

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**“NEREDEYSE SIFIR ENERJİ” OFİS**  
**YAPILARINDA YAPI ELEMANLARININ**  
**ORTAM KONFORUNA ETKİSİNİN YAPI ENERJİ**  
**SİMULASYONU YARDIMIYLA**  
**ARAŞTIRILMASI**

**Ayşe Sena ÇILDIR**

**Eylül, 2019**

**İZMİR**

**“NEREDEYSE SIFIR ENERJİ” OFİS  
YAPILARINDA YAPI ELEMANLARININ  
ORTAM KONFORUNA ETKİSİNİN YAPI ENERJİ  
SİMULASYONU YARDIMIYLA  
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı**

**Ayşe Sena ÇILDIR**

**Eylül, 2019  
İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU


AYŞE SENA ÇILDIR, tarafından DOÇ. DR. AYÇA TOKUÇ yönetiminde hazırlanan “NEREDEYSE SIFIR ENERJİ” OFİS YAPILARINDA YAPI ELEMANLARININ ORTAM KONFORUNA ETKİSİNİN YAPI ENERJİ SİMÜLASYONU YARDIMIYLA ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr. Ayça TOKUÇ

Yönetici

  
Doç. Dr. Neslihan GÜZEL

Jüri Üyesi

  
Dr. Öğr. Üyesi Ebru ALAKAVUK

Jüri Üyesi

  
Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yanımda olan, her türlü bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, heyecanı ve motivasyonu akademik merak duygusunu keşfetmemi sağlayan tez danışmanım sevgili Doç. Dr. Ayça TOKUÇ hocama her türlü desteği için çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca ve hayatımın her anında güven ve desteklerini hissettiğim sevgili annem Gülsüm ÇILDIR, babam Muzaffer ÇILDIR, kardeşlerim Halil Samed ve Gülnur ÇILDIR'a ve tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Dokuz Eylül Teknoloji Geliştirme A.Ş. Beta binasında vaka çalışmasını gerçekleştirmemize izin veren ve her türlü yardımı eksik etmeyen DEPARK yönetimine, ölçüm esnasında teknik destek sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Fakültesi Bölümü Termodinamik laboratuvarına desteklerinden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, "Neredeyse sıfır enerji" ofis yapılarında yapı elemanlarının ortam konforuna etkisinin yapı enerji simülasyonu yardımıyla araştırılması isimli ve 2018.KB.FEN.026 Nolu Bilimsel Araştırma Projesi olarak, Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinasyon Birimi tarafından fonlanmıştır. Projedeki katkılarından ötürü Dr.Öğr.Ü. Gülden Köktürk'e teşekkür ederim.

Ayşe Sena ÇILDIR

# "NEREDEYSE SIFIR ENERJİ" OFİS YAPILARINDA YAPI ELEMENLARININ ORTAM KONFORUNA ETKİSİNİN YAPI ENERJİ SİMÜLASYONU YARDIMIYLA ARAŞTIRILMASI

## ÖZ

Gelişmiş ülkelerde birincil enerji tüketiminin yüzde 15-20'si arasında bir kısmı ofis yapılarının enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. Bu çerçevede Avrupa Birliği mevzuatında 2020 yılından itibaren yeni yapılan binaların “neredeys e sıfır enerjili bina (nSEB)” olarak tasarlanması gerektiği kararı nı almıştır. Günümüzdeki uygulamalar nSEB olmaktan uzaktır, bu nedenle tasarım aşamasında optimizasyon ve değerlendirme yapılması gerekmektedir. nSEB’in yaygınlaşmasına yönelik yapılan bu çalışmada, yapı kabuğu elemanlarının nSEB olma üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, seçilen bir ofis yapısı, yapı kabuğu elemanlarının ortam konforu ve binanın enerji etkinliğine olan etkisinin araştırılması için bina enerji simülasyonu (BES) yöntemiyle modellenerek simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır: Birinci bölümde problem tanımlanmış olup, çalışmanın amacı, kapsamı ve yöntemi belirlenmiştir. İkinci bölümde nSEB ve ilgili kavramlar tanımlanmış, yurt dışındaki ve yurt içindeki ilgili yönetmelik ve düzenlemeler, hesaplama yöntemleri ve standartları incelenmiştir. Üçüncü bölümde literatürdeki, enerji etkinliği BES yardımıyla araştırılan nSEB vakaları incelenmiştir. Seçilen vakalar daha çok sıcak/ılıman iklimde, yapı kabuğunun değişkenlerini farklı senaryolar yardımı ile karşılaştıran çalışmalardır.

Dördüncü bölümde, Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi içerisinde seçilen ofis binasının yapı kabuğunun optimize edilerek, binanın nSEB haline getirilmesindeki ve ortam konforunun geliştirilmesindeki etkisi, BES yardımıyla araştırılmıştır. Öncelikle simülasyon modeli, iç ve dış mekanda yapılan ölçümlerle doğrulanmıştır. Bu modelde, ilk aşamada mevcut binanın cephesine getirilen öneriler ile binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma enerji ihtiyacının azaltılması ve ısıl konfor sınırları içerisinde kalınarak konforsuz saat sayısının azaltılması hedeflenmiştir. İkinci aşamada, aynı hedeflerin yanısıra bina cephesinin yeniden tasarlanması ve yardımcı

sistemlerin eklenmesiyle nSEB kriterlerinin sağlanması da hedeflenmiştir. Son bölümde sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Enerji etkin bina, neredeyse sıfır enerjili bina (nSEB), bina enerji simülasyonu (BES), ofis yapıları, çift tabakalı cephe, ısıl konfor



# **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BUILDING ELEMENTS ON ENVIRONMENTAL COMFORT IN "NEARLY ZERO ENERGY" OFFICE BUILDINGS VIA BUILDING ENERGY SIMULATION**

## **ABSTRACT**

In developed countries, between 15-20 percent of the primary energy consumption is used to meet the energy needs of office buildings. In this context, European Union legislation stated that new buildings built from 2020 should be designed as "nearly zero energy buildings (nZEB)". Today's applications are far from approaching nZEB, so innovative technologies need to be explored and implemented. This study, aims to investigate the effect of building envelope elements and energy efficient building systems being nZEB. The effect of building envelope elements on thermal comfort and energy efficiency are investigated at a selected office building in Dokuz Eylül University Tinaztepe campus via building energy simulation (BES) modeling.

The study consists of five chapters. In the first chapter, the problem is defined and the aim, scope and method of the study are determined. In the second chapter, nZEB and related concepts are defined, the historical development, related regulations in Turkey and abroad, calculation methods and standards are examined. In the third chapter, sample nZEB cases from the literature are investigated. Selection criteria for cases include; being in a warm / temperate climate location and examining building envelope parameters with different scenarios.

In the fourth chapter, the effect of the selected office building's envelope to make the building nZEB and improve the comfort of the building is investigated via BES. The simulation model is validated by indoor and outdoor measurements. In the first part of the improvement scenarios, passive systems are applied to the façade of the existing building with the aim to reduce the heating, cooling and lighting energy needs of the building, keep the thermal comfort within limits and reduce the number of discomfort hours. In the second part, the design aimed to meet nZEB criteria in addition to the aforementioned objectives, by redesigning the building facade and adding auxiliary systems. In the last chapter, the results are evaluated.

**Keywords:** Energy efficient building, nearly zero energy building (nZEB), building energy simulation (BES), office buildings, double skin facade, thermal comfort





## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı .....	2
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	2
1.3 Çalışmanın Yöntemi.....	4
<b>BÖLÜM İKİ - NEREDEYSE SIFIR ENERJİ YAPILARIN TANIMLANMASI VE İLGİLİ KAVRAMLARIN İNCELENMESİ .....</b>	<b>7</b>
2.1 Neredeyse Sıfır Enerji Kavramı ve Tarihsel Gelişimi.....	7
2.1.1 Enerji Verimliliği.....	7
2.1.2 Sıfır Enerji Binası .....	8
2.1.3 Yurtdışındaki Yönetmelikler Ve Uygulamalar.....	11
2.1.4 Ülkemizdeki Yönetmelikler.....	12
2.2 Ofis Yapılarında Enerji Verimliliği Standartları .....	14
2.3 Neredeyse Sıfır Enerji Hesaplama Yöntemleri .....	19

2.3.1 Denge Metriği.....	20
2.3.2 Denge Dönemi .....	21
2.3.3 Enerji Kullanım Türü.....	22
2.3.4 Denge Çeşidi.....	23
2.3.5 Yenilenebilir Enerji Tedarik Seçenekleri .....	23
2.3.6 Enerji Altyapısıyla Bağlantı .....	24
2.3.7 Gereksinimler .....	25
2.3.7.1 Enerji Verimliliği Gereksinimleri .....	25
2.3.7.2 İç Ortam Şartları .....	25
2.3.7.3 Bina-Şebeke Etkileşim Gereksinimleri.....	26
2.3.8 Maliyet.....	26
2.4 Bina Enerji Simülasyonu.....	26
2.5 Isıl Konfor .....	29

## **BÖLÜM ÜÇ - ÖRNEK NEREDEYSE SIFIR ENERJİ VAKALARININ İNCELENMESİ .....**

**34**

3.1 Vaka No 1: ABD'nin Altı Farklı Bölgesinde Bir Ofis Yapısı .....	36
3.2 Vaka No 2: Mısır'da Bir Eğitim Yapısı .....	41
3.3 Vaka no 3: Suudi Arabistan'da Ofis Yapısı .....	48
3.4 Vaka no 4: Avrupa'nın Üç Farklı İkliminde Ofis Yapısı .....	52
3.5 Vaka no 5: Belgrad'da Ofis yapısı .....	59
3.6 Değerlendirme .....	64

**BÖLÜM DÖRT - MEVCUT BİR OFİS BİNASINI NEREDEYSE SIFIR ENERJİ BİNASI HALİNE GETİRME SÜRECİNDE CEPHE SİSTEMLERİNİN ETKİSİNİN BİNA ENERJİ SİMULASYONU YARDIMIYLA ARAŞTIRILMASI..... 66**

4.1 Mevcut Binaya İlişkin Bilgiler .....	67
4.1.1 Konum ve Bina Genel Özellikleri .....	67
4.1.2 Yapı Elemanları .....	69
4.1.3 Cephe Elemanları.....	71
4.1.4 Binaya Ait Faaliyet Verileri.....	73
4.2 Binanın Modelinin Oluşturulması .....	74
4.2.1 Binanın İklim Dosyasının Oluşturulması .....	76
4.2.2 Modelin Doğrulanması .....	79
4.3 Mevcut Binanın Enerji Tüketimi ve Isıl Konfor Analizi .....	81
4.4 Mevcut Binanın İyileştirilmesi İçin Alınacak Önlemler .....	86
4.4.1 Alternatif 1: Binada Çift Tabakalı Cephe Kullanılması .....	86
4.4.1.1 Alternatif 1 Enerji Tasarrufu.....	86
4.4.1.2 Alternatif 1 Isıl Konfor Analizi.....	96
4.4.2 Alternatif 2: Mevcut Binaya Gölgeleme Elemanı Eklenmesi .....	98
4.4.2.1 Alternatif 2 Enerji Performansı Analizi.....	98
4.4.2.2 Alternatif 2 Isıl Konfor Analizi.....	100
4.4.3 Mevcut Bina ile Alternatif 1 ve 2'nin Enerji ve Isıl Konfor Performansının Karşılaştırılması .....	101
4.5 Binayı Yeni Cephe Tasarımı ile nSEB Haline Getirme Önerisi .....	106
4.5.1 CO <sub>2</sub> Salımı – Konforsuz Saat Sayısı Optimizasyonu .....	108
4.5.2 Enerji Performansı Analizi .....	115
4.5.3 Isıl Konfor Analizi.....	116

4.5.4 Mevcut Bina ile nSEB tasarımının Enerji ve Isıl Konfor Performansının Karşılaştırılması .....	118
---	-----

<b>BÖLÜM BEŞ - SONUÇ.....</b>	<b>123</b>
-------------------------------	------------

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>133</b>
------------------------	------------

<b>EKLER.....</b>	<b>141</b>
-------------------	------------

EK-1 Kısaltmalar.....	141
-----------------------	-----

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Vaka incelemesi yönteminin akış diagramı .....	5
Şekil 2.1 Bina tasarım aşamaları ile ilgili “MacLeamy Eğrisi” .....	28
Şekil 2.2 Farklı BES araçlarının simülasyon ile bütünleşmesi .....	29
Şekil 2.3 PMV-PPD grafiği .....	32
Şekil 3.1 Farklı çatı penceresi alternatiflerinin günışığı seviyeleri (TCL: toplam soğutma yükü, LWP: çalışma düzlemi limitleri, ADF: ortalama günışığı faktörü) .....	47
Şekil 3.2 Yıllık enerji talep oranı (kWh/m <sup>2</sup> yıl) .....	62
Şekil 4.1 Binanın uydu görüntüsü .....	67
Şekil 4.2 Designbuilder modeli.....	68
Şekil 4.3 Binanın birinci katının modeli .....	68
Şekil 4.4 Binanın görünüşleri ve kullanılan cephe tipleri.....	72
Şekil 4.5 Ölçüm yapılan ofis mekanı .....	77
Şekil 4.6 Ölçüm aletlerinin veri aldığı noktalar .....	76
Şekil 4.7 Portatif meteoroloji cihazının iç birimi .....	77
Şekil 4.8 Datalogger .....	77
Şekil 4.9 Portatif meteoroloji cihazının dış birimi .....	78
Şekil 4.10 Dozimetre .....	79
Şekil 4.11 Ölçülen veriler ile simülasyon verilerinin karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.12 Mevcut durumun birim m <sup>2</sup> 'ye düşen yıllık toplam soğutma, ısıtma, oda elektriği, aydınlatma ve sıcak su enerji tüketimleri (kWh/m <sup>2</sup> ).....	82
Şekil 4.13 Mevcut duruma ait toplam oda elektriği, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve sıcak su enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı (kWh).....	83
Şekil 4.14 Mevcut duruma ait aylık sıcaklık, nispi nem, konforsuz saat ve Fanger PMV indisi .....	85

Şekil 4.15 Mevcut durumun yıllık ortalama PMV-PPD indisi .....	85
Şekil 4.16 Farklılaşan ÇTC tiplerinin şematik gösterimleri.....	89
Şekil 4.17 Güney cepheye eklenen çift tabakalı cephe modeli .....	91
Şekil 4.18 ÇTC-1'in birim m <sup>2</sup> 'ye düşen yıllık toplam soğutma, ısıtma, oda elektriği, aydınlatma ve sıcak su enerji tüketimleri (kWh/m <sup>2</sup> ) .....	92
Şekil 4.19 ÇTC-1'e ait toplam oda elektriği, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve sıcak su enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı (kWh) .....	92
Şekil 4.20 ÇTC-1'e ait aylık sıcaklık, nispi nem, konforsuz saat ve Fanger PMV indisi .....	97
Şekil 4.21 ÇTC-1'e ait yıllık ortalama PMV-PPD indisi.....	98
Şekil 4.22 Gölgelemeli cepheye ait soğutma, ısıtma, oda elektriği, aydınlatma ve sıcak su enerji yükleri (kWh/m <sup>2</sup> ) .....	99
Şekil 4.23 Gölgelemeli cepheye ait toplam oda elektriği, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve sıcak su enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı (kWh).....	99
Şekil 4.24 Gölgelemeli cepheye ait aylık sıcaklık, nispi nem, konforsuz saat ve Fanger PMV indisi .....	101
Şekil 4.25 Gölgelemeli cepheye ait yıllık ortalama PMV-PPD indisi.....	101
Şekil 4.26 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait yıllık enerji yüklerinin karşılaştırılması (kWh/m <sup>2</sup> ).....	103
Şekil 4.27 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait aylık soğutma yükleri (kWh/m <sup>2</sup> ).....	103
Şekil 4.28 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait aylık aydınlatma yükleri (kWh/m <sup>2</sup> ).....	104
Şekil 4.29 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait ısıtma yüklerinin aylık birincil enerji tüketimleri (kWh/m <sup>2</sup> ) .....	104
Şekil 4.30 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait aylık Fanger PMV değerleri .....	105

Şekil 4.31 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait aylık konforsuz zaman değerleri .....	106
Şekil 4.32 ZEBRA 2020 projesinde elde edilen iklim bölgeleri .....	107
Şekil 4.33 Optimizasyon analiz sonuçları - CO <sub>2</sub> salımı ve konforsuz saat sayısının minimize edilmesi .....	112
Şekil 4.34 nSEB tasarımının soğutma, ısıtma, oda elektriği, aydınlatma ve sıcak su enerji yükleri (kWh/m <sup>2</sup> ).....	116
Şekil 4.35 nSEB tasarımının toplam oda elektriği, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve sıcak su enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı (kWh).....	116
Şekil 4.36 nSEB tasarımına ait aylık sıcaklık, nispi nem, konforsuz saat ve Fanger PMV indisi .....	118
Şekil 4.37 nSEB tasarımına ait yıllık ortalama PMV-PPD indisi.....	118
Şekil 4.38 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait enerji yüklerinin yıllık toplam ve net birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m <sup>2</sup> ) .....	119
Şekil 4.39 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait soğutma yüklerinin aylık birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m <sup>2</sup> ).....	120
Şekil 4.40 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait aydınlatma yüklerinin aylık birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m <sup>2</sup> ).....	120
Şekil 4.41 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait ısıtma yüklerinin aylık birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m <sup>2</sup> ).....	121
Şekil 4.42 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait aylık Fanger PMV değerlerinin karşılaştırılması .....	122
Şekil 4.43 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait aylık konforsuz zaman değerlerinin karşılaştırılması .....	122

## TABLULAR LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1 AB'ye üye devletlerde asgari enerji performansı gereksinimleri .....	17
Tablo 2.2 BEP-TR enerji sınıfları .....	19
Tablo 2.3 Yenilenebilir enerji kaynak seçenekleri hiyerarşisi .....	24
Tablo 2.4 ASHRAE 55 standartları .....	33
Tablo 2.5 Genel konfor için kabul edilebilir üç ısıt ortam .....	33
Tablo 3.1 Vaka 1'in genel özellikleri.....	36
Tablo 3.2 Bina dış cephesinin en az ısıt özellikleri.....	38
Tablo 3.3 Vaka 2'nin genel özellikleri.....	41
Tablo 3.4 Aşama 1'de test edilen değişkenler .....	44
Tablo 3.5 Vaka 3'ün genel özellikleri.....	50
Tablo 3.6 Kullanılan cam çeşitleri .....	51
Tablo 3.7 Vaka 4'ün genel özellikleri.....	53
Tablo 3.8 Bina kabuğunun U-değerleri (W/m <sup>2</sup> K).....	54
Tablo 3.9 Vaka 5'in genel özellikleri.....	59
Tablo 3.10 Isıtma ve soğutma taleplerinin hesaplanması ile ilgili model verileri .....	60
Tablo 3.11 Bölüm 3'te incelenen vakaları gösteren özet bilgiler .....	64
Tablo 4.1 Binaya ait genel özellikler .....	69
Tablo 4.2 Opak bina bileşenlerine ait katmanlar ve U değerleri.....	69
Tablo 4.3 Cephede kullanılan camın özellikleri .....	72
Tablo 4.4 Binaya ait faaliyet verileri.....	73
Tablo 4.5 FEMP, AHSRAE 14 Yönergesi ve IPMVP'nin doğrulama kriterleri .....	81
Tablo 4.6 Mevcut durumun konfor değişkenlerine ait aylık ve yıllık veriler .....	84
Tablo 4.7 ÇTC'nin yapı elemanı katmanlaşması ve özellikleri.....	86
Tablo 4.8 ÇTC tasarımı ile ilgili değişkenler ve binadaki ek değişkenler .....	88



Tablo 4.9 ÇTC-1 tasarımı için seçilen değişkenler .....	90
Tablo 4.10 Değiştirilen değişkenlere göre kaynakların birim m <sup>2</sup> 'ye düşen yıllık enerji tüketimi, binanın birim m <sup>2</sup> 'ye düşen yıllık birincil enerjisi ve birincil enerjinin binanın mevcut durumuna göre tasarruf yüzdesi .....	95
Tablo 4.11 ÇTC-1 alternatifinin konfor değişkenlerine ait aylık ve yıllık veriler .....	97
Tablo 4.12 Gölgelemeli cephenin konfor değişkenlerine ait aylık ve yıllık veriler .....	100
Tablo 4.13 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifinin yıllık birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m <sup>2</sup> ).....	102
Tablo 4.14 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifinin yıllık ortalama konfor değerleri .....	105
Tablo 4.15 Optimizasyon sonucunda elde edilen pareto-optimal çözümler .....	113
Tablo 4.16 Mevcut durum ile nSEB tasarımının cephe özelliklerinin karşılaştırılması .....	114
Tablo 4.17 Fransa'daki nSEB yapılarıdaki yapı elemanlarının ortalama U-değerleri ile nSEB tasarımı ve mevcut durumun karşılaştırılması .....	114
Tablo 4.18 nSEB tasarımının konfor değişkenlerine ait aylık ve yıllık veriler .....	117
Tablo 4.19 Mevcut durum ve nSEB tasarımının yıllık toplam ve net birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m <sup>2</sup> ).....	119
Tablo 4.20 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait yıllık ortalama konfor değerleri .....	121

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Dünya enerji kullanımındaki hızlı artış, enerji kaynaklarının hızla tükenmesine sebep olmaktadır ve bunun sonucunda küresel ısınma, ozon tabakasının incelmesi, iklim değişikliği gibi ağır çevresel etkiler ortaya çıkmaktadır. Binalar, sülfür oksit salımlarının yaklaşık %70'ine ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salımlarının %50'sine sebep olmakta ve dünyanın enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını, taze suyunun %16'sını ve orman kerestesinin ise %25'ini tüketmektedir (Ghiaus ve Inard, 2004). Yapılı çevredeki enerji kullanımının önümüzdeki 20 yıl içinde %34 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Bu doğrultuda, 2030'da konut ve konut dışı sektörler atfedilen tüketimin sırasıyla %67 ve %33'e çıkacağı öngörülmektedir (Pérez-Lombard ve diğer., 2008). Bu nedenle, küresel bir bakış açısından, yapılarda enerji kullanımının azaltılması konusunun hem ekonomik hem de, özellikle CO<sub>2</sub> salımının azaltılması ile, çevresel olarak önemi görülmektedir.

Sıfır enerji binası (SEB) uzak gelecekteki bir kavram olarak değil, CO<sub>2</sub> salımlarının ve/veya inşaat sektöründeki enerji kullanımının azaltılması için gerçekçi bir çözüm olarak önerilmektedir. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, Binaların Enerji Performansı Yönergesinin (EPBD) yeniden düzenlenmesini kabul etmiştir. Buna göre 2020 yılının sonuna kadar Avrupa Birliği (AB) üye devletlerinin, yeni inşa edilen binaların neredeyse sıfır enerji tüketmelerini ve enerji ihtiyaçlarının yerinde veya yakın çevrede üretilen enerji de dahil olmak üzere önemli ölçüde yenilenebilir kaynaklardan sağlanmasını şart koşmaktadır. Bu bağlamda, Avrupa Parlamentosunun kararına göre, 2018 yılından itibaren kamu otoritelerine ait tüm kamu mülkleri veya kamu idare binaları ve 2020 yılından itibaren tüm yeni binalar için neredeyse sıfır enerjili bina (nSEB) olmayı hedeflemektedir. Bir ara hedef olarak, üye devletler 2015'te yeni binaların enerji performansının iyileştirdiğini göstermelidir (Schimschar ve diğer., 2011). Bu hedefler ışığında, Avrupa düzeyinde nSEB'ler yalnızca iki yıl içinde hayata geçirilmelidir. SEB'lerin uygulanması için öngörülen bir diğer hedef, ABD'de Mayıs 2007'de kabul edilen Enerji Bağımsızlığı ve Güvenlik Yasası dahilinde tartışılmaktadır. EISA, 2007'ye göre Net-Sıfır Enerji Ticari Bina Girişimi 2030 yılına kadar tüm yeni ticari binalar için net SEB hedefini destekleyecektir. Ayrıca ABD, 2040

yılına kadar ticari binalarının %50'sinde ve 2050 yılına kadar ise tüm ABD ticaret binalarında net SEB'i hedef olarak belirtmektedir (Torcellini ve diğer., 2009). Artan sayıdaki SEB projeleri ve bu alandaki araştırmalar, SEB'lere karşı uluslararası artan ilgiyi vurgulamaktadır.

### **1.1 Çalışmanın Amacı**

Enerji kaynaklarının etkin ve çevre dostu kullanımı için en iyi yol, enerji tüketiminin zorunlu olduğu durumların azaltılmasıdır. Yapı elemanları kullanılarak bina tasarımına entegre edilmesi ile iç mekanın ısıtılması, havalandırılması, serinletilmesi ve aydınlatılması üzerinden enerji tüketiminin azaltılması mümkündür. Ancak "neredeyse sıfır enerji"ye ulaşmak için genel geçer kuralları kullanmak yeterli değildir ve entegre simülasyon modellerinin kullanılması gerekmektedir.

