

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AYRIK VE BİTİŞİK DÜZEN KONUTLARDA ENERJİ İHTİYACININ İNCELENMESİ:
ISIL BİLEŞEN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Hamdi Levent KOÇALIOĞLU

**ŞUBAT 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AYRIK VE BİTİŞİK DÜZEN KONUTLARDA ENERJİ İHTİYACININ İNCELENMESİ:
ISIL BİLEŞEN ETKİSİ**

Hamdi Levent KOÇALIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 / 01 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 15 / 02 / 2021

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında örnek bir konut binasının farklı ısı bileşenler ve düzenleme durumlarında ısıtma enerji ihtiyacının hesaplanmasında gerekli iç ortam sıcaklık değerlerinin EnergyPlus programı yardımı ile hesaplanması hedeflenmiştir.

EnergyPlus, FORTRAN programlama dili kullanılarak oluşturulmuş bir üst düzey simülasyon programıdır. Bu program ile karmaşık bina ısı yükleri analiz hesaplamaları kısa sürelerde yapılabilir, dinamik sistemler modellenabilir ve grafikler oluşturulabilir.

Diğer taraftan bina ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması sırasında çok sayıda ve tekrarlı hesapların yapılması gerekmektedir. Bu tezin amacı söz konusu hesapları bir bilgisayar programı vasıtasıyla gerçekleştirmektir. Bu amaçla Energyplus programından elde edilen çıktıların görselleştirilmesi ile elde edilen grafiklerin çizdirilerek sonuçların kontrolü sağlanabilmektedir.

Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren kıymetli danışman hocam sayın Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI'ya ve tüm eğitim hayatım boyunca yanımda olan aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hamdi Levent KOÇALIOĞLU

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ayrık ve Bitişik Düzen Konutlarda Enerji İhtiyacının İncelenmesi: Isıl Bileşen Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, programlamayı kendim yaptığımı, 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. 15/02/2021

Hamdi Levent Koçalioglu

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tezin Amaç ve Kapsamı.....	2
1.3. Literatür Özeti.....	3
1.4. Bina Enerji Modellemesi Esasları ve EnergyPlus Programı.....	6
1.5. Zaman Bağımlı Isı İletimi.....	11
1.6. EnergyPlus Isı Yüğü, Ortam Sıcaklığı ve Enerji Kullanımı Hesap Yöntemi.....	13
1.7. Binaların Zaman Bağımlı Isıl Analiz İçin Bazı Tanımlar.....	16
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	17
3. BULGULAR VE İRDELEME.....	22
3.1. Durum 1 Analizi.....	22
3.2. Durum 2 Analizi.....	24
3.3. Durum 3 Analizi.....	25
3.3.1. Durum-3 Zaman Gecikmesi ve Sönüm Oranı İncelemesi.....	27
3.4. Durum 4 Analizi.....	30
3.4.1. Durum-4 İçin Zaman Gecikmesi ve Sönüm Oranının İki Farklı Zaman Dilimi İçin İncelenmesi.....	32
3.4.2. Durum-4 İçin Zaman Gecikmesi ve Sönüm Oranı İncelemesi-1.....	32
3.4.3. Durum-4 İçin Zaman Gecikmesi ve Sönüm Oranı İncelemesi-2.....	35
3.5. Düzeltilmiş Durum 1 Analizi.....	40
3.6. Düzeltilmiş Durum 2 Analizi.....	41

3.7.	Düzeltilmiş Durum 3 Analizi.....	43
3.8.	Düzeltilmiş Durum 4 Analizi.....	45
3.9.	Düzeltilmiş Durumlar için Isıtma Enerjisi İhtiyacı Analizi	47
4.	SONUÇLAR.....	52
5.	ÖNERİLER	53
6.	KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

AYRIK VE BİTİŞİK DÜZEN KONUTLARDA ENERJİ İHTİYACININ İNCELENMESİ: ISIL BİLEŞEN ETKİSİ

Hamdi Levent KOÇALIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI
2021, 54 Sayfa

Türkiye’de enerji ihtiyacının önemli kısmı konut binalarda gerçekleşmektedir. Toplam ihtiyaç içerisinde konutların ısıtma enerjisi ihtiyacı ilk sırada yer almaktadır. Bu durum, konut ve konut ısıtma sistemi tasarımı yapan mühendislerin ve araştırmacılarının ilgisini çekmektedir. Bu ilgi, enerji ihtiyacı ile bu ihtiyacı etkileyen faktörler arasındaki ilişkinin araştırılması çalışmalarının yolunu açmaktadır. Bu çalışmalarda, ısıtma kaynaklı enerji ihtiyacına etki eden parametrelerin dış duvar ısıl direnci, bina katı ısıl kütlesi ve dış ortam sıcaklık genliği gibi ısıl bileşenlerin olduğu kabul görmüştür. Söz konusu ısıl bileşenlerden başka, binaların az ya da çok katlı olmasının; bitişik ya da ayırık düzenlenmesinin de enerji ihtiyacına etki ettiği bilinmektedir.

Tez çalışmasında, ayırık ve bitişik düzenlenmiş tek katlı bağımsız bir konut dış duvarlarının iki farklı ısıl direnç ve iki farklı ısıl kütleyle sahip olmasının ısıtma kaynaklı enerji ihtiyacı üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışmada incelenen konut binanın ısıl analizi, EnergyPlus programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz bulgular, bir aylık zaman dilim için saatlik olarak iç ortam sıcaklık değerleri cinsinden sunulmuştur. Enerji ihtiyacı belirlenen sürede enerji biriminde ifade edilmiştir.

Sayısal sonuçlar hem ısıl parametrelerin hem de düzenlemenin enerji ihtiyacı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Isıl direnç enerji ihtiyacını azaltmakta, ancak ısıl kütle enerji ihtiyacı üzerinde etkili olmamaktadır. Diğer taraftan, ısıl kütle iç ortam sıcaklığının kararlı duruma gelmesi ve iç ortam sıcaklık genliği üzerinde etkili olmaktadır. Bitişik düzenleme ayırık düzenlemeye göre enerji ihtiyacı açısından üstün olmaktadır. İncelenen durumlar arasında enerji ihtiyacı en az olan Bitişik-Yalıtımlı konut ve enerji ihtiyacı en fazla olan Ayırık-Yalıtımsız konut olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bina enerji modellemesi, Isıl direnç, Isıl kütle, Enerji ihtiyacı, Ayırık düzen, Bitişik düzen

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF ENERGY NEED FOR THE DISCRETE AND THE ADJACENT HOUSES: THERMAL PARAMETER EFFECTS

Hamdi Levent KOÇALIOĞLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Mehmet Emin ARICI
2021, 54 Pages

The important part of the energy needs in Turkey is taken place in residential buildings. The heating energy needs of the housings among the total need is at the first place. This fact attracts the interest of engineers and researchers who design residential buildings and residential buildings heating systems. Such interest is leading the way for studies to investigate the relation between energy needs and related parameters. In these studies, it is accepted that the parameters related to heating energy needs are thermal parameters such as external wall thermal resistance, building thermal mass and outdoor temperature amplitude. Beyond the mentioned thermal components of the buildings, being few or multiple floors and arranged discrete or adjacent manner are effective facts for the building energy needs too.

In the thesis study, heating based energy needs for a discrete and an adjacent manner arranged single-story house was numerically investigated for two different thermal mass and two different thermal resistance of the outer wall. Thermal analysis of the residential building under investigation has been carried out by the EnergyPlus software. Findings of the analysis have been presented in hourly indoor air temperature variations for one month period of time. The energy needs have been expressed in the energy unit for the defined time period.

The numerical results show that both the thermal parameters and the type of arrangement affect the energy needs. Thermal resistance reduces the energy needs, but the thermal mass has no effect on the energy needs. On the other hand, thermal mass affects the time to reach the steady condition and the amplitude of indoor temperature. In the energy needs point of view, the adjacent arrangement has advantages over the discrete arrangement. Among the cases examined, Adjacent-Insulated house and Discrete-Uninsulated house energy needs the least and the highest, respectively.

Key Words: Building energy modeling, Thermal resistance, Thermal mass, Energy need, Discrete arrangement, Adjacent arrangement

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Türkiye’de 2017 için enerji ihtiyacının sektörlere göre dağılımı [1].	1
Şekil 2. EnergyPlus modelleme parametreleri [17].	8
Şekil 3. Bina enerji modellemesi akış şeması	11
Şekil 4. Isıl Denge Yaklaşımı	13
Şekil 5. İç Ortam Isıl Denge Yaklaşımı	14
Şekil 6. Referans binanın perspektif resmi; a) ayırık düzenleme, b) bitişik düzenleme	17
Şekil 7. Durum 1 için farklı geometrik ve ısı koşullarında iç ortam sıcaklığının değişimi	23
Şekil 8. Durum 2 için farklı geometrik ve ısı koşullarında iç ortam sıcaklığının değişimi	25
Şekil 9. Durum 3 için farklı geometrik ve ısı koşullarında iç ortam sıcaklığının değişimi	26
Şekil 10. Durum 3 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarında iç ortam sıcaklığının değişimi	28
Şekil 11. Durum 3 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarında zaman gecikmesi değişimi	29
Şekil 12. Durum 3 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarında sönüm oranı değişimi	30
Şekil 13. Durum 4 için farklı geometrik ve ısı koşullarında iç ortam sıcaklığının değişimi	31
Şekil 14. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarında iç ortam sıcaklığının değişimi	33
Şekil 15. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarında zaman gecikmesi değişimi	34
Şekil 16. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarında sönüm oranı değişimi	35
Şekil 17. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarında iç ortam sıcaklığının değişimi	36
Şekil 18. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarında zaman gecikmesi değişimi	37
Şekil 19. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarında sönüm oranı değişimi	38

Şekil 20. Düzeltilmiş Durum 1 için farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi	41
Şekil 21. Düzeltilmiş Durum 2 için farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi	42
Şekil 22. Düzeltilmiş Durum-3 farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi	44
Şekil 23. Düzeltilmiş Durum 4 için farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi	46
Şekil 24. Düzeltilmiş Durum 1 için farklı geometrik ve ısı koşullarda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı	48
Şekil 25. Düzeltilmiş Durum 2 için farklı geometrik ve ısı koşullarda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı	49
Şekil 26. Düzeltilmiş Durum 3 için farklı geometrik ve ısı koşullarda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı	50
Şekil 27. Düzeltilmiş Durum 4 için farklı geometrik ve ısı koşullarda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı	51

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Dış duvar için kullanılan fiziksel özellikler ve kalınlık değerleri	18
Tablo 2. Dış duvar için farkı düzenleme ve ısı koşullardaki ısı direnç ve ısı kütle değerleri.....	19
Tablo 3. Dış ortam ve başlangıç koşullarına göre analizi yapılan durumlar.....	22
Tablo 4. Sıcak Bina İç Ortam Sıcaklığı Kararlı Durum Değerleri.....	25
Tablo 5. Durum 3 için farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum, sönüm oranı ve zaman gecikmesi değerleri.....	27
Tablo 6. Durum 4 Sıcak Bina İç Ortam Sıcaklığı Başlangıç Durum Değerleri.....	30
Tablo 7. Durum 4 için farklı geometrik ve ısı koşullarda 744 saatlik iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum ve ortalama değerleri.....	32
Tablo 8. Durum 4 için farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum, sönüm oranı ve zaman gecikmesi değerleri.....	33
Tablo 9. Durum 4 için farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum, sönüm oranı ve zaman gecikmesi değerleri.....	36
Tablo 10. Durumlar ve Farklı Düzenlemeler için Isı Kaynağı Gücünün Belirlenmesi Tablosu	39
Tablo 11. Düzeltilmiş Durumlar için Isı Kaynağı Gücü Tablosu	40
Tablo 12. Sıcak Bina İç Ortam Sıcaklığı Kararlı Durum Değerleri.....	43
Tablo 13. Düzeltilmiş durum 3 için farklı geometrik ve ısı koşullarda 744 saatlik iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum ve ortalama değerleri.....	44
Tablo 14. Düzeltilmiş Durum 4 Sıcak Bina İç Ortam Sıcaklığı Başlangıç Durum Değerleri.....	45
Tablo 15. Düzeltilmiş Durum 4 için farklı geometrik ve ısı koşullarda 744 saatlik iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum ve ortalama değerleri.....	46

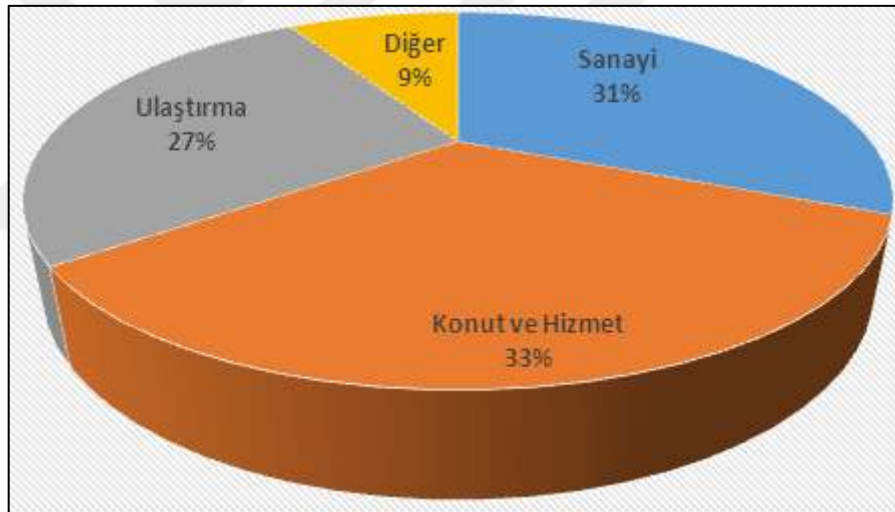
SEMBOLLER DİZİNİ

A	:Yüzey alanı [m^2]
c	:Özgül ısı [$\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$]
H	:Isı taşınım katsayısı veya adım büyüklüğü [$\text{W/m}^2 \text{ K}$]
K	: Isı iletim katsayısı [W/m K]
L	: Uzunluk [m]
M	:Isıl kütle [J/K]
R	:Isıl direnç [K/W]
T	:Sıcaklık [K]
U	:Toplam ısı geçiş katsayısı [$\text{W/m}^2 \text{ K}$]
V	:Hacim [m^3]
x	:Denklemdaki değişken
y	:Denklemdaki değişken
ρ	:Yoğunluk [kg/m^3]
τ	:Zaman sabiti [1/s]
λ	:Malzemenin ısı iletkenliği [$\text{W/ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$]
ρ	:Malzemenin yoğunluğu [kg/m^3]

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Teknolojik ilerleme, nüfus artışı ve yükselen hayat standartları gibi faktörler enerji ihtiyacını artırmaktadır. Bu faktörler, ülkeler için aynı zamanda gelişmişlik göstergesi olarak da değerlendirilebilir. Gelişmeye paralel olarak, artan enerji ihtiyacı ile birlikte ülkeler enerji verimli ürün ve sistem tasarımlarını önemsemektedir. Ülkelerin enerji ihtiyaç analizi çalışmalarında toplam enerjinin üç ana sektör; sanayi, konut-hizmet ve ulaştırma sektörü arasında dağılımı dikkate alınır. Türkiye örneğinde bu sektör tabanlı dağılımda en büyük payı %33 ile konut-hizmet sektörünün aldığı Şekil 1'deki grafikte görülmektedir.



Şekil 1. Türkiye’de 2017 için enerji ihtiyacının sektörlere göre dağılımı [1].

Binaların enerji ihtiyacını azaltma ile ilgili atılacak adımlar belirlemeden önce binanın enerji kullanım ve ihtiyaç davranışlarının belirlenmesi gerekir. Bu konu ile ilgili arayışlar, bina enerji modelleme programlarının geliştirilmesini sağlamıştır ve bu programlar yardımı ile ayrıntılı hesaplamalar yapılabilmektedir. Bina enerji modellemesi, genel olarak, binanın enerji ihtiyacına etki edebilecek tüm verilerin programa girilmesi ve bu program yardımıyla binanın tüm enerji ihtiyaçlarının yıllık, aylık, günlük ve hatta saatlik olarak öngörülmesini sağlamaktadır. Bina enerji modellemesi programları, binanın

matematiksel bir modelinin oluşturulup enerji ihtiyacının analizine imkân vererek hem tasarım aşamasında hem de mevcut binaların enerji ihtiyaç davranışlarının analizinde değerlendirme ve karar verme araçları olarak kullanılmaktadır. Isıtma yüklerinin hesaplanması için kullanılan geleneksel derece-gün yönteminde ihmal edilen yapı malzemesi ısı depolama kapasiteleri, güneşten gelen saatlik ısı kazançları gibi birçok temel etken, bu programların dinamik saatlik hesaplama yapabilme kabiliyeti sayesinde enerji verimli bina tasarımlarının önü açılmıştır. Bu programlar ile farklı mahal tipleri bulunduran karmaşık binalar modellenebilmektedir. Bu yolla kullanıcı sayısı, ekipman ve aydınlatmadan oluşan iç kazanç faktörleri her ısıl mahal için modellenmesine olanak sağlanabilmektedir. Böylece ısıtma ve soğutma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanmasında daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmektedir.

1.2. Tezin Amaç ve Kapsamı

Konutlarda enerji giderlerinin önemli bir payını kışın ısıtma ve yazın da soğutma giderleri oluşturmaktadır. Isıtma ve soğutma süreçleri zaman bağımlı süreçlerdir. Zaman bağımlı süreçlere etki eden iki önemli parametrenin ısıl direnç ve ısıl kütle, ya da bunlardan türetilen zaman sabiti olduğu, süreci temsil eden ısı iletimi denkleminde bilinmektedir. Bu iki parametreye ek olarak sürecin doğasında bulunan değişken dış ortam sıcaklığının da hesaba alınması zorunluluğu vardır. Ayrıca deneyimler, bina düzenlemesinin ayrık veya bitişik olmasına göre de enerji ihtiyacında farklılıklar olduğunu göstermektedir. Bu tezin amacı, iki temel ısıl parametre olan dış duvar ısıl direncinin ve bina katı ısıl kütlelerinin enerji ihtiyacı üzerindeki etkilerini konutun hem bitişik hem de ayrık düzende inşa edilmesi durumlarında incelemektir.

Çalışmada, bağımsız bir konut için dış duvar ısıl direncinin ve binadaki toplam katı ısıl kütleinin dış ortam sıcaklığının değişken davranışını da hesaba alacak şekilde ısıtma koşullarında enerji ihtiyacı üzerindeki etkisi sayısal olarak incelenmiştir. İnceleme, binanın ayrık bina olması ve aynı binanın eşdeğeri ile bitişik olması durumlarında ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

1.3. Literatür Özeti

Binaların enerji ihtiyaçlarının enerji modellemesi programları yardımı ile hesaplanması ve değerlendirilmesi konusunda yapılan çalışmalardan bu tez konusu ile ilgili olanları aşağıda özetlenmiştir.

Ünlü [2], çalışmasında Ankara ilinde yapılması düşünülen bir ofis binası için farklı ısıtma ve soğutma sistemlerinin “Hourly Analysis Program” (HAP) bina enerji modellemesi programı yardımı ile bina ısı yük hesaplamalarını gerçekleştirerek bu sistemlerin bina enerji ihtiyacı yönünden karşılaştırmasını yapmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, yeni bir yapının tasarımında uygulanacak ısıtma ve soğutma sistemi kararını vermeden önce yapılacak ön hesaplamalar ve toplam maliyet analizleri ışığında enerji ihtiyaçlarının azaltılabileceğini ortaya konulmuştur.

Yatan [3], mevcut bir alışveriş merkezinin HAP programı kullanılarak ayrıntılı dinamik enerji modellemesini gerçekleştirmiş ve binanın elektrik ve doğalgaz ihtiyaç değerlerini hesaplamıştır. Sonrasında modelleme sonucunda ortaya çıkan bu ihtiyaç değerleri ile binanın gerçek ihtiyaç değerlerini karşılaştırmıştır. Ayrıca, bina dış duvarında uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı ile elde edilecek ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarındaki iyileştirmeleri hesaplamıştır. Bu hesaplamalar sonucunda yılın büyük bir bölümünde soğutma ihtiyacı olan alışveriş merkezi benzeri yapılarda belirlenen optimum yalıtım kalınlığı üzerinde uygulama yapıldığında enerji ihtiyacının arttığını ortaya çıkarmıştır.

Şahin [4], 2013 yılında tamamladığı yüksek lisans tezinde, İzmir ilindeki bir tarihi bina dış duvarında yapılacak iyileştirmeler ile bina enerji ihtiyacının nasıl değişeceğini farklı senaryolar üzerinden DesignBuilder programı yardımıyla ortaya koymuştur. Bu çalışmada, daha önceki dönemlere ait enerji ihtiyaç verileri ile modelleme sonucunda ortaya çıkan bina enerji ihtiyaç değerlerinin kalibrasyonunu sağlamıştır. Çalışma sonucunda, TS-825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına uygun ısı yalıtımı ile ısıtma enerjisi ihtiyacında %20’ye varan iyileştirmenin sağlanabileceğini göstermiştir.

