri Mühendisliği,2004 yılında Makine Fakültesi Makine mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezun olduktan sonra özel sektörde mühendislik faaliyetlerinde bulundu. 2011 yılında K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başladı. 2011 yılında Giresun Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri bölümüne öğretim görevlisi olarak atandı bu görevini halen sürdürmektedir. Birkut GÜLER İngilizce bilmektedir.