Çalışmanın temel amacı, ofis binalarında yapı kabuğunun nSEB'e ve ısıl konfor koşullarına ulaşmada yaptığı etkilerin BES yöntemiyle değerlendirilmesinin araştırılmasıdır. Çalışmanın hedefleri;

- nSEB tanımının araştırılarak Türkiye'ye uygunluğunun değerlendirilmesi,
- Literatürdeki BES yardımıyla araştırılan nSEB vakalarının incelenmesi,
- nSEB ofis yapılarının cephe tasarımını etkileyebilecek başlıca değişkenlerin belirlenmesi,
- Ofis yapılarının ısıl konfor standartlarının incelenmesi,
- Ofis yapılarının nSEB'e ulaşmaları için farklı cephe senaryolarının geliştirilmesi,
- Bu senaryoların var olan bir binanın enerji modeli üzerinden değerlendirilmesidir.

### **1.2 Çalışmanın Kapsamı**

Literatür geniş kapsamlı tarandığında; akdeniz ikliminde, ofis yapıları özelinde ve yapı elemanı ölçeğinde, ortam konforunun optimizasyonunu amaçlayan, karar destek aracı olarak simülasyon programı kullanan bir çalışmanın eksik olduğu görülmüştür. Bu bağlamda bu çalışma, neredeyse sıfır enerji ofis yapılarının yapı kabuğunun

binanın enerji etkinliği etkisine odaklanır. Sıfır enerji hesaplamaları konusunda, literatürdeki farklı hesaplama yöntemleri açıklanarak aralarından birincil enerjinin hesaplanması yöntemi seçilmiştir. İliman iklimdeki İzmir ilinde bulunan bir ofis yapısı özelinde, ofis yapıları değerlendirilmiştir. Vaka çalışmasının ilk bölümünde, mevcut bir ofis yapısının enerji etkinliğine dair performansını geliştirmeye yönelik cephe tadilatı senaryoları üzerinden, çift tabakalı cephe (ÇTC) ve gölgeleme elemanı değişkenlerinin enerji verimliliğine etkisi araştırılmıştır. Vaka çalışmasının ikinci bölümünde ise aynı mevcut binanın yeni cephe tasarımı ve yerinde enerji üretimi sistemleri ile, neredeyse sıfır enerji binası olması amaçlanmıştır. Her iki çalışmada da, enerji verimli cephe önerilerinin, iç ortam ısı konforuna etkisi araştırılmıştır.

Literatürdeki çoğu çalışmada, yapı kabuğunun, binanın enerji bütçesini ve konforunu diğer sistemlerden daha fazla etkilediği görölmektedir. Binanın kullanıcılar için rahat bir çevre sağlaması için cephe, dış mekanla iç mekan arasında görüş sağlama, rüzgar yüklerine direnme, kendi ölü yüklerini taşıma, iç mekana doğal gün ışığı sağlama, istenmeyen güneş ısı kazancını engellenme, kullanıcıları gürültü, dış hava şartları ve aşırı sıcaklıktan koruma gibi birçok görevi yerine getirmelidir (Aksamija, 2009). Yüksek performanslı bina cephelerinin tasarım sürecinde iklim esaslarına özgü yönergeler dikkate alınmalıdır. Sıcak ve kurak iklimlerde kullanılacak stratejiler ile ılıman veya sıcak ve nemli bölgelerdeki stratejiler birbirinden farklıdır. Literatürde, enerji etkin / neredeyse sıfır enerji / enerji verimli binalarla ilgili çalışmaların, yapıyı bütüncül olarak ele aldıkları veya yapı bileşeni açısından inceledikleri görölmüştür. Optimizasyon amaçlı simülasyon yöntemi kullanan çalışmalar ise yapı ile ilgili (sadece gün ışığı veya sadece ısıtma-soğutma yükleri ile ilgili çalışmalar gibi) kısıtlı değişkenlere odaklanmıştır. Bu çalışmada tüm yapı elemanları değil, cephenin enerji verimliliği ve ısı konfora olan etkisi araştırılmıştır.

Avrupa Parlamentosunun, 2009'da yayınladığı yeniden düzenlenmiş EPBD'de, AB üye devletlerden mevcut bina stoklarının dönüştürülmesi ve yeni binaların nSEB olması için ulusal nSEB tanımlarını bildirmelerini ve ulusal eylem planlarının yapılmasını istemektedir (Bayram ve Kınay, 2019). Literatürde Türkiye'nin konut yapılarıyla ilgili çalışmaları bulunmasına rağmen, ofis yapılarıyla ilgili tanım eksikliği olduğu görölmüştür. Bu sebeple AB üye devletlerin tanımları araştırılmış ve İzmir ili

iklim özelliklerine yakın ülkelerin verileri temel alınarak tartışılmıştır. Maliyet etkileri bu çalışmanın kapsamının dışındadır.

### 1.3 Çalışmanın Yöntemi

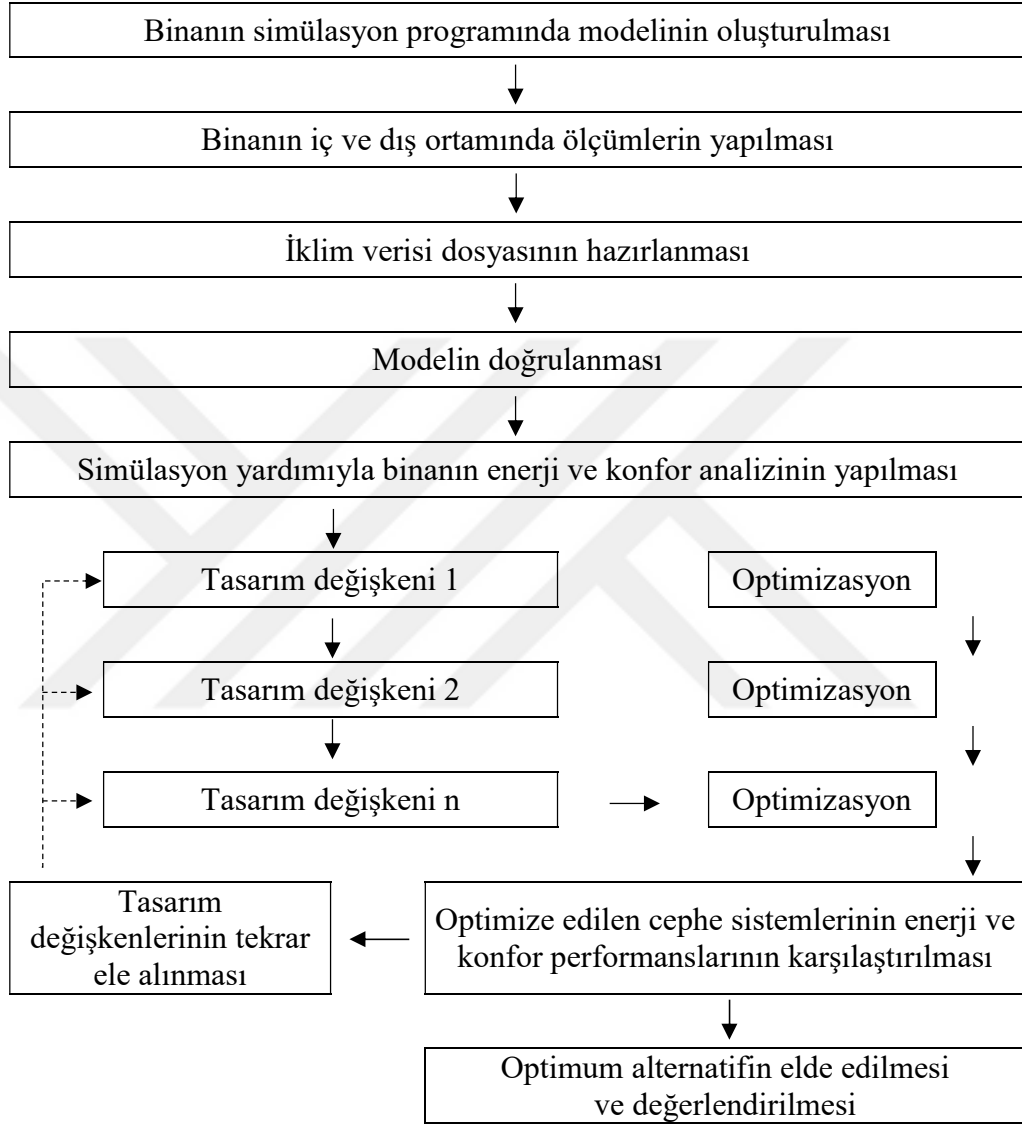
nSEB kriterlerini sağlayan ofis yapılarında, ortam konforunun elde edilmesinde yapı kabuğunun ne tür bir etkisi olabilir sorusu, tezin odak noktasını oluşturmaktadır. Araştırmanın başında, ortaya konulan problemin teorik altyapısı ele alınmıştır. Elde edilen teorik veri, seçilen bir vakanın optimum çözümlerini belirlemeye yönelik altyapı oluşturma amaçlıdır.

Bina performansını geliştirmeye yönelik optimum çözüme karar verme sürecinde, karar vericinin çok sayıda çözüm alternatifi arasından enerji, maliyet, çevresel etki gibi birden fazla kriteri aynı anda dikkate alarak optimum çözümü belirlemek zorunda olması probleminin çözümü için, bina simülasyon ve çok amaçlı optimizasyon tabanlı bir karar destek modeli kullanılmasını gerektirmiştir.

Vaka çalışması için, Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi'nde yer alan bir ofis binası seçilmiştir. Seçilen bina üzerinde BES yöntemi uygulanarak yapı kabuğu elemanlarının binanın enerji etkinliğine ve ısı konforuna etkisi araştırılmıştır. BES için seçilen bina ile ilgili mimari bilgiler elde edilmiş ve ölçüm için gerekli izinler alınmıştır. Elde edilen bilgiler doğrultusunda bina BES programında modellenmiştir. Oluşturulan simülasyonun yapı elemanlarının gerçek performansını yansıttığının doğrulanması için, seçilen bina içinde iç ortam sıcaklık ve nem, dış ortamda ise sıcaklık, nem, gelen güneş ışınımı ve hava hızının 7 günlük ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen gerçek veriler ile BES'den elde edilen iç ortam sıcaklıkları ve enerji tüketimi değerlerinin karşılaştırılması ile oluşturulan model doğrulanmıştır. Doğrulan model üzerinde iki farklı cephe sistemi, her biri ayrı tasarım değişkeni için optimize edilmiştir. Daha sonra optimize edilen cephe sistemlerinin ısıtma, soğutma, aydınlatma ve tüm yıl enerji tüketimleri ve konfor standartlarına uygunluğu karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Tablo 1.1'de yöntemin akış diagramına yer verilmiştir.

Bu çalışma için kullanılan yazılım motoru Energy Plus ve onun grafik arayüzü DesignBuilder'dır. Energyplus, ABD Enerji Bakanlığı'nın bina, ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek için geliştirdiği 3.

nesil dinamik bir BES motorudur. EnergyPlus çıktılarının geçerliliği, Bina Enerji Analizi Bilgisayar Programlarının Değerlendirilmesi için Karşılaştırmalı Standart Test Metodu BESTEST / ASHARE STD 140 ile doğrulanmıştır (Attia ve De Herde, 2011). Program, tasarımın tüm aşamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir.



Şekil 1.1 Vaka incelemesi yönteminin akış diagramı

DesignBuilder EnergyPlus simülasyon motorunun bir grafik arayüzüdür. Bu arayüz, temelde karmaşık bir simülasyon programı olarak görülse de, bir mimarın spesifik dilini görsel olarak ele almaya ve farklı düzeylerde detay verilerini girmeye yarar (Attia ve De Herde, 2011). Ayrıca, üç boyutlu yapı geometrilerini modellemek ve enerji performansını değerlendirmek için güçlü bir araçtır. Designbuilder'da veri girişi arazi, bina, blok, bölge, yüzey ve açıklık başlıkları altında hiyerarşik olarak

gerçekleştirilebilmektedir. DesignBuilder arayüzünün seçilmesinin sebebi, mimarların kullanımına uygun bir geometri girişi sağlaması ve geniş bir malzeme kütüphanesinin olmasıdır. Bu çalışmada sürüm 5.5.0.012 kullanılmıştır.



## BÖLÜM İKİ

### NEREDEYSE SIFIR ENERJİ YAPILARIN TANIMLANMASI VE İLGİLİ KAVRAMLARIN İNCELENMESİ

#### 2.1 Neredeyse Sıfır Enerji Kavramı ve Tarihsel Gelişimi

Dünya üzerindeki kaynakların hızla tükenmekte olması ve kullanılan enerji miktarının hızla artması, sonucunda ekosistemin dengesi bozulmaktadır. Bu durum hem çevreyi koruma konusunda, hem de enerji kullanımı üzerinde yeni yaklaşımlara neden olmuştur. Hem uygulama hem de yasal düzenlemelerde, yeşil binalar, yeşil enerji, sürdürülebilir çevre ve kaynak kullanımı gibi terimler yukarıdaki süreçlerin sonuçları olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle enerji verimliliği konusu ve sera gazı salımlarının ve yaşanan enerji krizlerinin yarattığı iklim değişikliği gerçeği ile birleşince, küresel ölçekte ürün ve hizmet alımlarındaki karar verme süreçlerinde önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır ve aynı zamanda yasal düzenlemelerde de yer almaktadır (Özyurt ve Karabalık, 2009).

##### 2.1.1 Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği gelişmiş ülkelerin çoğunun gündeminde önemli bir yere sahiptir. Politik bir hedef olarak enerji verimliliği kavramının önemi, ticari ve endüstriyel rekabet gücü ve enerji güvenliği ile ilişkisinin yanısıra CO<sub>2</sub> salımlarının azaltılması gibi çevresel faydalardır.

Patterson, 1996'ya göre enerji verimliliği genel bir terimdir ve nicel bir ölçüsü yoktur. Bunun yerine, enerji verimliliği değişikliklerini nicelleştirmek için çeşitli göstergeler tanımlanmaktadır. Genel olarak enerji verimliliği, aynı miktarda hizmet veya faydalı çıktı üretmek için daha az enerji kullanmak anlamına gelir. Örneğin, endüstriyel sektörde, enerji verimliliği bir ton ürün üretmek için gereken enerji miktarıyla ölçülebilir. Bu durumda enerji verimliliği genelde basit bir oran ile tanımlanabilir (2.1):

$$\text{Enerji Verimliliği} = \frac{\text{bir işlemin faydalı çıktısı}}{\text{bir işlem için enerji girdisi}} \quad (2.1)$$



Bu noktada “faydalı çıktı”dan ne anlaşıldığı ve işlem için gerekli olan enerji girdisinin miktarının ne tür değişkenlere bağlı olduğu önem kazanmaktadır. Bu tanım sorununu çözmek için çeşitli ülkelerde enerji verimliliği alanında 1970’lerden beri uygulanan en önemli tedbirlerden biri bina kodları ve standartlarıdır. Binalarda enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için bu konuda yürürlükte olan enerji etkin bina tasarım yönetmelik ve standartlarına uyulması önem taşımaktadır. Binalarda enerji performansı (BEP), tüketilen enerji miktarı ile belirlenen bina enerji verimliliği göstergesidir. BEP konusunda tüm dünyada yapılan çalışmalarda SEB kavramı karşımıza çıkmaktadır.

### **2.1.2 Sıfır Enerji Binası**

Binalarda enerji kullanımı çevre üzerinde önemli bir etki göstermektedir. Ticari binalar ve konutlar, Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'ndeki birincil enerjinin yaklaşık %40'ını ve elektriğin yaklaşık %70'ini kullanmaktadır (EIA 2005). Ticari bina sektöründe elektrik tüketimi 1980-2000 yılları arasında iki katına çıkmıştır ve 2025 yılına kadar % 50'lik bir artış göstermesi beklenmektedir (EIA 2005). Ticari bina sektöründeki enerji tüketimindeki artış, binalar kendi enerji talebini karşılayacak enerjiyi üretmek üzere tasarlanana kadar devam edecektir. Bu amaca yönelik olarak, ABD Enerji Bakanlığı (DOE), 2025 yılına kadar maliyet-etkin ticari binalar SEB'ler için teknoloji ve veri tabanı oluşturmayı hedef olarak belirlemiştir. Günümüzde SEB hedeflenmekle birlikte, binalarda enerji tüketimi ile ilgili araştırmalar 20. Yüzyılın başlarına dayanmaktadır.

SEB, karmaşık bir kavramdır. SEB'nin farklı yönlerini vurgulayan çok sayıda yaklaşım mevcut olup SEB kavramı çok çeşitli ifadelerle tanımlanmıştır. Genel kabul görmüş bir SEB tanımının eksikliği halihazırda uluslararası düzeyde tartışılmaktadır (Marszal ve diğer., 2011).

Sıfır enerjiye yönelik ilk belgelendirilmiş girişimlerden bazıları gerçekte güneş enerjisi evleri şeklinde sıfır ısıtmayı sağlamaya yönelik girişimlerdir. Erken örnekler, büyük bir ısı güneş toplama alanı ve su deposu içeren MIT Solar House I (1939) ve güneş hava kolektörleri ve kaya kütleli depolama kullanan Bliss House (1955) dir. 1970'lerden örnekler arasında Danimarka'daki Vagn Korsgaard Sıfır Enerji Evleri

veya Saskatchewan Koruma Evi bulunmaktadır. Bunlar yüksek yalıtımlı cepheleriyle sıfır veya neredeyse sıfır enerji ile ısıtma için tasarlanmıştır. Saskatchewan Koruma evi, günümüzde pasif ve düşük enerjili yapı tasarımında ana akım haline gelen hava sızdırmazlığı (50 Pa'da 1,3 hava değişimi) ve havadan-havaya ısı eşanjörleri gibi bazı özellikleri kullanmıştır. Bu yaklaşım önceki sıfır enerji ile ısıtma tesisatlarına kıyasla daha az güneş toplama yüzeyi ve güneş enerjisi depolama alanı kullanılmasını sağlamıştır (Hernandez ve Kenny, 2010). Bir başka yaklaşım ise, Iqbal (2004) ve Giljamse (1995)'nin SEB tanımı olarak sadece elektrik kullanımına odaklanılmasıdır.

SEB kavramının ana fikri, binalardaki tüm enerji ihtiyacının düşük maliyetli, yerel olarak mevcut, kirlilik yaratmayan ve yenilenebilir kaynaklardan karşılanabileceğidir. Torcellini ve diğer. (2006), bir net SEB'i en katı tanıma göre, yıllık enerji kullanımına eşit veya daha fazla yenilenebilir enerji üreten bina şeklinde tanımlamıştır.

"Net enerji" kavramı ilk olarak 1920'lerde karşımıza çıkmaktadır. O dönemde üzerinde birçok çalışma yapılan bu kavram bir süre sonra unutulmuş, fakat 1970'lerde fosil yakıt rezervlerinin azalmasıyla birlikte yeniden canlandırılmıştır. O yıllardan beri net enerji analizi, fosil yakıt ve nükleer endüstrilerden, yenilenebilir teknolojilere kadar birçok farklı alanda enerji sistemlerinin yaşam döngüsü boyunca ele alınarak uygulanmıştır. Hernandez ve Kenny, (2010)'un çalışmasında net enerji analizi, bir teknoloji tarafından topluma sunulan enerji miktarını, kaynak bulma, ortaya çıkarma, işleme, kullanıma sunma ve bu enerjiyi topluma yararlı hale getirmek için gereken toplam enerjiyle karşılaştıran bir değerlendirme tekniği olarak tanımlanmıştır (Sartori ve diğer., 2012).

Net SEB için de farklı tanımlar yapılmıştır. Avrupa Parlamentosunun 2009'da yayınladığı yeniden düzenlenmiş EPBD'de bulunan net SEB tanımı şu şekildedir; çok yüksek enerji verimliliği sonucu toplam yıllık birincil enerji tüketimi, yerinde ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji üretimine eşit veya daha az olan binalardır. Torcellini ve diğer. (2006) tarafından tartışılan iki tanım "net sıfır arazi enerjisi" ve "net-sıfır kaynak enerjisi" dir. Net sıfır arazi enerjisi, bir alanda, üretilen veya kullanılan enerjinin türüne bağlı olmaksızın binanın bir yılda en azından tükettiği ile aynı miktarda enerjiyi ürettiği anlamına gelir. 'Net sıfır kaynak enerjisi' tanımında ise, şebekeden alınan ve şebekeye verilen enerji, bir birincil enerji dönüşüm faktörü

ile çarpılır. Bu sayede, ısıtma yakıtlarının kullanımında bir miktar esnekliğe izin verilmiş olur. Örneğin, birincil elektrik faktörünün yüksek olduğu bir yerde elektrik şebekeye doğrudan satılıyorsa, 'net sıfır kaynak enerjisi' tanımı, daha küçük birincil enerji faktörü olan bir kaynağa göre daha fazla miktarda yakıtını kullanılmasını gerektirecektir.

Bir başka SEB bakış açısı olan “yaşam döngüsü SEB”, Hernandez ve Kenny (2010) tarafından şu şekilde tanımlanmıştır; işletimde kullanılan birincil enerji ve (enerji üretenler dahil olmak üzere) kurulum aşamasındaki materyal ve sistemlerde bulunan gömülü enerjinin toplamının, binanın ömrü boyunca ürettiği yenilenebilir enerjiye eşit veya daha az olduğu binalardır. Bu bakış açısına göre enerji dengesi yalnızca işletme aşamasında bina tarafından kullanılan enerjiye odaklanmayıp, aynı zamanda bina yapımı ve sistemleri ile gömülü enerjiyi de içermesi gerektiğini önermektedir.

nSEB tanımı, EPBD 2010/31 revizyonuyla ortaya çıkan tanımlamalardan biridir. nSEB, bir yılın belirli bir dönemi boyunca, şehir tarafından talep edilen enerjiye bağlı olarak enerji akışını dengeleyen ve kamu şebekesine enerji sağlayan bina/tesis anlamına gelmektedir. Bu, bir binanın her yıl yenilenebilir enerji kaynaklarından, binada üretilen ile aynı miktarda enerjiyi talep etmesi anlamına gelir.

Voss ve diğer. tarafından 2011’de ilk net ve neredeyse SEB tanımları önerilmiştir. Buna göre bir net SEB’in, yerel olarak ürettiği enerji ile şebekeden kullandığı enerjiyi tamamen telafi etmesi gerekir ve binanın kendi ihtiyaçlarını karşılamak için yenilenebilir enerji kullanması şarttır. nSEB’lerde ise, belirli bir gözlem dönemine (genellikle bir yıl) dayanarak enerji dengesinin sıfırdan daha yüksek ve oldukça belirsiz olduğu görülmektedir. Avrupa Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Federasyonu (REHVA) aşağıdaki tanımı önermiştir: nSEB, "ulusal maliyet-optimal enerji kullanımı >0 kWh/m<sup>2</sup>yıl birincil enerji" değerine sahiptir. Sonuç olarak net SEB, 0 kWh/m<sup>2</sup>yıl birincil enerji kullanımı olarak tanımlanan kesin performansı karşılaması gerekmekte iken, nSEB’in enerji kullanımı performansı ulusal koşullara ve kararlara bağlıdır (Kurnitsky ve diğer., 2011).

### **2.1.3 Yurtdışındaki Yönetmelikler Ve Uygulamalar**

AB, Kyoto protokolü ile CO<sub>2</sub> salımını azaltmayı taahhüt etmiş ve bu yolda topluluk içindeki binaların enerji performansının iyileştirilmesini amaçlayan temel yasama araçlarından biri olan EPBD'yi yayınlamıştır. EPBD'nin 2002/91/EC sayılı direktifinin ilk uyarlaması 16 Aralık 2002 tarihinde onaylanmış ve 4 Ocak 2003'te yürürlüğe girmiştir. AB üye devletlerinin gerekli kanunları, düzenlemeleri ve idari hükümleri yürürlüğe koyarak, direktife kuruluş tarihinden itibaren (4 Ocak 2006) üç yıl içinde uyum sağlaması gerekmektedir. Direktif, üye devletlerin bina yönetmeliklerini güçlendirmesini ve binaların enerji performanslarının belgelendirilmesini şart koşmuştu. 2002/91/EC sayılı direktif, 19 Mayıs 2010'da onaylanan ve 18 Haziran 2010'da yürürlüğe giren "EPBD revizyonu" ile değiştirilmiştir.

EPBD 2010/31 revizyonuyla ortaya çıkan tanımlamalardan biri olan nSEB hedefine göre, üye devletlerden yapı stoğunun, özellikle yenilenebilir enerji kullanan yüksek kaliteli binalar olacağını ve en az enerji tüketeceğini garanti etmeleri istenmektedir (2010/31/AB Direktifinin 9. Maddesi). Buna göre;

1. Ocak 2021'den başlayarak, tüm yeni binaların nSEB standartını yerine getirmesi;
2. Kamu idareleri ve yetkilileri tarafından sahip olunan ve/veya kullanılan yeni binalar için nSEB standartının Ocak 2019'da uygulanmaya başlatılması talep edilmektedir.

Her iki durumda da üye devletler, ilgili faaliyetler, ilerleme ve sonuçlar konusunda Avrupa Komisyonu'na rapor vermek zorundadır. Avrupa Komisyonu da maliyetin optimal seviyelerini hesaplamak için kullanılan yöntemi ve nSEB ilkeleri için yol gösterici olacak bir yöntem ile ilgili kuralları belirlemelidir.