Öz [5], altı katlı bir otel binasının “Leadership in Engineering and Environmental Design” (LEED) ölçütlerine uygun olarak bina enerji modellemesi çalışmasını gerçekleştirmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için iki farklı binanın DesignBuilder programı aracılığıyla termal modeli oluşturulmuş ve EnergyPlus programı ile bina enerji ihtiyaç değerleri hesaplanmıştır. Son olarak ise aynı bina özellikleri kullanılarak e-QUEST bina

enerji modellemesi programı vasıtasıyla hesaplamalar tekrarlanmıştır ve daha önceki enerji ihtiyaç değerleri ile karşılaştırılarak aralarındaki ilişkiyi incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, e-QUEST ve EnergyPlus programlarının sahip olduğu farklı çalışma algoritmaları nedeni ile toplam enerji ihtiyacı sonuçlarında %11'e varan farklılıklar olabileceğini göstermiştir.

Birol [6], Ankara ilinde bulunan iki katlı bir ofis binasının Open Studio programı ile oluşturulan termal modeli ile EnergyPlus bina enerji modellemesi programını kullanarak enerji verimliliğinin artırılması için uygulanabilecek yeşil bina tasarım, yöntem ve malzeme önerileri ortaya koymuştur. Özellikle bina dış duvar özellikleri üzerinde yoğunlaşarak bina enerji ihtiyaçlarının azaltılması ve enerji tasarruflu yeşil binaların tasarlanması için çeşitli öneriler sunmuştur. Bu öneriler sonucunda örnek ofis binası toplam enerji ihtiyacında elde edilmesi istenen %36'luk iyileştirmenin dış duvarlar, pencere ve çatıda uygulanacak enerji verimliliği önlemleri ile mümkün olabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Kınacı [7] örnek üç katlı bir konut binası için e-QUEST enerji modellemesi programı aracılığı ile binanın yıllık ısıtma, soğutma, sıcak su ve aydınlatma enerji ihtiyaç miktarlarını hesaplamıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, örnek konut binasının ısıtma enerji ihtiyacının toplam enerji ihtiyacı içinde %65 ile en büyük paya sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Eskin ve Türkmen [8], çalışmasında 12 katlı bir ofis binasının yıllık enerji ihtiyacına farklı ortam koşulları ve bina özelliklerinin etkisini incelemiştir. EnergyPlus programı ile bina enerji modellemesini gerçekleştirerek, bina özelliklerinin, bina konumunun, binanın bulunduğu iklim bölgesinin, yıllık ısıtma ve soğutma yükleri enerji ihtiyacı üzerine etkisini araştırmış ve sonuçları her iklim bölgesi için ayrı olarak sunmuştur. Çalışma sonucunda, ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı miktarındaki azalmanın uygulanacak yalıtım kalınlığındaki artış oranı ile doğru orantılı olmadığını ve yalıtım uygulaması ile ısıtma enerjisi ihtiyacındaki en önemli düşüş Ankara ilinde olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Karagözlü [9], çalışmasında İstanbul ilinde bulunan toplu konut projesi için bina enerji modellemesi yardımı ile konutlarda enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik farklı alternatifler ve mevcut termo-fiziksel özelliklerin düzeltilmesi üzerine öneriler sunmuştur. Önerilen bu alternatiflerin uygulanması durumunda enerji ihtiyacına olacak etkisini grafikler aracılığıyla anlatmıştır. Yapılan analizler sonucunda, farklı dış duvar yalıtım

kalınlıklarının ısıtma enerji ihtiyacı üzerine önemli bir etkisi olduğunu gösterirken soğutma enerji ihtiyacı üzerine benzer etkiyi göstermediğini ortaya koymuştur.

An-Naggar vd. [10], Mısır’da yapılması planlanan üç katlı bir konut binasının ikinci katındaki tipik bir apartman dairesi için enerji ihtiyacının dış duvarın yalıtımlı ve yalıtımsız olması durumunu ve farklı daire içi termostat değerlerine göre nasıl değiştiğinin analizini DesignBuilder programı yardımı ile gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, örnek konut binasının dış duvar ve çatısına uygulanacak yalıtım ile enerji ihtiyacında %40’a varan iyileştirmenin sağlanabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Liang vd. [11], Çin’de yapılması planlanan 145 m² kullanım alanına sahip tek katlı örnek bir konut için dış duvar yalıtım kalınlığının artırılması ve cam cephelerin tek katlı ve çift katlı olması durumlarının bina enerji ihtiyacına olan etkisini DesignBuilder programı yardımıyla ısıtma sezonu için analiz ederek incelemiştir. Yapılan çalışma, örnek konut binasının dış duvar ve pencerelerinde yapılan iyileştirmeler sonucunda ısıtma ihtiyacının %23 oranında azaldığını ve daha önce 10 °C olan ısıtma sezonu ortalama iç ortam sıcaklığının 15 °C’ye yükseldiğini göstermektedir.

Bagheri vd. [12], Belçika’da bulunan 50 m² net kullanım alanına sahip tek katlı örnek ofis binasının ayrı ve bitişik nizam düzenlemesine sahip olması durumundaki bina ısıtma performansının incelenmesi üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. “Transient System Simulation Tool” (TRNSYS) programı yardımı ile gerçekleştirilen analizlerde bir aylık süre boyunca iç ortam sıcaklıkları her bir durum için hesaplanmış ve bitişik nizam düzenlemesinde iç ortam sıcaklık dalgalanmasının daha düşük olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Al-Janabi vd. [13], Kanada’da inşaatı süren bir üniversite kampüs binaları için ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarının EnergyPlus ve “Integrated Environmental Solutions” (IES) bina enerji modellemesi programları ile farklı ısıtma ve soğutma mekanik sistemlerini karşılaştırmalı analizini gerçekleştirmiştir. Analiz sonucunda, mekanik sistemler ve kontrol mekanizmalarının modellenmesi sırasında ortaya çıkan küçük farklılıkların bina ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı sonuçlarında %30’a varan farklılığa yol açabileceği ortaya konulmuştur.

Friess vd. [14], Dubai’de bulunan 2 katlı ve 230 m² kullanım alanına sahip villa tipi bir binanın enerji performansını DesignBuilder ve EnergyPlus programları yardımı ile modelleyerek farklı dış duvar yalıtım kalınlıklarına sahip senaryolar için aylık enerji ihtiyaçlarının analizini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, mevcut binanın dış

duvarında yapılacak yalıtım malzemesi eklenmesi ile enerji ihtiyacında %25'e varan iyileştirmenin sağlanabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Özetlenen çalışmalar kapsamında, değişik bina enerji modelleme programları kullanılarak enerji ihtiyacı tahminleri yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları varsayılmış olarak tasarlanmış model binalar, bazıları da mevcut binalar için gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen enerji ihtiyacı modellemelerinde ulaşılmak istenilen gider türüne göre ısıtma, ısıtma-soğutma ve ısıtma-soğutma ile birlikte aydınlatma ve sıcak su gibi gereksinimlerden bazen biri bazen de birden fazlası kapsama alınmıştır. Bu çalışmalarda daha çok farklı yalıtım uygulamalarının, daha azında ise ısıl kütlenin enerji ihtiyacı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu iki temel parametrenin yanında binaların bitişik ya da ayırık düzenlenme durumlarının enerji ihtiyacı üzerindeki etkisinin incelendiği çalışma oldukça sınırlıdır. Bu tezdeki literatür araştırması kapsamında verilen Kaynak [12] bu türden bir çalışmadır.

Mevcut çalışmada, ilgili çalışma alanına katkı olarak, bağımsız bir konut bina için dış duvar ısıl direnci ve ısıl kütlesinin etkisini de hesaba alarak, binanın ayırık ve bitişik düzenlenmesi durumunda ısıtma enerjisi giderleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

1.4. Bina Enerji Modellemesi Esasları ve EnergyPlus Programı

Binalarda enerji ihtiyacına etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır. Optimum çözümlere ulaşmak için sayısal analiz yöntemleri ile bilgisayar programlarından faydalanmak gerekir. Bu nedenle, dış duvar yalıtım malzemesi kalınlığı, toprak temaslı döşeme kaplama malzemesi, HVAC sistemlerin verimlilik değerleri gibi binanın çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri bir bütün olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

Bina enerji modellemesi, binanın enerji ihtiyacına etki edebilecek tüm kalemlerin bir bilgisayar programı aracılığıyla girdi olarak tanımlanması esasına dayanır. Program üzerinden bu ihtiyaç kalemlerinin yıllık, aylık, günlük ve hatta saatlik olarak, değişen dış hava sıcaklık değerlerine göre hesaplanması mümkün olabilmektedir.

Bina enerji modellemesi için birçok bilgisayar programı kullanılmaktadır. Bu programlardan bazıları DesignBuilder, e-QUEST, IES, TAS olarak sayılabilir. Bu programlardan en çok kullanılanlardan biri olan DesignBuilder programı, Amerika Birleşik

Devletleri Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş “EnergyPlus” simülasyon programını kullanarak bina enerji modellemesini gerçekleştiren bir arayüz programıdır.

Dış hava sıcaklık koşullarının zamana bağlı değişimi ile bina yapı malzemelerinin ısı kütlesi özelliklerine bağlı olarak bina enerji ihtiyaçlarının incelenmesinde binanın bu dinamik davranışını hesaba katabilecek dinamik hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları “transfer fonksiyon yöntemi”, “sonlu elemanlar” vb yöntemler olarak tanımlanabilir. Ayrıntılı bina enerji ihtiyaçları analiz edilirken yararlanılan bina enerji modelleme programları çoğunlukla bu yöntemlerden yararlanan ve eşzamanlı-çok bölgeli hesaplama gerçekleştirebilen programlardır. Özetle, içerisinde bulundukları ısı koşulları benzer olmayan bölgeler ve bu bölgelerin kendi aralarındaki ısı ilişkileri eşzamanlı bir şekilde hesaplamalarda göz önüne alarak gerçekleştirilmektedir [15]. Türkiye’de bina enerji ihtiyaçlarının analiz edilmesinde çoğunlukla tercih edilen bina enerji modellemesi programlarından biri EnergyPlus’tır. Bu program A.B.D Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş ve detaylı bir hesaplama kapasitesi özelliğine imkan vermektedir. Bir dakikaya kadar ayarlanabilen zaman adımlarıyla eşzamanlı-çok bölgeli detaylı hesaplamalar gerçekleştirebilir. Kullanıcı dostu bir ara yüze sahip olmaması nedeniyle programa ait parametrelerin doğru bir biçimde girilmesi ve çıktıların analiz edilmesi diğer benzer programlardan daha detaylı bir analiz süresi ve deneyim gerekliliğine neden olmaktadır. Bina enerji modellemesi programları kullanılırken göz ardı edilmemesi gereken, enerji ihtiyacı analizi yapılan modelin programa tanımlanan girdilere göre hesaplamaları gerçekleştirdiğidir. Buradan hareketle girdilerin tam ve düzgün olarak tanımlanması, modelleme sonucunda ortaya çıkacak enerji ihtiyaçlarının güvenilirliği açısından önemlidir.

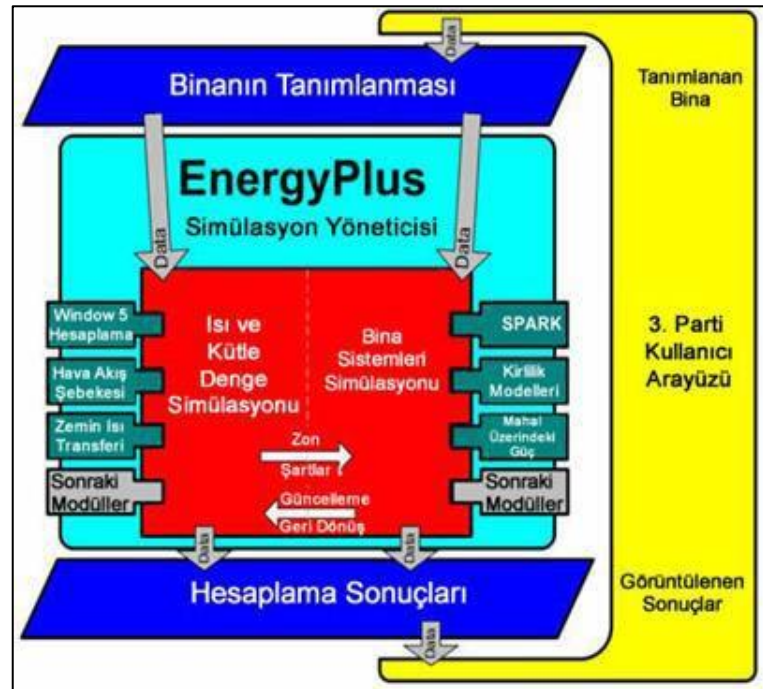
Binaların enerji modellemesi için hazır hale getirilmesi, binaya ait geometrik, çevresel ve enerji parametrelerinin belirlenmesi, ölçülmesi ve kayıt altına alınması gibi aşamalar gerektirir. Enerji modellemesi süreci, girdilerin toplanması ve modelleme için hazır hale getirilmesi ve sonrasında analiz aşaması ile devam eden işlemler bütünüdür. Ancak, genellikle girdilerin toplanması süreci, binanın kendisinin ve çevresiyle olan dinamik etkileşiminin karmaşık yapısı nedeniyle uzun zaman alabilmektedir. Bina enerji modellemesi için genel olarak ihtiyaç duyulan aşağıdaki temel girdiyi içermektedir:

- İklim verileri
- Binaya ait temel bilgiler
- Binanın geometrik özellikleri

- Dış duvar malzemesinin içeriği
- Cephe camlarının ısı performansları
- Bina ısı bölgeleri,
- İklimlendirme sistemlerinin verimlilikleri ve çalışma senaryoları,
- Aydınlatma sistemleri,
- Gölgeleme sistemleri,
- Enerji geri kazanım sistemleri,
- Bina otomasyonu ve kontrol senaryoları

Bu temel parametrelerin altında çeşitli sayıda başka alt girdiler de bulunmaktadır. Bu girdilerin sistematik bir şekilde toplanması ve modellemeye doğru olarak aktarılması hesaplamaların doğru sonuç vermesi açısından büyük önem taşımaktadır [16].

EnergyPlus programı üç ana sistem elemanından oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla simülasyon yöneticisi, ısı ve kütle denge simülasyon modülü ve bina sistem simülasyon modülü olarak tanımlanabilir [17]. Bütün modelleme prosesleri simülasyon yöneticisi tarafından kontrol edilmektedir. EnergyPlus programı modelleme parametreleri Şekil 2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. EnergyPlus modelleme parametreleri [17].

EnergyPlus programı binaların termal yük hesaplamalarında enerji dengesi (Energy Balance) methodunu kullanmaktadır. Bu yöntemle, binaya ait ısı bölgelerinin tüm iç ve dış yüzeylerin ısı dengesi, tanımlanan her zaman adımı için iletim, taşınım ve ışınlama olan ısı geçişleri, güneş enerjisinden olan kazançlar ayrı olarak hesaplanmakta; anlık soğutma ve/veya ısıtma yükleri bulunmaktadır. Bu program vasıtası ile, hesaplamalarda kullanılan binaya ve ortama ait termo-fiziksel özelliklerin sıcaklık ve ortam nem oranlarına göre etkileşimi ve zamanla değişimine izin verdiği için, diğer hesaplama yöntemlerinden daha detaylı ve gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir [18].

EnergyPlus programı mahal içinde ısı taşınım katsayısını yüzey sıcaklığı ile ortam havası sıcaklığı arasındaki farka bağlı bir fonksiyon ile hesaplamaktadır [19]. Ayrıca, dış yüzeylerdeki taşınım katsayısı hesaplanırken hem rüzgâr hızını hem de sıcaklık farkını içeren formüller kullanılmaktadır. Dış yüzeydeki malzemenin pürüzlülük değeri de bir değişken olarak hesaplama içinde yer almaktadır.

Bina "yüzeyi" bina termal modelini oluşturan temel unsurdur. Genel anlamda, EnergyPlus programı bina yüzeylerini iki tip olarak tanımlamaktadır. Bunlar:

- a) Isı transfer yüzeyleri
- b) Isı depolama yüzeyleri

Önemli ölçüde farklı sıcaklıktaki mahalleri birbirinden ayıran yüzeyler, ısı transfer yüzeyi olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, dış duvarlar, çatılar ve döşemeler gibi dış yüzeyler ısı transfer yüzeyleridir. İç yüzeyler (ara duvarlar), aynı sıcaklıktaki mahalleri birbirinden ayırdıkları sürece, ısı depolama yüzeyleri olarak tanımlanmakta; ancak farklı sıcaklıklardaki mahalleri ayırmaları halinde ısı transfer yüzeyleridir.

Düzgün dağılımlı sıcaklıktaki bir hava hacmi ile bu hava hacminin kapsadığı tüm ısı transferi ve ısı depolama yüzeyleri "Bölge" olarak tanımlanmaktadır. EnergyPlus programı, her bir bölgeyi günün her saati için belirli bir sıcaklıkta tutmak için gereken enerjiyi hesaplar. EnergyPlus, bölgeye bağlı ısı dengesi gerçekleştirdiğinden, bina bölgelere ayrılmaktadır. "Bölge" geometrik değil, termal bir kavramdır. Bu nedenle bina bölgelere ayrılırken amaç, simülasyonun bütünlüğünden ödün vermeden binaya mümkün olduğu kadar az bölge tanımlamaktır. Binaların bölgelere ayrılması pek kolay bir iş olmasada, bu süreci kolaylaştırmak için bazı genel kurallar vardır. Binadaki her bir odayı ayrı bir bölge olarak tanımlamaya gerek yoktur; bunun yerine termal bölgeler, üniform sıcaklıkta bir hava hacmi olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, burada önemli kural binadaki

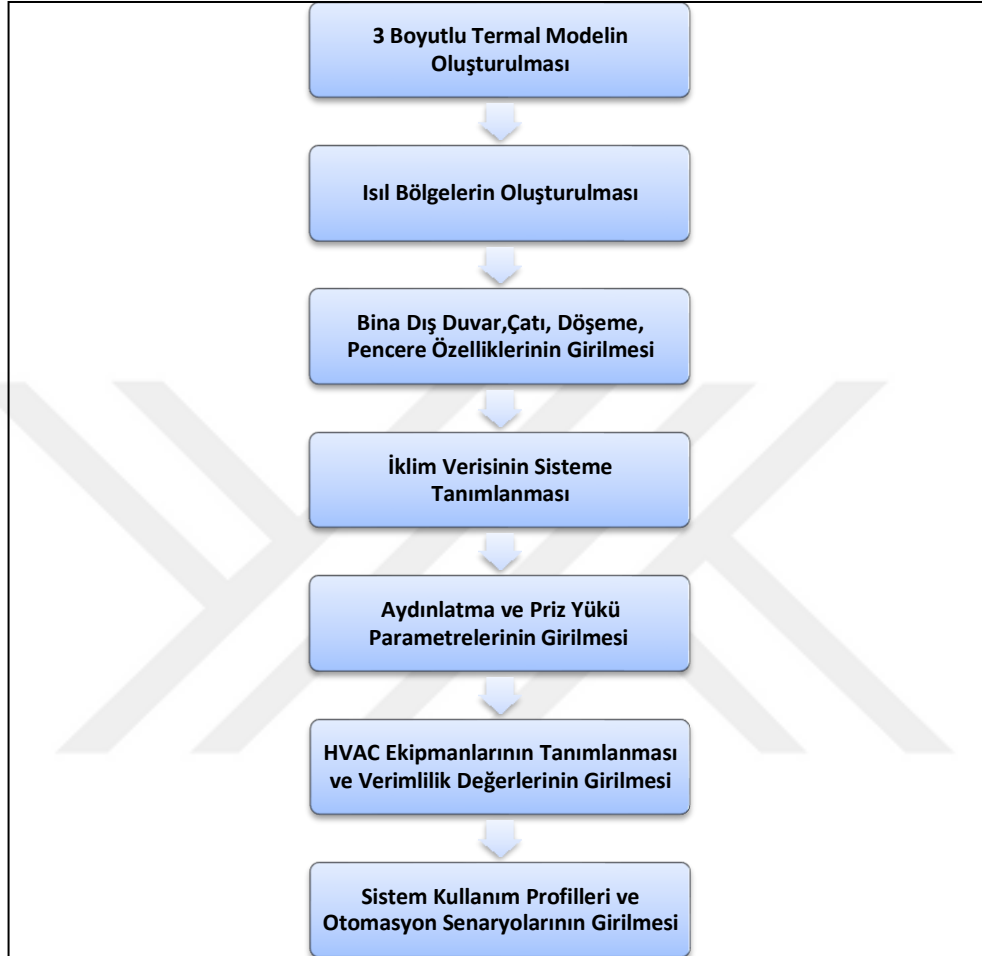
bölgelerin belirlenmesinde oda sayısı yerine fan sistemlerinin (ve radyant sistemlerin) sayısını kullanmaktır. Minimum bölge sayısı genellikle binaya hizmet eden sistem sayısına eşittir. Her bir bölge içerisinde tanımlanan ısı transfer ve ısı depolama yüzeylerinin tamamı, sistem tarafından iklimlendirilen alanın içindeki tüm yüzeyleri içerir.