ABD'de ise yönetmeliklerden ziyade, enerji verimli yapıları özendirici uygulama ve programlar karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan biri de Sıfır Enerji Hazır Ev (SEHE) programıdır. 2008 yılından bu yana, ABD Enerji Bakanlığı (DOE), SEHE programı ile 14.000'den fazla enerji verimli ev üretimin/yapımını ve milyonlarca dolarlık enerji tasarrufunu sağlamıştır. SEHE'ler, nitelikli bir üçüncü taraf tarafından

doğrulanmaktadır ve tipik bir yeni evden en azından % 40 -% 50 daha fazla enerji verimlidir. ABD 6 farklı iklim bölgesine bölünmüş ve bu bölgeler sıcak/soğuk/karma iklim bölgeleri olarak sınıflandırılmıştır. Bir binanın DOE SEHE sertifikası alabilmesi için bulunduğu iklim bölgesine göre bazı standartları karşılaması gerekir. Bu standartların ana başlıkları; ısı yalıtım ve sızdırmazlık, bina servisleri (HVAC) kalite kontrolü (ekipmanlar ve iç hava kalitesi), su yönetimi, yüksek performanslı pencereler, güneş enerjisiyle sıcak su elde etme ve aydınlatma yönetimi şeklindedir (DOE Zero Energy Ready Home National Program Requirements, 2017).

#### **2.1.4 Ülkemizdeki Yönetmelikler**

2002’de AB’de yürürlüğe giren EPBD’nin ilk sürümü, AB uyum sürecinde olan Türkiye’yi etkilemiştir. 18.04.2007 tarihli “Enerji Verimliliği Kanunu” bu konudaki en önemli gelişmelerdendir. Enerji Verimliliği Kanunu’nu, enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynak kullanımını verimliliğinin artırılmasını amaçlamaktadır.

Ülkemizdeki binaların yalıtılması ile ilgili standart, TS 825 numaralı “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standartıdır. Bu standartın ilk hali 29 Nisan 1998 tarihinde yürürlüğe konulmuştur. 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren tüm binalarda uygulanmak üzere zorunlu standart halini alan standartın en yeni hali 26 Ağustos 2008 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Bu standartın amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamak, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmak ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap yöntemini ve değerlerini belirlemektir. Bu standartta açıklanan hesaplar kullanılarak yeni yapılacak bir binaya ait ideal enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğini ve mevcut binalar için net ısıtma enerjisi tüketimlerini veya mevcut bir binaya uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerini belirlemek mümkündür.

Enerji Verimliliği Kanunu gereği binaların enerji performans sınıfını belirleyecek olan BEP Yönetmeliği 05 Aralık 2008 tarihinde resmi gazetede yayımlanmıştır. BEP Yönetmeliğinin amacı; dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, yerel şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak bir binanın bütün enerji kullanımlarının

değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, binaların birincil enerji ve CO<sub>2</sub> salımı açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için en az enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı salımlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans ölçütlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektir.

BEP Yönetmeliği gereği, 1000 m<sup>2</sup>'den büyük yeni binalarda 01.01.2011 tarihi itibarıyla, mevcut binalarda 01.01.2020 tarihine kadar Enerji Kimlik Belgesi (EKB) alınmak zorundadır. EKB binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, yalıtım özellikleri ve ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin verimi ile ilgili bilgileri içeren belge olarak tanımlanabilir. EKB düzenlemek için kullanılan ve çevre ve şehircilik bakanlığı internet adresinden erişim sağlanan yazılım programı, bina enerji performansı ulusal hesaplama yöntemi (BEP-TR)'dir. 2014 yılından bu yana BEP-TR'nin 2. Sürümü kullanılmaktadır. BEP-TR programı, binanın enerji tüketimine etki eden tüm değişkenlerin binanın enerji verimliliğine etkisini değerlendirmekte, binanın enerji performans sınıfını belirlemekte ve binanın sera gazı salım sınıfını hesaplamaktadır. Bir binaya ait EKB belgesi düzenlenmesinin aşamaları şunlardır;

- BEP-TR yazılımına binanın enerji tüketimine etki eden mekanik ve geometrik bilgilerin girilmesi,
- Bu bilgilerle yapılan hesaplama sonucunda, binanın yıllık ısıtma-soğutma-havalandırma, sıcak su, aydınlatma tüketimlerinin birincil enerji cinsinden belirlenmesi,
- Bu tüketim değerlerine bağlı ortaya çıkacak CO<sub>2</sub> salımının hesaplanması,
- Binanın hesaplanan enerji tüketim miktarı ve CO<sub>2</sub> salımının, referans bina değerleriyle karşılaştırılması,
- Elde edilen orana göre binanın A-G arasında bir enerji sınıfına yerleştirilmesi.

İşlem sonucunda bina için bir EKB düzenlenmiş olur. Binalarda EKB düzenlenmesini öngören ilgili yönetmelikte bu yazılımın, kimlik belgesi vermekle yetkilendirilmiş uzmanlar tarafından kullanılması zorunlu kılınmıştır. BEP-TR ulusal

yazılımında, binaların ısıtılması ve soğutulması için ihtiyaç duyulan enerjinin hesaplanmasında temel alınan standart, “TS EN ISO 13790 Binaların enerji performansı - mekan ısıtılması ve soğutulması için enerji kullanımının hesaplanması”dır (BEP-TR 2 Eğitim kataloğu, 2017).

## 2.2 Ofis Yapılarında Enerji Verimliliği Standartları

BES konusunda ulusal ve uluslararası alanda yürütülen yönetmelik çalışmalarına bölüm 2.1’de yer verilmiştir. Bu bölümde EPBD’nin nSEB yapılarla ilgili “*nSEB’lere doğru,*” (2013) çalışmasında belirtilen standartlar, ofis binalarının tasarımı, inşası ve yönetimi için Green Public Procurement (GPP) kriterleri, Almanya’daki Pasif Ev sisteminin pasif enerjili bina kriterleri ve Türkiye’deki BEP-TR sertifikasyon sistemi açıklanmıştır.

AB’ye üye devletler, nSEB için ulusal tanımlarını ve nSEB’lerinin sayısını artırma konusundaki ulusal planlarını kurgulamak zorundadırlar. Devletlerin hesaplama prosedürleri oldukça farklıdır ve EPBD’nin temelini oluşturan Avrupa Standart Komitesi (CEN) standartlarına uygun olmak zorunda değildir. Bu nedenle farklı ülkelerdeki binaların enerji performanslarını karşılaştırmak çok zordur.

EPBD’ye göre nSEB’lere referans olarak sadece birincil enerjinin alınması uygun değildir. Isıtma, soğutma, sıcak su ve aydınlatma referans ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılan enerjinin yanı sıra havalandırma, yardımcı yükler ve elektrik yükleri gibi, EPBD Ek I’in gerektirdiği enerji performans göstergeleri de hesaplamalara eklenmelidir. EPBD’nin, 2010 fiyatları, teknolojileri ve diğer varsayımlarını kullanarak, Avrupa’nın 5 farklı bölgesindeki yeni binalar için, ısıtma ve soğutma yüklerinin temel alındığı çalışması sonucunda, binaların enerji ihtiyaçlarının aşağıdaki aralıklarda olduğu ortaya çıkmıştır (EPBD Final raporu, 2013):

- Bölge 1: Katanya (Atina, Larnaka, Luga, Sevilla, Palermo vb.): 15-45 kWh/m<sup>2</sup>yıl (yeni ofis), 15-30 kWh/m<sup>2</sup>yıl (yeni tek aile için konut)
- Bölge 3: Budapeşte (Bratislava, Ljubjana, Milan, Viyana vb.): 15-45 kWh/m<sup>2</sup>yıl (yeni ofis), <15 kWh/m<sup>2</sup>yıl (yeni tek aile için konut)

- Bölge 4: Paris (Amsterdam, Berlin, Brüksel, Kopenhag, Dublin, Londra, Macon, Nancy, Prag, Warszawa vb.): 30-45 kWh/m<sup>2</sup>yıl (yeni ofis), burada aynı ortalama küresel maliyete sahip değişkenler bulundu <15 kWh/m<sup>2</sup>yıl ve 15-30 kWh/m<sup>2</sup>yıl sınıflarında da; <15 kWh/m<sup>2</sup>yıl (yeni tek aile için konut)
- Bölge 5: Stockholm (Helsinki, Riga, Stockholm, Gdansk, Tovarene vb.): 15-30 kWh/m<sup>2</sup>yıl (ofis), <25 kWh/m<sup>2</sup>yıl (tek aile için konut)

Kullanım suyu ısıtma (DHW) için gerekli enerji ihtiyacının zemin alanına göre en fazla değerleri Alman Enerji Tasarruf Yönetmeliğine göre, tek aile için evlerde 12.5 kWh/m<sup>2</sup>yıl, çok aile için evlerde en fazla 15-20 kWh/m<sup>2</sup>yıl'dır. Bu yönetmelikte ısı geri kazanımı ile, bu değerlerin %50'ye kadar azalabileceği ihmal edilmiştir. Ofis binalarında sıcak su kullanımını 0 kWh/m<sup>2</sup>yıl'a yakın olmalıdır (EPBD Final raporu, 2013).

Konut dışı yapılarda aydınlatma, belirli bir enlemdeki gün ışığının kullanılabilirliğinden oldukça etkilenmektedir. Norveç standardı NS 3071: 2012 "Pasif evler ve düşük enerjili binalar için kriterler", konut dışı binalar için aydınlatmada enerji kullanımı olarak en fazla 12,5 kWh/m<sup>2</sup>yıl değerini belirlemiştir. Gün ışığının daha çok kullanılabildiği bölgelerde 6 ile 10 kWh/m<sup>2</sup>yıl arasında bir enerji yeterli olabilir (EPBD Final raporu, 2013).

1996 yılında Dr. Wolfgang Feist tarafından Almanya'da kurulan Pasif Ev Enstitüsü, enerji verimli yapı tasarımında önemli rol oynayan bir kuruluştur. Enstitü, kuruluşundan günümüze kadar birçok enerji verimli yapının inşa edilmesine ön-ayak olmuştur. Günümüzde, pasif yapıların sertifikalandırılması Almanya merkezli Uluslararası Pasif Ev Birliği (IPHA) tarafından gerçekleştirilmektedir. IPHA'nın 2015'de yayınladığı Pasif Ev Planlama Paketi'nde pasif ev ile ilgili şu kriterler ortaya konmuştur:

- Mekan ısıtma gerekliliği: yıllık 15kWh veya kullanılabilir yaşam alanının metrekaresi başına 10W (en yüksek talep) değerini aşmamalıdır



- Mekan soğutma gerekliliği: iklime bağlı olarak havanın neminin giderilmesi ihtiyacı göz önünde bulundurularak, ısıtma talebi ile kabaca eşleşmelidir.
- Birinci enerji ihtiyacı: kullanılabilir yaşam alanı metrekaresi başına tüm ev uygulamaları için (ısıtma, soğutma, sıcak su ve ev elektriği) yıllık 120 kWh'yi geçmemelidir.
- Hava sızdırmazlık: 50 Pascal basıncında saatte en fazla 0,6 hava değişimine (hem basınçlı hem de basınçsız durumlarda yerinde basınç testi ile doğrulanmış şekilde) sahip olmalıdır.
- Isıl konfor: Yıl boyunca tüm yaşam alanlarında, herhangi bir yılda zamanın %10'undan fazlasında 25°C'nin üzerinde olmamak kaydıyla ısı konfor sağlanmalıdır.

Pasif ev mottosuyla inşa edilen ilk pilot proje (Kranichstein Passive House, Darmstadt, Almanya, 1990), 10 kWh/m<sup>2</sup>yıl'ın altında enerji tüketim seviyesine sahip çok aileli bir konuttur (Passiv, 2013). Pasif Ev veritabanında sertifikalı olarak kayıtlı 1365 tane, dünyada 2016 itibariyle ortalama 60000 pasif ev olduğu görülmektedir (Passipedia, 2019). Ülkemizde 2012 yılında kurulan Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği pasif ev standartlarının araştırılması ve sıfır enerjili yapıların ülkemizde yaygınlaşması hakkında çalışmalar yürütmektedir. Gaziantep'teki GAP Enerji Verimliliği Danışmanlık Kuluçka Merkez Binası, Gaziantep Belediye Binası ve Ankara Etimesgut'taki tek aileli villa ülkemizdeki pasif ev sertifikasına sahip yapılardır (SEPEV,2013).

AB'nin yayınlamış olduğu ofis binalarının tasarımı, inşası ve yönetimi için yeşil kamu ihalesi kriterleri, ofis binaları özelinde nSEB'lerin uygulanmasını sağlamaya yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Bu kriterler ile, enerji ve kaynak açısından verimli, sağlıklı çalışma alanlarının oluşturulmasının yanı sıra yaşam döngüsü maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir (Dodd ve diğer., 2016).

Enerji Performans Sertifikası (EPS), ilk kez 2002'de EPBD'de tanıtılmıştır ve 2010 EPBD güncellemesi, EPS'lerin kalitesini, kullanılabilirliğini ve kamuoyuna kabulünü geliştirmek için bir dizi yeni kural eklemiştir. Bugüne kadar AB'ye üye 28 devletin tamamı EPBD gerekliliklerini ulusal mevzuatlarında resmen uygulamıştır. EPS'de

yeni ve yenilenmiş ofis binalarının asgari enerji kullanımı genellikle kWh/m<sup>2</sup> cinsinden yılda toplam birincil enerji tüketimi veya m<sup>2</sup> başına CO<sub>2</sub> salımları olarak ifade edilir.

Tablo 2.1 AB'ye üye devletlerde asgari enerji performansı gereksinimleri (Dodd ve diğer., 2016)

İklim bölgesi	Üye devlet	Yönetmelik	Asgari enerji performansı gereksinimi	
			Yeni yapı	Yenilenmiş yapı
Kuzey Avrupa	Estonya	Asgari enerji performansı gereksinimleri yasası	Ofis yapıları 160 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS D sınıfı)	Ofis yapıları 200 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS E sınıfı)
			Kamu yapıları 200 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS E sınıfı)	Kamu yapıları 250 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS F sınıfı)
	Finlandiya	2012 milli yapı kodu	Birincil enerji tüketimi 170 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS E sınıfı)	Birincil enerji tüketimi 136 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS D sınıfı)
	İsveç	2015 milli yapı kodu	Elektrikle ısıtılan; 50 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS C sınıfı)	Yenilemenin büyüklüğü ve potansiyeli göz önüne alınarak yeni yapı hedefleri uygulanır
Elektrikle ısıtılmayan; 70 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS C sınıfı)				
Orta Avrupa	Macaristan	2015 bakanlık emri	Yüzey alanı/hacim oranına göre ayarlanır. 130-160 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS E/F sınıfı)	Yüzey alanı/hacim oranına göre ayarlanır. 199-256 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS F/G sınıfı)
	Hollanda	2015 Binaların enerji performans standartı (EPG)	Enerji performans katsayısı 0,4. 50-65 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS A+/A++ sınıfı)	Eşikler bildirilmemiştir.
	Polonya	2015 Binaların enerji performans yasası	140 kWh/m <sup>2</sup> yıl	161 kWh/m <sup>2</sup> yıl
	Romanya	2013 Binaların enerji performansı yasası	75-127 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS A-B sınıfı)	Eşikler bildirilmemiştir.
	İngiltere	Binaların enerji performansı düzenlemesi tadilatı (SI 2012/3118)	Doğal havalandıran binalar 87 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS B sınıfı)	Eşikler bildirilmemiştir.
			Klimalı binalar 155 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS C sınıfı)	
Güney Avrupa	Fransa	RT 2012	Doğal havalandıran binalar 70 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS C sınıfı)	Eşikler bildirilmemiştir.
			Klimalı binalar 110 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS C sınıfı)	
	İtalya	63/2013 yasası	Eşikler bildirilmemiştir.	Eşikler bildirilmemiştir.
	İspanya	Binalarda ısıtma teçhizat düzenlemeleri (RITE)	İklim bölgesine göre değişir: 49-97 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS B-D sınıfı)	İklim bölgesine göre değişir: 52-85 kWh/m <sup>2</sup> yıl (EPS B-C sınıfı)

Tablo 2.1’de Aralık 2014 itibariyle asgari enerji performansı gereksinimlerinin seçilen üye devletlerde nasıl ifade edildiği karşılaştırılmıştır. Tablo 2.1’den yeni inşa edilecek ofis binaları için en az performans gereksinimlerinin genel olarak üç kategoriye ayrıldığı görülebilir (Dodd ve diğer., 2016):

- Yüksek seviye performans: Mevcut en az performans gereksinimlerinin halihazırda yüksek performanslı nSEB seviyelerine (<130 kWh/m<sup>2</sup>yıl ve A-B veya daha yüksek EPS derecelerine sahip) yaklaştığı üye devletler (örneğin Fransa, Hollanda, Romanya, İsveç);
- Orta seviye performans: Bazı durumlarda yüksek performanslı nSEB’e yaklaşımlarına rağmen, genel olarak B ve C EPS puanlarına sahip, mevcut en az performans şartlarının çoğunlukla maliyet optimal olduğu üye devletler (örneğin Polonya, İngiltere, İspanya);
- Düşük seviye performans: D ve E EPS puanlarına sahip ve mevcut en az performans gerekliliklerinin maliyet optimal olması için daha katı hale gelmesi gereken üye devletler (örneğin Estonya, Finlandiya, Macaristan).

Ülkemizde BEP-TR, binanın enerji tüketimine etki eden tüm değişkenlerin, binaların enerji verimliliğine etkisini değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için geliştirilmiştir. BEP yönetmeliği kapsamına giren binaların yıllık m<sup>2</sup> başına düşen enerji tüketim miktarını ve buna bağlı olarak CO<sub>2</sub> salınımını hesaplar.

Binanın enerji performansı, enerji tüketim sınıfı açısından gerçek binanın yıllık m<sup>2</sup> başına düşen enerji tüketim miktarının, referans binanın yıllık m<sup>2</sup> başına düşen enerji tüketim miktarı ile kıyaslanmasıyla belirlenir. BEP, enerji tüketimi için aşağıdaki formül ile hesaplanır (Bayram, 2011):

$$E_p,EP= 100 (E_{Pa} / E_{Pr}) \quad (2.2)$$

Burada,  $E_p$  Binanın enerji performansını,  $EP$  (kWh/m<sup>2</sup>yıl) binanın yıllık m<sup>2</sup> başına düşen enerji tüketim miktarının birincil enerjiye dönüştürülmüş şeklini,  $r$  referans binayı,  $a$  gerçek binayı ifade eder.

Referans bina ile aynı değerlere sahip gerçek binanın  $E_p$  Bina performans değeri 100’dür ve D sınıfının üst sınırını temsil eder. Tablo y,  $E_p$  Bina performans değerlerine

göre sınıflandırmayı göstermektedir. Sınıflandırma, enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> salımı için ayrıdır ve iki sınıflandırma için de Tablo 2.2'deki performans gösterge aralıkları kullanılır.

Tablo 2.2 BEP-TR enerji sınıfları

Enerji sınıfı	Referans binaya oranla binanın enerji performansı aralıkları
A	0-39
B	40-79
C	80-99
D	100-119
E	120-139
F	140-174
G	175-..

### 2.3 Neredeyse Sıfır Enerji Hesaplama Yöntemleri

Binalarda sıfır enerji hesaplama yöntemi için genel kabul görmüş bir standart bulunmamaktadır. Ayrıca, 'sıfır' hedefini yerine getirmeye çalışan bir bina dengesinin hesaplanması kolay bir iş değildir. SEB binalar gelecekte bir hedef olarak görüldüğünden SEB tasarımında mimarların ve mühendislerin çalışmalarını kolaylaştıran, inandırıcı, güvenilir ve ifade edilebilir bir hesaplama yöntemi geliştirmek gerekmektedir. SEB dengesinin hesaplanmasına yönelik çeşitli yaklaşımlar temelinde, IEA SHC Task 40/ECBCS Annex 52 'Net Sıfır Enerji Güneş Binasına Doğru' projesi araştırmacıları ve Hernandez ve Kenny (2010) tarafından önerilen yöntemler bulunmaktadır. Ancak şu unutulmamalıdır ki; IEA SHC Task 40/ECBCS Annex 52'de toplanan enerji hesapları sadece vakaların gözden geçirilmesi için veya yayınlanmış kaynaklar olmaksızın yapılan önerilere dayanmaktadır.

Özerk, şebekeye bağlı olmayan SEB'ler; şebekeye bağlı, net SEB dengesi hedefine ulaşma yolundaki ara adımlardan biri olarak algılanmaktadır. Marszal ve diğer.'ne göre, SEB kavramı ulusal yapı kodlarında ve uluslararası standartlarda tam olarak uygulanmadan önce, açık ve tutarlı bir tanımlama ve genel kabul görmüş bir enerji hesaplama yöntemi gerektirir. Yeni bir SEB tanımı geliştirmeden önce özel olarak dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar şunlardır: denge metriği, denge süresi, denge dahil enerji kullanımı türü, enerji dengesinin türü, kabul edilen yenilenebilir

enerji arz seçenekleri, enerji altyapısına bağlantı, enerji verimliliği, iç mekan iklimi ve şebekeye bağlı SEB durumlarında bina-şebeke etkileşim şartları (Marszal ve diğer., 2011). Mevcut literatürde bulunan çeşitli net SEB tanımları ve binaların dengelenmesi için önerilen enerji hesaplama yöntemleri, SEB tanımını etkileyen en önemli hususlara göre aşağıda verilmiştir.

### **2.3.1 Denge Metriği**

Sıfır dengesine ulaşmak için uygulanan metrik bir takım etkenlerden etkilenebilir; bu nedenle, tanımlama ve/veya hesaplama yöntemi için birden fazla birim kullanılabilir. Bunlar, son kullanım veya ağırlıksız enerji, birincil enerji, CO<sub>2</sub> eşdeğer salımları, ekserji, enerji maliyeti veya ulusal enerji politikası tarafından tanımlanan diğer değişkenler olabilir.

Torcellini ve diğer. (2006), SEB tanımında uygulanan metriğin, (1) proje hedefleri, (2) yatırımcının niyetleri, (3) iklim ve sera gazı salımları ile ilgili endişeler ve (4) enerji maliyetinden etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, dört farklı SEB tanımı önermişlerdir: arazi SEB, kaynak SEB, salım SEB ve maliyet SEB. Yazarlar, "sıfır arazi enerjisi" ve "sıfır enerji maliyeti" tanımının kolay uygulanması, "sıfır enerji salımı"nın hesaplama karmaşıklığı ve "sıfır kaynak enerjisi" tanımının bölgesel ve bölgesel olmayan özelliklerinin avantajlarının ve dezavantajlarının altını çizmişlerdir. Kilkis (2007), SEB tanımındaki denge metriğinin, binanın çevreye olan etkisini değerlendirmek istendiğinden hem enerjinin niceliğine hem de niteliğine hitap etmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu sebeple, özellikle bir net sıfır ekserji binası üzerinden, SEB için yeni bir tanım önermektedir: "bir bölge enerji sistemi içinde, tüm elektrik ve diğer türden enerji iletimleri belirli bir süre içinde gerçekleşirken, bina-bölge sınırında toplam yıllık sıfır ekserji iletimine sahip olan bina". Mertz ve diğer. (2007) ve Laustsen (2008), dengenin sadece iki metriğini belirtir: salımlar ve enerji. İletilen veya birincil enerjiyi belirtmezler.

Birincil enerji, net SEB dengesinin en çok tercih edilen metriğidir. EPBD, nSEB için birincil enerjiyi enerji dengesinin metriği olarak kullanmaktadır (Marszal, 2011). Uygulaması en kolay ve aynı zamanda insanların çoğunun anlayabileceği en kolay birim verilen enerjidir. Bununla birlikte, iki önemli dezavantajı vardır: Birincisi,

dönüşüm ve ulaşım kayıpları hesaba katılmaz ve ikincisi, farklı enerji türlerinin kalitesi tamamen ihmal edilir. Bu metriği benimseyen SEB vakaları yalnızca bir enerji taşıyıcısı olanlardır, örn. tam elektrikli SEB. Dolayısıyla, en çok uygulanan birim birincil enerjidir. 1 kW elektrik ve 1 kW ısı veya doğal gaz üretiminde ve dağıtımındaki farkı göz önüne almaya izin vermektedir ve bu nedenle gerçek bina enerji kullanımını daha iyi ifade etmektedir. Bununla birlikte, birincil enerji dengesi ile ilgili bazı hususların bulunduğu dikkat edilmelidir: (1) enerji altyapısının özelliklerinin değişmesi sonucu zamanlı birincil enerji etkenlerinin değişmesi ve (2) hidro, rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının katkısının küçümsenmesi. Segers (2008) ikinci husus hakkında yaptığı çalışmasında, yenilenebilir enerji teknolojilerinin birincil enerji metrik olarak kullanıldığında ayırt edilir olduğunu söyler. Zira geleneksel yolla, örn. termik santralde 1 birim elektrik üretimi, genelde 2-3 birim birincil enerji gerektirirken, 1 birim hidroelektrik 1 birim birincil enerji gerektirir. Bu sebeple, yenilenebilir enerji kaynaklarının tipik konvansiyonel enerji kaynaklarıyla uygun dönüşüm faktörü kullanılarak karşılaştırıldığı yer değiştirme yöntemini önermektedir.

Tanımlar ve yöntemler tarafından da belirtildiği üzere, ikinci en çok tercih edilen metrik karbon eşdeğeri salımlardır (Marszal, 2011). Bunun temel nedeni, iklim değişikliği konusundaki tartışmanın genel olarak ulusal ve / veya uluslararası salım azaltma hedeflerine küresel olarak atıfta bulunulması olabilir. Öte yandan uygulamada, binaların salım performansı yerine enerji performansı temel alınarak değerlendirilmesi ve sertifikalandırılması daha sık karşılaşılan bir durumdur.

### ***2.3.2 Denge Dönemi***

SEB hesaplaması yapılırken uygulanan süre oldukça değişkendir. Bunlar, bir binanın kapsamlı bir yaşam ömrü veya binanın çalışma süresi (örn. 50 yıl), en yaygın kullanılan yıllık denge veya özel durumlarda mevsimlik ya da aylık denge uygulanabilir. Yıllık dengenin en fazla kullanılan denge dönemi olmasının sebeplerinden biri, BES programlarının çoğunun nihai sonuç olarak bir binanın yıllık enerji kullanımını sağlaması ve ikincisi, yıllık dengelemenin literatürdeki SEB tanımları arasında en çok tercih edilen dengeleme dönemi olmasıdır (Marszal, 2011).

Mevsimlik veya aylık denge dönemlerini kullanarak, enerji üreten sistemler gerçek enerji talebini daha iyi karşılayacak şekilde boyutlandırılır, ancak çoğu zaman pik yükleri karşılayacak kadar büyük boyutlu olabilirler. Ayrıca, enerji talebi ile yenilenebilir enerji üretimi arasındaki mevsimsel uyumsuzluktan ötürü, yıllık dışındaki denge durumunda sıfır denge elde etmek daha zordur. Yapı malzemelerinin ve / veya teknik sistemlerin gömülü enerjisini ve / veya inşaat ve yıkım aşamalarını ve / veya malzemelerin geri dönüşümünü de içeren bir alternatif dengeleme dönemi, bir binanın tüm yaşam döngüsüdür. Bu seçeneği benimseyen yaklaşımlarda en önemli konu binaların yaşam döngüsünün sınırlarını tanımlamaktır (Marszal, 2011).

### **2.3.3 Enerji Kullanım Türü**

Mevcut SEB tanımlarının çoğunda hangi enerji türünün dengeye dahil edildiği belirtilmemiştir. Diğer yandan yöntemlerde bulunan ortak nokta, bir binanın toplam enerji kullanımınıdır. Bir binanın enerji derecelendirme ve belgelendirme yöntemleri yalnızca binanın kullanımı ile ilgili enerji miktarını açıklar, bu uygulama birçok Avrupa yapı kodu tarafından uygulanmaktadır. Uluslararası EN 15603:2008 'binaların enerji performansı - genel enerji kullanımı ve enerji derecesinin tanımlanması' standartına göre, enerji derecelendirme hesaplamaları yapılırken, yalnızca aşağıdakilere bağlı olmayan türden enerji kullanımlarını dahil etmek zorunludur: kullanıcı davranışları, gerçek hava durumuna ve diğer gerçek (çevre ve iç ortam) koşullara bağlı olmayan enerji kullanımı -yani ısıtma, soğutma ve nem alma, havalandırma ve nemlendirme, sıcak su ve aydınlatma (konut dışı binalar için)-. Kullanıcıdan kaynaklı enerji kullanımını hesaplama yöntemlerinde ihmal etmenin başlıca nedeni, yüksek belirsizlik ve yeterli veri / girdi eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, kullanıcının davranışı üzerine yapılan çalışmalar göstermektedir ki, enerji verimliliği davranışını motive ederek genel enerji kullanımını azaltmak ve bina ekonomisini iyileştirmek mümkündür. Bu durum, enerji tasarruflu teknolojilerin bina işletimi ile ilgili enerji kullanımını sürekli olarak geliştirdiği ve azalttığı göz önüne alındığında daha da önem kazanmaktadır. Dolayısıyla, kullanıcıya ait enerji, bir binanın toplam enerji kullanımının önemli bir parçası haline gelir. Şebeke perspektifinden bakıldığında, bina ve kullanıcıya bağlı enerji arasındaki ayrım önemsizdir, sadece toplam kullanım hesaplanır (Marszal, 2011).

Hesaplama önerilerinin çoğu binanın toplam enerji kullanımını hesaplarken hem bina ile ilgili hem de kullanıcı ile ilgili enerji kullanımını dikkate alır. Ancak bunlar girdi değişkenleri ile ilgili olarak kendi özelliklerine de sahiptirler.

SEB'in enerji dengesinde girdi olarak düşünülebilecek bir başka enerji türü, gömülü enerjidir. Literatür taraması göstermektedir ki, daha büyük bina ve daha sık yenilenen malzemelerin daha fazla kullanımı ile yapı malzemeleri ve teknik sistemlerde yer alan gömülü enerji miktarı çoğalmaktadır (Marszal, 2011). Ayrıca, işletme enerjisinin daha da azaltılması ile gömülü enerjinin binanın yaşam döngüsü enerji değerlendirmesindeki önemi artmaktadır. Bununla birlikte, kullanıcıya ait enerji kullanımında olduğu gibi, doğru ve güvenilir veri eksikliği ve dolayısıyla gömülü enerjinin hesaplanması ve analizinde zorluk yaratmaktadır.

#### **2.3.4 Denge Çeşidi**

Bu husus çoğunlukla şebekeye bağlı SEB'ler ile ilgilidir, zira bu tür SEB'ler arasında iki muhtemel denge vardır: (1) enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji üretimi veya (2) binaya verilen enerji ve şebekeye verilen enerji (Marszal, 2011). Her iki denge de çoğu durumda aynı olmakla birlikte, ilk dengede dikkate alınmayan, ancak ikincide dikkate alınabilecek birleşik ısı ve güç sistemlerinde kullanılan fosil yakıttır, ancak aralarındaki ana fark uygulama zamanıdır. Birinci denge, binanın tasarım aşamasında daha uygundur, ikincisi ise izleme aşamasına daha uygundur. Şebeke dışı SEB'lerde, enerji kullanımının yenilenebilir enerji üretimi ile telafi edilmesi gerektiği görülmektedir. Literatürde en çok tercih edilen, enerji ihtiyacı veya tüketimi ile yenilenebilir enerji üretimi arasındaki dengedir (Marszal, 2011). Bununla birlikte, Laustsen (2008) ve Mertz ve diğer. (2007)'nin çalışmalarına göre enerji dengesi, bina ile enerji altyapısı arasındaki enerji akışlarının durumunu yansıtmaktadır.

#### **2.3.5 Yenilenebilir Enerji Tedarik Seçenekleri**

Yenilenebilir kaynaklar güneş ve rüzgar gibi yapı alanında bulunabilir veya biyokütle gibi bu alana taşınması gerekebilir. Bu nedenle ilkesel olarak, iki adet yenilenebilir enerji tedarik seçeneği bulunmaktadır: yerinde tedarik ve arazi dışı tedarik. Torcellini ve diğer. (2006), Tablo 2.3'de yenilenebilir enerji kaynaklarının



hiyerarşik bir uygulama sıralamasını önermektedirler. Yerinde tedarik için bina sınırları içindeki tedarik ile şantiye içindeki tedarik arasında ayırım yaparlar. Arazi dışı kaynaklara gelince, bina ya yerinde enerji üretmek için yerinde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanır ya da arazi dışı yenilenebilir enerji kaynaklarını satın alır.

Tablo 2.3 Yenilenebilir enerji kaynak seçenekleri hiyerarşisi (Marszal, 2011)

Opsiyon no.	SEB tedarik seçenekleri	Örnekler
0	Düşük enerjili bina teknolojileri ile enerji kullanımını azaltma	Günüşiği aydınlatması, yüksek verimli HVAC ekipmanları, doğal havalandırma, buharlaşma ile soğutma vb.
Yerinde tedarik		
1	Binanın sınırları içinde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma	Binada bulunan fotovoltaik (FV) panel, güneş enerjisi-sıcak su ve rüzgar
2	Arazide bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma	Binada değil, arazide bulunan FV, güneş enerjisi-sıcak su, düşük etkili hidro ve rüzgar
Arazi dışı tedarik		
3	Yerinde enerji üretmek için arazi dışında mevcut olan yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma	Arazi dışından alınabilen biyokütle, etanol veya biyodizel
4	Arazi dışı yenilenebilir enerji kaynaklarını satın alma	Fayda tabanlı rüzgar, FV panel, salım kredileri veya diğer "yeşil" satın alma seçenekleri. Hidroelektrik bazen göz önünde bulundurulur.

### 2.3.6 Enerji Altyapısıyla Bağlantı

Şebeke dışı SEB herhangi bir şebekeye bağlı olmadığı için yükün pik yaptığı zamanlarda bir miktar elektrik enerjisi depolama sistemini kullanması gerekir. Literatürde bu tür SEB "kendi kendine yeterli", "özerk" veya "tek başına" olarak da adlandırılabilir. "Net sıfır enerji", "şebekeye bağlı" veya "şebekeye entegre" SEB, elektrik şebekesi, bölgesel ısıtma ve soğutma sistemi, gaz boru şebekesi, biyokütle ve biyoyakıt dağıtım şebekeleri gibi bir veya daha fazla enerji altyapısıyla bağlantılıdır. Bu sayede, hem şebekeden enerji satın alma, hem de şebekeye fazladan enerji besleme imkanı bulunmaktadır ve böylelikle elektrik depolama zorunluluğu yoktur. Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi şebekeye bağlı net SEB, yıllık enerji kullanımını nötr olan binalardır. Yani şebekeden kullandıkları kadar enerjiyi şebekeye sağlarlar. Bu bağlamda, bazen şebekeden enerji çekmesine rağmen, ısıtma, soğutma, aydınlatma veya diğer enerji kullanımları için herhangi bir fosil yakıtı ihtiyaç duymaz. Büyük depolama kapasitesi, yedek jeneratörler, enerji depolamak veya dönüştürmekten

kaynaklanan enerji kayıpları ve büyük boyutlu yenilenebilir enerji üretim sistemi sorunları, özerk SEB'in dünyada pek fazla bulunmamasına neden olur (Marszal, 2011).

### **2.3.7 Gereksinimler**

Günümüzde binalar inşa edilmeden önce birtakım şartları yerine getirmelidir. Tasarımı ve dolayısıyla SEB'lerin kalitesini etkileyebilecek gereklilikler; (1) enerji verimliliği gereklilikleri, (2) iç mekan iklim şartları ve (3) şebekeye bağlı SEB'ler durumunda bina-şebeke etkileşim gereksinimleri. Hesaplama yöntemlerinde kullanılmayan gereksinimler bu bölümde incelenmektedir.

#### *2.3.7.1 Enerji Verimliliği Gereksinimleri*

Laustsen (2008) tarafından belirtildiği gibi SEB, çok büyük bir güneş kolektörü ve bir FV panel sistemi ile enerji tedarik edilen geleneksel bir bina olabilir. Bu sistem bir yıl içinde binadaki kullanılan daha fazla enerji sağlıyorsa, sıfır enerji hedefi karşılanmaktadır. SEB'lere dair bu yaklaşım çok nadirdir. Bununla birlikte, SEB tanımlamalarından sadece birkaçı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımından önce enerji verimliliği önlemlerinin kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Örneğin; Torcellini ve diğer. (2006)'a göre SEB, enerji ihtiyaçları dengesinin yenilenebilir teknolojilerle sağlanabileceği şekilde ve verimlilik kazanımları yoluyla büyük ölçüde enerji ihtiyacı azaltılmış olan bir konut veya ticari binadır. Iqbal (2004)'e göre SEB, piyasada mevcut olan yenilenebilir enerji teknolojisini en güncel enerji verimliliği inşaat teknikleriyle en iyi şekilde birleştiren bir konut için kullanılan terimdir.

#### *2.3.7.2 İç Ortam Şartları*

Mevcut SEB tanımlamalarında, iç mekan konfor şartları çok fazla dikkate alınmamaktadır. Ancak, Aktif Konut Projesi ve BOLIG + konseptinde bu konu ele alınmıştır. Danimarka SEB örnek projesi olan BOLIG +, bir araya getirildiğinde bir projenin SEB tanımı olarak algılanabilecek beş ilkeyle tanımlanır. İlk ilke, binanın yenilenebilir enerji teknolojilerinin uygulanmasından önce düşük enerji sınıfı gereksinimlerini yerine getirmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Birinci projede iç mekan şartları, öncelikle gün ışığı, temiz hava ve malzeme seçimiyle ilgilidir

(Activehouse, 2002). İkinci projede ise gereksinimler daha zorlayıcıdır ve gün ışığının kullanılması, yapay ışık kontrolü, yeterli atmosferik basınç, sıcaklık, hava kalitesi, akustik ve ses üzerinde olumlu etkisi olan sağlıklı malzemelerin, sağlıklı bir iç mekan için gerekli olduğu belirtilmiştir (Bolígplus, 2016).

### *2.3.7.3 Bina-Şebeke Etkileşim Gereksinimleri*

Mevcut net SEB tanımları çoğunlukla bu konuyu ihmal etmektedir. Konuya önem verenlerden biri olan Kilkis (2007), ihraç edilen ve ithal edilen enerji arasındaki enerji kalitesi farkından dolayı şebekenin genelde binadan daha kötü durumda olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, farklı enerji kalitesini daha iyi açıklayan net sıfır ekserji bina tanımı oluşturmayı önermektedir. Örneğin, Bolig + konseptini tanımlayan beş ilkeden biri bina-şebeke etkileşimi gereksinimidir. Bu ilke şebekeye geri beslenen enerjinin şebekeden alınan enerjiyle aynı kullanılabilirliğe sahip olması gerektiğini belirtmektedir (Bolígplus, 2016).

### **2.3.8 Maliyet**

Maliyet, şu anda literatürdeki SEB tanımları arasında bir kenara bırakılan bir konudur; ancak pratikte ve kavramın gelecekte geniş çaplı uygulanması için büyük önem taşımaktadır (Marszal, 2011). Bugüne kadar, SEB'lerin çoğu, maliyetin sıklıkla önemli bir rol oynamadığı projelerdir. Oysa ki, ortalama bir kişi için gündelik hayatta maliyet genelde ana karar verme sebebidir. Bu nedenle, SEB kavramı ve tanımları, ortalama bir bina sahibinin dikkatini çekecek şekilde geliştirilmelidir. Olası bir yol, ömür süresini denge süresi olarak kullanmak olabilir. Bu yaklaşımı uygulayarak, SEB yatırım maliyetleri ortalama bir evden daha yüksek olmasına rağmen, düşük enerji kullanımı ve yerinde yenilenebilir enerji üretimi sayesinde işletme maliyetlerinin daha düşük olduğunu ortaya koymak mümkündür. Bu nedenle, bir SEB ile ortalama bir bina karşılaştırıldığında genel maliyetler SEB lehine olmaktadır.

## **2.4 Bina Enerji Simülasyonu**

Günümüzden iki bin yıl önce Vitruvius, iyi yapı tasarımının üç ana unsurunu dayanıklılık, rahatlık ve güzellik şeklinde tanımlamıştır. Günümüzde, ASHRAE iyi bina tasarımını beş ana özelliği yerine getiren tasarım olarak tanımlamaktadır:

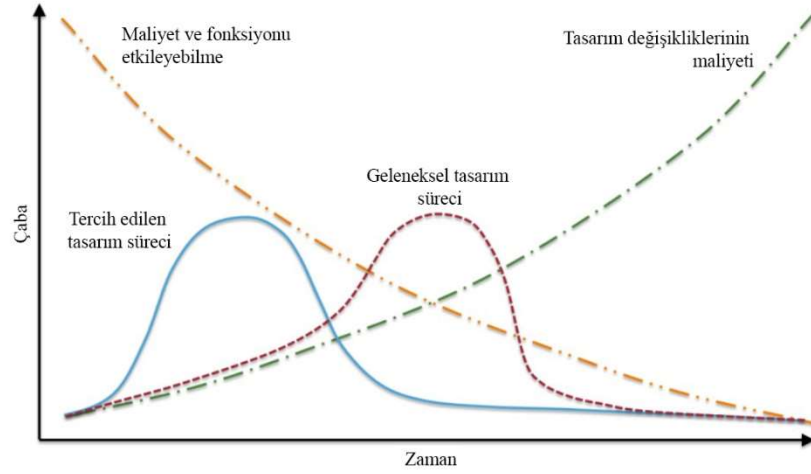
kullanıcı gereksinimlerini karşılamak; geçerli tüm kod ve standartlara uymak; iç mekan çevre kalitesini sağlamak; çevredeki tarihi ve kültürel özelliklere saygılı olmak; izleyici üzerinde amaçlanan duygusal etkiye ulaşmak (Vitruvius, 1960). Bu 5 nitelikten enerji verimliliği hedefine ulaşmak için tasarımcılar binanın kullandığı enerjiyi analiz etmekte etkili tasarım araçlarına ihtiyaç duyarlar. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeyle birlikte, BES ve modellemesi BEP'in doğru ve ayrıntılı bir değerlendirmesini sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle nSEB binalarının hesaplamalarının çok değişkenli karmaşık yapısı ve üzerinde uzlaşmaya varılmış bir hesaplama yönteminin olmaması nedeniyle, BES araçlarının kullanılması mecburidir.

Erken tasarım aşamasında alınan tasarım kararlarının %20'si daha sonraki tüm tasarım kararlarının %80'ini etkilemektedir (Bogenstätter 2000). Erken tasarım aşamasında alınan kararların nSEB tasarımı için hayati olması nedeniyle, BES araçları bilinçli tasarım kararı vermeyi desteklemek potansiyeline sahiptir (Attia ve diğer., 2013). Erken tasarım aşamasında enerji verimli bina stratejilerinin doğru uygulanması, önemli maliyet avantajlarına sahiptir. Şekil 2.1'deki "MacLeamy Eğrisi", mimari bir proje geliştikçe değiştirmenin ne kadar zorlaşacağını göstermektedir. Burada turuncu çizgi, proje geliştikçe maliyeti ve işlevsel yetenekleri etkileme yeteneğinin nasıl azaldığını göstermektedir. Yeşil çizgi ise, tasarım ilerledikçe değişiklik yapma maliyetinin çarpıcı biçimde arttığını göstermektedir. MacLeamy, tasarım için harcanan çabanın teknik tasarım aşamasından (kırmızı kesikli çizgi), şematik tasarım aşamasına (mavi düz çizgi) taşınmasının tasarım değişikliklerinin maliyetini en aza indirebileceği savını öne sürmektedir (Hetherington, 2013).

Literatürde BES araçlarının karar destek yardımcısı olmasıyla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Hopfe (2009), BES'deki belirsizlik ve duyarlılık analizinin karar destek ve tasarım optimizasyonu için kullanımını incelemiştir. Bu çalışmada BES'in karar vermeyi şu şekillerde destekleyebildiği görülmektedir:

- Tasarımcıların tasarım problemi ve seçenekleri hakkındaki bilgisini artırmak. Örneğin, enerji performansını, aralığını ve etkilerini etkileyen en önemli tasarım ölçütlerini bilmek.

- Farklı tasarım stratejilerinin göreceli yararları veya dezavantajlarını değerlendirmek. Özellikle tasarımın nSEB'lerinin enerji performansı üzerindeki etkisini dikkate almanın önemli olduğu yerlerde, karar belirsizliğini azaltmak.
- Tasarımın sabitliğini arttırmak. Yani çevre, iklim değişikliği ve kullanıcı davranışları gibi dış etkenlerden en az etkilenen, istenen performansı ve asgari düzeyde enerji verimliliğini sağlayan nSEB'leri tasarlamak.

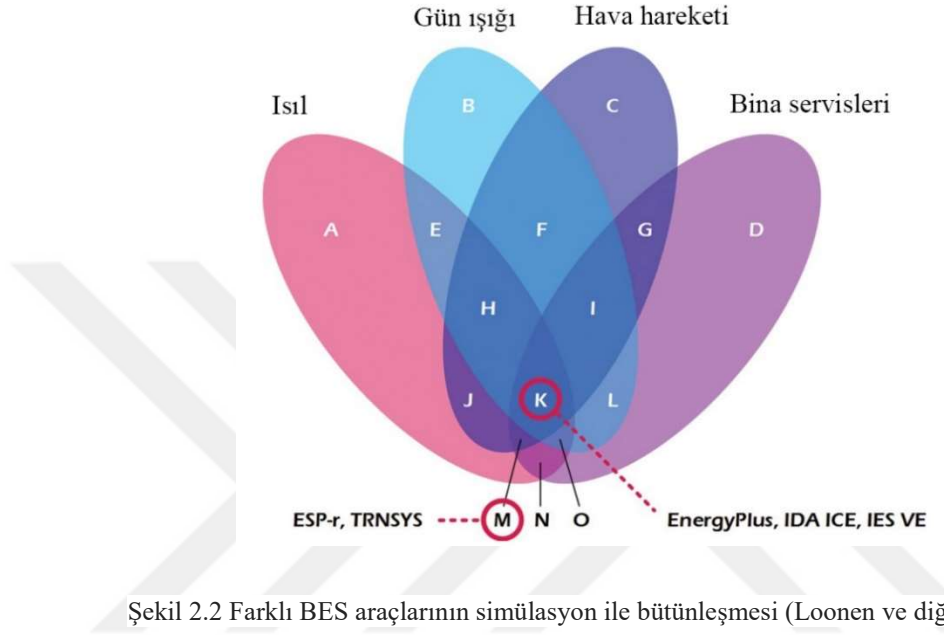


Şekil 2.1 Bina tasarım aşamaları ile ilgili “MacLeamy Eğrisi” (Hetherington, 2013)

Mevcut BES araçların çoğu, tasarım sonrası değerlendirme aracı olarak faaliyet göstermektedir. ESP-r ve TRNSYS gibi BES araçlarının çoğu, ısı, hava hareketi ve HVAC gibi bina enerji alanlarını birleştirebilir (Loonen ve diğer., 2017). EnergyPlus, IDA ICE ve IES VE gibi bunların sınırlı bir alt grubu ayrıca gün ışığı modellerini (ve dolayısıyla yapay aydınlatma modellerini) birleştirmektedir (Şekil 2.2). Bunun yanında tasarım ön kararlarını destekleyen parametrik analiz veya hassasiyet analizine izin veren jEPlus ve iDbuild gibi çeşitli araçlar bulunmaktadır (Attia ve diğer., 2013).

Dinamik enerji modellemesi, tipik olarak bir binanın iklime olan tepkisini saatlik simüle ettiği için hesap gerektirir (Hetherington, 2013). Model ne kadar karmaşıkça, simülasyon da o kadar fazla zaman alır, bu nedenle BES araçları basitleştirilmiş bir bina geometrisi gerektirmektedir. Isıl hesaplamalarda kullanılan temel birim/model, iç sıcaklıkların ve ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanabileceği ısıl bölgedir. Her bölge, nispeten homojen bir havaya sahip kapalı bir hacimden oluşmalıdır. Bununla

birlikte geniş bir alanda, kuzey, güney, doğu ve batı yönleri arasındaki farkları hesaba katabilmek için hacmi ısıl bölgelere ayırmak uygun olabilir. Her bir ısıl bölge, bölgeler arası ısı akış yollarının ve ışıınım yükünün hesaplanmasını sağlamak için bir kabuğa ihtiyaç duyar. Tüm ısıl analiz algoritmaları, her bölge için tek bir sıcaklık hesaplar ki bu tüm alandaki ortalama sıcaklıktır.



## 2.5 Isıl Konfor

ASHRAE'ye göre ısıl konfor, insanların zihninde ısıl çevre ile olan memnuniyet ifadesinin oluşmasıdır (ASHRAE Standart 55, 2013). Konfor, insanın ruh halindeki, yaşadığı kültürdeki ve diğer bireysel, toplumsal ve sosyal faktörlerdeki kişisel farklılıklardan etkilenmektedir. Isıl çevre ile ilgili memnuniyet, birbiriyle etkileşimi olan ve tam anlamıyla somut olmayan değişkenlere verilen karmaşık ve subjektif tepkidir. Başka bir deyişle, ısıl konfor için mutlak bir standart yoktur (Ogbonna ve Harris, 2008). 1962'de Macpherson ısıl konforu etkileyen faktörleri temel olarak, çevresel ve kişisel faktörler olarak ikiye ayırmıştır. Çevresel faktörler iç ortam hava sıcaklığı, bağıl nem, hava akım hızı ve ortalama ışıınım sıcaklığı (mean radiant temperature) iken kişisel faktörler, bireyin kıyafet ısıl direnci ve aktivite düzeyi olarak ayrılmaktadır (Djongyang ve diğer., 2010).

Koyun (2016), ısıl konforu etkileyen çevresel değişkenleri şu şekilde açıklamıştır;

Hava sıcaklığı, insan ve çevresi arasında taşınım ile oluşan ısı alışverişi miktarını belirleyen bir değişkendir. Vücut sıcaklığı, belirli ortam şartlarında, ürettiği metabolik enerji ve çevresiyle olan ısı transferleri arasında denge sıcaklığına ulaşır. Dengelenmiş vücut sıcaklığı, insanın iklimsel açıdan konforda olup olmadığının göstergesidir. Bu nedenle hava sıcaklığı insanın iklimsel konforunu etkileyen önemli çevresel değişkenlerden birisidir.

Ortalama ışıma sıcaklığı, insanla çevre yüzeyler arasında ışıınım yoluyla oluşan ısı alışverişini belirler. Dolayısıyla çevre yüzeylerin sıcaklıklarının birleşik etkisini gösteren bir sıcaklıktır. Bağlı olduğu değişkenler, insanın mekandaki konumu, duruş biçimi ve çevre yüzeylerin sıcaklığıdır.

Önemli bir çevresel değişken olan hava hızı, herhangi bir yüzeyle hava arasındaki ısı taşınım katsayısını, dolayısıyla, insan ve çevresi arasında taşınım yoluyla oluşan ısı transferi miktarını etkilemektedir. Havanın nemliliği, insanın cildinden çevreye olan su buharı difüzyonu, ter buharlaşması ile vücuttan kaybedilen ısı miktarlarını etkileyen bir çevresel değişkendir.