Dış sınır koşulu olarak adlandırılan yüzeyler, sıcaklık kontrolüne sahip mahalleri ayıran tavanlar, döşemeler ve ara duvarlardır. Program, yüzeyin her iki tarafındaki yüzey sıcaklıklarının aynı olduğunu kabul eder. Bu kabulden hareket ile, ısıyın ara duvar, tavan veya döşemede depolanıyorlar olmasına rağmen, bu yüzeylerden herhangi bir ısı akışı gerçekleşmez. Bazı yüzeyler sıcaklık kontrolüne sahip mahalleri dış ortamdan ayırmaktadır. Hem güneşe hem de rüzgâra maruz kalan yüzeyler (örneğin dış duvarlar, toprak temaslı zeminler, çatılar) hem güneş radyasyonu hem de dış hava sıcaklığının tam etkisine maruz kalmaktadırlar. Toprak temaslı döşeme ve toprak altı bodrum duvarları gibi yüzeyler, mahalleri toprak zeminde ayırırlar. Bu nedenle, dış yüzey sıcaklıkları toprak sıcaklığı haline dönüşür. Diğer yüzeyler, farklı sıcaklıklarda olabilecek bölgeleri ayırırlar. Bu yüzey tipleri, daha yüksek sıcaklıktaki bir bölgeden daha düşük sıcaklıktaki bir bölgeye ısı geçişi (duvarlardan ısı iletimi ile) sağlar.

Yukarıda belirtildiği gibi, temel amaç termal modelin bütünlüğünden ödün vermeden mümkün olduğunca az sayıda bölge ve yüzey tanımlamaktır. Termal model oluşturulurken kullanılan yüzeylerin sayısı ve karmaşıklığı, eşdeğer yüzeylerin tanımlanması ve gruplandırılması ile çözülebilir. EnergyPlus, her bir ayrı bölge yüzeyleri ve bölge hacmi için ısı dengesi hesaplamaları yapmaktadır. Isı transferi hesaplamaları için, bölge yüzeylerinin ayrıntılı geometrik modellemesi önemli çok fazla önemli olmayıp, termal bölgelerin ve bu bölgelerin içerdiği ısı transfer yüzeylerinin doğru şekilde tanımlanmış olması, programın ısı dengelerini doğru hesaplaması açısından önemlidir.

Örneğin, bir bölge içindeki aynı yapının tüm ısı depolama yüzeyleri, tek bir dikdörtgen yüzey olarak tanımlanabilir. Bu yüzeyin toplam alanı, bölgedeki tüm ısı depolama yüzey alanlarının toplamına eşit olacaktır. Bu tür sadeleştirmeler bina termal modelinin oluşturulmasında önemli zaman kazanımları sağlar. Her bir sadeleştirme, gölgelendirmeyi, iç güneş kazancını veya gün ışığı özelliklerini önemli ölçüde etkileyip etkilemeyeceği araştırılarak analiz edilmelidir. Temel amaç, önemsiz detaylar için fazladan zaman harcamaksızın, bina kabuğunun temel özelliklerini yeterli düzeyde bina termal modeline aktarabilmektir. [20].

Tez süresince izlenen bina enerji modellemesi aşamalarını gösteren akış şeması aşağıda tanımlanmıştır.



Şekil 3. Bina enerji modellemesi akış şeması

1.5. Zaman Bağımlı Isı İletimi

Bir sistem için ısıl enerjinin korunumu ilkesi göz önünde bulundurulduğu zaman sistemden çıkan enerji sisteme giren enerjiye eşit değilse sistemde enerji artışı ve azalması anlamına gelir. Termodinamik açıdan bu durum sistemdeki iç enerjinin değişmesidir. Bina yapı bileşenleri faz değişimi sıcaklık aralığında değilse iç enerjideki değişim duyulur enerjiden kaynaklanır ve bu durum birim zamanda sıcaklık değişimi $\frac{dQ}{dt}$ ile mevcut olduğunu gösterir. Yapı bileşeni (malzemesi) m kg kadar olan bir sistemin sıcaklığını

birim derece artırmak ya da azaltmak için iç enerjideki bu değişim miktarı $\frac{\rho V c_p \Delta T}{\Delta t}$ olacağından bu değişim terimi ile sistemin (yapı bileşeninin/duvarın) çevresi ile olan ısı enerji değişimi eşitlenirse enerjinin korunumu ifadesi,

$$\frac{\rho V c_p \Delta T}{\Delta t} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out} \quad (1)$$

Diferansiyel kontrol hacmi için bu eşitlik, kütle yerine ρV yazarak ve ısıl yayılım katsayısı α 'ı da kullanarak 1 boyutlu zaman bağımlı ısı iletimi diferansiyel denklemi,

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2)$$

Buradaki bağımlı değişken $T(x,t)$ malzemenin konumuna ve zamana bağlı değişkendir.

Bina dış duvarları, çoğunlukla ısı depolama kapasiteleri ihmal edilemeyecek seviyede olan yapı malzemelerden oluşmaktadır. Dış ortam sıcaklığının zamana bağlı olarak değişmesi nedeniyle bina duvarlarındaki ısı transferi zaman bağımlı bir problemdir.

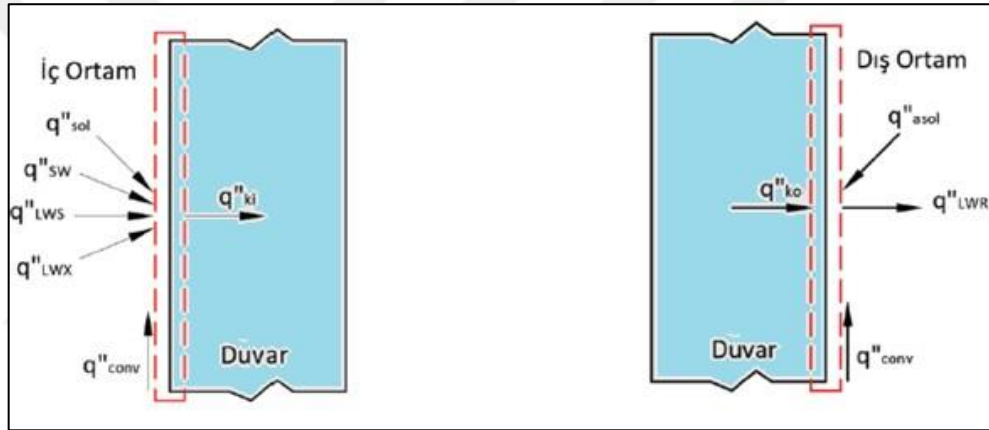
Dış hava sıcaklığı ve güneş ışıınının saatlik değişimine bağlı olarak, bina dış duvar bileşeni içerisindeki veya yüzeyindeki sıcaklık da hacim içindeki koşullar etkisinde zamana bağlı olarak değişim gösterir. Dış hava sıcaklığı ve güneş ışıınının etkisi, bina dış duvarının yalıtım kapasitelerini belirleyen fiziksel özelliklerle birlikte, genliği küçülerek ve belirli bir gecikmeyle içeri geçecektir. Hacim içinde herhangi bir ısıtma sistemi varsa, dış hava sıcaklığının ve güneş ışıınının, iç yüzey sıcaklığı olarak hacme geçişi de bu ısıtmadan etkileneceğinden değişim gösterecektir. Ayrıca ısıtma sisteminin çalışma süresinde aynı şekilde bina dış duvarının dış yüzeyinden iç yüzeyine zamana bağlı olarak geçen ısı miktarını etkileyecektir.

Dış duvar yapı bileşeninden zamana bağlı rejimde geçen ısı miktarının ve bileşen iç yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılmak üzere geliştirilmiş bazı analitik ve sayısal yöntemler mevcuttur. Analitik yöntemler yardımıyla bir tek katmandan oluşmuş dış duvar bileşenden geçen ısı miktarı ve yüzey sıcaklıkları hesaplanabilir. Ancak birden fazla katmandan oluşmuş bileşenler içindeki sıcaklığın zamana bağlı değişiminin

hesaplanmasında analitik yöntemler, belli varsayımlar ve oldukça karmaşık hesaplamalar gerektirdiğinden, sayısal yöntemlerden faydalanılmaktadır.

1.6. EnergyPlus Isı Yükü, Ortam Sıcaklığı ve Enerji Kullanımı Hesap Yöntemi

Program ısı yükü, ortam sıcaklığı ve yıllık enerji kullanımının hesaplanması için “American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers” (ASHRAE) Isıl Denge Metodu’nu kullanmaktadır. Isıl Denge Metodu; bina kabuğuna Termodinamiğin I. yasasının (enerjinin korunumu) uygulanması temeline dayanmaktadır [21]. Bu metod binanın her bir yüzeyinin iç ve dış ortama bakan kısımları ile iç ortamları çevreleyen her bir ortama uygulanır.



a) İç Yüzey

b) Dış Yüzey

Şekil 4. Isıl Denge Yaklaşımı

İç yüzey için ısıl denge;

$$q''_{\text{sol}} + q''_{\text{sw}} + q''_{\text{LWS}} + q''_{\text{LWX}} + q''_{\text{conv}} - q''_{\text{ki}} = 0 \quad (3)$$

$$q''_{\text{sol}} + q''_{\text{sw}} + L \cdot q''_{\text{LWS}} + q''_{\text{LWX}} + q''_{\text{conv}} - q''_{\text{ki}} = 0$$

Denklemler ile belirlenir. Dış yüzey için ısıl denge ise;

$$q''_{\text{asol}} + q''_{\text{LWR}} + q''_{\text{ko}} - q''_{\text{conv}} = 0 \quad (4)$$

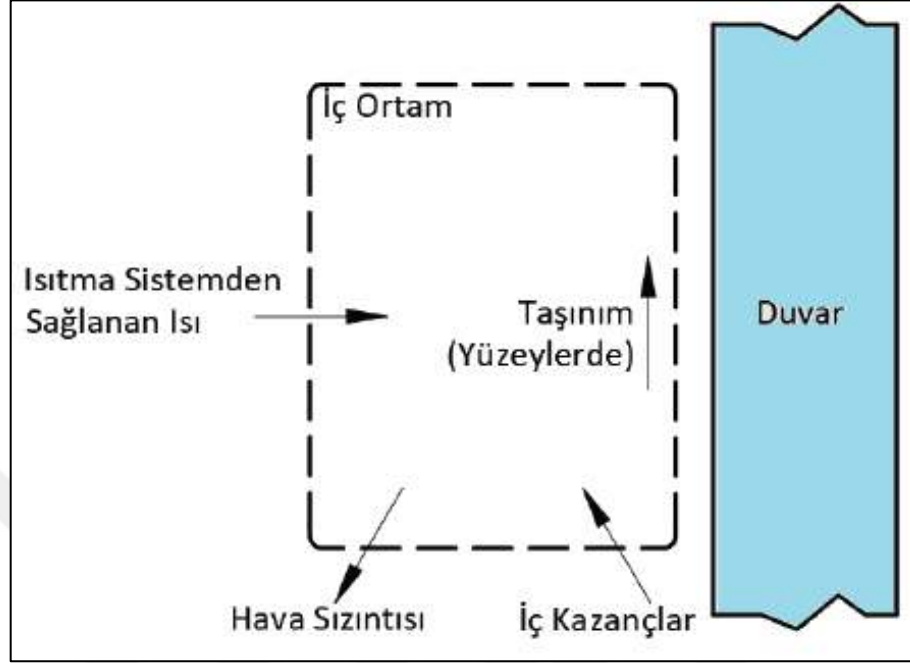
$$q''_{\text{asol}} + L \cdot q''_{\text{LWR}} + q''_{\text{ko}} - q''_{\text{conv}} = 0$$

$$q''_{\text{asol}} + L \cdot q''_{\text{LWR}} + q''_{\text{ko}} - q''_{\text{conv}} = 0$$

$$q''_{\text{asol}} + L \cdot q''_{\text{LWR}} + q''_{\text{ko}} - q''_{\text{conv}} = 0$$

Denklemleri ile belirlenir. Denklem (1) ve (2)'deki q''_{conv} ortam sıcaklığına göre hesaplanmaktadır.

Ortam sıcaklığı ise iç ortam ısı denge metodu ile belirlenir.



Şekil 5. İç Ortam Isıl Denge Yaklaşımı

Bu metotta;

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,z} - \sum_{j=1}^N h_{c,j} A_{s,j} (T_z - T_{s,j}) - \sum_{k=1}^{N_o} C_{o,k} (T_z - T_{o,k}) - T_{o,k} C_{o,k} (T_z - T_{o,k}) + \dot{Q}_{z,z} \quad (5)$$

Denklemleri kullanılmaktadır. Burada;

$$C_z \frac{dT_z}{dt} \quad : \text{Ortamda depolanan ısı enerjisi}$$

$$\sum_{i=1}^N \dot{Q}_{i,z} \quad : \text{İç ısı yükleri toplamı}$$

$$\sum_{j=1}^N h_{c,j} A_{s,j} (T_z - T_{s,j}) \quad : \text{Ortam yüzeylerine taşınım ile ısı geçişi}$$

$$\sum_{k=1}^{N_o} C_{o,k} (T_z - T_{o,k}) + T_{o,k} C_{o,k} (T_z - T_{o,k})$$

$$\sum_{i=1}^{N_o} C_{i,i+1} (T_{i,i+1} - T_{i,i}) \quad : \text{İç ortamdan komşu iç ortamlara hava sızıntısı ile ısı geçişi}$$

$$C_{i,i+1} (T_{i,i+1} - T_{i,i}) \quad : \text{İç ortamdan dış ortama hava sızıntısı ile ısı geçişi.}$$

Daimi durumda ortamda depolanan ısı enerjisi göz ardı edilirse Denklem (3);

$$\dot{Q}_{sys} = - \sum_{i=1}^{N_o} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_o} h_i A_i (T_{sup} - T_{i,i}) + \sum_{i=1}^{N_o} C_{i,i+1} (T_{i,i+1} - T_{i,i}) + C_{i,i+1} (T_{i,i+1} - T_{i,i}) \quad (6)$$

Şeklinde yazılır. Burada taşınım katsayısı h_i , seçilecek bir korelasyona göre belirlenir.

Q_{sys} aynı zamanda;

$$\dot{Q}_{sys} = C_{i,i+1} (T_{i,i+1} - T_{i,i}) \quad (7)$$

Denklemleri ile hesaplanabilir. Burada T_{sup} ortamın ısıtılması için ısıtma cihazı tarafından sağlanması gereken havanın sıcaklığıdır (ayar sıcaklığı). Ortama ait ısı yük ise eşitliği ile elde edilir. Denklem (4)'te T_{∞} yıl içindeki en düşük dış ortam sıcaklığıdır. İç ortam sıcaklığı T_z ise Denklem (3) ve (5)'ten çekilerek;

$$= \frac{\sum_{i=1}^{N_o} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_o} C_{i,i+1} (T_{i,i+1} - T_{i,i}) + (C_{i,i+1} \frac{\delta T}{\delta t} + \sum_{i=1}^{N_o} h_i A_i (T_{sup} - T_{i,i}) + \sum_{i=1}^{N_o} C_{i,i+1} (T_{i,i+1} - T_{i,i}) + C_{i,i+1} (T_{i,i+1} - T_{i,i}))}{h A + \sum_{i=1}^{N_o} C_{i,i+1} + C_{i,i+1}} \quad (8)$$

Denklemleri ile hesaplanır. Program bu denklemleri eş zamanlı olarak çözmektedir.

Program duvar konstrüksiyonlarında “Conduction Transfer Function (CTF)” algoritması ile çözüm yapmaktadır. Bu algoritmaya göre iç tarafta ısı akısı zaman bağımlı olarak;

$$\dot{Q}_{i,i+1}(t) = - \dot{Q}_{i,i+1} - \sum_{i=1}^{N_o} \dot{Q}_{i,i+1} - \dot{Q}_{i,i+1} + \sum_{i=1}^{N_o} \dot{Q}_{i,i+1} + \sum_{i=1}^{N_o} \Phi_{i,i+1} \quad (9)$$

Dış tarafta ısı akısı zaman bağımlı olarak;

$$\theta''_{\text{duvar}}(t) = -\frac{1}{\rho C_p V} \sum_{i=1}^n \theta_{\text{duvar},i} - \frac{1}{\rho C_p V} \sum_{i=1}^n \theta_{\text{duvar},i} + \sum_{i=1}^n \Phi \theta''_{\text{duvar},i} \quad (10)$$

Denklemlerine göre belirlenir [22].

1.7. Binaların Zaman Bağımlı Isıl Analiz İçin Bazı Tanımlar

Duvarı oluşturan katmanların termofiziksel özellikleri ve bu katmanların konumu, binanın ısı performansının belirlenmesinde önemli parametrelerdir. Buradan hareket ile faz kayması ve sönüm oranı binanın ısı enerji depolamasında önemli bir rol oynamaktadır. Zaman gecikmesi ve sönüm oranı, duvarı oluşturan malzeme özellikleri, kalınlığı ve duvar kuruluşundaki konumuna bağlıdır [23].

Sönüm oranı (f); Duvar içinden zamana bağlı olarak ısı geçişi süresince, iç ve dış yüzeydeki sıcaklık genliklerinin birbirine oranı olarak tanımlanır.

$$f = \frac{\theta_{\text{duvar,i}} - \theta_{\text{duvar,e}}}{\theta_{\text{duvar,i}} - \theta_{\text{duvar,e}}} \quad (11)$$

Burada, $T_{i,(maks)}$, $T_{i,(min)}$, $T_{d,(maks)}$, $T_{d,(min)}$ iç ve dış ortamın maksimum ve minimum sıcaklıklarıdır.

Zaman gecikmesi (z);

$$z = (t_{\text{duvar,i}} - t_{\text{duvar,e}}) \quad (12)$$

Eşitliği ile ifade edilir; burada; $t_{T_{i,(maks)}}$ $t_{T_{d,(maks)}}$ iç ve dış ortam sıcaklıklarının maksimum düzeye ulaştıkları zamanı göstermektedir.

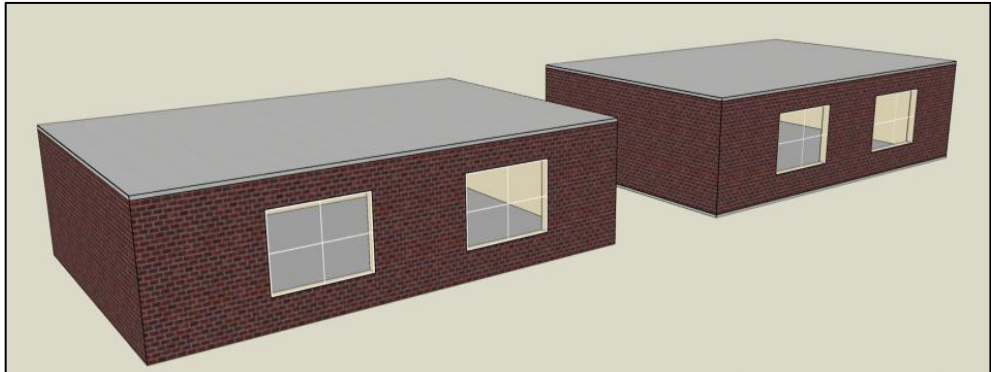
Buradan hareket ile zaman gecikmesi ve sönüm oranı etkilerinin açık ve anlaşılır bir biçimde görüldüğü Durum 3 ve Durum 4 için üç gün boyunca (3 gün = 72 saat) iç ortam sıcaklığı için maksimum ve minimum değerler ile bu sıcaklık değişimlerine ilişkin sönüm oranları ve zaman gecikmeleri bu çalışma kapsamında ilerleyen bölümlerde irdelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sayısal çalışma için referans bina (RB) Şekil 5'te perspektif resmi verilen binadır. Buna göre binanın taban ve tavanı ideal yalıtılmış (adyabatik) ve $10 \times 15 \times 3,5$ boyutlarındadır. Yan duvarların %12,8'i camdır. Bu durumda toplam dış yüzey alanı $A = 2 \times (15+10) \times 3,5 = 175 \text{ m}^2$, toplam dış duvar alanı $A_d = 152,6 \text{ m}^2$ ve toplam cam yüzey alanı $A_c = 22,4 \text{ m}^2$ olacaktır. Söz konusu referans binanın ısı analizinde iki farklı ısı direnç ve iki farklı ısı kütle için kullanılacak olan fiziksel özellikler Tablo 2'de listelenmiştir. Isı analiz, ayrı ve bitişik düzenlemede olmak üzere yalıtımlı ve yalıtımsız dış duvarın hem ağır ısı kütleli hem de hafif ısı kütleli olmak üzere toplam sekiz ayrı durum için gerçekleştirilmiştir. Bu durumların kısaltılmış gösterimleri;

Bitişik düzen-Yalıtımlı-Ağır ısı kütle (BİYLE),
 Bitişik düzen-Yalıtımlı-Hafif ısı kütle (BİYLH),
 Bitişik düzen-Yalıtımsız-Ağır ısı kütle (BİYSA),
 Bitişik düzen-Yalıtımsız-Hafif ısı kütle (BİYSH),
 Ayrık düzen-Yalıtımlı-Ağır ısı kütle (AYYLA),
 Ayrık düzen-Yalıtımlı-Hafif ısı kütle (AYYLH),
 Ayrık düzen-Yalıtımsız-Ağır ısı kütle (AYYSA),
 Ayrık düzen-Yalıtımsız-Hafif ısı kütle (AYYSH)