Bağıl nem; deneysel şartlarda hava içerisindeki su buharı kısmi basıncının, aynı şartlarda doymun halde bulunan havanın içerisindeki su buharı kısmi basıncına oranıdır.

Isıl konforu etkileyen kişisel değişkenler şunlardır;

İnsan vücudu, alınan yiyecekleri oksijen ile yakarak enerji üretmektedir. Birim zamanda ürettiği enerji miktarı olan metabolizma düzeyini etkileyen bir değişken, insanın yaptığı eylem türü olan aktivite düzeyidir. Bazı kaynaklarda birim olarak met kullanılan bu değişken, Fanger'in yaptığı çalışmalar sonucundaki çizelgelerde kcal/sm<sup>2</sup> olarak verilmiştir. Aktivite seviyelerinin aldığı değerler, belirli eylem türlerine göre değişkenlik göstermektedir.

Deri yüzeyi ile çevre arasındaki kütle transferi (buharlaşma ve nem diffüzyonu) yoluyla ve iletim, taşınım ve ışıınım mekanizmaları ile ısı transferi söz konusudur. Giysinin ısı ve nem transferine karşı olan direnci, deriden çevreye olan enerji

transferinde önemli bir etkidir. Giysilerin ısı direnci için clo birimi (1 clo = 0,155 m<sup>2</sup> K/W ) kullanılmaktadır.

Her birinin farklı potansiyel ve sınırları olan, konfor tanımına yönelik iki farklı yaklaşım bulunmaktadır: akılcı (ısı dengesi) yaklaşımı ve uyarlanabilir yaklaşım. Isı dengesi yaklaşımı iklim odası çalışmalarından elde edilen verileri kullanır. Yaklaşımın en iyi temsilcisi Fanger'in çalışmalarıdır (Djongyang ve diğer., 2010). Uyarlanabilir yaklaşım ise binadaki insanlardan elde edilen saha çalışması verilerini kullanmaktadır.

Isı dengesi yaklaşımı, 1296 genç Danimarkalı öğrencinin kararlı haldeki bir ısı transfer modeli kullanarak, kontrollü iklim odasında yapmış oldukları Fanger deneylerine dayanmaktadır (Fanger, 1970). Bu çalışmalarda katılımcılara standart kıyafetler giydirilmiş ve farklı ısı ortamlara maruz kalırken standartlaştırılmış faaliyetleri gerçekleştirmeleri istenmiştir. Seçilen bazı ısı koşulları için, katılımcıların nötr (0) ile soğuk (-3) ve sıcak (+3) arasında değişen yedi noktalı ASHRAE ısı algılama ölçeğini kullanarak ne kadar sıcak veya soğuk hissettikleri kaydedilmiştir. Numaraların anlamları şu şekildedir: +1 hafif ılık, -1 hafif soğuk; +2 ılık, -2 serin; +3 sıcak, -3 soğuk; 0 nötr (ne soğuk ne de sıcak). Diğer ısı koşulları için, katılımcılar ısı ortamı kendileri kontrol ederek “nötr” hissedene kadar sıcaklığı ayarlamışlardır.

Isı ortamının nötr hissedileceği koşulları tahmin edebilmek için Fanger (1967), nötr hissedilen koşullarda vücutta oluşan fizyolojik süreçleri araştırmıştır. Bu bağlamda ısı dengesini etkileyen fizyolojik değişkenlerin ter oranı ve ortalama cilt sıcaklığı olduğunu ve bu değişkenlerin aktivite seviyesine bağlı olduğunu belirlemiştir. İklim odasında gerçekleştirmiş olduğu deneyler ile, aktivite seviyesi ile ter oranı ve aktivite seviyesi ile ortalama cilt sıcaklığı arasındaki doğrusal bir ilişki geliştirmiştir. Bu iki doğrusal ilişkiyi ısı dengesi denklemlerine yerleştirdikten sonra, bir 'konfor denklemi' elde etmiştir. Konfor denklemi, kullanıcıların ısı olarak nötr hissedeceği koşulları öngörmektedir.

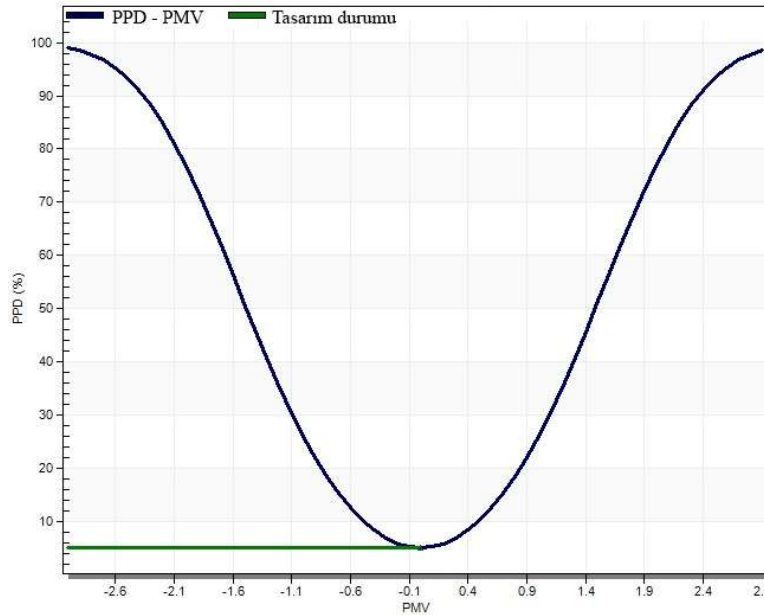
Denklemin ısı konforu şu şekilde tanımlamıştır; bir ısı ortamında vücuttaki gerçek ısı akışı ile belirli bir aktivitede optimum (yani nötr) konfor sağlamak için gereken ısı akışı arasındaki dengesizlik. Isı koşulları yedi noktalı ASHRAE ısı algılama ölçeğiyle ilişkilendirmiş olan bu denklem, “Tahmini Ortalama Oy” (PMV) indisidir.



PMV daha sonra “Öngörülen Memnuniyetsizlik Yüzdesi” (PPD) indisine dahil edilmiştir. Fanger'in PMV-PPD modeli, ısı konfor teorisine ve binalardaki iç mekanların değerlendirilmesine katkı sağlayan ve yaygın olarak kullanılıp kabul edilen bir yöntemdir (Djongyang ve diğer., 2010).

PPD, çevre hakkında şikayet etmeye meyilli olanların yüzdesi tahmin etmektedir. Yedi noktalı ısı duyarlılık ölçeğine 2 ve 3 cevaplarını verenlerin kendilerini rahatsız hissettikleri, 1 ve 0 cevabını verenlerin rahat oldukları kabul edilmiştir. Her PMV sınıfı için 2 ve 3 cevabını veren deneklerin yüzdesi belirlenir ve bu değişkene PPD adı verilir. PMV-PPD ilişkisinin esası, ısı nötrlüğe göre ( $PMV = 0$ ) simetrik olmasıdır. PMV indisi 0 olduğu zaman bile, herkesin benzer şekilde giyinmesine ve aktivite seviyesinin aynı olmasına rağmen, bazı bireysel sıcaklık seviyesinden memnun olmadığı görülebilir (Şekil 2.3). Bu, ısı konfor değerlendirilmesinin kişiden kişiye değişiklik göstermesinden kaynaklanmaktadır.  $PMV = 0$ 'da asgari % 5 oranında memnuniyetsizlik mevcuttur (Djongyang ve diğer., 2010).

PMV-PPD indislerinin ısı konfor açısından değerlendirilmesinde yaygın olarak ASHRAE Standart 55-2013: ‘İnsan kullanımı için ısı çevre koşulları’ ve ISO 7730 (2005): ‘İlımlı ısı çevreler-PMV ve PPD indislerinin ve ısı konfor koşullarının belirlenmesi’ standartları kullanılmaktadır (Çalış ve diğer., 2017).



Şekil 2.3 PMV-PPD grafiği (DesignBuilder, ısı konfor hesaplama aracı)

ASHRAE Standard 55 tarafından yapılan tavsiyelere göre, kış aylarında operatif sıcaklık 22°C (kabul aralığı 20-23°C), yaz aylarında ise 24,5°C (kabul aralığı 23-26°C) ve nispi nem oranı %30-70 aralığında olmalıdır (Tablo 2.4). Bu şartlar, % 50'lik bir nispi nem, 0,15 m/s'den düşük bir ortalama nispi hız, hava sıcaklığına eşit bir ortalama ışınım sıcaklığı ve 1,2 met'lik bir metabolik hız için varsayılmıştır. Kıyafet yalıtımı kışın 1 clo, yaz aylarında 0,5 clo olarak tanımlanmıştır. Kabul edilebilir PPD ve PMV aralıklarına bağlı olarak, Tablo 2.5'de belirtildiği gibi üç çeşit konfor bölgesi tanımlanmaktadır (Djongyang ve diğer., 2010).

Tablo 2.4 ASHRAE 55 standartları (ASHRAE 55, 2013)

	Operatif sıcaklık	Kabul aralığı
Yaz	24,5°C	23-26°C
Kış	22°C	20-23°C

Tablo 2.5 Genel konfor için kabul edilebilir üç ısı ortam (ASHRAE 55, 2013)

Konfor	PPD	PMV aralığı
A	<6	-0,2<PMV<0,2
B	<10	-0,5<PMV<0,5
C	<15	-0,7<PMV<0,7

## **BÖLÜM ÜÇ**

### **ÖRNEK NEREDEYSE SIFIR ENERJİ VAKALARININ İNCELENMESİ**

Bu bölümde, literatürdeki enerji verimliliği BES ile değerlendirilmiş beş farklı vaka çalışması incelenerek, yöntemlerinin ve karşılaştırılan parametrelerinin karşılaştırılması ve eksikliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Örneklerin seçiminde vaka konusu olan yapının ofis yapısı olması ve yapı kabuğu ve cephe sistemlerinin enerji verimliliğinin incelenmiş olması dikkate alınmıştır. Ofis yapılarında en çok tercih edilen enerji verimli cephe sistemi ÇTC'lerdir.

En çok alıntı yapılan tanıma göre ÇTC, bir dış ve bir iç katmana ve kontrollü havalandırma ve güneş kontrolü için kullanılan tampon alana sahip çok katmanlı bir dış cephe örtüsüdür (Gratia ve De Herde, 2004). Genel olarak, çift cidarlı bir cephe sistemi, dışa takılan bir cidardan, (doğal veya mekanik olarak) havalandırılmış bir boşluktan ve bir iç cidardan oluşur. Güneş gölgeleme elemanı, havalandırılan boşluğa yerleştirilebilir.

Gratia ve De Herde'nin 2004'de yaptığı çalışmada, seçilen binada çift cepheli ve tek cepheli versiyon için, sekiz tipte günde simülasyon yapılmıştır ve vakaların ısı davranışları karşılaştırılmıştır. İncelenen sekiz vakada yapılan analizler, bu bina için çift cidarlı cephe kullanımının ısıtma yüklerini azalttığını ve soğutma yüklerini arttırdığını göstermektedir.

ÇTC'de sadece doğal havalandırmanın mümkün olduğu durumlarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Doğal havalandırma mümkün değilse, ofislerde mekanik hava temini gerekir ve hava dolaşımı için gerekli olan elektrik maliyeti artmaktadır.

Kış mevsiminde hava katmanı iç cephede iletimle oluşan kayıpları azaltır. Yaz aylarında, doğal havalandırma stratejisini uygulamak zordur. Çift cidardan çekme yoluyla çapraz havalandırma yapmak rüzgar yönüne ve binanın konumuna bağlıdır. Ayrıca, sıcak hava katmanı binanın doğal olarak soğumasını önlemektedir. Çift tabaka büyük ölçüde havalandırılmış olsa bile, hava sıcaklığı her zaman dış sıcaklıktan biraz daha yüksektir.

Bulutlu günlerde yapılan çapraz havalandırma ve gece havalandırması, hava akışı yönü ters olsa bile tamamen etkilidir. Yani gece havalandırması stratejisi soğutma yüklerinin azaltılmasını sağlamaktadır.

Ballestini ve diğer. 2005'de yaptıkları çalışma, Akdeniz ikliminde bir ipek fabrikasında pasif güneş sistemlerinin kullanılması üzerinedir. TRNSYS ve LOOPDA simülasyon modelleri tarafından gerçekleştirilen dinamik simülasyonlarda çift cidarlı cephe ve doğal havalandırma çalışılmıştır. Sonuçlar, ÇTC'nin bina tadilatı için iyi bir çözüm olabileceğini ve enerji tüketiminde % 12'ye kadar tasarruf sağlayabileceğini göstermiştir.

Gratie ve De Herde 2007'de çift cidarlı cephelerin gün içinde havalandırması için bir rehber çalışması hazırlamışlardır. Bu çalışmada ofislerde 4 ac/h'lık bir havalandırma hızı elde etmek için, hakim rüzgar yönüne göre tasarım önerileri bulunmaktadır. Buna göre hakim rüzgar yönüne göre çift cidarın üst açıklığının yönelimi, alt açıklığın açık veya kapalı olması ve iç cidardaki açıklıkların konumları ve büyüklükleri önem kazanmaktadır. Genel bir öneri olarak, iç cidardaki açıklıkların katların üst pencerelerinde yapılması ve binanın üst katlarında azalan baca etkisinden dolayı üst katlardaki açıklıkların daha büyük olması gerekliliği verilmiştir.

2005 yılındaki Yılmaz ve Çetintaş tarafından yapılan bir başka çalışmada, İstanbul'da kış döneminde çift cidarın binadaki enerji talebine etkisini göstermek için tek ve çift cidarlı ofis binasındaki ısı kayıpları analiz edilmiştir. Çalışmada iki cidar arasındaki boşluğun kapalı olduğu varsayılmıştır. Sonuç, İstanbul'daki kış koşullarında çift cidarın ısıtma enerjisi tüketimini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

Bu bölümde daha detaylı incelenen örnek vakalar, 2012'den sonra yayınlanmış makaleler arasından seçilmiştir. Burada aktarılan 5 vakadan 4 tanesinde simülasyon motoru olarak EnergyPlus ve arayüz olarak DesignBuilder kullanılmıştır, 1 vakada PHPP'2007 programı kullanılmıştır. Çalışma alanımız ofis yapıları olduğu için, 5 vakadan 4 tanesi ofis yapısıdır, 1 tanesi eğitim yapısıdır. Kullanıcı sayısı ve faaliyet durumu açısından ofis yapısına benzer özelliklere sahip olduğu için eğitim yapısı da vaka analizlerine dahil edilmiştir. Vakalardan iki tanesi sıcak iklim bölgesindedir, 1

tanesi ılımlı karasal iklim bölgesindedir, 2 tanesi ise farklı iklim özelliklerini araştırma değişkeni olarak kullanmıştır.

### 3.1 Vaka No 1: ABD'nin Altı Farklı Bölgesinde Bir Ofis Yapısı

Susorova ve diğer. 2013'de yapmış olduğu bu çalışmada, ofis yapılarında yapının geometri faktörlerinin bina enerji performansına etkisini araştırmıştır. Geometri faktörleri olarak ele alınan değişkenler; pencere yönelimi, PDO ve oda genişliği-derinlik (G/D) oranıdır. Tipik bir ofis binası, DesignBuilder'da modellenerek, yukarıdaki değişkenlere ait veriler girilmiş ve simülasyonlar yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. ABD'nin 6 farklı iklim bölgesini temsil eden 6 farklı konum seçilmiştir. Tablo 3.1'de yapının genel özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Vaka 1'in genel özellikleri

Yapı künyesi	Kullanılan program	EnergyPlus, DesignBuilder
	Şehir/iklim tipi	Bölge 2: Houston (sıcak), Bölge 3: Los Angeles (ılık), Bölge 4: Seattle (karma), Bölge 5: Chicago (serin), Bölge 6: Minneapolis (soğuk), Bölge 7: Duluth (çok soğuk)
	Yapı tipolojisi	Ofis
	Yapı alanı	6m genişlik sabit, derinlik değişken
	Yapı kat adedi	Binanın orta katında bulunan tek bir ısıtılabilir bölge
	Yapı kat yüksekliği (m)	2,75
	Yapı geometrisi	Dikdörtgen planlı
	Yapı yönelimi	Değişken
Yapı bileşenleri	Duvar katmanları	Dış duvar: genişletilmiş polistren ısı yalıtımı+alüminyum kaplama, İç duvar: alçı panel
	Tavan katmanları	Akustik asma tavan
	Doğrama katmanları	Çift tabakalı cam arasında hava boşluğu+ısı yalıtımlı doğrama (tüm pencerenin %10'u doğramadır)
	Döşeme katmanları	Çelik çerçeve üzeri topping betonu ve metal plaka
	HVAC sistemi	Değişken hava debisi sistemi (VAV)
	Isıtma tipi	Sıcak su bobinleri
	Isıtma sistemi performans katsayısı	0,8
	Isıtma sistemi besleme hava sıcaklığı (°C)	35 (1 saat ön ısıtma)
	Isıtma set point (°C)	21
	Isıtma gece ayarı sıcaklığı (°C)	13

Tablo 3.1 devamı

Isıtma - Soğutma Sistemi	Isıtma için kullanılan enerji tipi	Doğal gaz
	Soğutma tipi	Soğutulmuş su bobinleri
	Soğutma sistemi performans katsayısı	2,78
	Soğutma sistemi besleme hava sıcaklığı (°C)	10 (1 saat ön soğutma)
	Soğutma set point (°C)	24
	Soğutma gece ayarı sıcaklığı (°C)	32
	Soğutma için kullanılan enerji tipi	Elektrik
	Mekanik havalandırma	Değişken hızlı motorlu giriş fanı, 3 hava değişimi/s, toplam verimlilik %78, ekonomizer, ısı geri kazanımı, en az havalandırma 1 l/s-m <sup>2</sup>
	Yardımcı enerji (fanlar ve pompalar) (kWh/m <sup>2</sup> )	36
Çalışma takvimi	Çalışma saatleri	Hafta içi 08.00-19.00 arası
	Çalışan yoğunluğu (kişi/m <sup>2</sup> )	0,1
	Sıcak su tüketim oranı (günde l/m <sup>2</sup> )	2
	Sıcak su teslim sıcaklığı (°C)	43
Elektrik yükleri	Ofis Ekipmanlar (W/m <sup>2</sup> )	8
	Aydınlatma Ekipmanlar (W/m <sup>2</sup> )	9,7 (bina alanı metoduna göre), 11 (mekandan mekana metoduna göre)
	Hedef aydınlatma (lux)	430
	Aydınlatma kontrolü	3 kademeli

Çalışma için tipik bir ofis binasının orta katında bulunan tek bir ısıl bölge DesignBuilder’da modellenmiştir. Alt, üst ve yan komşu mekanların ısıl etkisi hesaba katılmamıştır. Dikdörtgen planlı mekanın genişliği sabit 6 m olup derinliği değişken alınmıştır. Modelin tavanı, tabanı ve üç iç duvarı adyabatiktir. İç-dış mekan arası ısı geçişi sadece camlı dış duvardan sağlanır. Dış duvara ait PDO %40’dır.

Modelin yapı malzemelerinin ısıl özellikleri, düşük katlı konut binaları dışındaki binalar için ASHRAE 90.1 Enerji Standartı tarafından belirlenen en az enerji gereksinimleriyle tanımlanmıştır (Tablo 3.1). Adyabatik elemanların ısıl özellikleri sabittir. Opak dış duvarın ve kullanılan camın ısıl özellikleri, her iklim bölgesinin gereksinimlerine bağlı olarak enerji kodu tarafından öngörülen şekilde farklılaşmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Bina dış cephesinin en az ısıl özellikleri (Susurova ve diğer., 2013)

Cephe özellikleri	İklim tipleri					
	sıcak	ılık	karma	serin	soğuk	çok soğuk
Çelik çerçeveli dış duvar montajının ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	0,7	0,48	0,36	0,36	0,36	0,36
Sabit pencerenin ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	4,25	3,68	3,13	3,13	3,13	2,56
Alüminyum doğramanın ısı transfer katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Güneş ısı kazanım katsayısı (SHGC)	0,25	0,25	0,4	0,4	0,4	0,45

Birinci değerlendirilen değişken, pencere yönelimidir. Bu bağlamda kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı ve kuzeybatı yönelimleri test edilmiştir. İkinci değişken, bir dış duvar alanının yüzde kaçının cam malzeme olduğunu gösteren PDO'dur. Yedi farklı PDO değeri, 6 m'lik sabit pencere genişliği için test edilmiştir: %20, %30, %40, %50, %60, %70 ve %80'dir. ASHRAE 90.1 Enerji Standartına göre ticari binalarda PDO'nun en yüksek değeri tüm iklim bölgeleri için %40'tır. Bu yüzden bu çalışmada %40 PDO değeri temel durum olarak kullanılmıştır. %40'tan büyük herhangi bir PDO değeri, ancak temel durumdan daha verimli bir enerji performansı elde edilirse uygulanır.

Bu çalışmada değerlendirilen son değişken, G/D oranıdır. Odanın dış duvarının genişliği, cepheden ısı iletimine maruz kalan alanı ve alınan gün ışığı miktarı ile bağlantılıdır. Oda derinliği, gün ışığının içeri girme mesafesini belirlemektedir. Geniş ve sığ bir oda, iyi bir gün ışığı seviyesi ve ışık dağılımına sahiptir, ancak dış duvarının geniş alanı boyunca yüksek ısı kazancı ve kaybı vardır. Dar ve derin bir odada, gün ışığı seviyesi daha düşüktür, ancak dış duvarının küçük alanı boyunca ısı transferi de çok daha düşüktür. Ofis odası modelinde dört G/D oranı 1:1, 1:1,5, 1:2 ve 1:2,5 test edilmiştir. Bunlar sırasıyla 6m, 9m, 12m ve 15m oda derinliklerine karşılık gelmektedir. Seçilen oda derinliği değerleri, ofis binalarındaki kiralanılan tipik ofislerin ölçülerine dayanmaktadır.

Toplam, 6 iklim bölgesi, 8 pencere yönelimi, 7 PDO değeri ve 4 G/D oranı için 1344 enerji simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Binanın yıllık metrekare başına

aydınlatma, ısıtma, soğutma, yardımcı (fanlar ve pompalar), sıcak su ve toplam enerji tüketimi simüle edilmiştir.

İklim bölgesi 2 (Houston, TX) ve 3 (Los Angeles, CA) için yapılan enerji simülasyonları, sıg bir odadaki (oda derinliği 6 m) PDO %20'den %40'a çıkarıldığında toplam bina enerji tüketiminin azaldığını, PDO %40'tan %80'e çıkarıldığında ise arttığını göstermiştir. Diğer oda derinlikleri (9 m, 12 m ve 15 m) için toplam tüketim, PDO %20 ile %80 arasında arttıkça sürekli olarak düşmektedir. Buna karşın, iklim bölgeleri 6 (Minneapolis, MN) ve 7'de (Duluth, MN) güney yönelimi dışındaki tüm oda derinlikleri ve yönelimlerinde toplam bina enerji tüketimi, PDO arttıkça istikrarlı bir şekilde artmaktadır. PDO artmasıyla enerji tüketiminin de artması özellikle sıg odalarda göze çarpmaktadır. 2, 3, 6 ve 7 bölgelerinde, PDO'nun tüm değerleri için, oda derinliğinin 6m'den 15m'ye çıkmasıyla enerji tüketimi düşmektedir ve bu etki güney yöneliminde en düşüktür. İklim bölgesi 4 (Seattle, WA) ve 5 (Şikago, IL), PDO, oda derinlikleri ve yönelimleri gibi pencere değişkenlerinden etkilenmemektedir.

PDO, sıcak iklim bölgelerindeki derin odalarda (bölge 2 ve 3) ve soğuk iklim bölgelerindeki sıg odalarda (bölge 6 ve 7) toplam enerji tüketimi üzerinde en yüksek etkiye sahipken, orta derinlikteki odalarda nispeten önemsizdir. Bu gözlem, sıcak iklimlerde büyük pencere alanına sahip odalarda yapay aydınlatma ihtiyacının daha düşük olması ile açıklanmaktadır. Soğuk iklimlerde sıg odalarda dış yüzeyden ısı iletimi, enerji tüketiminde baskın yüküdür ve bu sebeple geniş pencere alanları daha fazla ısı kaybına sebep olmaktadır. Bu tür iklimlerde kuzey cepheler için küçük pencere alanı tercih edilirken, güney cepheler için daha büyük pencere alanı tercih edilmelidir. Çünkü güneşten gelen ısı artışı ısınma ihtiyacını azaltabilir. Ilıman iklimlerde (bölge 4 ve 5), orta pencere alanına sahip odalar en iyi enerji performansına sahiptir.

Sıcak iklimlerde küçük pencereli odalarda ve soğuk iklimlerde geniş pencereli odalarda G/D oranı toplam enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ilıman iklimlerde ise sadece enerji tüketimini çok az olarak etkilemektedir. Sıcak iklimlerde, sıg odalar daha az yapay aydınlatma gerektiğinden en iyi enerji performansına sahiptir. Soğuk iklimlerde derin odalar en iyi enerji performansına sahiptir. Çünkü elektriksel aydınlatma ve diğer bina ekipmanları gibi iç kaynaklardan elde edilen ısı artışı,



cepheden ısı kaybı ve kazancına göre daha yüksektir. Ilıman iklimlerde, orta derinlikte odalar en iyi enerji performansına sahiptir.

En yüksek enerji tasarrufu, 2 ve 3. iklim bölgesinde, orta ve yüksek derinlikteki (9–15 m) ve büyük pencereci odalarda (% 50-80 arasında PDO) meydana gelirken, iklim bölgesi 4'de orta ve yüksek derinliklerdeki ve orta büyüklükteki pencereci odalarda (PDO %50–60) meydana gelmektedir. Bölge 5'de enerji tasarrufu, sığ (6m) ve küçük pencereci (PDO % 20-30) ve derin (15m) ve orta pencereci (PDO % 50-60) odalarda sağlanmıştır. Bölge 6'da ise sadece küçük pencereci sığ odalarda meydana gelmiştir. Son olarak 7 nolu iklim bölgesinde, küçük pencereci (PDO %20–30) kuzey yönelimli odalarda ve orta ve büyük pencereci (PDO %50-80) orta ve yüksek derinliğe sahip (9–15 m) odalarda enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Geometrik etkenlerin bina enerji tasarrufuna en yüksek etkisi sıcak iklimlerdeci. Ilıman ve soğuk iklimler için enerji tasarrufu çok azdır. Sıcak iklimlerde tasarruf, iklim bölgesi 2 için ortalama %2,74 ve iklim bölgesi 3 için ortalama %5,75 olup, iklim bölgesi 2 için % 9,95'e kadar ve iklim bölgesi 3 için %14,09'e kadar yükselir.

Sonuçları özetlemek gerekirse;

- Sıcak ve ılıman iklimlerde tüm yönelim ve pencere boyutları için sığ odalar, soğuk iklimlerde derin odalar en iyi enerji performansına sahiptir.
- Sıcak ve ılıman iklimlerde en iyi enerji performansı, orta büyüklükteki pencereci derin odalarda ve büyük pencereci sığ odalarda gerçekleşmektedir. Soğuk iklimlerde en iyi performans, küçük pencereci sığ odalarda ve orta büyüklükteki pencereleri olan derin odalarda meydana gelmektedir.
- Güneye bakan odalar genel olarak tüm iklim koşullarında en iyi enerji performansına sahiptir.
- Sıcak ve ılıman iklimlerde en düşük enerji tüketimi, kuzey yönündeki büyük pencereci odalar ve güney yönündeki küçük pencereci odalarda gerçekleşmektedir. Soğuk iklimlerde en düşük enerji tüketimi, büyük pencereci güneye bakan odalarda ortaya çıkmaktadır.

### 3.2 Vaka No 2: Mısır’da Bir Eğitim Yapısı

Eğitim yapılarının kullanım takvimi, kullanıcı sayısı, büyüklük ve eğitim çeşidine bağlı olarak kullanım türü açısından ofis yapılarıyla çok fazla ortak yönü bulunmaktadır. Bu sebeple, Mansoura Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin ana binasındaki üç çizim salonunun soğutma yüklerinin ve güneşliği seviyelerinin DesignBuilder yazılımının Energy Plus ve Radiance motorları aracılığıyla simüle edilip optimize edildiği bu çalışmaya (Samaan ve diğer., 2018) örnek vaka incelemeleri kapsamında yer verilmiştir. Yapının özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3 Vaka 2’nin genel özellikleri

Yapı künyesi	Kullanılan program	EnergyPlus, DesignBuilder, Radiance
	Şehir/ülke	Mansoura, Mısır
	İklim tipi	Çok sıcak
	Yapı tipolojisi	Eğitim yapısı - Mansoura Üniversitesi, mimari mühendislik fakültesi
	Yapı konusu	Binanın en üst katında bulunan üç farklı çalışma salonu (DH1, DH2, DH3)
	Yapı alanı	DH1:7,5x18=135 m <sup>2</sup> , DH2: 14x22=308 m <sup>2</sup> , DH3: 13,2x30=396 m <sup>2</sup>
	Yapı kat yüksekliği (m)	DH1: 4, DH2: 4,5, DH3: 4,5
	Yapı geometrisi	Dikdörtgen planlı
	Yapı yönelimi	DH1: kuzey, DH2: güney, DH3:batı
	Pencere-duvar alanı (%)	50
	Çalışan yoğunluğu (m <sup>2</sup> /kişi)	2,5
Yapı bileşenleri	Duvar katmanları	Tuğla
	Çatı katmanları	Betonarme döşeme+mantar tabakası ile su yalıtımı+asfalt tabaka+yapıştırma harcı ve seramik kaplama
	Doğrama katmanları	6mm düz cam
	Soğutma set point (°C)	23
	Verilen temiz hava (kişi başına l/s)	10
Güneşliği seviyeleri	Ortalama güneşliği faktörü -ADF	DH1: 3,82, DH2: 2,22, DH3: 2,72
	Çalışma alanı sınırı -LWP	DH1:%41,1, DH2:%24,6, DH3:%26,8
	En az aydınlatma (lux)	DH1:36, DH2:8,6, DH3:0
	En çok aydınlatma (lux)	DH1:1695, DH2:1755, DH3:1846

Kullanıcılarla üniversite binasının iç ortam konforu ile ilgili memnuniyeti ölçen bir anket yapılmıştır. Anket sonuçlarına göre binanın en kritik alanları binanın en üst

katında bulunan üç çizim salonudur. Bu salonlar aşırı kalabalıktır (2,5 m<sup>2</sup>/kişi) ve yüksek düzeyde konfor ve aydınlatma gerektirmektedir. Birinci çizim holünün (DH1) dış cephesi kuzeye, ikincinin (DH2) güneye ve üçüncünün (DH3) batıya yönlendirilmiştir.

Güneş ışığı simülasyon motoru olan Radiance ile uyumlu olan DesignBuilder v.3.0 yazılımında çizim salonları modellenmiştir. Malzeme şablonları, kullanıcı takvimi, soğutma sistemi, aydınlatma ve cihazlarla ilgili özellikler DesignBuilder kütüphanesinden kullanılmıştır. Hava durumu verileri Meteororm tarafından oluşturulmuştur.

Araştırma 3 aşamadan oluşmaktadır: Aşama sıfırda bir referans verisi oluşturması amacıyla mevcut durum araştırılmıştır. Mevcut durum, konfor derecesi (doğal olarak havalandırılmışsa), toplam soğutma yükleri (eğer klimalı ise) ve aydınlatma seviyeleri (doğal olarak yanıyorsa) koşulları için simüle edilmiştir. Birinci aşama: soğutma yükleri optimize edilmiştir. Mevcut durumdaki soğutma yüklerinin, tasarım değişkenlerinin soğutma yükünü artıran veya azaltan etkiye sahip olduğunu ölçebileceği temel veri noktası olduğu varsayılmıştır. Altı değişken grubu simüle edilmiştir. Sonuçlar, tasarımın önceliklerini ve temel faktörlerini karşılaştırmak ve tanımlamak için duyarlılık analizi ile değerlendirilmiştir. Birinci fazın sonunda, “tasarım durumu A”, güneş ışığı gereksinimlerinin yerine getirilmediğini göz ardı ederek toplam soğutma yüklerini optimize ederek geliştirilmiştir. İkinci aşamada soğutma yüklerini mümkün olduğunca en aza indirerek, güneş ışığı aydınlatma gereksinimleri dengelenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, “tasarım durumu B”, hem soğutma yüklerini hem de güneş ışığı seviyelerini dikkate alarak optimize bir çözüm olarak sunulmuştur.

Aşama sıfırda, simülasyon üç çizim salonu için temel vakanın 2 farklı durumu için gerçekleştirilmiştir: ilk olarak mekanların doğal havalandırıldığı durum, ikinci olarak soğutma sisteminin açık olduğu ve mekanların mekanik olarak havalandırıldığı durum. Ek olarak, üç çizim salonu için güneş ışığı seviyeleri simüle edilmiştir.

Sadece doğal havalandırmaya dayanarak elde edilen simülasyon sonuçları, DH1 ve DH3'ün tüm yıl boyunca ortalama olarak rahatsızlık bölgesinde yer aldığını

gösterirken, DH1 daha iyi sonuçlar vermektedir. DH1, DH2 ve DH3 için Fanger PMV değerleri 0,16, 2 ve 1,34'dür ve yıl boyunca rahatsızlık süreleri sırasıyla 1450, 2269 ve 1831 saattir. DH2'de mekan içindeki operatif sıcaklık, yıl boyunca neredeyse tüm hava sıcaklığından daha yüksek çıkmıştır.

Klima ve mekanik olarak havalandırılan durum için, varsayılan yazılım ayarları kullanılmıştır: ayar noktası soğutma sıcaklığı olarak 23 °C, kişi başına en az 10 l/s'lik temiz hava. Simüle edilen soğutma yüklerine göre en yüksek değer DH3 içindir (140,75 kWh/m<sup>2</sup>yıl), daha sonra DH2 için (121,6 kWh/m<sup>2</sup>yıl) ve en düşük değer DH1 içindir (96,55 kWh/m<sup>2</sup>yıl).

Günüşığı simülasyonu, mevcut durumu değerlendirmek için üç çizim salonunun temel durumlarında da uygulanmıştır. Günüşığı ayarları LEED v.2.2: CIE bulutlu gökyüzüne (10.000 lux) göre ayarlanmıştır. İç ortam kalite kategorisindeki 8.1 ve 8.2 kredilerine göre, çalışma alanı limitlerinin asgari uygun yüzdesi %75 (kredi 8.1'den bir puan almak için) veya %90'dır (8.2'den ek puan almak için). Çalışma düzlemi, %2,5'in üzerinde gün ışığı faktörüne sahip taban alanına göre hesaplanır. Çizim salonlarının hiçbiri IEQ kredisi 8.1 veya 8.2'yi karşılamamaktadır, ancak DH1 (kuzey yönelimli salon) en iyi sonuçları vermiştir (çalışma düzleminin sınırları %41). DH2 (güney yönelimli salon) ve DH3 (batı yönelimli salon) için sadece çeyrek kat alanı, uygun çalışma düzlemi sınırlarına girebilmiştir.

Birinci aşamada altı başlıkta 36 farklı senaryo denenmiştir (Tablo 3.4): yönelim, kat konumu ve kullanıcı yoğunluğu (varsayımsal gruplar); PDO, gölgeleme seçenekleri, bina kabuk malzemeleri ve mekanik havalandırma seçenekleri (uygulanabilir gruplar). Bu senaryoların toplam soğutma yükleri ve gün ışığı seviyeleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Binanın uygulama öncesi tasarım kararlarını etkileyecek olan birinci grup değişkenlerin (yönelim, kat konumu, kullanıcı yoğunluğu) soğutma yüklerine etkisi şu şekildedir: Zemin kattaki mekanlar, en üst kattakilere göre %14–19 oranında daha az yük alırken, ara katlarda kalanlar, avlunun mevcudiyetine ve boyutlarına göre %5-12 daha azdır. Doğu ve batı yönelimli durumlarda yükler %47'lik artışa, güney

yöneliminde ise %20'lik artışa ulaşabilmektedir, kuzey ise en iyi durumdur. DH2'nin yükleri, DH3'ten biraz daha yüksek, DH1'in ise her ikisinden daha azdır. Aynı yönelim için daha derin mekanlar en kötüsüdür.

Tablo 3.4 Aşama 1'de test edilen değişkenler (Samaan ve diğer., 2018)

Varsayımsal			Uygulanabilir						
Yönelim	Kat konumu	Kullanıcı yoğunluğu	PDO	Gölgelendirme tipi	Gölgelendirme izdüşümü	Duvar tipi	Çatı tipi	Cam tipi	Havalandırma oranı
Kuzey	Zemin	2,5 m <sup>2</sup> /kişi	20%	Saçak	0 m	Yalıtımsız	Yalıtımsız	Tek	10 l/s/kişi
Güney		3,5 m <sup>2</sup> /kişi	30%		0,5 m				20 l/s/kişi
	Ara kat	5 m <sup>2</sup> /kişi		Yan kanat		1 m	Yalıtımlı	Yalıtımlı	Çift
Doğu	7,5 m <sup>2</sup> /kişi	40%	Panjur		1,5 m				
Batı	Çatı kat	10 m <sup>2</sup> /kişi		50%					

Gün ışığından yararlanma seviyeleri, soğutma yükleri davranışına benzer şekilde, en üst kattan, alt kata doğru azalmaktadır. Yönelim için de aynı durum geçerlidir, doğu ve batı yönelimli alanlar en yüksek soğutma enerjisi gerektirmekte olup, güney ve kuzey için gereken enerjiler takip etmektedir.

İkinci grup, mekanların doluluk yoğunluklarını karşılaştırmaktadır. Mevcut doluluk yoğunluğu 2,5 m<sup>2</sup>/kişidir. Mısır Ulusal Kalite Güvence ve Akreditasyon Kurumu (NAQAAE) eğitim alanları standartlarının ekinde, çalışma salonları için gerekli yoğunluğun 3,5 m<sup>2</sup>/kişi olduğunu belirtmektedir. 5 farklı yoğunluk oranının karşılaştırılması sonucunda, genellikle yüklerin yoğunluklarla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Mevcut durumdan NAQAAE kılavuzunda önerilen yoğunluğa geçildiğinde, yüklerde %10-12 oranında azalma kaydedilmiştir.

Üçüncü grup, pencere-duvarı oranlarını %20, %30, %40 ve %50 arasında karşılaştırmaktadır. Üç çizim salonunun dış duvarları temel durumda %50 cam olacak şekilde tasarlanmıştır. Sonuçlara göre PDO'nun azalması, soğutma yüklerini azaltmakla birlikte çok büyük bir etki yapmamaktadır. Diğer taraftan, PDO'nun azalması, günışığı seviyelerini belirgin bir şekilde azaltmaktadır.

Dördüncü grup, üç gölgelendirme cihazını karşılaştırır: üst kanat, yan kanat ve panjurlar. Mevcut durumda pencerelerde gölgelendirme bulunmamaktadır. Gölgeleme cihazlarının toplam soğutma yükleri ve hassasiyet analizi şunları göstermektedir: Yan kanatların, üç çizim salonu için soğutma yüklerinin azaltılmasında çok fazla etkisi yoktur. Üst kanatların DH2 ve DH3 için soğutma yükleri üzerinde önemli bir azaltma etkisi vardır (%18-20). Panjurların yönelimi batı olan DH3’de en çok (%14) etkilidir, daha sonra güney yönüne bakan DH2 için (%11) etkilidir. Günışığı aydınlatması açısından panjur kullanımı, günışığı seviyelerinde en büyük azaltmayı sağlamaktadır.

Beşinci grup, çeşitli kabuk malzemelerini karşılaştırır. Mevcut bina yerel malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Dış duvarlarda 25 cm tuğla, pencereler için tek cam 6 mm düz cam kullanılmıştır; çatı ise betonarmedir ve mantar tabakası ile su yalıtımı yapılmış, asfalt tabakayla izole edilmiş ve çimento fayanslarla kaplanmıştır. Bina kabuk malzemeleri grubunun toplam soğutma yükleri ve hassasiyet analizi şunları göstermektedir: Pencerelerde çift cam kullanılması, yüklerin azaltılması üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip değildir. Çift low-e cam kullanılması yükler üzerinde çok daha fazla etkiye sahiptir, özellikle DH2 ve DH3'te (%6–8). Düşük güneş geçirgenlik faktörlü tek cam kullanımı yüklerin azaltılmasında en çok etkiye sahiptir, özellikle DH2 ve DH3'te (%14–15). Hava boşluklu çift duvar uygulaması veya duvarlara yalıtım malzemesi uygulanması, soğutma yüklerini azaltmak yerine, ihmal edilebilir bir oranda artırmaktadır. Çatının yalıtımlı olmaması durumunda, yükler %9'dan %13'e çıkmıştır. Yeşil çatı tekniklerinin kullanılması yükleri hafifçe %1'den %4'e düşürürken, tavanın yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesi yüklerde gözle görülür bir azalmaya sebep olmamaktadır. Mevcut durum ile değiştirilen kabuk malzemelerinin ısı kazanç ve kayıplarının karşılaştırılması sonucunda, duvarlardan, camdan ve tavandan ısı geçişinin içten dışa doğru olduğunu görülmüştür. Bu yüzeylerin yalıtım değerinin iyileştirilmesi durumunda ısı kayıpları azaltılabilir.

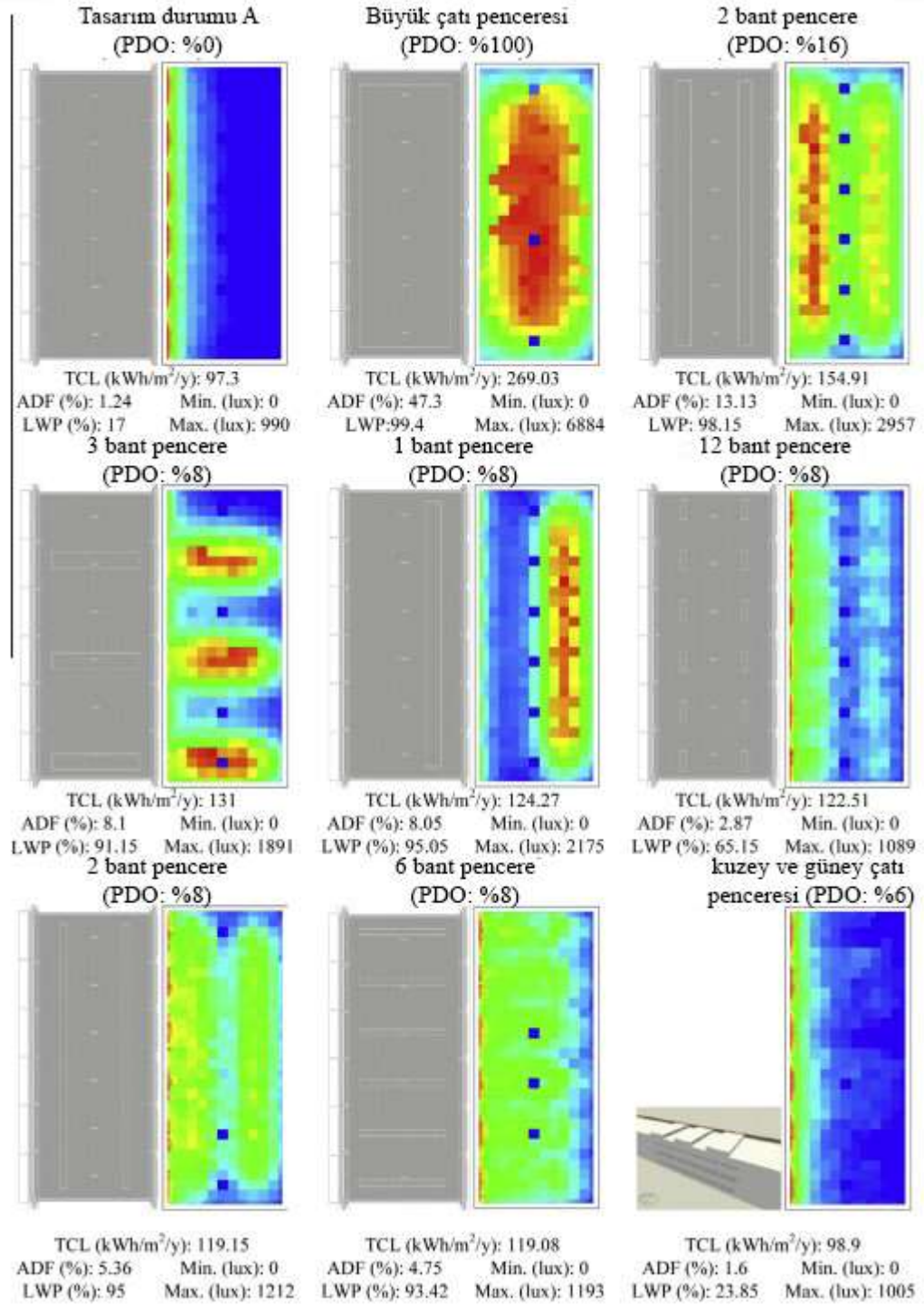
Altıncı grup, dört farklı mekanik havalandırma seçeneğini karşılaştırmaktadır. İlki, her bir kullanıcı için gerekli en az temiz havayı sağlayan temel durumdur (kişi başına 10 l/s). İkincisi, ilk değeri ikiye katlamaktadır (kişi başına 20 l/s). Üçüncüsü yaz iş günlerinde havalandırma oranını en aza indirmektedir. Son olarak dördüncüsü, yaz aylarında iş günlerinde havalandırma oranını en aza indirirken gece doğal

havalandırmayı en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir. İkinci seçenek, soğutma yüklerini artıran ısı kazanımlarını ilk seçeneğe göre %14–22 artırmıştır. Üçüncü seçenek, soğutma yüklerini %15 azaltmıştır. Gece havalandırması, sıcak havayı mekanın dışına çıkarıp daha soğuk olanla değiştirdiği için, dördüncü seçenek soğutma yüklerini %19 azaltmıştır.

Birinci aşamanın sonunda, incelenen altı grup değişken başlığının, soğutma yükleri üzerinde en iyi etkiye sahip olan değişkenlerinden faydalanarak optimize edilmiş bir “tasarım durumu A” geliştirilmiştir. Bu değişkenler şu şekildedir: Dış camların üzerine panjur (0,5 m uzaklık ve 4 lamel) ve saçak (1,5 m eninde) takılması; Dış camlar için düşük güneş geçirgenliği faktörüne sahip (0,77 yerine 0,5) tek cam montajı; Yaz mevsiminde daha az olmak üzere mekanik havalandırma ve yaz aylarında gece doğal havalandırmanın sağlanması. DH1, DH2 ve DH3'ün tasarım durumu A önerileri, soğutma yüklerinin sırasıyla %26, %28 ve %31 oranında azaltılmasını sağlamıştır.

Tasarım durumu A, toplam soğutma yükünün azaltılması için optimum bir durum olmasına rağmen, alan içindeki gün ışığının kalitesini göz önünde bulundurmamaktadır. İkinci aşamada, DH3 (en kötü durumu temsil eden) için hem toplam soğutma yükleri hem de günışığı seviyesi dengesi incelenmiştir.

İncelenen üç çizim salonunun konumu en üst kattadır. Bu durum, çatı pencerelerini gün ışığı kaynağı olarak kullanmak için bir tasarım opsiyonu sağlamaktadır. Pencere çatı oranı arttıkça, toplam soğutma yükleri katlanarak artmaktadır. Uygun çalışma düzleminin % 90'ından daha fazla sınır sağlayan en az pencere-çatı oranı %8'dir (LEED v.2.2-IEQ kredisi 8.1 ve 8.2'nin uygunluk şartı). Pencerenin konumlandırılması ile ilgili çeşitli alternatifler Şekil 3.1'de sunulmuştur. Her vaka, gün ışığı dağılım haritasının yanında, en az ve en çok aydınlatma, ortalama gün ışığı faktörü ve çalışma düzlemi sınırlarına göre değerlendirilmiştir. “Tasarım durumu B”, hem günışığı seviyesini hem de toplam soğutma yükleri ile istikrarı dengeleyen en iyi durumdur. Bu durum pencere çatı oranı %8, kuzey ve güney çatı pencereli, ana cepheye dik olan 6 çatı penceresinden (her biri 0,6 m x 8,6 m) oluşan Şekil 3.1'de işaretli alternatiftir.



Şekil 3.1 Farklı çatı penceresi alternatiflerinin güneşliği seviyeleri (TCL: toplam soğutma yükü, LWP: çalışma düzlemi limitleri, ADF: ortalama güneşliği faktörü) (Samaan ve diğer., 2018)

Çalışmanın sonunda, araştırmanın yürütücüleri tarafından üç aşamanın sonuçları değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, aşama sıfırda ele alınan mevcut duruma göre, özellikle batı ve güney yönelimli alanlar tamamen konforsuzdur. İklimlendirme için



yüksek aktif enerji oranları gerekmektedir. Güneş ışığı seviyeleri, görsel konfor standartlarının en az gereksinimlerini karşılamamaktadır.

Altı gruptan oluşan birinci aşamanın sonuçları şu şekildedir:

- Mekânın yönelimi, soğutma yükleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir; en uygun yönelim kuzey, daha sonra güney, batı ve en kötü ise doğudur.

- Zemin kat en iyisidir, en üst kat ise en kötüsüdür. Güneş ışığı üzerindeki etkiler çevreye bağlıdır.

- Diğer tüm kabuk değişkenleri arasında en etkili tasarım alternatifi, saçak ve panjur gölgelendirmesidir.

- Malzemelerin yalıtım değerlerinin iyileştirilmesi, bu çizim salonlarının durumundaki gibi ısı akışının içten dışa doğru hareket etmesi durumunda, ısıyı iç ortamda muhafaza etmek etkisine sahip olabilir.

- Düşük güneş geçirgenliğine sahip pencere, U-değeri normal tek camlı iken, güneş radyasyonunun salon içindeki ısıyı depolamaksızın doğrudan mekana girmesini önlemektedir.

- Havalandırmanın soğutma yüklerini azaltma üzerinde büyük etkisi vardır. En iyi seçenek, yaz aylarında oranları en aza indirmek ve sıcak iklim bölgeleri için havalandırmayı geceleri yükseltmektedir.

Vaka çalışmasının ikinci aşaması, güneş ışığı seviyelerinin dengelenmesi ve soğutma yüklerinin azaltılması için çatıdaki çatı pencerelerinin kullanımını varsaymıştır. Soğutma yüklerinin önemli ölçüde artmasına neden olmadan güneş ışığı kalitesini optimize eden en iyi pencere-çatı oranı %8 iken, açıklıkların cephe düzlemine dik şeritler halinde dağıtılması en iyi sonuçları vermiştir.