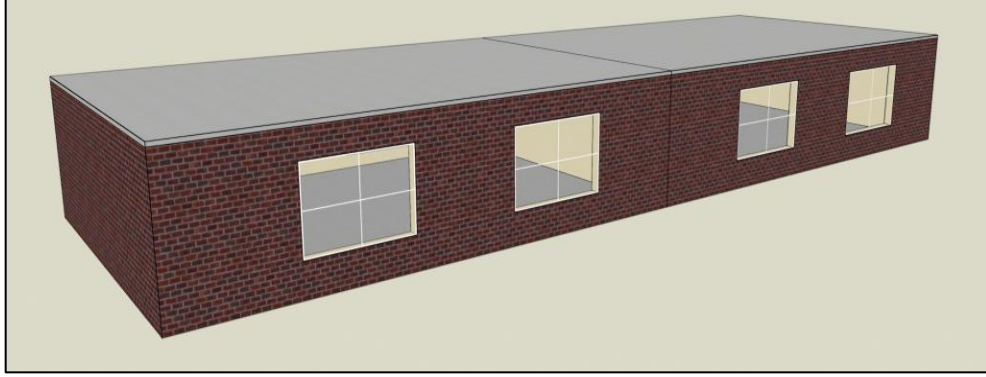
Sayısal analizde dış duvar için kullanılan fiziksel özellikler ve kalınlık değerleri Tablo 1'de, ısı direnç ve ısı kütle değerleri Tablo 2'de listelenmiştir.



a) Ayrık düzenleme

Şekil 6. Referans binanın perspektif resmi; a) ayrı düzenleme, b) bitişik düzenleme

Şekil 6'nın devamı



b) Bitişik düzenleme

Tablo 1. Dış duvar için kullanılan fiziksel özellikler ve kalınlık değerleri

Dış duvar	Sembol	Kalınlık (L)	Fiziksel özellikler
Yalıtımlı	Ağır	0,25 m	$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 2500 \text{ J/kg K}$
	Hafif		$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 500 \text{ J/kg K}$
Yalıtımsız	Ağır	0,05 m	$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 2500 \text{ J/kg K}$
	Hafif		$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 500 \text{ J/kg K}$
Yalıtımlı	Ağır	0,25 m	$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 2500 \text{ J/kg K}$
	Hafif		$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 500 \text{ J/kg K}$
Yalıtımsız	Ağır	0,05 m	$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 2500 \text{ J/kg K}$
	Hafif		$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ $c_p = 500 \text{ J/kg K}$

Tablo 2. Dış duvar için farklı düzenleme ve ısı koşullardaki ısı direnç ve ısı kütle değerleri

Düzenleme	Dış duvar		Sembol	Isıl direnç ($R = L/k$)	Isıl kütle $C=\rho c_p L A$
Bitişik	Yalıtımlı	Ağır	BİYLA	1,66 m ² /K W	312500xA J/K
		Hafif	BİYLH		62500xA J/K
	Yalıtımsız	Ağır	BİYSA	0,33 m ² /K W	312500xA J/K
		Hafif	BİYSH		62500xA J/K
Ayrık	Yalıtımlı	Ağır	AYYLA	1,66 m ² /K W	312500xA J/K
		Hafif	AYYLH		62500xA J/K
	Yalıtımsız	Ağır	AYYSA	0,33 m ² /K W	312500xA J/K
		Hafif	AYYSH		62500xA J/K

RB başlangıçta 0 °C'deki dış ortamla ısı dengede ve dış ortam sıcaklığının sabit kaldığı ve binaya 3000 W değerinde sabit ısı verildiğinde kararlı durumda kaynağın sağlaması gereken ısı:

$$\begin{aligned}
 & \frac{Q_{\text{duvar}}}{R_{\text{duvar}}} + \frac{Q_{\text{cam}}}{R_{\text{cam}}} = 3000 \text{ W} \\
 & \frac{Q_{\text{duvar}}}{R_{\text{duvar}}} + \frac{Q_{\text{cam}}}{R_{\text{cam}}} = 3000 \text{ W}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Buradaki R toplam direnci duvar direnci ile paralel durumdaki cam direnci olacağından,

$$\frac{1}{R_{\text{toplam}}} = \frac{1}{R_{\text{duvar}}} + \frac{1}{R_{\text{cam}}}$$

$$+ \frac{1}{2}$$

—



(14)

Alan üzerinden toplam duvar direnci şöyledir:



$$R_{\text{duvar}} = \frac{1}{A \cdot h} + \frac{1}{A \cdot h} + \frac{1}{A \cdot k} \quad (15)$$

Sayısal değer olarak duvar direnci yalıtımlı duruma göre; sayısal değerlendirildiğinde,

$$\frac{1}{A} \left(\frac{1}{h_4} + \frac{1}{h_2} + \frac{1}{k} \right) = \frac{1}{152,6} \left(\frac{1}{23} + \frac{1}{8} + \frac{0,25}{0,15} \right) = 0,0120 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Yalıtımsız duruma göre,

$$\frac{1}{A} \left(\frac{1}{23} + \frac{1}{8} + \frac{0,05}{0,15} \right) = 0,00328 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Camın ısıl direnci alan üzerinden,

$$\frac{0,47}{A_{\text{cam}}} = \frac{0,47}{22,41} = 0,0209 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

=

Buradaki 0,47 değeri çift camlı plastik pencere için m²K/W cinsinden seçilmiştir.

Buradan toplam bina dış duvar direnci yalıtımlı bina için;

$$\frac{1}{R_{\text{duvar}}} = \frac{1}{0,0120} + \frac{1}{0,0209} = 131,18$$

$$R_{\text{duvar}} = 0,0076 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Yalıtımsız bina için;

$$\frac{1}{R_{\text{duvar}}} = \frac{1}{0,00328} + \frac{1}{0,0209} = 352,724$$

$$\diamond = 0,00283 \diamond \diamond$$



Buradan sırasıyla yalıtımlı ve yalıtımsız referans bina için iç ortam sıcaklığı;

(16)

$$Q_{\text{dış}} = Q_{\text{duvar}} + Q_{\text{ceci}} + Q_{\text{ceci}} = 0,0076 \times 3000$$

$$T_{\text{dış}} = 22,8^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{dış}} = 0,00283 \times 3000$$

$$T_{\text{dış}} = 8,5^{\circ}\text{C}$$

Programın sağlaması, yalıtımlı ve yalıtımsız dış duvar durumları için bu iç sıcaklık değerlerinin elde edilmesi yolu ile yapılmıştır.

Sayısal analiz, dört ayrı durum ve düzeltilmiş durumlar olmak üzere iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşamadaki analizde, ayrık ve bitişik düzenlemede olmak üzere her düzenleme için dört farklı dış duvar özelliği (Yalıtımlı Ağır Isıl Kütleli, Yalıtımlı Hafif Isıl Kütleli, Yalıtımsız Ağır Isıl Kütleli, Yalıtımsız Hafif Isıl Kütleli) ile toplam sekiz durum için gerçekleştirilmiştir. Sekiz durumun her biri için sabit, değişen ve ölçülmüş dış ortam sıcaklığı; iki soğuk bina ve sıcak bina başlangıç koşulu kullanılmıştır. Bu analizlerin tamamında ısı kaynağı 3000 W olarak sabit tutulmuştur. İkinci aşamada, iç ortam sıcaklığının 22,8 °C'de tutulması için gerekli kaynak güçleri düzeltilmiş güçler olarak kullanılarak ısıtma giderleri hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Şekil 6’da perspektif resmi verilmiş olan referans bina için sayısal analizin yapılan durumlar Tablo 3’te özetlenmiştir. Buna göre, iki adet soğuk bina başlangıç koşulu (tüm yapı malzemesi ve iç ortam havasının başlangıçta dış ortam sıcaklığında olma durumu) ve iki adet de sıcak bina başlangıç koşulu (iç ortam sıcaklığının kararlı durumda olması) olmak üzere dört durum incelenmiştir.

Sunulan grafiklerde, dış ortam sıcaklığı DIORT kısaltması ile gösterilmiştir. Sıcaklık değişimini gösteren eğriler, bitişik düzendeki durumlar için sürekli çizgi, ayrık düzendeki durumlar için ise kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Eğrilerin her bir rengine ait koyu ton ağır ısıl kütleyi, hafif ton ise hafif ısıl kütleyi temsil etmektedir. Son olarak da kırmızı renk tonları yalıtımlı, mavi renk tonları ise yalıtımsız durumları temsil etmektedir.

Tablo 3. Dış ortam ve başlangıç koşullarına göre analizi yapılan durumlar

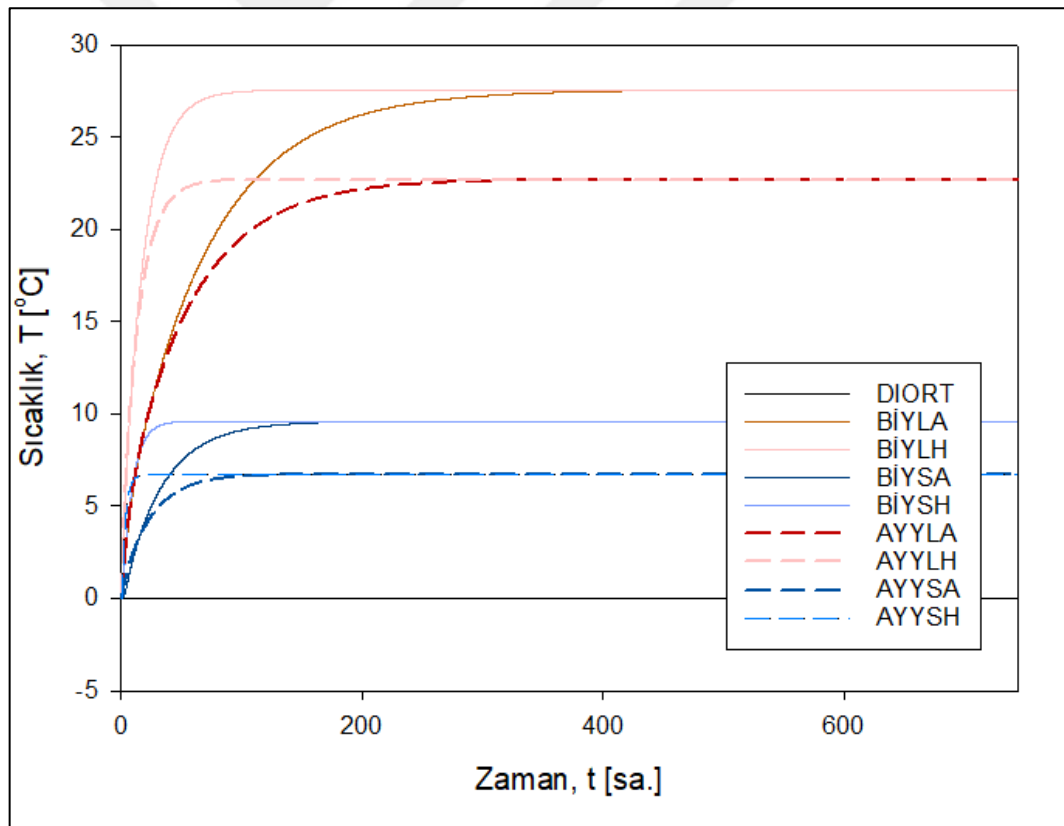
Durum	Bina	Dış ortam koşulu	Başlangıç koşulu
1	RB	Sabit dış ortam sıcaklığı, 0 °C	Soğuk bina
2	RB	Tanımlı dış ortam sıcaklığı, Denklem (17)	Soğuk bina
3	RB	Tanımlı dış ortam sıcaklığı, Denklem (17)	Sıcak bina
4	RB	Ankara 171280_IWEC İklim dosyası	Sıcak bina

3.1. Durum 1 Analizi

Durum 1’deki sekiz ayrı durum için bir ay boyunca (31gün = 744 saat) sıcaklık değişimleri Şekil 7’deki grafikte görülmektedir. Ortam sıcaklığının 0 °C’de sabit kaldığı ve binanın $t = 0$ anında soğuk bina olduğu kabul edilmiştir. Kararlı durumdaki sıcaklıklar üzerinden değerlendirme yapıldığında, yalıtımlı bina iç ortam sıcaklığının yalıtımsız binaya göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Kararlı durumdaki bitişik düzenlemede iç ortam sıcaklığının ayrık duruma göre daha yüksek olduğu (Bitişik-Yalıtımlı durumlarda 27,5 °C, Ayrık -Yalıtımlı durumlarda 22,7 °C; Bitişik-Yalıtımsız durumlarda 9,6 °C, Ayrık -Yalıtımsız durumlarda 6,7 °C) görülmektedir. Isıl kütlenin iç ortam sıcaklığı üzerinde kararlı durumlarda etkili olmadığı, ancak soğuk binanın kararlı duruma ulaşma süresine ısıl kütlenin etkili bir parametrenin olduğu görülmektedir. Isıl

kütlenin kararlı duruma gelme süresini uzattığı (Bitişik-Yalıtımlı-Ağır durumda 574.saatte, Bitişik-Yalıtımlı-Hafif durumda 154.saatte; Bitişik -Yalıtımsız-Ağır durumda 262.saatte, Bitişik- Yalıtımsız- Hafif durumda 72.saatte) görülür. Düzenlemenin kararlı duruma ulaşma süresi üzerine olan etkisine gelince, ayırık düzenlemede kararlı duruma ulaşmanın daha erken olduğu (Bitişik-Yalıtımlı-Ağır durumda 574.saatte, Ayırık-Yalıtımlı-Ağır durumda 444.saatte, Bitişik-Yalıtımsız-Ağır durumda 262.saatte, Ayırık-Yalıtımsız -Ağır durumda 149.saatte) görülür.

Soğuk durumdaki referans bina analizinden şu sonuçlara varılır: Yalıtımlı bina iç ortam sıcaklığı yalıtımsız bina iç ortam sıcaklığından; bitişik düzenlemedeki iç ortam sıcaklığı ayırık düzenlemedeki iç ortam sıcaklığından daha yüksek olmaktadır. Soğuk binanın kararlı duruma gelme süresi hafif ısıl kütleli binada ağır ısıl kütleli binaya göre; ayırık düzendeki binada bitişik düzendeki binaya göre daha erken gerçekleşmektedir.



Şekil 7. Durum 1 için farklı geometrik ve ısıl koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi

3.2. Durum 2 Analizi

Durum 2'deki sekiz durum için bir ay boyunca sıcaklık değişimleri Şekil 8'deki grafikte görülmektedir. Söz konusu olan RB için önceki fiziksel özellikleri aynı kalmakta olup dış ortam sıcaklığı değişken (sinüzoidal) sıcaklık olarak Denklem (17)'de verilmektedir [24].

$$T_{so} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} + \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{P}t - \frac{\pi}{2}\right) + T_{so} \quad (17)$$

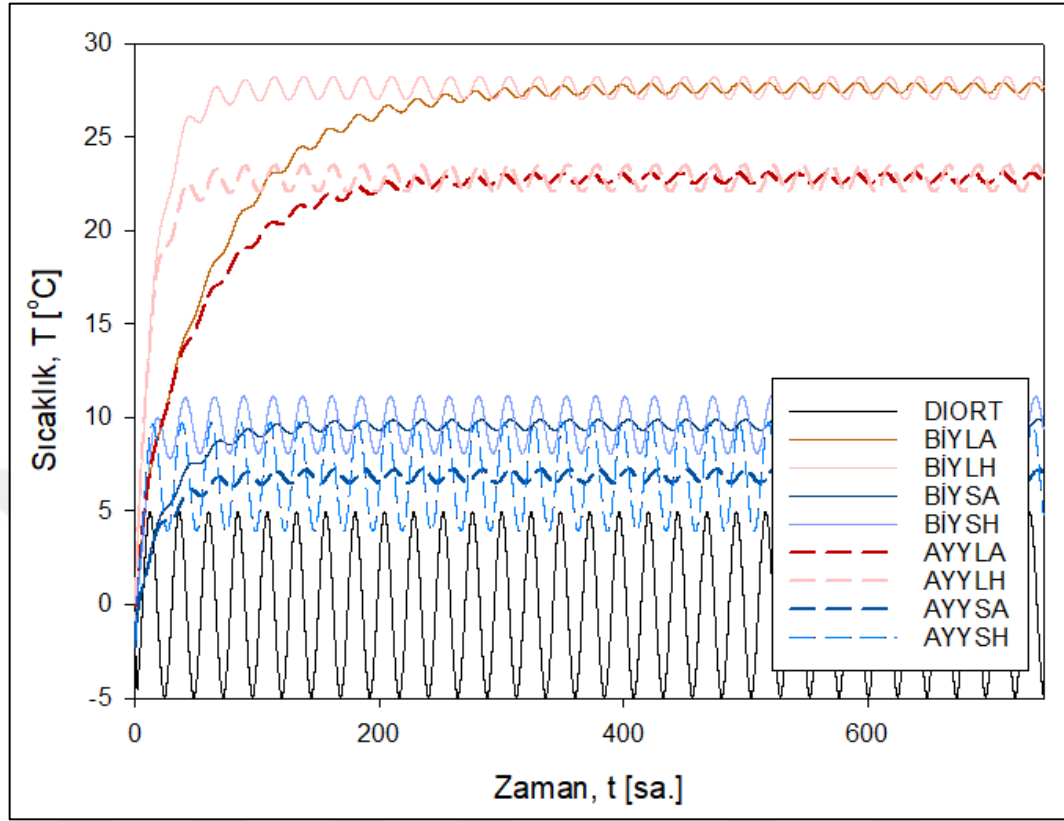
Burada T_{max} ve T_{min} gün içindeki en yüksek ve en düşük sıcaklıkları tanımlamaktadır. P ise 24 saatlik periyot ve t ise saniye cinsinden zamanı göstermektedir.

Ortam sıcaklığının sinüzoidal olarak $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $+4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında değiştiği binanın $t = 0$ anında soğuk bina olduğu kabul edilmiştir. Kararlı durumdaki sıcaklıklar üzerinden değerlendirme yapıldığında, yalıtımlı bina iç ortam sıcaklığının yalıtımsız binaya göre daha yüksek olduğu burada da görülmektedir. Kararlı durumdaki bitişik düzenlemede iç ortam sıcaklığının ayrık duruma göre yaklaşık $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha yüksek olduğu görülmektedir. Bitişik düzenlemede iç ortam sıcaklık farkının (genliğinin) ayrık duruma göre daha iyi sönümlendiği ve özellikle hafif ısıl kütleli binada bu sıcaklık farklarının daha önemli olduğu (Bitişik-Yalıtımlı-Hafif Kütleli durumlarda $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ayrık -Yalıtımlı-Hafif Kütleli durumlarda $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; Bitişik-Yalıtımsız-Hafif Kütleli durumlarda $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ayrık-Yalıtımsız-Hafif Kütleli durumlarda $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) görülmektedir.

Durum 2 bulgularının analizinden şu sonuçlara varılır: Yalıtımlı bina iç ortam sıcaklığı değişimi (genliği) yalıtımsız bina iç ortam sıcaklığı değişiminden; bitişik düzenlemedeki iç ortam sıcaklık değişimi ayrık düzenlemedeki iç ortam sıcaklık değişiminden daha düşüktür. Soğuk binadaki iç ortam sıcaklık dalgalanmaları hafif ısıl kütleli binada ağır ısıl kütleli binaya göre; ayrık düzendeki binada bitişik düzendeki binaya göre daha geniş bir genlikte gerçekleşmektedir.

Bitişik düzenlemede iç sıcaklık genliğinin ayrık düzenlemeye göre daha düşük çıkması Bagheri [12]'nin analiz sonuçları ile de uyumlu çıkmaktadır. İlgili çalışmada, tek katlı örnek ofis binasının ayrık ve bitişik düzenlemede bina ısıl performansının incelenmesi

sonucunda bitişik düzenlemedeki iç ortam sıcaklık dalgalanmasının daha düşük olduğunu sonucuna varılmıştı.



Şekil 8. Durum 2 için farklı geometrik ve ısıll koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi

3.3. Durum 3 Analizi

Durum 3'te, Durum 2'deki RB'nın sıcak bina koşullarındaki davranışı analiz edilmiştir.

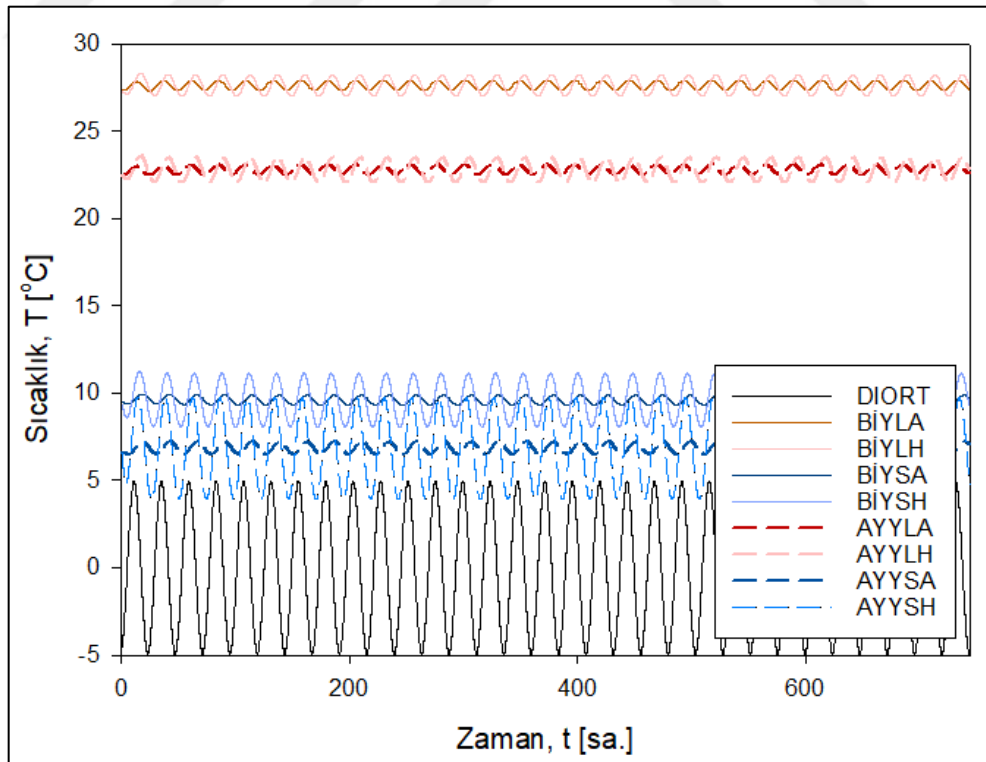
Sıcak bina iç ortam sıcaklıkları başlangıç değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Bu sıcaklıklar, BİYLA ve BİYLH için 27,3 °C, BİYSA ve BİYSH için 9,5 °C, AYYLA ve AYYLH için 22,5 °C, AYYSA ve AYYSH için sırasıyla 6,6 °C ve 6,5 °C şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 4. Sıcak Bina İç Ortam Sıcaklığı Kararlı Durum Değerleri

BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
27,3 °C	27,3 °C	9,5 °C	9,5 °C	22,5 °C	22,5 °C	6,6 °C	6,5 °C

Durum 3'teki 8 durum için bir ay boyunca sıcaklık değişimleri Şekil 9'daki grafikte görülmektedir. Kararlı durumdaki sıcaklıklar üzerinden değerlendirme yapıldığında, yalıtımlı bina iç ortam sıcaklığının yalıtımsız binaya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kararlı durumdaki bitişik düzenlemede iç ortam sıcaklığının ayırık duruma göre yaklaşık 5 °C daha yüksek olduğu görülmektedir. Bitişik düzenlemede iç ortam sıcaklık farkının (genliğinin) ayırık duruma göre daha iyi sönümlendiği ve özellikle hafif ısıl kütleli binada bu sıcaklık farklarının daha önemli olduğu (BİYLH durumlarda 1,2 °C, AYYLH durumlarda 1,4 °C; BİYSH durumlarda 3,0 °C, AYYSH durumlarda 5,8 °C) görülmektedir.

Durum 3 bulgularının analizinden şu sonuçlara varılır: Yalıtımlı bina iç ortam sıcaklığı genliği değişimi yalıtımsız bina iç ortam sıcaklığı genliği değişiminden ve bitişik düzenlemedeki iç ortam sıcaklık genlik değişimi ayırık düzenlemedeki iç ortam sıcaklık genlik değişiminden daha düşüktür. Sıcak binadaki iç ortam sıcaklık dalgalanmaları hafif ısıl kütleli binada ağır ısıl kütleli binaya göre ve ayırık düzendeki binada bitişik düzendeki binaya göre daha geniş bir genlikte gerçekleşmektedir.



Şekil 9. Durum 3 için farklı geometrik ve ısıl koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi

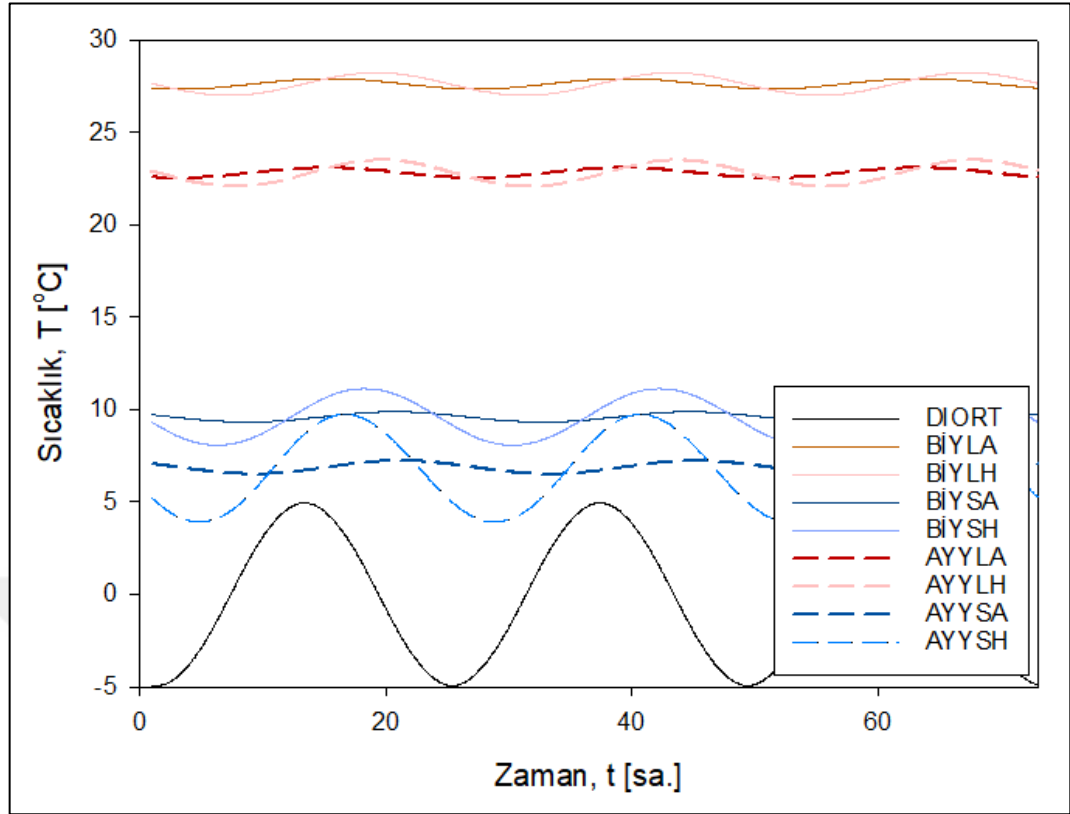
3.3.1. Durum-3 Zaman Gecikmesi ve Sönüm Oranı İncelemesi

Bölüm 1.7’de tanımları verilen zaman gecikmesi ve sönüm oranının bina ısı analizinde kullanılan iki önemli parametre olduğu belirtilmişti. Bu parametreler sıcaklığa bağlı oldukları için duvar malzemesinin termofiziksel özellikleri, duvar kalınlığı ve bina düzenlemesi gibi faktörlerden dolayı olarak etkilenmektedir. Bu etkilerin daha anlaşılır biçimde ifade edilmesi amacıyla Durum-3 için 72 saatlik süreyi kapsayan kararlı durum analizinde sekiz ayrı durum için sönüm oranı ve zaman gecikmesi değerleri Tablo 5’te listelenmiştir.

Tablo 5. Durum 3 için farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum, sönüm oranı ve zaman gecikmesi değerleri

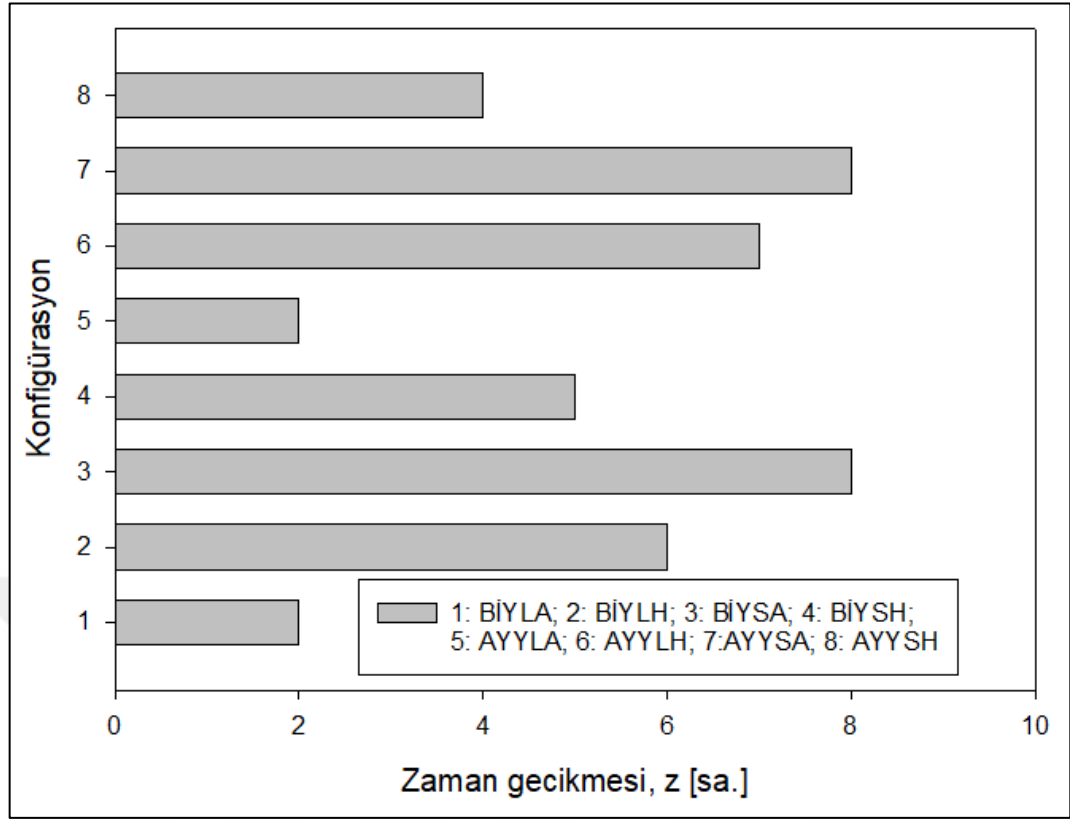
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYY
$T_{i,max}$ (°C)	27,3	27,0	9,3	8,1	22,5	22,0	6,5	3,9
$T_{i,min}$ (°C)	27,9	28,2	9,9	11,1	23,0	23,5	7,2	9,7
Ort. (°C)	27,7	27,6	9,6	9,6	22,8	22,8	6,8	6,8
Sönüm O.	0,06	0,12	0,06	0,31	0,06	0,15	0,07	0,59
Zaman G.	2,00	6,00	8,00	5,00	2,00	7,00	8,00	4,00

Bu iki parametrenin daha iyi izlenebilmesi için iç ortam sıcaklıklarının değişimi Durum-3 için 72 saatlik bir zaman için Şekil 10’daki grafikte verilmiştir. Grafikte görüleceği gibi, yalıtımlı binada zaman gecikmesi yalıtımsız binaya göre ısı kütlesi özelliğine de bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yalıtımlı ağır kütleli binada zaman gecikmesi yalıtımlı hafif kütleli binaya göre daha kısa olmakta iken, yalıtımsız ağır kütleli binada zaman gecikmesi yalıtımsız hafif kütleli binaya göre daha uzun süre olmaktadır.



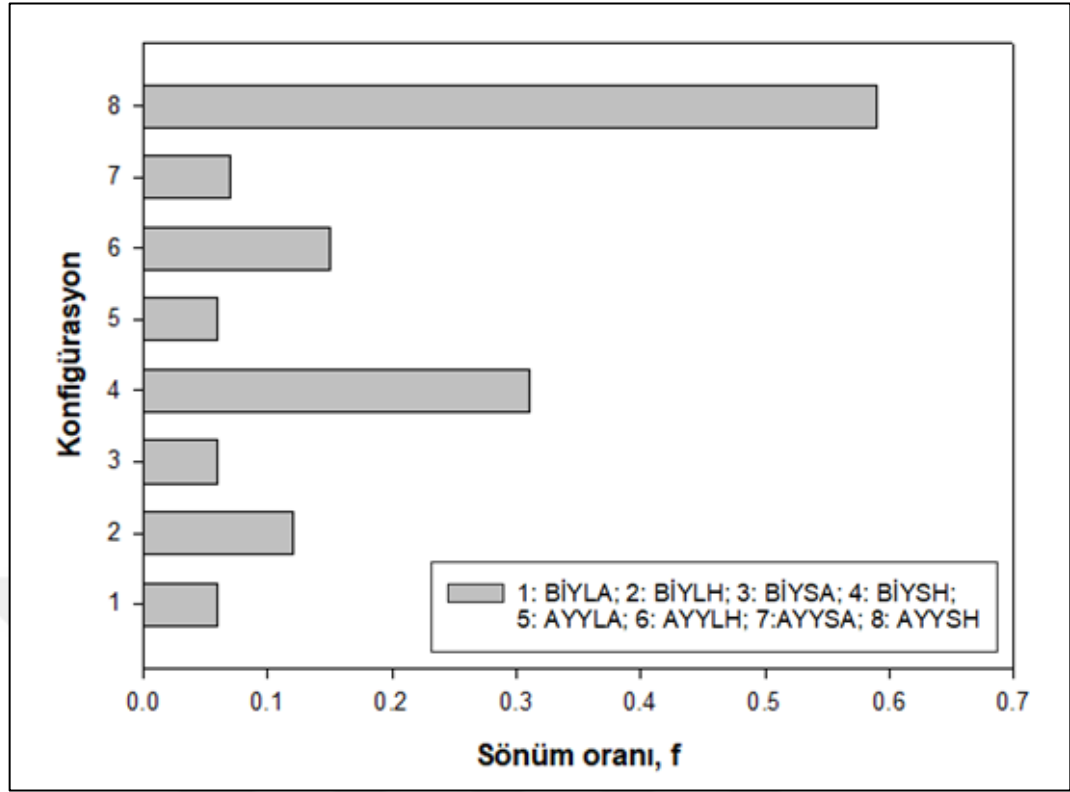
Şekil 10. Durum 3 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısıl koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi

Durum 3 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısıl koşullarda zaman gecikmesi değerleri Şekil 11'deki grafikte görülmektedir. Burada görüldüğü gibi, düzenlemenin (Ayrık-Bitişik Nizam) binanın zaman gecikmesi üzerine etkisi ise binanın yalıtımlı ve yalıtımsız olmasına ek olarak hafif ısıl kütleyle sahip binada daha önemli bir rol oynamaktadır. BİYLH durumda zaman gecikmesi AYYLH duruma göre 1 saat daha kısa olmakta iken, BİYSH durumda zaman gecikmesi AYYSH duruma göre daha 1 saat kadar daha uzun sürede gerçekleşmektedir.



Şekil 11. Durum 3 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarda zaman gecikmesi değişimi

Durum 3 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarda sönüm oranı değerleri Şekil 12'deki grafikte görülmektedir. Burada, durum 3 için sönüm oranı etkisi binanın yalıtımlı ve yalıtımsız olmasından öte olarak önemli ölçüde ısı kütlesi özelliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yalıtımlı ağır kütleli binada sönüm oranı yalıtımsız ağır kütleli binaya göre önemli ölçüde değişmemekte iken, yalıtımlı hafif kütleli binada sönüm oranı yalıtımsız hafif kütleli binaya göre daha düşük olmaktadır. Düzenlemenin (Ayrık-Bitişik Nizam) binanın sönüm oranı üzerine etkisi ise hafif ısı kütleye sahip binada daha önemli bir rol oynamaktadır. BİYSH durumunda sönüm oranı AYYSH duruma göre daha düşük olmaktadır.



Şekil 12. Durum 3 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarda sönüm oranı değişimi

3.4. Durum 4 Analizi

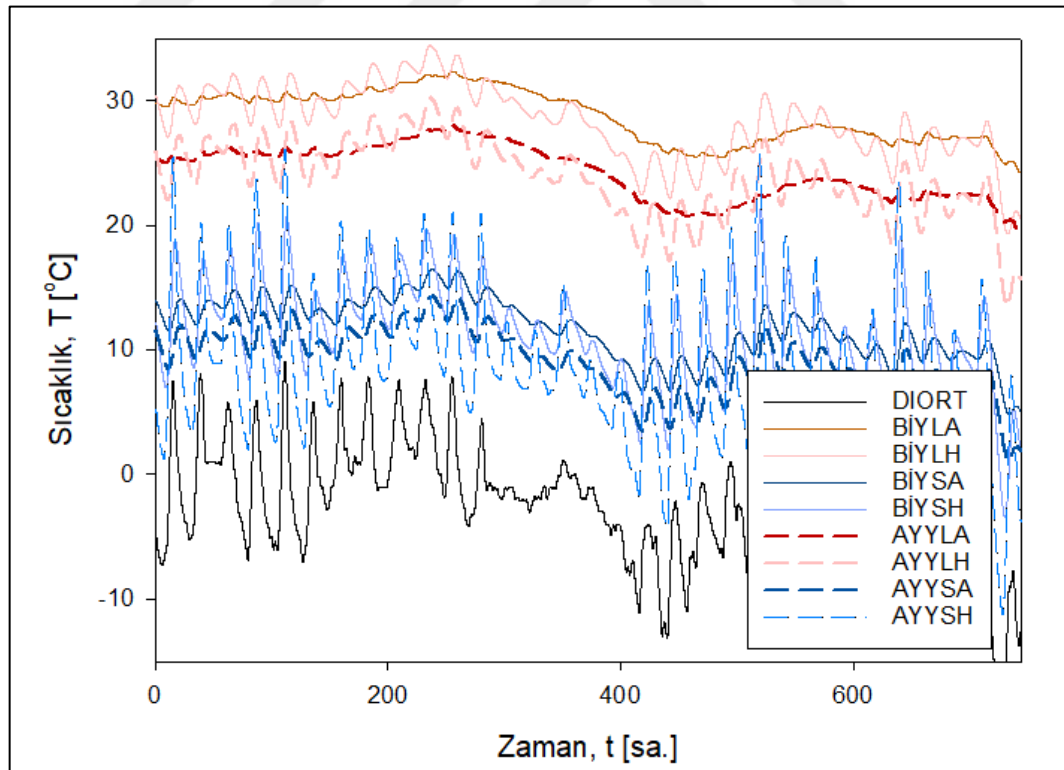
Durum 4'te, Durum 2'deki RB'nın sıcak başlangıç koşullarındaki ($t = 0$) davranışı Ankara için hazırlanmış TUR_Ankara.171280_IWEC [25] iklim dosyası içeriğindeki 1975-2010 yılları Ocak ayı için 744 saatlik ortalama sıcaklık değerleri kullanarak analiz edilmiştir. Sıcak bina için iç ortam sıcaklığı başlangıç değerleri, değişken dış ortam sıcaklığı nedeniyle kararlı durum ortalama sıcaklığında olduğu kabul edilerek her bir durum özelinde hesaplanmış ve Tablo 6'da listelenmiştir.

Tablo 6. Durum-4 Sıcak Bina İç Ortam Sıcaklığı Başlangıç Durum Değerleri

BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
29,8 °C	30,3 °C	13,9 °C	12,2 °C	25,3 °C	25,9 °C	11,5 °C	5,2 °C

Durum 4 için sekiz ayrı bina düzenlemesinde bir ay boyunca değişken dış hava koşullarında sıcaklık değişimleri Şekil 13'teki grafikte görülmektedir. 31 gün (744 saatlik) sıcaklıklar üzerinden değerlendirme yapıldığında, yalıtımlı bina iç ortam sıcaklığının yalıtımsız binaya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bitişik düzenlemede değişken dış hava koşullarına göre iç ortam sıcaklık farkının (genliğinin) ayrık duruma göre daha iyi sönümlendiği ve özellikle hafif ısıl kütleli binada bu sıcaklık farklarının daha önemli olduğu (BİYLH durumda 5,8 °C, AYYLH durumda 6,5 °C; BİYSH durumda 16,1 °C, AYYSH durumda 24,2 °C) görülmektedir.

Durum 4 bulgularının analizinden şu sonuçlara varılır: Yalıtımlı bina iç ortam sıcaklığı genliği değişimi yalıtımsız bina iç ortam sıcaklığı genliği değişiminden ve bitişik düzenlemedeki iç ortam sıcaklık genlik değişimi ayrık düzenlemedeki iç ortam sıcaklık genlik değişiminden daha düşüktür. Sıcak binadaki iç ortam sıcaklık dalgalanmaları hafif ısıl kütleli binada ağır ısıl kütleli binaya göre ve ayrık düzendeki binada bitişik düzendeki binaya göre daha geniş bir genlikte gerçekleşmektedir.