### **3.3 Vaka no 3: Suudi Arabistan'da Ofis Yapısı**

Ofis yapılarında dış cephenin saydam yapı bileşenleri olan pencereler, güneş ışığını içeri alarak mekan ısıtması için kullanılan enerjinin azaltılmasına katkıda bulunduğu

için önemli bir ısı kazancı kaynağıdır. Ancak, günışığı aydınlatmasının sebep olduğu kontrolsüz ışık nedeniyle görsel rahatsızlık olasılığı ortaya çıkabilir. Fasi ve Budaiwi (2015), görsel konforu korurken gün ışığı ve yapay ışığın bütünleştirildiği durumda enerji tasarrufunun araştırılmasına odaklanmaktadır. Modellenen bina bölgedeki tipik bir ofis yapısının özelliklerini yansıtacak referans binadır. Bir anket çalışması, bölgedeki tipik bir ofis yapısının özelliklerini belirlemeyeyardımcı olmak için yapılmıştır. Tablo 3.5’de özellikleri verilen bina DesignBuilder’da modellenmiştir.

Görsel konfor, bu araştırmadaki kritik bir etken olduğu için, simülasyon motorunun seçilmesinde önemli rol oynamıştır. EnergyPlus’ın ayrıntılı gün ışığı modülü, günışığı aydınlatması ve parlıltı indeksini hesaplamaktadır. Aynı zamanda, ısı dengesi modülünün suni aydınlatma tüketimindeki azalmayı hesaplamak için parlama kontrolü ve elektrik aydınlatma kontrollerini kullanma özgürlüğü sunmaktadır. Gün ışığı faktörü (GF), parlama indeksi ve otomatik iç gölgelendirme kontrolünün modellenmesi gibi görsel konforu değerlendirmek için kullanılan değişkenlerin hesaplanması için bir arabirim sağlamaktadır.

Günışığı algılayıcılarını konumlandırmak için dikdörtgen kat planı 9 bölgeye ayrılmıştır. Her bölgede 2 algılayıcı bulunur. Algılayıcıların 7m’ye kadar ölçüm yapabildiği varsayılmıştır. Algılayıcılardan birincisi yapının çevre duvarına 3m mesafededir. Günışığına bağlı olarak, yapay aydınlatmanın %70’e kadar kısılmasını sağlamaktadır. İkinci algılayıcı duvardan 5m uzaklıktadır ve yapay aydınlatmanın %30’a kadar kısılmasını sağlamaktadır. Çekirdek alana günışığı gelmediği varsayılarak algılayıcı konulmamıştır.

Çevre bölgelerdeki ofis alanlarının aydınlatma seviyesi IESNA 2011 aydınlatma standartına göre 500lux olarak belirlenmiştir. Çekirdek alanda merdiven ve mekanik alan bulunduğu için 300lux olarak seçilmiştir. Yapının aydınlatma tasarımı özellikleri Tablo 3.5’de özetlenmiştir.

Tablo 3.5 Vaka 3'ün genel özellikleri

Yapı künyesi	Kullanılan program	EnergyPlus, DesignBuilder
	Şehir / ülke	Suudi Arabistan
	İklim tipi	Sıcak
	Yapı tipolojisi	Ofis
	Taban alanı (m <sup>2</sup> )	792 (l=36m, w=22m)
	Toplam yapı alanı (m <sup>2</sup> )	8712
	Yapı kat adedi	11
	Kat yüksekliği (m)	3,7
	Yapı geometrisi	Dikdörtgen plan
	Yapı yönelimi	Kuzey-güney
	PDO	%50
	Çalışan yoğunluğu (m <sup>2</sup> /kişi)	9
Yapı bileşenleri	Duvar katmanları	Taş kaplama, hava boşluğu, genişletilmiş polistren, hafif beton bloklar, sıva (U-değeri=0,74 W/m <sup>2</sup> K)
	Çatı katmanları	Çatı iskeleti, sunta kaplama, R-15 yalıtım paneli, hafif beton (U-değeri=0,303 W/m <sup>2</sup> K)
	Döşeme katmanları	Betonarme, şap, dökme beton, köpük (U-değeri=0,509 W/m <sup>2</sup> K)
Istıtma - Soğutma -	HVAC özellikleri	Çevre bölgeler için değişken hava hacmi, merkez bölge için sabit hava hacmi
	Besleme sıcaklığı (°)	14
	Havalandırma oranı (m <sup>3</sup> /s/kişi)	0,008
	Aydınlatma değeri (lux)	500 (çevre alanlar için), 300 (çekirdek için)
	Kullanılan lamba	triphosphor floresan lamba
	Lambanın aydınlatma gücü yoğunluğu	2,4 (W/m <sup>2</sup> -100 lux)

Tablo 3.6'da özellikleri verilen 3 farklı cam çeşidinin kullanımı araştırılmıştır. Araştırmanın ilk aşamasında her cam tipi için yıllık aydınlatma, soğutma ve yıllık enerji tasarrufu günışığı entegrasyonu olmadan hesaplanmıştır. Diğer kritik etken görsel konfordur. En az parlama endeksi ile en çok gün ışığını sağlamak için pencere camı tasarım konusuna uygun seçilmelidir. Parlama endeksi ve gün ışığı faktörü değişkenleri, binadaki görsel konforun değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Araştırmanın ikinci aşamasında her bir cam tipi için görsel konfor analizleri yapılmıştır. Daha sonra günışığı, modellenmiş binanın suni aydınlatma sistemi ile entegre edilmiş ve yıllık soğutma tasarrufu sağlanmıştır. Toplam brüt 8334 m<sup>2</sup> alanlı

ofis binasının simülasyon sonuçları, toplam m<sup>2</sup>'ye düşen yıllık bina enerji tüketimini 346 kWh/m<sup>2</sup>yıl olarak göstermektedir. Modellenen ofis binasında yıllık elektrik enerjisi tüketiminin dağılımı, toplam enerjinin % 67'sinin soğutma için (fanlar dahil), %14'ünün aydınlatma için ve %18'inin ekipman için kullanıldığını gösterir.

Tablo 3.6 Kullanılan cam çeşitleri (Fasi ve Budaiwi, 2015)

Cam tipi	U-değeri (W/m <sup>2</sup> K)	SHGC	Tvis
Çift tabakalı/saydam cam (6/13/6 mm)	2,8	0,7	74%
Çift tabakalı/bronz boyalı cam (6/13/6 mm)	2,6	0,5	47%
Çift tabakalı/low-e cam (6/13/6 mm)	1,9	0,4	44%

Ofis binası modeli, benzer ısıl özelliklere ve iklim koşullarına sahip tipik bir ofis binasının gerçek enerji tüketimi ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Bunun için gerçek ofis binasının son kullanım enerji değişkenleri kullanılmıştır.

Güneş ışığı entegrasyonu olmayan durumdaki enerji analizleri şu şekildedir; düz camlı pencerelerin soğutma enerjisi performansına kıyasla, renkli ve low-E camlı pencereler yıllık soğutma enerji tüketimini sırasıyla %9 ve %14 oranında azaltmıştır. Yıllık bina enerji tüketimi, renkli ve low-e pencereler kullanıldığı zaman, düz cam pencerelere kıyasla sırasıyla %7 ve %11 oranında düşmüştür. Bu nedenle, low-e camlı pencerelerin güneş ışığı entegrasyonunun dikkate alınmadığı sıcak iklimlerde bulunan ofis binalarında enerji tüketimini azaltmada etkili olduğu sonucuna varılabilir. Low-e camlı pencereler üzerindeki yüksek emisiviteli kaplama, dışarıdan gelen ısıyı emer ve güneş enerjisi kaynaklı enerji kazanç miktarını ve soğutma maliyetini azaltır.

Güneş ışığı entegrasyonun olduğu durum için DesignBuilder'daki aydınlatma kontrol sensörü "kademeli" olarak seçilmiştir. İncelenen tüm pencereler arasından, low-E camlı pencerelerin toplam bina enerji tüketimini %15,5 azaltarak en etkili olduğu görülmüştür.

Görsel konfor analizi için, parlama indeksi ve GF binadaki farklı bölgeler için hesaplanmıştır. Parlama, görsel alandaki eşit olmayan parlaklık dağılımıdır. GF, çalışma düzlemindeki iç doğal ışık seviyesini değerlendirir. Farklı camlı pencereler

için binanın farklı yönlerinde, her ayın 21'inde öğlen 12'de hesaplanan %GF sonucunda, tüm aylarda ortalama en yüksek GF düz camlı durumda görülmüştür.

Ofis binaları için aydınlatma standartları tarafından önerilen parlama endeksi değeri 22'dir. Ofis modelindeki aydınlatma seviyesi 500 lux olarak belirlenmiş ve en çok parlama endeksi 22'nin altına düştüğünde konfor seviyesi elde edilmiştir. Değerlendirme tüm camlar için parlama endeksi değerlerinin konfor seviyesinin üstünde olduğunu göstermektedir.

Parlama indeksini kontrol etmek için, iç gölgeleme sistemi olarak otomatik kontrol edilen jaluziler kullanılmıştır. Storların yanına yerleştirilen bir kontrolör ile, parlama endeksi 22'yi geçtiğinde jaluzi kısılr ve 22'den az ise jaluziler açık kalır. Otomatik jaluzili low-e pencereler, bina enerji tüketimini küçük bir oranla düşürmüştür. Otomatik jaluzi kullanımı ile, parlama endeksi değerinin kabul edilebilir aralık içine çekilebileceği ve ofis alanında görsel konfor ihtiyaçlarını tatmin edebileceği sonucuna varılmıştır.

Analiz sonucunda; gün ışığı entegrasyonlu çift tabakalı düz cam pencerelerin, yıllık aydınlatma, soğutma ve toplam enerji tüketiminin, aynı modellenmiş gün ışığı entegrasyonu olmayan çift tabakalı düz cam pencere binaya kıyasla sırasıyla %70, %8 ve %14 oranında azaltılabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, gün ışığı entegrasyonu olan renkli camlı veya low-E camlı ofis binalarında, yıllık bina enerji tüketimi sırasıyla %15 ve %16 oranında azalmıştır. Fakat cam tiplerinden hiçbiri ile, parlama olmayan konforlu bir iç ortam oluşturulamamıştır. Parlama endeksi değerini azaltarak görsel rahatlığı artırmak için otomatik jaluziler kullanılmıştır. Otomatik jaluzili low-e camlı pencerelerin bina enerji tüketimini küçük bir oranla düşürdüğü ve ofis ortamındaki görsel ortamı iyileştirdiği görülmüştür.

#### **3.4 Vaka no 4: Avrupa'nın Üç Farklı İkliminde Ofis Yapısı**

Boyano ve diğer. (2013)'in çalışmasının iki amacı vardır. İlk olarak, Avrupa ofis binalarının enerji tüketimi ve enerji talebi profili hakkında yeni veriler sağlamayı amaçlamaktadır. İkinci olarak, kolayca uygulanabilecek ve enerji faturalarını önemli ölçüde azaltabilecek olası enerji tasarrufu önlemlerini tanımlamayı ve ölçmeyi

amaçlamaktadır. Bu çalışmada 2013’te farklı iyileştirme senaryolarının binanın enerji tüketimine ve ekonomik performansına etkisi araştırılmıştır. Dikdörtgen planlı üç katlı yapının yapı özellikleri, yapı bileşenleri, ısıtma-soğutma-aydınlatma özellikleri ve binanın çalışma takvimi Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7 Vaka 4’ün genel özellikleri

Yapı künyesi	Kullanılan program	EnergyPlus
	Şehir/iklim tipi	Tallinn (soğuk iklim için), Londra (orta iklim için), Madrid (ılıman iklim için)
	Yapı tipolojisi	Ofis
	Toplam yapı alanı (m <sup>2</sup> )	4620
	Yapı kat adedi	Bodrum+3
	Yapı yönelimi	Doğu-batı
	Yapı geometrisi	Dikdörtgen plan
Yapı bileşenleri	Duvar katmanları	Yalıtım+boşluk, dış katman tuğla ve iç katman olarak beton blok
	Çatı katmanları	Alçıpan, yalıtım ve asfalt düz çatı
	Doğrama katmanları	Ahşap çerçeve ve çift katmanlı cam
	Döşeme katmanları	Yalıtımlı beton, şap ve ahşap parke
Isıtma - Soğutma - Aydınlatma	Isıtma özellikleri	Ofis ve birincil çalışma alanları kış aylarında 21 °C, yaz aylarında 25°C'ye ısıtılır veya soğutulurken, ikincil alanlar komşu alanlar ve iç yükler tarafından ısıtılır.
	Isıtma tipi	Doğal gaz yakıtlı geleneksel ısıtma sistemi
	Soğutma tipi	%80'lik bir enerji verimliliği ve mevsimsel COP = 3
	Soğutma set point (°C)	25
	Isıtma set point (°C)	21
	Havalandırma (dakikada l/kişi)	10
	Ekipmanlar (W/m <sup>2</sup> )	12
	Kullanım sıcak suyu (DHW) tipi	Doğal gazlı su ısıtıcıları
	Kullanım sıcak suyu (DHW) tahmini tüketimi	0,2 l/m <sup>2</sup> /gün
En az aydınlatma değeri (lux)	500	
Takvim	Çalışma saatleri	Pts-Cuma arası 7.00-19.00 arası
	Çalışan yoğunluğu (kişi/m <sup>2</sup> )	0,11
	Metabolik oran (W/kişi)	120

Çalışmada önce farklı aydınlatma kontrol sistemlerine sahip iki senaryo, daha sonra cam ve duvar yalıtımlarının iyileştirilmesi ile ilgili iki senaryo ve son aşamada iki farklı bina yönelimi değişkenleri, Avrupa'nın üç iklim bölgesini temsil eden üç yer için hesaplanmıştır. Soğuk iklim bölgelerini temsil etmek için Talinn, orta iklim için Londra, ılıman iklim için ise Madrid seçilmiştir.

Tüm kaynaklar için saatlik enerji tüketimi verileri simüle edilmiştir. Çalışma süresinin dışında enerji tüketimi sıfırdır. Çalışma kapsamında değerlendirilen değişkenler şunlardır: iki farklı PDO (%30 ve %50), 3 farklı dış duvar yalıtım seviyesi, iki farklı cam U değeri, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi veya FV panellerinin kurulumu ve iki farklı seviye aydınlatma kontrol sistemi (kısmi ve total). Her şehir için ortalama, en az ve en çok enerji tüketimi hesaplanmıştır. Ortalama enerji tüketimi, değişkenlerden bağımsız olarak, her şehir için yapılan tüm simülasyonların aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, her bir konum için 42 simülasyon yapılmıştır. Tablo 3.8'de bina kabuğunun her şehir için ayrı ayrı temel duruma ve en çok ve en az enerji tüketiminin hesaplandığı çeşitlemelere ait U-değerleri gösterilmiştir. Temel durum ve en çok enerji tüketimi durumunda aydınlatma kontrolü ve yenilenebilir enerji kaynağı desteğinin olmadığı varsayılırken, en az enerji tüketimi durumunda tam aydınlatma kontrolü yapılır ve FV panellerin olduğu varsayılır.

Tablo 3.8 Bina kabuğunun U-değerleri (W/m<sup>2</sup>K) (Boyano ve diğer., 2013)

Yer	Vaka	Duvar-cam oranı	Dış duvarlar	Camlar	Döşeme	Çatı	Doğramalar	Aydınlatma kontrolü	Yenilenebilir enerji
Talinn	Temel durum	30%	0,2	3,16	0,2	0,15	1,2	-	-
	En çok	50%	0,2	3,16	0,2	0,15	1,2	-	-
	En az	30%	0,1	1,78	0,2	0,15	1,2	Tam	FV panel
Madrid	Temel durum	30%	0,66	3,16	0,49	0,38	2,9	-	-
	En çok	30%	0,29	3,16	0,49	0,38	2,9	-	-
	En az	30%	0,15	1,78	0,49	0,38	2,9	Tam	FV panel
Londra	Temel durum	30%	0,3	3,16	0,25	0,2	2	-	-
	En çok	50%	0,18	3,16	0,25	0,2	2	-	-
	En az	30%	0,12	1,78	0,25	0,2	2	Tam	FV panel

Simülasyonlar sonucunda, en yüksek enerji tüketiminin sırasıyla HVAC ve aydınlatma için olduğu görülmüştür. Elde edilen değerler, literatürdeki verilerle uyumludur. Kullanım aşamasındaki bir ofis binasının enerji tüketiminin dağılımı HVAC için %40 ve aydınlatma için %30'dur.

Enerji tasarrufu potansiyellerinin analizi, çeşitli senaryolar karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Başlangıç noktası olarak, en kötü koşullar seçilmiştir: düşük dış duvar yalıtımı, tek camlı pencereler, aydınlatma kontrolü kullanılmaması vb. Daha sonra olası iyileştirmelerle ilgili simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyonlar sırasında incelenen değişken değiştirilirken diğer tüm değişkenler sabit bırakılmıştır. Enerji tasarrufu analizlerinin maliyet hesabı için, Mayıs 2012'de, <http://www.energy.eu>'de yayınlanan ortalama doğal gaz ve elektrik fiyatları baz alınmıştır.

Temel durumlar için yapılan simülasyonların ortalamasında HVAC, toplam nihai enerji tüketiminin %60'ını (%12 soğutma için ve %88 ısıtma için), aydınlatma %33'ünü ve diğer faktörler %6'sını içerir. Temel durum için yapılan yaklaşık 200 simülasyon ve elde edilen verilere dayanarak, Avrupa ofis binalarındaki ortalama enerji tüketimi, aydınlatma için nihai toplam enerji tüketiminin %40'ından biraz fazladır ve HVAC için %50'dir. Sonuç olarak, aydınlatma ve HVAC için çeşitli enerji tasarrufu önlemlerinin benimsenmesi kritiktir.

Aydınlatma ile ilgili enerji tasarrufu önlemi kapsamında, yapıya aydınlatma kontrolleri eklenmiştir. İki olası senaryo önerilmiştir: ilk senaryo, lambaların açık olduğu çalışma sürelerini azaltan kısmi aydınlatma kontrolü (ofisin %50'si) iken, ikinci senaryo tam aydınlatma kontrolüdür (ofisin %100'ü). Temel durumda aydınlatmanın 12 saat kesintisiz çalıştığı varsayılmaktadır.

Senaryo 1: Kısmi aydınlatma kontrolünün kurulumu (ofis binalarının %50'si): Yapılan simülasyon, ofis binasının %50'sinde aydınlatma kontrolü kullanılmasının, aydınlatmaların çalıştığı saat sayısını önemli ölçüde azalttığını (ortalama 8,6 saat) gösterir. Kısmi aydınlatma kontrolü, tüketilen toplam enerjinin %9 ile %37'si arasında tasarruf potansiyeline sahiptir ve bu da yıllık enerji maliyetlerinin %14-47'sini oluşturur.



Senaryo 2: Tam aydınlatma kontrolünün kurulumu (ofis binalarının %100'ü): Tam aydınlatma kontrolünün kullanımı, çalışanların ve ziyaretçilerin mevcudiyetine, hava koşulları ve parlaklığa bağlı olarak çalışma saatlerini 4,6 saate düşürmektedir. Londra'da bulunan temel durumda, aydınlatma enerjisinin %52-62'si, toplam nihai enerji tüketiminin %27-32'si arasında bir azalma sağlanabilmiştir. Tallinn'de bulunan bina için toplam enerjinin %18-20'si ve Madrid'de bulunan binadaki toplam enerjinin %35-37'si arasında bir azalma sağlanmıştır.

Görüldüğü gibi, tam aydınlatma kontrolünün kullanımı kısmi aydınlatma kontrolünden daha fazla enerji tasarrufu sağlamaktadır. Tahmini enerji tasarrufu %18 ile %37 arasında değişmekte olup, ortalama %28'tir ve bu da yıllık %40 ile %47 arasında bir ortalama enerji maliyeti tasarrufu anlamına gelmektedir. Bu çalışmada önerilen diğer enerji tasarrufu ölçütlerine kıyasla, yıllık enerji maliyetlerindeki bu önemli tasarruf potansiyeli, elektrik maliyetlerinin doğal gazla kıyasla daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Bina cephesindeki cam oranının artmasının etkisinin aydınlatma ihtiyacına etkisinin araştırılması için, %30 ve %50 PDO ile simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve her iki senaryodaki tüm yerlerde %50 PDO'nun aydınlatma talebini azalttığı görülmüştür. Yere ve aydınlatma kontrolüne bağlı olarak %0,5 ile %4,2 arasında değişen oranlarda aydınlatma enerji talebi azalmaktadır.

HVAC enerji talebini azaltmaya yönelik iki farklı enerji tasarrufu senaryosu ele alınmıştır: çift tabakalı pencereleri üçlü tabakalı ile değiştirmek ve cepheyi ısıl olarak iyileştirmek.

Senaryo 3: Çift tabakalı camın üçlü tabakalı cam ile değiştirilmesi: Camda iyileştirme ile ilgili enerji tasarruf potansiyelinin araştırıldığı bu senaryoda, iki farklı cam-duvar alanı (%30 ve %50) için iki tip camın simülasyonu yapılmıştır. U-değeri çift tabakalı cam için 3,16 W/m<sup>2</sup>K, üçlü tabakalı cam için 1,78 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, çift camın üçlü camla değiştirilmesiyle, Tallinn, Madrid ve Londra için, HVAC talebindeki ortalama yıllık düşüş %12, %13 ve %23 veya toplam enerji tüketimindeki ortalama tasarruf oranı %10, %7 ve %16 olmaktadır.

Pencere yalıtımının iyileştirilmesi bir yandan geliştirilen yalıtım sayesinde ısı kayıplarını önler ve kışın ısıtma için enerji talebini azaltır. Diğer taraftan yazın ısı kazanımı mekandan dışarı atılamaz, bu da soğutma için enerji talebini artırır. Bu durum özellikle Madrid'de bulunan ofis binasında görülmektedir: Isıtma için enerji talebi aydınlatma kontrol senaryosuna bağlı olarak 4 ila 9 kWh/m<sup>2</sup> arasında azalmaktadır, ancak soğutma talebi sırasıyla 1 ve 5 kWh/m<sup>2</sup> artmaktadır. Isıtma talebindeki enerji tasarrufunun daha büyük olduğu görülmekle birlikte, binanın yıllık toplam enerji maliyetinden daha büyük değildir. Bu sonucun iki ana nedeni vardır: 1) ofis binasının ısıtma için doğal gaz ve soğutma için elektrik kullandığı varsayılır ve 2) ısı kontrol performansı açısından elektrik doğalgazdan daha pahalıdır.

Sonuç olarak, sıcak iklim bölgelerinde (örneğin Madrid) bulunan ofis binalarında, Tallinn gibi soğuk iklim bölgelerine kıyasla daha yüksek enerji tasarrufu sağlanıyor olmasına rağmen, soğuk iklim bölgelerinde daha fazla enerji maliyeti tasarrufu sağlanmaktadır.

Senaryo 4: Dış duvarın yalıtımının artırılması ile Londra'da bulunan temel vakada, dış duvarların ısı yalıtımının U-değeri 0,30 W/m<sup>2</sup>K'dan 0,18 W/m<sup>2</sup>K veya 0,12 W/m<sup>2</sup>K'ye düşürülmüştür. Bu durum yıllık %20 HVAC enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ancak herhangi bir aydınlatma kontrol sistemi kurulursa, bu enerji tasarrufu, soğutma talebindeki artışa bağlı olarak yıllık enerji maliyeti tasarruflarına yalnızca az miktarda yansır. Duvar yalıtımının iyileştirilmesi, senaryoya bağlı olarak yıllık enerji maliyetinin %0,5 ila %1,8'i arasında tasarruf sağlamaktadır

Madrid'de bulunan ofis binasında, dış duvarların ısı yalıtımının U-değeri 0.66 W/m<sup>2</sup>K'den 0,29 W/m<sup>2</sup>K veya 0,15 W/m<sup>2</sup>K değerine düşürülmüştür. Sonuçlara göre, duvarların ısı yalıtımının iyileştirilmesi enerji tasarrufu sağlar (%8'lik toplam enerji tasarrufu ve %12'lik HVAC tasarrufu). Fakat yıllık enerji maliyetleri önemli ölçüde artmaz. Bu durum, sıcak iklim bölgelerinde aşırı bir yalıtımın daha yüksek soğutma enerjisi taleplerine yol açtığını ve sonuç olarak önemli ölçüde toplam enerji maliyet tasarrufu sağlamadığını göstermektedir. Bununla birlikte soğuk iklimleri temsil eden Tallinn'deki ofis binasında, hem enerji hem enerji maliyet tasarrufu sağlanmıştır.

Senaryo 5: Bina yöneliminin değiştirilmesi: Çalışmanın bu bölümünde Londra’da bulunan binanın doğu-batı ve kuzey-güney yönelimli olma durumu karşılaştırılmıştır. Yönelim doğu-batıdan kuzey-güney yönüne değiştirildiğinde daha düşük HVAC talebi nedeniyle binanın toplam enerji talebi azalmaktadır. Bu simülasyonlarda, aydınlatma talebinin sabit kaldığı varsayılmıştır. Bununla birlikte, güney cephe daha fazla gün ışığı alacağından yönelimdeki değişime bağlı olarak daha düşük aydınlatma enerjisi talebi de beklenebilir. Çalışmalar kuzey yönelimli odaların enerji tüketiminin her zaman diğer yönelimlerden daha yüksek olduğunu, ancak pencerelerde gölgeleme cihazlarını kullanmalarına gerek kalmadığını göstermektedir. Gölgeleme cihazları kullanıldığı zaman güney, doğu ve batı yönelimleri için elde edilen tasarruflar daha düşük olabilmektedir.