Şekil 13. Durum 4 için farklı geometrik ve ısıl koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi

Tablo 7’de Durum 4 için her bir durum özelinde hesaplanan minimum, maksimum ve ortalama iç ortam sıcaklık değerleri özetlenmiştir. Buradan hareket ile değişken dış ortam sıcaklığı koşullarında iç ortam sıcaklık farkının en iyi BİYLEA durumunda sönümlendiği görülmekte ve özellikle hafif ısıtılabilir binalarda bu farkların daha geniş bir aralıkta gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 7. Durum 4 için farklı geometrik ve ısıtılabilir koşullarda 744 saatlik iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum ve ortalama değerleri

	BİYLEA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
T _{i,min.}	24,2	19,3	4,8	-3,5	19,3	13,6	1,2	-11,2
T _{i,maks.}	32,3	32,2	16,5	21,3	28,0	30,2	14,3	26,0
Ort.	29,8	30,3	13,9	12,2	25,3	25,9	11,5	5,2

3.4.1. Durum-4 İçin Zaman Gecikmesi ve Sönüm Oranının İki Farklı Zaman Dilimi İçin İncelenmesi

Daha önceki bölümlerde tanımlı değişken dış ortam sıcaklığı altındaki Durum-3 için incelenen zaman gecikmesi ve sönüm oranı bu bölümde gerçek dış ortam sıcaklığı altında Durum 4 özelinde iki farklı 72 saatlik zaman dilimi için durum analizi gerçekleştirilerek farklı dış duvar özellikleri ve bina düzenlenmesinin etkisi detaylı incelenmiştir.

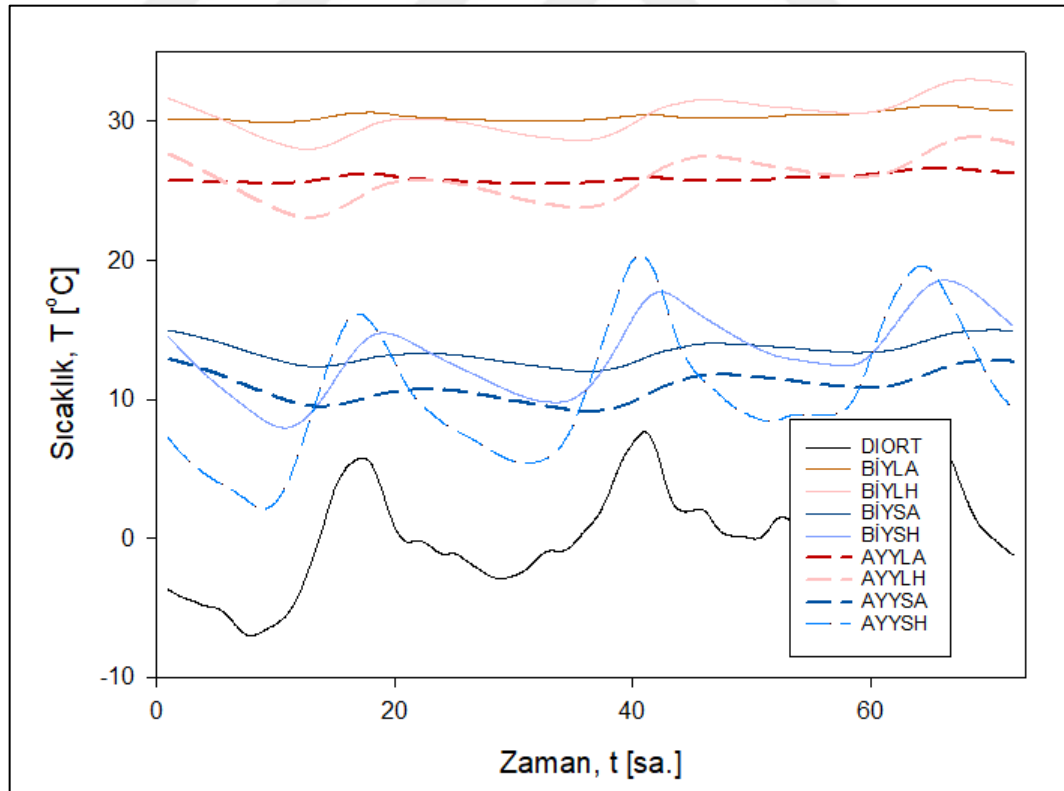
3.4.2. Durum-4 İçin Zaman Gecikmesi ve Sönüm Oranı İncelemesi-1

Durum-4 için ilk olarak incelenen 72 saatlik zaman dilimi 120.saat ile 192.saat aralığı olarak belirlenerek sekiz ayrı durum için sönüm oranı ve zaman gecikmesi değerleri Tablo 8’de listelenmiş ve detaylı analizi aşağıda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 8. Durum 4 için farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum, sönüm oranı ve zaman gecikmesi değerleri

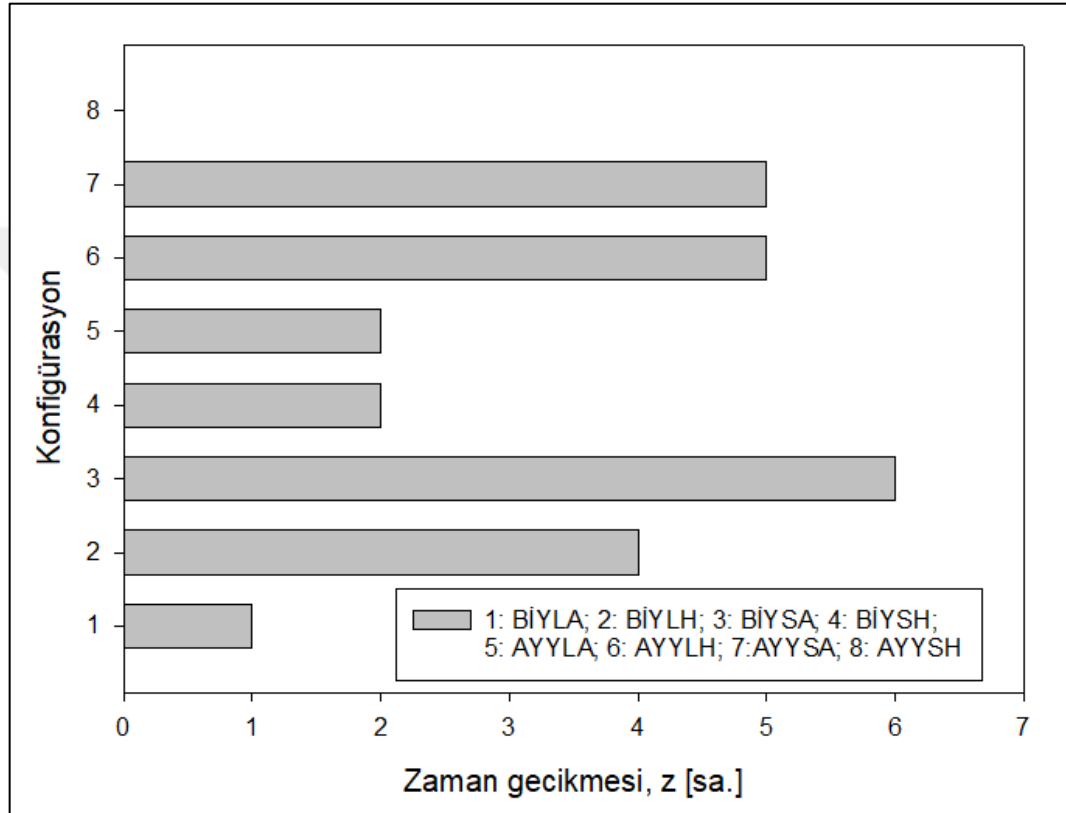
	BİYLE	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
$T_{i,max.} (^{\circ}C)$	30,0	28,0	12,0	8,0	25,5	23,1	9,1	2,1
$T_{i,min.} (^{\circ}C)$	31,1	33,0	15,0	18,6	26,6	28,8	12,8	20,2
Ortalama ($^{\circ}C$)	30,4	30,3	13,4	13,3	25,9	25,8	10,8	10,6
Sönüm oranı, f	0,08	0,34	0,20	0,71	0,08	0,39	0,25	1,22
Zaman Gecikmesi, z (s)	1,00	4,00	6,00	2,00	2,00	5,00	5,00	0,00

Durum 4 için 72 saatlik ilk zaman dilimi Şekil 14'teki grafikte verilmiştir. Grafikte görüleceği gibi, yalıtımlı binada zaman gecikmesi yalıtımsız binaya göre ısı kütlesi özelliğine de bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yalıtımlı ağır kütleli binada zaman gecikmesi yalıtımlı hafif kütleli binaya göre daha kısa olmakta iken, yalıtımsız ağır kütleli binada zaman gecikmesi yalıtımsız hafif kütleli binaya göre daha uzun süre olmaktadır. Ek olarak, AYYSH durumunda zaman gecikmesi etkisi görülmemektedir.



Şekil 14. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi

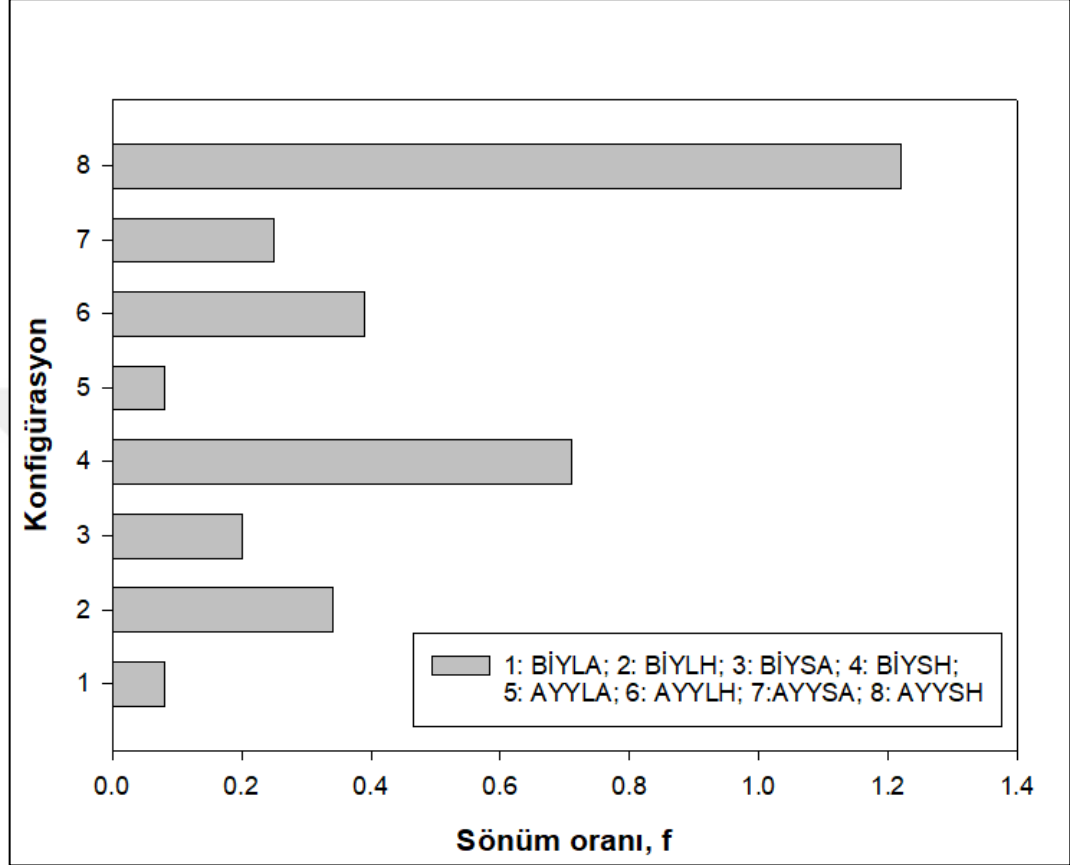
Durum 4 için 72 saatlik ilk zaman dilimi iç ortam sıcaklığı için zaman gecikmesi Şekil 15’te verilerek, analizden şu sonuçlara varılır: Düzenlemenin (Ayrık-Bitişik Nizam) binanın zaman gecikmesi üzerine etkisi ise BİYLA durumda zaman gecikmesi AYYLA duruma göre 1 saat daha kısa olmakta iken, BİYSH durumda zaman gecikmesi AYYSH duruma göre 2 saat kadar daha uzun sürede gerçekleşmektedir.



Şekil 15. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarda zaman gecikmesi değişimi

Durum 4 için 72 saatlik ilk zaman dilimi iç ortam sıcaklığı sönüm oranı Şekil 16’da verilerek, analizden şu sonuçlara varılır: Durum 4 için sönüm oranı etkisi binanın yalıtımlı ve yalıtımsız olmasından öte olarak önemli ölçüde ısı kütlesi özelliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yalıtımlı ağır kütleli binada sönüm oranı yalıtımsız ağır kütleli binaya göre daha düşük olmakta iken, yalıtımlı hafif kütleli binada sönüm oranı yalıtımsız hafif kütleli binaya göre çok daha düşük olmaktadır. Düzenlemenin (Ayrık-Bitişik Nizam) binanın sönüm oranı üzerine etkisi ise hafif ısı kütleye sahip binada daha önemli bir rol

oynamaktadır. BİYSH durumda sönüm oranı AYYSH duruma göre daha düşük olmaktadır.



Şekil 16. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarda sönüm oranı değişimi

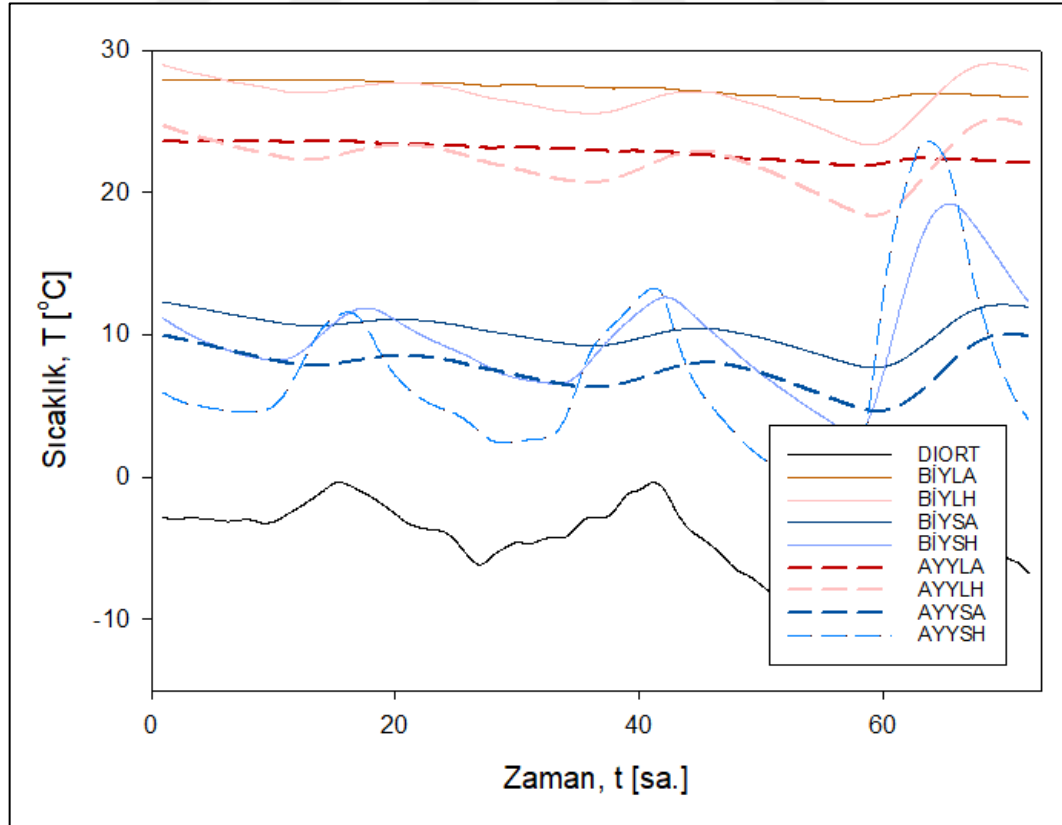
3.4.3. Durum-4 İçin Zaman Gecikmesi ve Sönüm Oranı İncelemesi-2

Durum-4 için ikinci olarak incelenen 72 saatlik zaman dilimi 576.saat ile 648.saat aralığı olarak belirlenerek sekiz ayrı durum için sönüm oranı ve zaman gecikmesi değerleri Tablo 9’da listelenmiş ve detaylı analizi aşağıda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 9. Durum 4 için farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığı için maksimum, minimum, sönüm oranı ve zaman gecikmesi değerleri

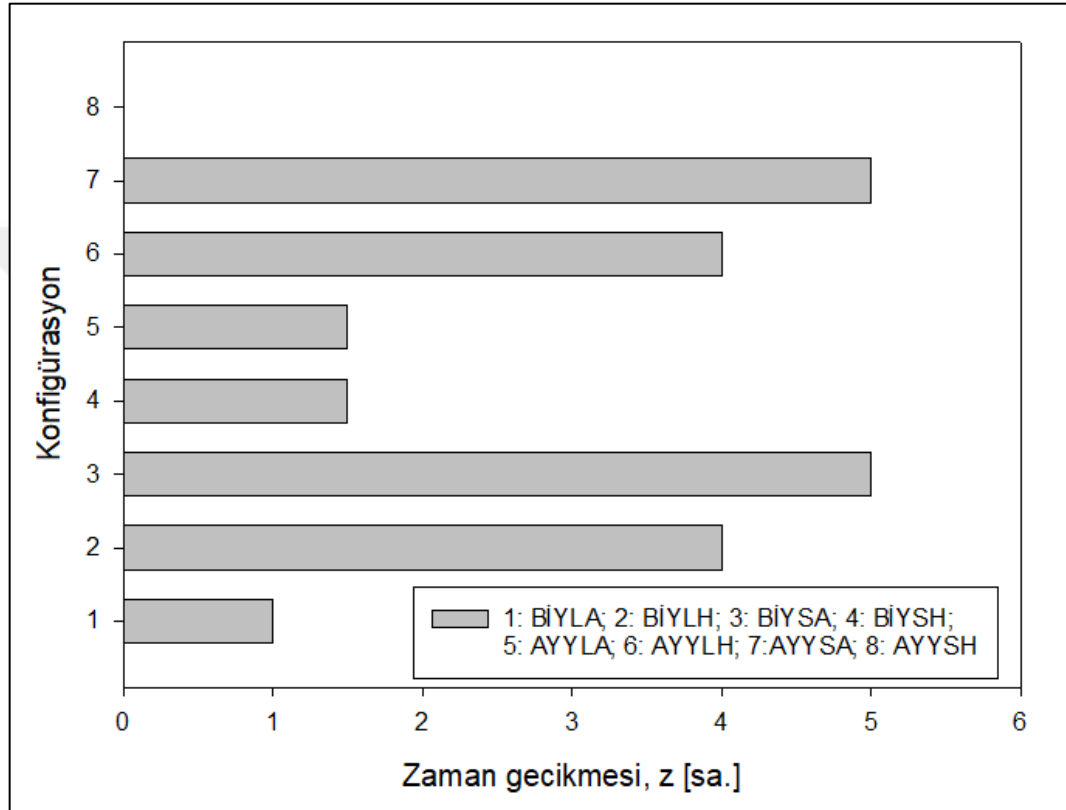
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
$T_{i,max.} (^{\circ}C)$	26,3	23,3	7,7	3,1	21,8	18,3	4,6	-2,6
$T_{i,min.} (^{\circ}C)$	27,9	29,1	12,1	19,1	23,6	25,1	10,0	23,5
Ortalama ($^{\circ}C$)	27,3	26,6	10,2	9,7	22,8	22,0	7,5	7,0
Sönüm oranı, f	0,12	0,44	0,34	1,23	0,14	0,52	0,41	2,01
Zaman Gecikmesi, z (s)	1,00	4,00	5,00	1,50	1,50	4,00	5,00	0,00

Durum 4 için 72 saatlik ikinci zaman dilimi Şekil 17'deki grafikte verilmiştir: Yalıtımlı binada zaman gecikmesi yalıtımsız binaya göre ısı kütle özelliğine de bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yalıtımlı ağır kütleli binada zaman gecikmesi yalıtımlı hafif kütleli binaya göre daha kısa olmakta iken, yalıtımsız ağır kütleli binada zaman gecikmesi yalıtımsız hafif kütleli binaya göre daha uzun süre olmaktadır. Ayrıca, AYYSH durumunda zaman gecikmesi etkisi görülmemektedir.



Şekil 17. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi

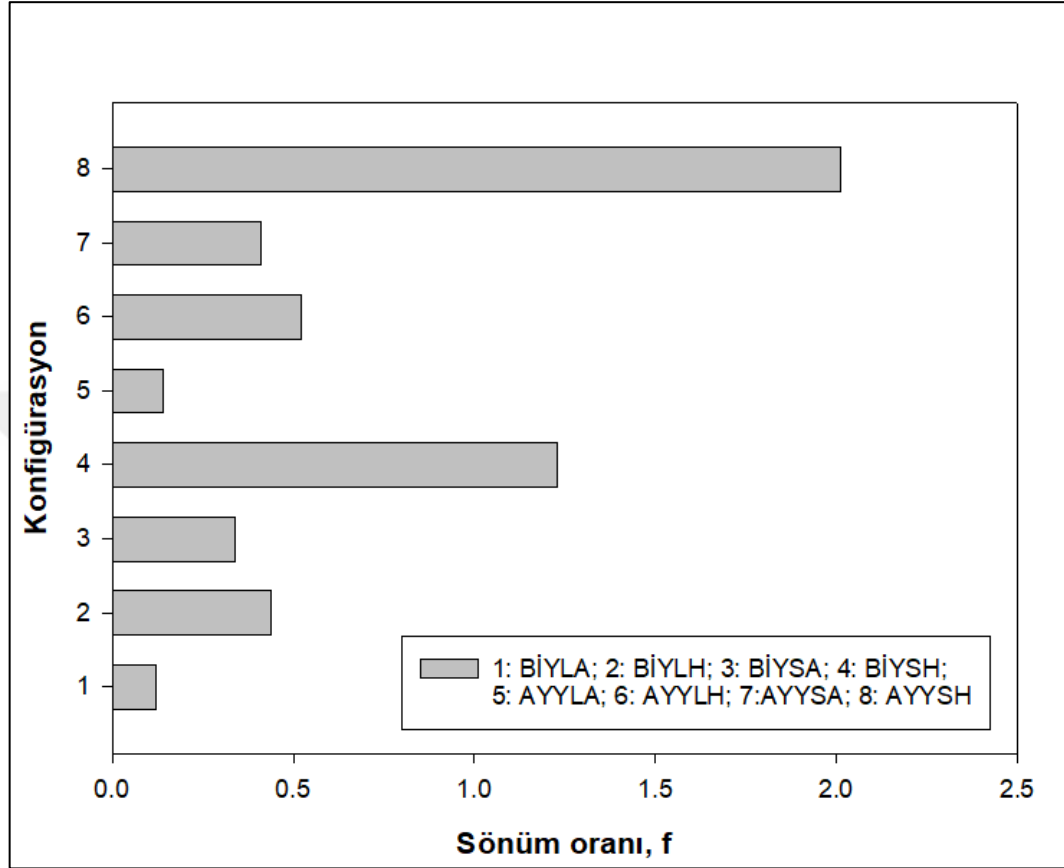
Durum 4 için 72 saatlik ikinci zaman dilimi iç ortam sıcaklığı için zaman gecikmesi Şekil 18’de verilerek, analizden şu sonuçlara varılır: Düzenlemenin (Ayrık-Bitişik Nizam) binanın zaman gecikmesi üzerine etkisi ise BİYLA durumda zaman gecikmesi AYYLA duruma göre 0,5 saat daha kısa olmakta iken, BİYSH durumda zaman gecikmesi AYYSH duruma göre daha 1,5 saat kadar daha uzun sürede gerçekleşmektedir.



Şekil 18. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısı koşullarda zaman gecikmesi değişimi

Durum-4 için 72 saatlik ikinci zaman dilimi iç ortam sıcaklığı sönüm oranı Şekil 19’da verilerek analizden şu sonuçlara varılır: Durum 4 için sönüm oranı etkisi binanın yalıtımlı ve yalıtımsız olmasından öte olarak önemli ölçüde ısı kütlesi özelliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yalıtımlı ağır kütleli binada sönüm oranı yalıtımsız ağır kütleli binaya göre daha düşük olmakta iken, yalıtımlı hafif kütleli binada sönüm oranı yalıtımsız hafif kütleli binaya göre çok daha düşük olmaktadır. Düzenlemenin (Ayrık-Bitişik Nizam) binanın sönüm oranı üzerine etkisi ise hafif ısı kütleye sahip binada daha

önemli bir rol oynamaktadır. BİYSH durumda sönüm oranı AYYSH duruma göre daha düşük olmaktadır.



Şekil 19. Durum 4 için 72 saatlik sürede farklı geometrik ve ısıl koşullarda sönüm oranı değişimi

Yukarıda incelediğimiz dört durumun ısı enerji ihtiyaçlarının incelenmesi için $q = \Delta T/R = (T_i - T_o)/R$ genel denkleminde öngörülen ortalama iç ortam sıcaklığının her bir durum özelinde $T_i = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ 'yi sağlaması için daha önceki kararlı durum sıcaklıkları göz önünde bulundurularak referans bina için belirlenen 3000 W ısı kaynağı gücü, kararlı durum sıcaklığının $22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altında kalan durum ve düzenlemeler için kademeli olarak artırılmış, kararlı durum sıcaklığının $22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üstünde olan durum ve düzenlemeler için ise kademeli olarak azaltılarak dört durumun her bir düzenlemesi için Tablo 10'da verilen q kaynak değerleri belirlenmiştir.

Tablo 10. Durumlar ve Farklı Düzenlemeler için Isı Kaynağı Gücünün Belirlenmesi Tablosu

	Durum-1							
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
İç Ortam Denge Sıcaklığı (°C)	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
Qkaynak Gücü (W)	2635,0	2635,0	6450,0	6450,0	3140,0	3140,0	8200,0	8200,0
	Durum-2							
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
İç Ortam Kararlı Durum Ort. Sıcaklığı (°C)	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
Qkaynak Gücü (W)	2625,0	2625,0	6450,0	6450,0	3130,0	3130,0	8200,0	8200,0
	Durum-3							
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
İç Ortam Kararlı Durum Ort. Sıcaklığı (°C)	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
Qkaynak Gücü (W)	2620,0	2620,0	6450,0	6450,0	3130,0	3130,0	8200,0	8200,0
	Durum-4							
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
İç Ortam 744 saatlik Ort. Sıcaklığı(°C)	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8
Qkaynak Gücü (W)	2490,0	2530,0	6100,0	6200,0	2950,0	3000,0	7750,0	7920,0

Tablo 11’de belirlenen yeni ısı kaynağı güç değerleri ile her bir dört durum için sayısal analizler bu kısımda tekrar edilmiştir.

Tablo 11. Düzeltilmiş Durumlar için Isı Kaynağı Gücü Tablosu

	Düzeltilmiş Durum-1							
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
Qkaynak Gücü (W)	2635,0	2635,0	6450,0	6450,0	3140,0	3140,0	8200,0	8200,0
	Düzeltilmiş Durum-2							
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
Qkaynak Gücü (W)	2625,0	2625,0	6450,0	6450,0	3130,0	3130,0	8200,0	8200,0
	Düzeltilmiş Durum-3							
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
Qkaynak Gücü (W)	2620,0	2620,0	6450,0	6450,0	3130,0	3130,0	8200,0	8200,0
	Düzeltilmiş Durum-4							
	BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
Qkaynak Gücü (W)	2490,0	2530,0	6100,0	6200,0	2950,0	3000,0	7750,0	7920,0

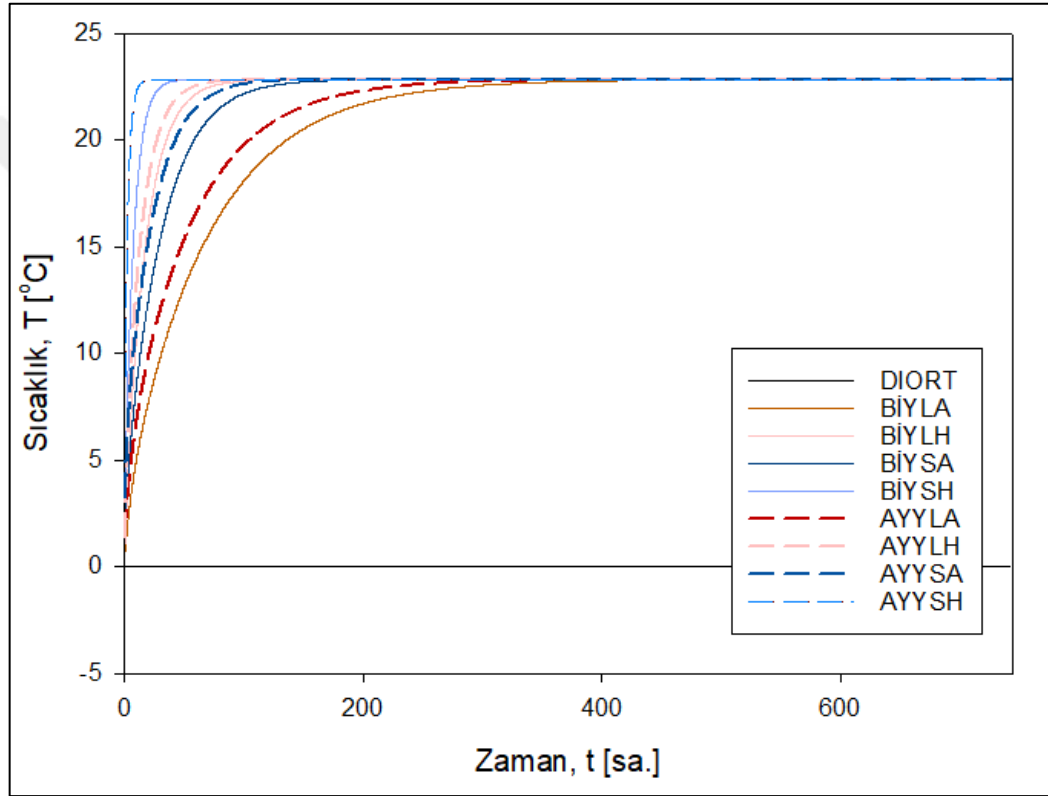
Tablo 11'deki düzeltilmiş durumlar için $T_i = 22,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki ısıl koşulu sağlayan yalıtımsız durum koşullarındaki ısı kaynağı gücünün yalıtımlı durumlardaki ısı kaynağı gücünden her bir durum için daha büyük kapasitede olduğu görülmektedir.

3.5. Düzeltilmiş Durum 1 Analizi

Düzeltilmiş durum 1'deki sekiz ayrı durum için bir ay boyunca (31gün = 744 saat) sıcaklık değişimleri Şekil 20'deki grafikte görülmektedir. Ortam sıcaklığının $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sabit kaldığı ve binanın $t = 0$ anında soğuk bina olduğu kabul edilmiştir. Tablo 11'de belirtilen farklı ısı kaynağı güçleri ile kararlı durum sıcaklığının her bir durum için $T_i = 22,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sağlandığı görülmektedir. Düzeltilmiş durum 1 için aynı ısı kaynağı gücüne sahip senaryolar için ısıl kütlenin kararlı duruma gelme süresini uzattığı (BİYLA 457.saatte, BİYLH 121.saatte, BİYSA 187.saatte, BİYSH 50.saatte) görülür. Buradan hareket ile soğuk binanın kararlı duruma ulaşma süresine ısıl kütlenin etkili bir parametrenin olduğu görülmektedir. Düzenlemenin kararlı duruma ulaşma süresi üzerine olan etkisine gelince, ayrı düzenlemelerin daha büyük ısı kaynağı kapasitesine sahip olmasına rağmen bitişik düzenlemeler ile yakın kararlı duruma ulaşma süresine sahip olduğu (BİYLA durumda

457.saatte, AYYLA durumunda 390.saatte, BİYSA durumunda 187.saatte, AYYSA durumunda 144.saatte) görülür.

Soğuk durumdaki düzeltilmiş durum 1 analizinden şu sonuçlara varılır: Aynı ısı kaynağı gücüne sahip durumlar için soğuk binanın kararlı duruma gelme süresi hafif ısıl kütleli binada ağır ısıl kütleli binaya göre çok daha erken ve daha büyük ısı kaynağı kapasitesi sahip ayrık düzendeki binada daha düşük ısı kaynağına sahip bitişik düzendeki binaya göre biraz daha erken gerçekleşmektedir.



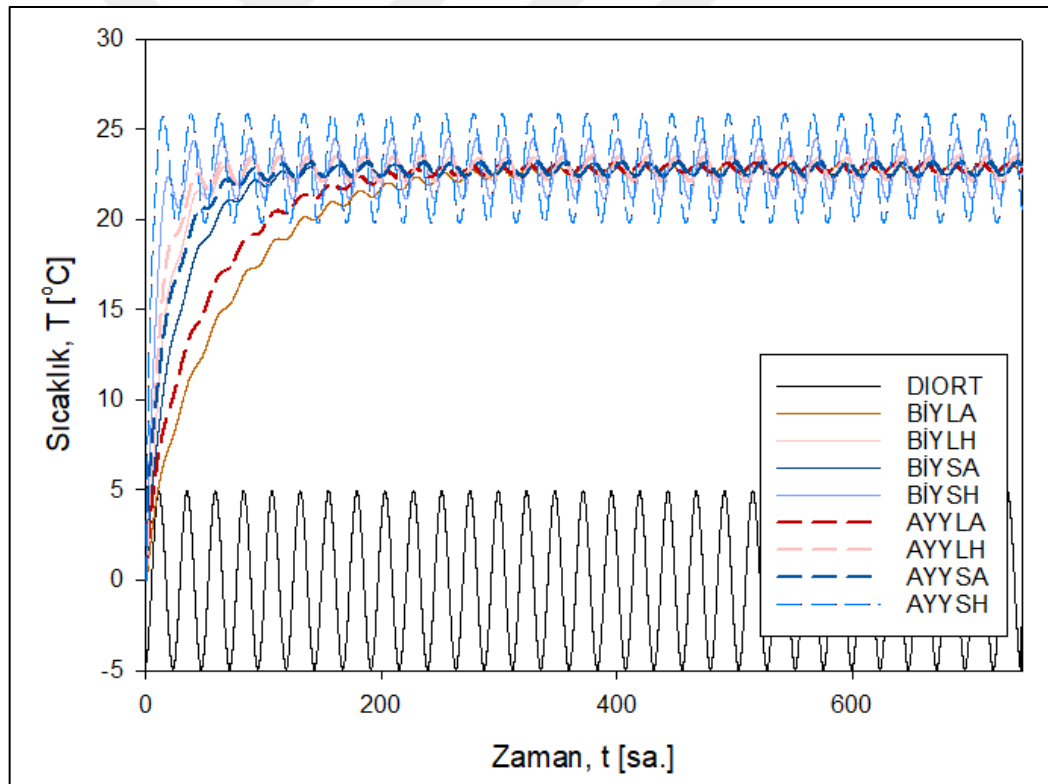
Şekil 20. Düzeltilmiş Durum 1 için farklı geometrik ve ısıl koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi

3.6. Düzeltilmiş Durum 2 Analizi

Düzeltilmiş durum 2'deki sekiz durum için bir ay boyunca sıcaklık değişimleri Şekil 21'deki grafikte görülmektedir. Ortam sıcaklığının sinüzoidal olarak $-4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $+4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında değiştiği binanın $t = 0$ anında soğuk bina olduğu kabul edilmiştir. Tablo 11'de belirtilen farklı ısı kaynağı güçleri ile kararlı durum ortalama sıcaklığının her bir durum

için $T_i = 22,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sağlandığı görülmektedir. Düzeltilmiş durum 2 için farklı ısı kaynağı gücüne sahip senaryolarda kararlı durum ortalama sıcaklıkları üzerinden değerlendirme yapıldığında bitişik düzenlemede iç ortam sıcaklık farkının (genliğinin) ayrık duruma göre daha iyi sönümlendiği ve özellikle hafif ısıl kütleli binada bu sıcaklık farklarının daha önemli olduğu (BİYLH durumlarda $1,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, AYYLH durumlarda $1,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, BİYSH durumlarda $3,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, AYYSH durumlarda $4,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$) görülmektedir.

Düzeltilmiş durum 2 bulgularının analizinden şu sonuçlara varılır: Daha büyük ısı kaynağı kapasitesine sahip ayrık düzenlemedeki iç ortam sıcaklık değişiminin daha düşük ısı kaynağı kapasitesine sahip bitişik düzenlemedeki iç ortam sıcaklık değişimi ile benzer olduğu görülmektedir. Soğuk binadaki iç ortam sıcaklık dalgalanmaları aynı ısı kaynağı gücüne sahip senaryolar için hafif ısıl kütleli binada ağır ısıl kütleli binaya göre daha geniş bir genlikte gerçekleşmektedir.



Şekil 21. Düzeltilmiş Durum 2 için farklı geometrik ve ısıl koşullarda iç ortam sıcaklığının değişimi

3.7. Düzeltilmiş Durum 3 Analizi

Düzeltilmiş durum 3'te, düzeltilmiş durum 2'deki RB'nın sıcak başlangıç koşullarındaki ($t = 0$) davranışı analiz edilmiştir.

Sıcak bina iç ortam sıcaklıkları kararlı durum değerleri Tablo 12'de verilmiştir. Bu sıcaklıklar, BİYLA, BİYLH, BİYSA, BİYSH, AYYLA, AYYLH, AYYSA ve AYYSH için 22,8 °C şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 12. Sıcak Bina İç Ortam Sıcaklığı Kararlı Durum Değerleri

BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C

Düzeltilmiş durum 3 için bir ay boyunca sıcaklık değişimleri Şekil 22'deki grafikte görülmektedir. Ortam sıcaklığının sinüzoidal olarak -4,9 °C ve +4,9 °C aralığında değiştiği binanın $t = 0$ anında sıcak bina olduğu kabul edilmiştir. Tablo 11'de belirtilen farklı ısı kaynağı güçleri ile kararlı durum ortalama sıcaklığının her bir durum için $T_i = 22,8$ °C'de sağlandığı görülmektedir. Düzeltilmiş Durum 3 senaryoları içinde farklı ısı kaynağı gücüne sahip senaryolar için kararlı durum ortalama sıcaklıkları üzerinden değerlendirme yapıldığında bitişik düzenlemede iç ortam sıcaklık farkının (genliğinin) ayrık duruma göre daha iyi sönümlendiği ve özellikle hafif ısıl kütleli binada bu sıcaklık farklarının daha önemli olduğu (BİYLH durumlarda 1,2 °C, AYYLH durumlarda 1,4 °C; BİYSH durumlarda 3,3 °C, AYYSH durumlarda 6,0 °C) görülmektedir.

Düzeltilmiş durum 3 bulgularının analizinden şu sonuçlara varılır: Daha büyük ısı kaynağı kapasitesine sahip ayrık düzenlemedeki iç ortam sıcaklık değişiminin daha düşük ısı kaynağı kapasitesine sahip bitişik düzenlemedeki iç ortam sıcaklık değişimi ile benzer olduğu görülmektedir. Sıcak binadaki iç ortam sıcaklık dalgalanmaları aynı ısı kaynağı gücüne sahip senaryolar için hafif ısıl kütleli binada ağır ısıl kütleli binaya göre daha geniş bir genlikte gerçekleşmektedir.

3.8. Düzeltilmiş Durum 4 Analizi

Düzeltilmiş durum 4'te, düzeltilmiş durum 2'deki RB'nın sıcak başlangıç koşullarındaki ($t = 0$) davranışı önceki bölümde açıklanan Ankara için hazırlanmış iklim dosyasına göre 744 saatlik ortalama sıcaklık değerleri kullanarak analiz edilmiştir. Sıcak bina için iç ortam sıcaklığı başlangıç değerleri, değişken dış ortam sıcaklığı nedeniyle kararlı durum ortalama sıcaklığında olduğu kabul edilerek Tablo 14'te listelenmiştir.

Tablo 14. Düzeltilmiş Durum 4 Sıcak Bina İç Ortam Sıcaklığı Başlangıç Durum Değerleri

BİYLA	BİYLH	BİYSA	BİYSH	AYYLA	AYYLH	AYYSA	AYYSH
22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C	22,8 °C

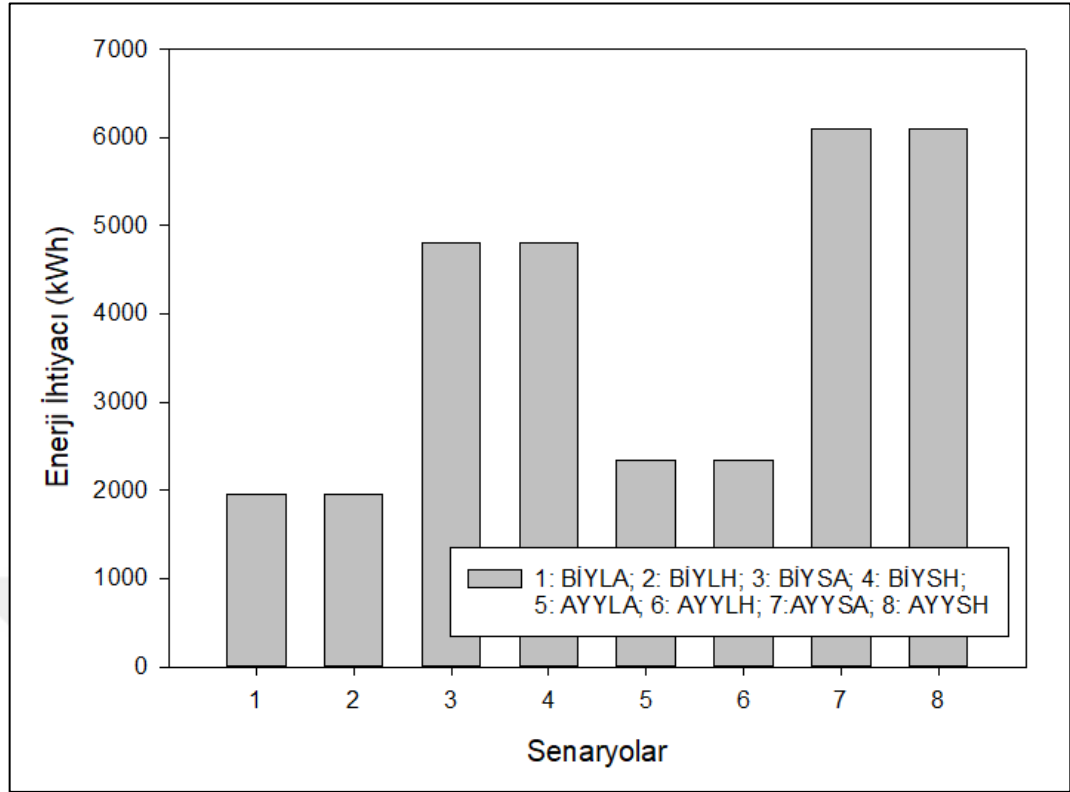
Düzeltilmiş durum 4'te sekiz ayrı durum için bir ay boyunca değişken dış hava koşullarında sıcaklık değişimleri Şekil 23'teki grafikte görülmektedir. Bitişik düzenlemede iç ortam sıcaklık farkının (genliğinin) ayrık duruma göre daha iyi sönümlendiği ve özellikle hafif ısıtılmalı binada bu sıcaklık farklarının daha önemli olduğu (BİYLH durumlarda 5,1 °C, AYYLH durumlarda 6,5 °C; BİYSH durumlarda 15,4 °C, AYYSH durumlarda 24,8 °C) görülmektedir.

3.9. Düzeltilmiş Durumlar İçin Isıtma Enerjisi İhtiyacı Analizi

Yukarıda incelenen her bir dört durumun toplam ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplamak için enerji ihtiyacını anlık güçlerin toplamı olarak ifade eden Denklem (18) kullanılarak değişken dış ortam sıcaklığı altında $T_i = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ nin sağlanması koşulu ile bir aylık (744 saat) zaman süresinde her bir durum ve farklı düzenleme için enerji ihtiyacı hesaplanmıştır.

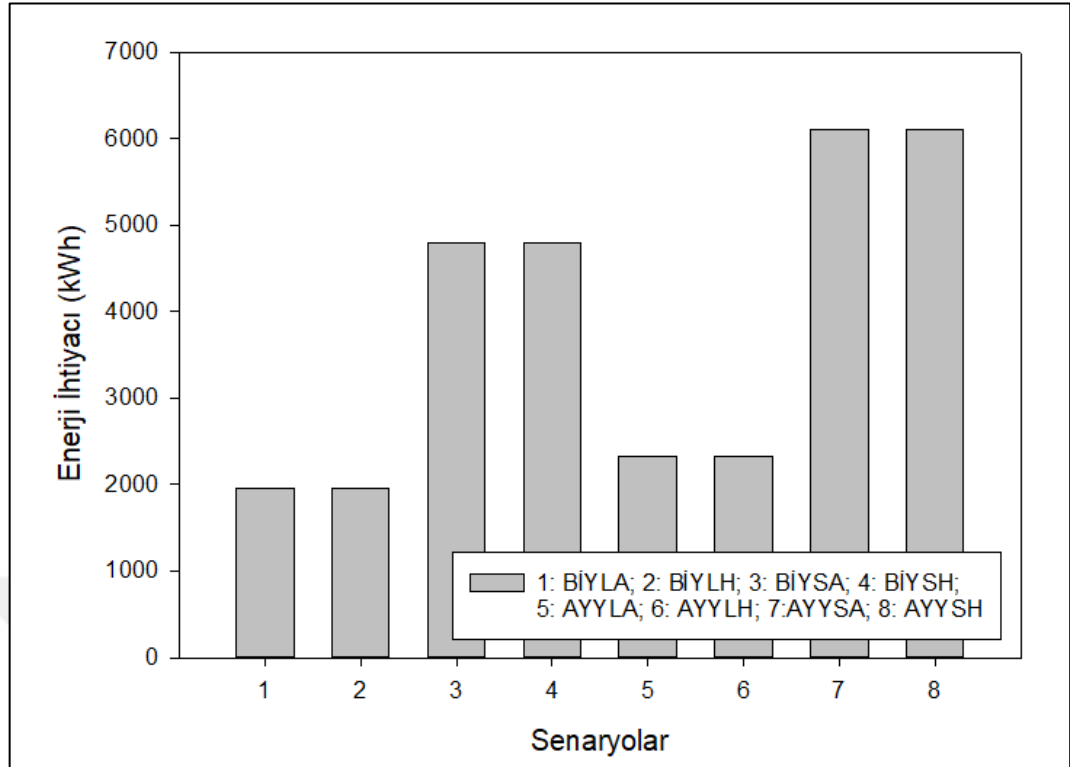
$$Q = \frac{3600 \times A \times 744h}{\sum_{i=0}^n (T_{i2} - T_{i1}) \times U_i} \quad (18)$$

Düzeltilmiş durum 1 senaryosunda sekiz ayrı bina düzenlemesi için kararlı durum sıcaklığının $T_i = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin sağlanması için gerekli ısı kaynağı gücü ile bir ay boyunca (31gün = 744 saat) toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı Şekil 24'teki grafikte görülmektedir. Düzeltilmiş durum 1 senaryoları içinde yalıtımsız bina toplam ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının yalıtımlı bina ısıtma enerjisi ihtiyaçlarına göre açık ara yüksek olduğu görülmektedir. Düzenlemenin bina toplam ısıtma enerjisi ihtiyaçları üzerine olan etkisine gelince, ayrıık düzenlemede toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı bitişik düzenlemeye göre daha yüksek olduğu görülür.



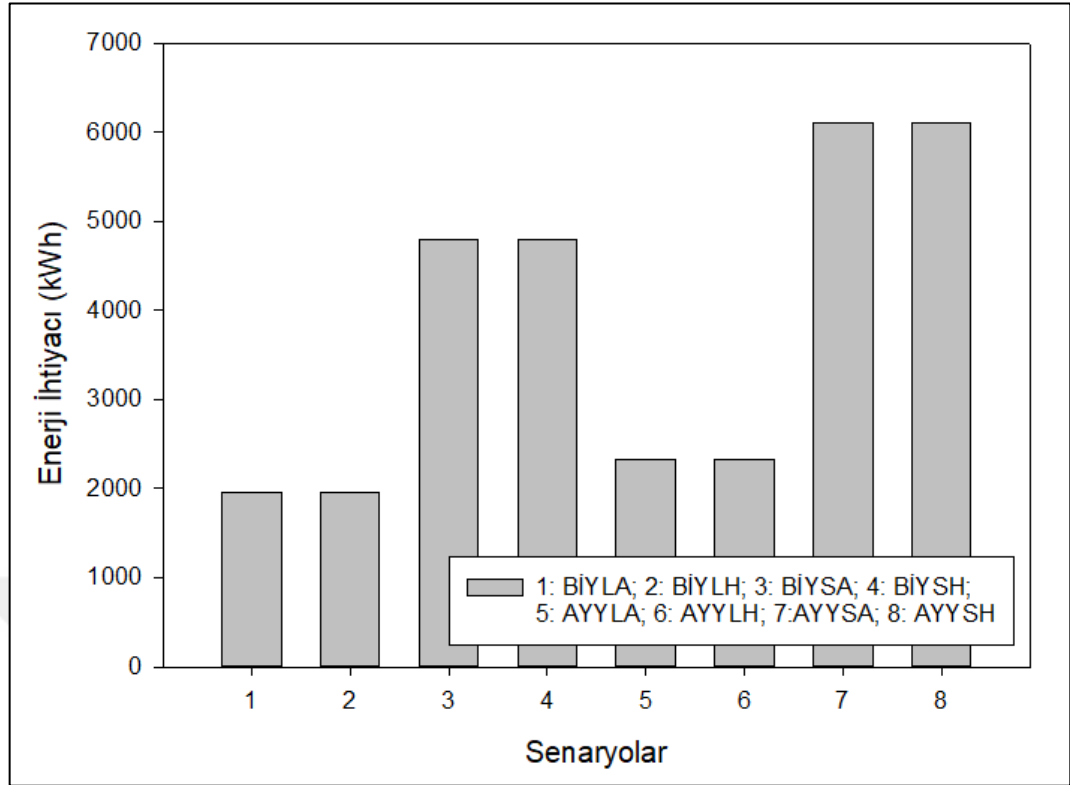
Şekil 24. Düzeltilmiş Durum 1 için farklı geometrik ve ısı koşullarda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı

Düzeltilmiş durum 2 senaryosunda sekiz ayrı bina düzenlemesi için kararlı durum ortalama sıcaklığının $T_i = 22,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin sağlanması için gerekli ısı kaynağı gücü ile bir ay boyunca (31gün = 744 saat) toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı Şekil 25'teki grafikte görülmektedir. Düzeltilmiş durum 2 senaryoları içinde yalıtımsız bina toplam ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının yalıtımlı bina ısıtma enerjisi ihtiyaçlarına göre açık ara yüksek olduğu görülmektedir. Düzenlemenin bina toplam ısıtma enerjisi ihtiyaçları üzerine olan etkisine gelince, ayrıık düzenlemede toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı bitişik düzenlemeye göre daha yüksek olduğu görülür.



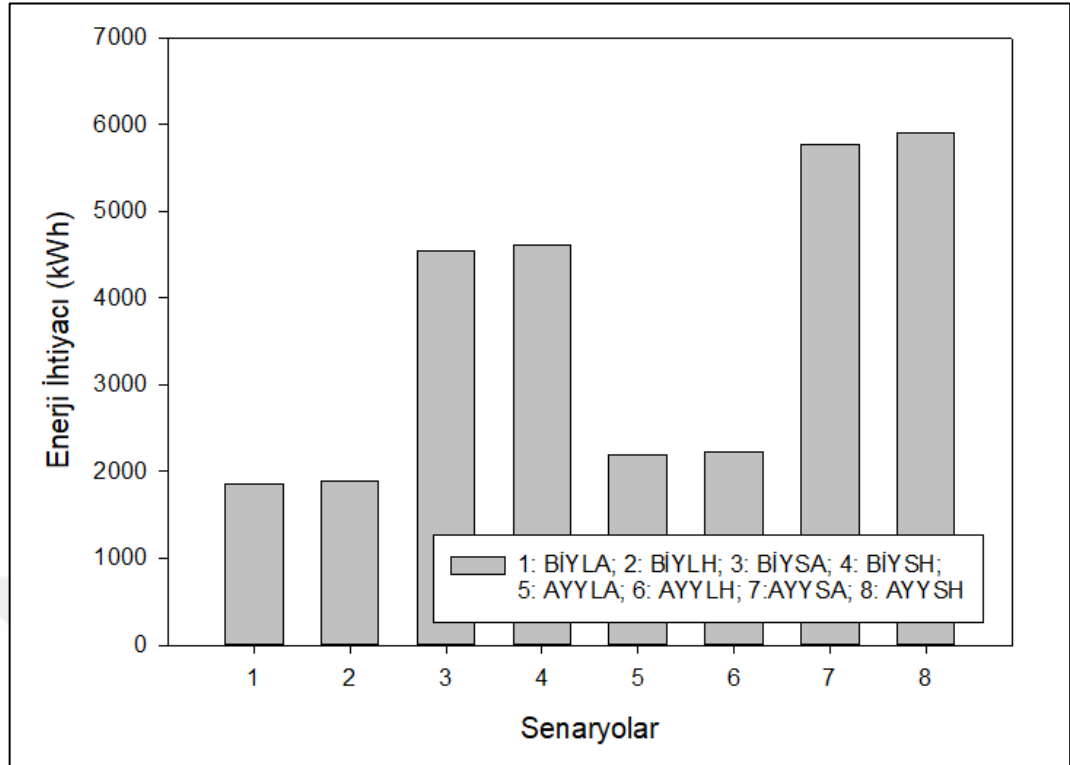
Şekil 25. Düzeltilmiş Durum 2 için farklı geometrik ve ısıl koşullarda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı

Düzeltilmiş durum 3 senaryosunda sekiz ayrı bina düzenlemesi için kararlı durum ortalama sıcaklığının $T_i = 22,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin sağlanması için gerekli ısı kaynağı gücü ile bir ay boyunca (31gün = 744 saat) toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı Şekil 26'daki grafikte görülmektedir. Düzeltilmiş durum 3 senaryoları içinde yalıtımsız bina toplam ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının yalıtımlı bina ısıtma enerjisi ihtiyaçlarına göre açık ara yüksek olduğu görülmektedir. Düzenlemenin bina toplam ısıtma enerjisi ihtiyaçlar üzerine olan etkisine gelince, ayrı düzenlemede toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı bitişik düzenlemeye göre daha yüksek olduğu görülür.



Şekil 26. Düzeltilmiş Durum 3 için farklı geometrik ve ısı koşullarda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı

Düzeltilmiş durum 4 senaryosunda sekiz ayrı bina düzenlemesi için kararlı durum ortalama sıcaklığının $T_i = 22,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin sağlanması için gerekli ısı kaynağı gücü ile bir ay boyunca (31gün = 744 saat) toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı Şekil 27'deki grafikte görülmektedir. Düzeltilmiş durum 4 senaryoları içinde yalıtımsız bina toplam ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının yalıtımlı bina ısıtma enerjisi ihtiyaçlarına göre açık ara yüksek olduğu görülmektedir. Düzenlemenin bina toplam ısıtma enerjisi ihtiyaçları üzerine olan etkisine gelince, ayrı düzenlemede toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı bitişik düzenlemeye göre daha yüksek olduğu görülür. Değişken dış hava sıcaklıkları dolayısıyla hafif ısıl kütleye sahip binaların ağır ısıl kütleye sahip binalara göre ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının biraz daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 27. Düzeltilmiş Durum 4 için farklı geometrik ve ısıl koşullarda toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı

4. SONUÇLAR

Ayrık düzen ve bitişik düzen konutlarda ısıl bileşenlerin enerji ihtiyacı üzerine etkilerinin sayısal analizi konulu yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Yalıtımlı bina iç ortam sıcaklığı yalıtımsız bina iç ortam sıcaklığından; bitişik düzenlemedeki iç ortam sıcaklığı ayrık düzenlemedeki iç ortam sıcaklığından daha yüksek çıkmaktadır.

2. Soğuk binada kararlı duruma ulaşma süresi, hafif ısıl kütleli binada ağır ısıl kütleli binaya göre; ayrık düzendeki binada bitişik düzendeki binaya göre daha erken gerçekleşmektedir.

3. Binanın başlangıç koşulunun sıcak veya soğuk olmasından bağımsız olarak yalıtımlı bina iç ortam sıcaklık genliği yalıtımsız bina iç ortam sıcaklık genliğinden; bitişik düzendeki iç ortam sıcaklık genliği ayrık düzendeki iç ortam sıcaklık genliğinden daha düşük gerçekleşmektedir.

4. İç ortam sıcaklık genliği hafif ısıl kütleli binada ağır ısıl kütleli binaya göre; ayrık düzendeki binada bitişik düzendeki binaya göre daha yüksek gerçekleşmektedir.

5. Sıcak binada zaman gecikmesi binanın hem yalıtımlı-yalıtımsız olma durumuna hem de ısıl kütleyle bağlı olmaktadır. Buna göre, zaman gecikmesi ağır kütleli yalıtımlı binada hafif kütleli yalıtımlı binaya göre daha kısa; ağır kütleli yalıtımsız binada hafif kütleli yalıtımsız binaya göre daha uzun süreli olarak gerçekleşmektedir.

6. Değişken dış ortam sıcaklığı koşullarında iç ortam sıcaklık genliği bitişik düzenlemede ayrık düzenlemeye göre daha iyi sönümlenmektedir. Bu durum hafif ısıl kütleli binada daha belirgin olmaktadır.

7. Isıl kütleli toplam enerji ihtiyacı üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

8. Isıl kütleden bağımsız olarak, enerji ihtiyacı sıralaması iyiden kötüye doğru (en az enerji ihtiyacı olandan en fazla enerji ihtiyacına doğru) şu şekildedir: Bitişik Yalıtımlı Bina-Ayrık Yalıtımlı Bina-Bitişik Yalıtımsız Bina-Ayrık Yalıtımsız Bina.

5. ÖNERİLER

Bu çalışma bulgularından edinilen deneyim sonucunda konu ile ilgili olarak bundan sonraki çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur.

1. Yapılan çalışma için oluşturulan referans bina tek bir ısıl bölge olarak kabul edilmiştir. Referans binada farklı ısıl bölgelerin oluşturulması ile daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

2. Bu çalışmada referans binanın taban ve tavan yüzeylerinden ideal yalıtılmış (adyabatik) olarak modelin oluşturulduğu görülmektedir. Halbuki gerçekte bu yüzeylerden olan ısı kaybının da binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı üzerine etkisi olacaktır. Bu nedenle taban ve tavan yüzeylerinden olan ısı kaybının dahil edildiği bir çalışma yapılabilir.

3. Bu çalışmadan yola çıkarak farklı iklim bölgelerinin dikkate alınması ve bina kullanım tipinin çeşitlendirilmesi ile detaylandırılacak bir çalışma ile elde edilecek sonuçlar irdelenebilir.

4. Sayısal çalışmaların çoğunda önerildiği gibi, gerçekleştirilen sayısal çalışmanın tam olarak sağlanması için deneysel çalışma ile desteklenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. www.enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu, Denge Tabloları. 06 Temmuz 2019.
2. Ünlü, G., Sürdürülebilir binalar için HVAC sistemleri seçimi, tasarımı ve enerji analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
3. Yatan, M., Dynamic behaviour simulation of a shopping center energy consumptions and comparison with the real states, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
4. Şahin, C.D., Energy efficient retrofitting of historical buildings: a case study on the building of basmane semt merkezi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, 2013.
5. Öz, B., Enerji verimliliği kriterlerine göre otel tasarımı ve enerji modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.
6. Birol, K.Ö., Design and analysis of energy saving buildings using the software energy plus, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
7. Kinaci, M.F., BEP-TR, Passivhaus ve Energystar hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi., Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2015.
8. Eskin, N., and Türkmen, H., Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey, Energy and Buildings, 40, 5 (2008) 763-773.
9. Karagözlü A.B., Konutlarda enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik bir çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
10. An-Naggar, A., Ibrahim, M., and Khalil, E.E., Energy Performance simulation in residential buildings, Procedia Engineering, 205 (2017) 4187-4194.
11. Liang, X., Wang, Y., Zhang, Y., and Chen, H., Analysis and optimization on energy performance of a rural house in northern china using passive retrofitting, Energy Procedia, 105 (2017) 3023-3030.
12. Bagheria,A., Feldheim, V., Thomas D., and Ioakimidis, C., The adjacent walls effects in simplified thermal model of buildings, Energy Procedia, 122 (2017) 619-624.

13. Al-janabi, A., Kavgic, M., Mohammadzadeh, A., and Azzouz A., Comparison of EnergyPlus and IES to model a complex university building using three scenarios: Free-floating, ideal air load system, and detailed, Building Engineering Journal, 22 (2019) 262-280.
14. Friess, W.A., Rakhshan, K., Hendawi, and T., Tajerzadeh, S., Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency, Energy And Buildings, 44 (2012) 26-32.
15. Crawley, D.B., Lawrie L.K., Winkelmann, F.C., Buhl W.F., Huang, Y.J., Pedersen, C.O., Strand, R.K., Liesen, R.J., Fisher, D.E., Witte, M.J., and Glazer J., Energyplus: Creating a new-generation building energy simulation program, Energy And Buildings, 33 (2001) 319-331.
16. Energyplus, Energyplus Version 8.8.0 Documentation Getting Started, 2017, 9.
17. Eskin, N., Konut dışı binaların yıllık enerji ihtiyaçlarının incelenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Mayıs 2009, İzmir, Bildiriler Kitabı: 467.
18. Energyplus, Energy Simulation Software Engineering Reference, U.S. Department Of Energy, Washington, USA, 2018.
19. Hollman, J.P., Heat Transfer, Mcgraw Hill Book Co., London, 1976.
20. Energyplus, Energy Simulation Software Input Output Reference, U.S. Department Of Energy, Washington, USA, 2018.
21. Strand, R.K., Pedersen, C.O., and Crawley, D.B. "Modularization And Simulation Techniques For Heat Balance Based Energy And Load Calculation Programs: The Experience Of The Ashrae Loads Toolkit And Energyplus," Seventh International IBPSA Conference, August 2001, Brazil, Bildiriler Kitabı: 13-15.
22. EnergyPlus Documentation, "EnergyPlus Documentation Engineering Reference", https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.3.0/EngineeringReference.pdf, 16 Aralık 2020.
23. Asan, H., and Sancaktar, Y.S., Effects of Wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor, Energy and Buildings, 28 (1998) 159–166.
24. Thelkeld, J. L., Thermal environmental engineering, Prentice-Hall, NJ, 1962.
25. https://energyplus.net/weather_location/europe_wmo_region_6/TUR/TUR_Ankara.171280_IWEC, İklim verisi. 10 Ocak 2020.

ÖZGEÇMİŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim dalından mezun olmuştur. Mezun olduktan sonra özel sektörde proje tasarım ve uygulama alanlarında mühendis olarak çalışmıştır. Yüksek lisans eğitimine Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamıştır. 2018 yılından beri sürdürülebilir ve çevre dostu binalar sektöründe yeşil bina uzmanı olarak çalışmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