Bu çalışmanın genelinde, elektriğin, aydınlatma, ofis ekipmanları ve soğutma için kullanılan ana enerji kaynağı olduğu, doğal gazın da ısıtma ve sıcak su eldesi için kullanıldığı varsayılmıştır. Elektrik, doğal gazdan daha pahalı ve çevreyi daha fazla kirleten bir enerji kaynağıdır ve bu nedenle, toplam enerji talebinin azaltılması arzu edilmekle birlikte, elektrik enerjisi tasarrufu şiddetle tavsiye edilmektedir (Boyanoa, Hernandez ve Wolf, 2013).

Bu bağlamda ve simülasyonların sonuçlarına dayanarak, nihai enerji tüketiminin son kullanımlarının toplam nihai enerji tüketimine olan katkısı, aydınlatma için ortalama %46, ısıtma için %23 ve soğutma için %20'dir. Aydınlatma, uzun çalışma süresi nedeniyle toplam enerji talebinde önemli bir rol oynamaktadır. Kısmi veya tam aydınlatma kontrolü uygulanarak aydınlatmanın eşdeğer çalışma süresinin azaltılması, %18'e kadar (kısmi aydınlatma kontrolü için) veya %36'lık (tam aydınlatma kontrolü için) toplam enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

HVAC için enerji tasarrufu önlemlerinin değerlendirilmesi, pencere ve duvarlara ait yalıtımın iyileştirilmesine odaklanmıştır. Özellikle Akdeniz iklimi gibi güneş enerjisi kazanımlarının önemli olduğu yerlerde, kabağın ısı yalıtımının iyileştirilmesi en iyi tavsiye olmayabilir. Bu durum, tasarımcıların şehre uygun olarak en iyi tasarım ve malzemeleri seçme sorumluluğu olduğunu göstermektedir. Son olarak, binanın yönelimine bağlı olarak enerji tasarrufu potansiyeli de araştırılmış ve ortalama enerji tasarrufunun %3 ile %6 arasında olduğu bulunmuştur.

### 3.5 Vaka no 5: Belgrad’da Ofis yapısı

Krstic-Furundzic ve Kosic (2015)’in yürüttüğü bu çalışmada, Belgrad’ın merkezindeki tarihi bölgede bulunan bir ofis yapısının, farklı kabuk özelliklerinin binanın enerji verimliliğine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla üç farklı cephe senaryosu belirlenmiştir. Çalışmada senaryoların CO<sub>2</sub> salımları da tartışılmıştır. Tablo 3.9’da binanın genel özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 3.9 Vaka 5’in genel özellikleri

Yapı künyesi	Kullanılan program	PHPP’2007
	Şehir / ülke	Belgrad, Sırbistan
	İklim tipi	ılımlı karasal iklim
	Yapı tipolojisi	Ofis
	Toplam yapı alanı (m <sup>2</sup> )	1963
	Yapı kat adedi	6
	Kat yüksekliği (m)	3
	Yapı yönelimi	Kuzeydoğu-güneybatı
	Yapı geometrisi	İnce uzun, ön cephede daralan yamuk planlı
	Çalışan yoğunluğu (m <sup>2</sup> /kişi)	19,63
Isıtma-Soğutma-	Isıtma tipi	Bölgesel ısıtma
	Soğutma tipi	Mekanik soğutma kullanılmamıştır
	Kış iç mekan sıcaklığı (°C)	20
	Yaz iç mekan sıcaklığı (°C)	25
	Havalandırma sistemi	Isı geri kazanımlı havalandırma sistemi (%88 verimlilik)
	Temiz hava (kişi başına m <sup>3</sup> /saat)	30

İklim verileri Sırbistan Cumhuriyeti Hidrometeoroloji Servisi’nden alınmıştır. Belgrad şehri, ılımlı karasal iklime sahiptir. Yapı, çevresinde koruma altındaki tarihi binalar bulunan bir bölgededir ve iki tarafındaki binalar ile bitişik nizamdır. İnce uzun bir parselde oturan yapının, güneybatı yönündeki ön cephesi dardır. İç atriyum, doğal ışık ve havalandırma sağlamaktadır. Betonarme iskeletli, 6 katlı binanın her katında açık planlı ofislerin bulunduğu varsayılmıştır. 3 farklı cephe senaryosu kurgulanmıştır:

- 1- M1 serisi - masif cephe: yapının temel durumudur. Bölgedeki geleneksel cephe tipidir. Cadde ve avlu cephesindeki duvar katmanları, masif duvar+ısı yalıtım

paneli+taş kaplama ve doğrama şeklindedir. Isıtılan alana bodrum da dahildir. Düz çatılıdır.

2- M2 serisi - cam cephe: ısı yalıtımlı cam panellerden oluşan cephenin 86cm önünde askıda cam koruma tabakası bulunmaktadır. Düz çatı aynı zamanda yeşil çatıdır.

3- M3 serisi - cam cephe: sokak cephesi, üçlü low-e kripto gaz dolgulu cam panellerden oluşur. Avlu cephesi, masif yapıdadır. Düz çatılıdır.

Tablo 3.10 Isıtma ve soğutma taleplerinin hesaplanması ile ilgili model verileri (Krstic-Furundzic ve Kotic, 2015)

	Isıtılan alan (m <sup>2</sup> )	Cephe alanı (m <sup>2</sup> )			Cephe U değerleri (W/m <sup>2</sup> K)				Pencere U-değerleri (W/m <sup>2</sup> K)	
		Cam	Masif	Toplam	Bodrum dış duvar	Cephe duvarı	Çatı	Döşeme	Cam	Doğrama
M1	1963	492	2194	2686	0,32	0,35	0,31	0,33	2,8	0,75
M2	1898,1	909	1861	2770	1,93	0,28	0,28	1,67	2,7	0,83
M3	1560	840	1898	2738	1,93	0,32	0,32	1,61	0,7	0,8

M1 durumunda bodrum ısıtılmalıdır, M2 ve M3 durumunda ise ısıtılmalı değildir. Bu sebeple M1’de bodrum duvarları ve bodrum zemininde yalıtım bulunur, M2 ve M3’te ise zemin kat zemininde yalıtım bulunur. Tablo 3.10’da her senaryodaki ısıtılan alan büyüklüğü, cephenin cam ve masif alan büyüklüğü, kabuk bileşenlerinin U-değerleri gösterilmiştir.

Simülasyonda kullanılan teknik gereklilikler şu şekildedir: Isıtma ve soğutma talepleri ile ilgili model verileri Tablo 3.9’da verilmiştir. Modellenen senaryoların ısıtma-soğutma yükleri hesaplanırken, güneş kazanımları ve iç kazanımlar hesaba katılmıştır. Kışın iç mekan sıcaklığının 20°C, yazın iç mekan sıcaklığının ek mekanik soğutma gerektirmeden en fazla 25°C olduğu varsayılmıştır. Bölgesel ısıtma bulunmaktadır. Isı geri kazanımlı havalandırma sistemi %88,0 verimlilik ile çalışmaktadır. DIN 1946 Bölüm 6 standartına uygun olarak, kişi başına 30 m<sup>3</sup>/sa taze hava sunmaktadır. Hava değişim oranı, kullanıcı başına düşen mevcut alan ile ilgilidir. M1 ve M2 için saat başına ortalama hava değişim oranı 0,41 iken M3 için 0,49’dur.

Yaz döneminde gece ve gündüz doğal havalandırması öngörülmektedir. Cephe ve atriyum pencereleri arasında baca etkisi ile (hava değişim oranı 0,62/saat) ve doğu-batı pencereleri arasında (günlük ortalama hava değişim oranı 0,36/saat) çapraz havalandırma önerilmektedir. Gece havalandırması 0,29/saat ortalama hava değişim oranına sahiptir. Tasarım günü boyunca güneş kazanımlarının neden olduğu günlük sıcaklık dalgalanmaları dikkate alınır ve 3 K'yı geçmemelidir, aksi takdirde hesaplanan soğutma yükü yeterli olmayabilir. Çünkü konfor sınırının (25°C) üzerindeki sıcaklıkların sıklığı yılın %10'unu geçerse, yaz sıcağından korunma için ek önlemler gerekmektedir. Aydınlatma, ev aletleri ve su ısıtma için elektrik tüketimi dikkate alınmamıştır. Pencere camı için düz cam kullanılmıştır.

Her model için soğutma amaçlı önlemler 3 ayrı varyantla hesaplanmıştır:

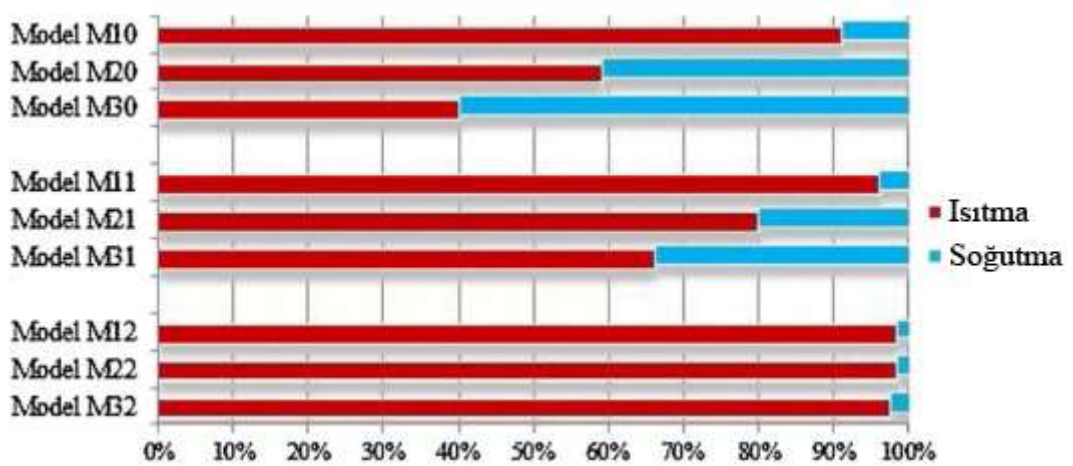
- 1- Gölgeleme cihazı bulunmayan senaryolar (M10, M20, M30)
- 2- İç hareketli beyaz panjur -%60 geçici gölgeleme azaltma faktörü (M11, M21, M31)
- 3- Dış hareketli, 45° eğimli panjurlar -%10 geçici gölgeleme azaltma faktörü (M12, M22, M32)

PHPP'2007 yazılımına ek olarak, aylık ısıtma ve soğutma talepleri EN13790'a dayanan aylık yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında hesaplananlar m<sup>2</sup> başına düşen ısıtma ve soğutma için yıllık nihai enerji talepleri ve m<sup>2</sup> başına düşen ısıtma ve soğutma için birincil enerji talepleridir.

Simülasyon sonuçlarına göre, M2'deki iletim kayıpları, M1 ve M3'ün neredeyse 2 katıdır. Bu, ısı yalıtım panellerinden oluşan M2 cam cephesinin, kripton gazı dolgulu üçlü low-e cam panellerden oluşan M3'ün cam cephesinden daha düşük ısı performansına sahip olduğunu göstermektedir. M1'deki cam oranı, M2 ve M3'den iki kat daha az olduğu için daha az iletim kaybı bulunmaktadır. Sonuç olarak M3, M2'den daha yüksek ısı performansına sahiptir ve aynı zamanda M1'e göre daha fazla güneş enerjisi kazanımı sağlamaktadır.

Kış döneminde toplam ısı kayıplarının karşılanmasında ısı kazanımlarının katkısı önemlidir ve M1 durumunda %39 (pasif güneş kazancı %17 + iç kazanç %22), M2 durumunda %52 (%39 +%13) ve M3 durumunda %73 (%55 +%18)'dir. M1 ve M3'e ait tüm senaryolar, yönetmelikte izin verilen yıllık 55 kWh/m<sup>2</sup>yıllık yeni ofis binaları için yıllık enerji tüketimi sınırını aşmamaktadır. Soğutma açısından, en düşük enerji tüketimi, M1'de elde edilmiştir. M2 ise, hem ısıtma hem soğutmada en yüksek enerji tüketimine sahiptir.

Isıtma ve soğutma enerji taleplerini karşılaştırmak amacıyla, Şekil 3.2'de tüm senaryoların yıllık enerji talep oranları gösterilmiştir. M30 senaryosu haricinde hemen hemen tüm senaryolarda, en yüksek yıllık enerji talebi ısıtma içindir. M10 dışındaki gölgeleme cihazlarına sahip olmayan senaryolar için, soğutma talebinin oransal olarak yıllık enerji talebi içindeki yerinin önemli olduğu görülmektedir. Üçlü low-e camlı M30 cam cephe modeli için soğutma yükü, yıllık toplam tüketimin %60'ına yaklaşırken, çift camlı M20 cam cephe modelinde ise %40'ın biraz üzerinde bir oran sergilenmektedir. En az soğutma enerjisi gereksinimi dış hareketli panjurlu senaryolarda kaydedilmiştir ve her üç model için toplam yıllık tüketimin sadece %2'sine yakın miktarlardadır.



Şekil 3.2 Yıllık enerji talep oranı (kWh/m<sup>2</sup>yıl) (Krstic-Furundzic ve Kotic, 2015)

Masif cephede daha yüksek oranda iç kazanç bulunmaktadır. Cephe konseptlerindeki önemli farklılıklara rağmen, ısıtma için birincil enerji talebi M1 (56,4 kWh/m<sup>2</sup>yıl) ve M2 (76,8 kWh/m<sup>2</sup>yıl) için benzerdir. Çünkü M1 durumunda güneş

kazançları daha küçüktür, M2’de ise iletim kayıpları daha yüksektir. Isıtma için en düşük birincil enerji ihtiyacına sahip olan M3 (26,4 kWh/m<sup>2</sup>yıl)’tır. Bunun sebebi, cam tipi ve M1 ve M2’ye göre daha düşük CO<sub>2</sub> salımına neden olan güneş kazanımlarıdır.

Aşırı ısınmanın en düşük frekansı (%6) ve dolayısıyla soğutma için en düşük birincil enerji talebi (12 kWh/m<sup>2</sup>yıl) geleneksel cephede görülmüştür. Cam cephelerde aşırı ısınma durumunda (neredeyse %38), soğutma için birincil enerji talepleri M2 için 109 kWh/m<sup>2</sup>yıl, M3 için 71,5 kWh/m<sup>2</sup>yıl şeklinde masif cepheden yüksektir ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> salımları da daha yüksektir. Tüm modeller için, iç beyaz perdelerle aşırı ısınma sıklığının ve böylece soğutma enerjisi taleplerinin ve CO<sub>2</sub> salımlarının azaltılması sağlanmıştır, ancak yine de masif cephe avantajlıdır. Dış hareketli panjurlar ile soğutma talepleri tüm modeller için aynı seviyeye (yaklaşık 1 kWh/m<sup>2</sup>yıl) indirilmiştir.

Elektrik enerjisinin (2,5), akaryakıttan (1,2) daha büyük dönüşüm faktörüne sahip olması nedeniyle, soğutma için yıllık birincil enerji talepleri (gölgeleme cihazına sahip olmayan cam cephe durumunda) ısıtma için yıllık birincil enerji talepleri ile karşılaştırıldığında, M2 durumunda neredeyse ikiye katlanmaktadır ve M3 durumunda üç katına çıkmaktadır. Sonuç olarak, soğutma için ısıtmadan daha yüksek CO<sub>2</sub> salımları bulunmaktadır.

Çalışmanın genel sonuçları şu şekildedir; elde edilen en az yıllık toplam kullanım enerjisi 22,75 kWh/m<sup>2</sup>yıl, en çok yıllık toplam kullanım enerjisi ise 107,60 kWh/m<sup>2</sup>yıl’dır. Cam U-değeri 0,27’den 0,7’ye düşürüldüğünde ısıtma ve soğutma talepleri %53 azalır. İkinci tip senaryo olan dahili beyaz panjur uygulandığında yıllık toplam enerji talebi M1, M2 ve M3 için sırasıyla %5, %30 ve %35 oranında azalmıştır. Üçüncü tip senaryo olan dış panjur uygulandığında yıllık toplam enerji talebi M1, M2 ve M3 için sırasıyla %8, %40 ve %55 oranında azalmıştır. En enerji verimli durum M23’tür.

Karşılaştırmalı analiz sonuçları, Belgrad iklimi için, yıllık ısıtma enerjisi tüketimi ile ilgili en iyi performansın üçlü low-e camlı cepheye sahip ofis binası olduğunu göstermektedir. Özellikle argon veya kripton gazı doldurmuş olan üçlü low-e cama ek



olarak dış hareketli gölgelendirme cihazlarının eklenmesi, aşırı ısınma ve soğutma taleplerinin sıklığının azaltılması ile enerji verimliliğine ve CO<sub>2</sub> salımlarının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Uygun şekilde yalıtılmış masif cephele ofis binaları da Belgrad iklim koşullarında enerji verimli ve daha düşük CO<sub>2</sub> salımlarına sahiptir.

### 3.6 Değerlendirme

Bu bölümde enerji etkinliği BES araçları tarafından değerlendirilen 5 farklı örnek vaka çalışması incelenmiştir. Örnek çalışmaların incelenmesiyle, literatürdeki vaka çalışmalarında yapı kabuğuyla ilgili ne tür değişkenlerin, ne tür konularda incelendiğiyle ilgili bilgi edinmek amaçlanmıştır. Buradan edinilen bilgiler, Bölüm 4'te yapılmış olan vaka çalışmasında incelenecek olan değişkenlerin seçilmesi aşamasında kullanılmıştır.

Seçilen örnek vakaların genel olarak sıcak veya ılıman iklimde yapılmış olması, ofis yapısı olması, binanın enerji performansına odaklanması, karar destek aracı olarak BES kullanıyor olması ve simülasyon aracı olarak EnergyPlus kullanıyor olmasına dikkat edilmiştir. Tablo 3.11'de incelenen örnek vakaların özet bilgileri sunulmuştur.

Tablo 3.11 Bölüm 3'te incelenen vakaları gösteren özet bilgiler

	Yer	İklim	Bina türü	İncelenen değişkenler	İnceleme konusu	Kullanılan yazılım
Vaka 1	ABD	6 farklı iklim	Ofis	PDO	Enerji performansı	EnergyPlus
				Yönelim		DesignBuilder
				Oda genişlik/derinlik oranı		
Vaka 2	Mısır	Sıcak iklim	Eğitim yapısı	Mekan yönelimi	Soğutma yükleri	EnergyPlus
				Kat yüksekliği		
				Saydam yapı kabuğu değişkenleri		
				Opak yapı kabuğu değişkenleri	Aydınlatma seviyesi	DesignBuilder
				Gölgelendirme sistemleri		
				Havalandırma durumu		

Tablo 3.11 devamı

Vaka 3	Suudi Arabistan	Sıcak iklim	Ofis	3 farklı cam tipi	Enerji performansı	EnergyPlus
				Güneş ışığı kontrolü entegrasyonu	Görsel konfor	DesignBuilder
				İç gölgeleme elemanı entegrasyonu		
Vaka 4	Talinn	Soğuk iklim	Ofis	PDO	Enerji performansı	EnergyPlus
	Londra	Orta iklim		Dış duvar yalıtım seviyesi		
	Madrid	Ilıman iklim		Cam U değeri		
				Aydınlatma kontrolü		
				Güneş enerjisi veya FV panellerinin kurulumu		
Vaka 5	Belgrad	Ilımlı karasal iklim	Ofis	Masif cephe	Enerji performansı	PHPP'2007

## BÖLÜM DÖRT

### MEVCUT BİR OFİS BİNASINI NEREDEYSE SIFIR ENERJİ BİNASI HALİNE GETİRME SÜRECİNDE CEPHE SİSTEMLERİNİN ETKİSİNİN BİNA ENERJİ SİMULASYONU YARDIMIYLA ARAŞTIRILMASI

Bu çalışma için simülasyon motoru olarak EnergyPlus seçilmiştir. ABD Enerji Bakanlığı'nın bina, ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek için geliştirdiği 3. nesil dinamik bir bina enerji simülasyon motorudur. DesignBuilder ise, EnergyPlus simülasyon motorunun en kapsamlı grafik arayüzlerinden birisidir ve üreticisi tarafından tasarımın tüm aşamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

DesignBuilder temelde karmaşık bir simülasyon modeline dayansa da, mimarın özel dilini görsel odaklı bir arayüz ile ele almaya ve farklı düzeylerde detaylı verileri girmeye yarar. Bununla birlikte çıktıların karmaşık olması, programın mimar dostu olması yönündeki en büyük engeldir (Attia ve De Herde, 2011). EnergyPlus, IEA SHC Task 8,12 ve 22 içinde geliştirilmiş ve ASHRAE'nin ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 Bina Enerji Analizi Bilgisayar Programları Standart Test Yöntemi (Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs) adı ile standartlaştırılarak geçerli bir test yöntemi olarak kabul görmüş olan BESTEST yöntemi ile değerlendirilmiş ve güvenilirliği standartça kabul edilmiş olan bir programdır. Arayüz olarak DesignBuilder programının seçilmesinin sebebi ise, mimarların kullanımına uygun bir geometri girişi olanağı sağlaması ve geniş bir malzeme kütüphanesinin olmasıdır. Designbuilder'da veri girişi arazi, bina, blok, bölge, yüzey, açıklık başlıkları altında hiyerarşik olarak gerçekleştirilmektedir. Üst kategoride girilen veri alt kategoriye 'veri kalıtımı' yoluyla yansımaktadır (DesignBuilder manual, 2009). Programdaki birçok kapsamlı şablon, özellikle tasarımın ilk aşamalarında belirsiz olan verilerin şablonlar üzerinden tanımlanmasını sağlayarak veri girişinin azaltılmasını sağlamaktadır. Bununla beraber çoğu çıktının mimarlar için çok ayrıntılı olması ve çok büyük miktarda bilgi üretilmesi, mimarın karar alma sürecini yeterince desteklememektedir.

## 4.1 Mevcut Binaya İlişkin Bilgiler

### 4.1.1 Konum ve Bina Genel Özellikleri

İncelenen bina Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe kampüsü içerisinde yer alan Depark Dokuz Eylül Teknoloji Geliştirme A.Ş.'ye ait beta binasıdır. 38°21' Kuzey enleminde ve 27°12' Doğu boylamında bulunan binanın rakımı 194 metredir. Beta binası, 2 katlı kuluçka merkezi Alfa binası ile birlikte 17412 m<sup>2</sup>'lik arazide yer alır. Arazinin çevresi çam ormanlarıyla kaplıdır. Arazide 180 araçlık açık otopark bulunmaktadır. Toplam emsal alanı 9381 m<sup>2</sup> olan binanın kat alanı 1375 m<sup>2</sup>'dir. Bina bodrum+zemin+5 kattan oluşur. 2015'de tamamlanarak hizmete girmiştir.

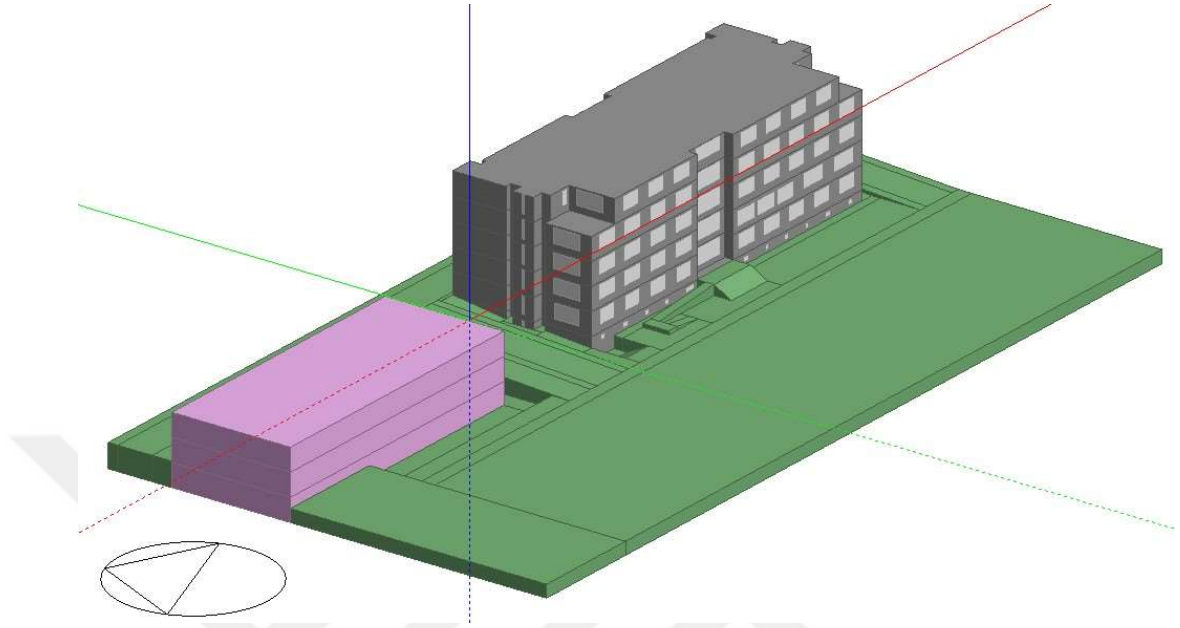
Binanın yönelimi kuzeye göre 200°'dir. Şekil 4.1'de binanın uydu görüntüsüne yer verilmiştir. Şekil 4.2'de binanın Designbuilder modeli gösterilmektedir.



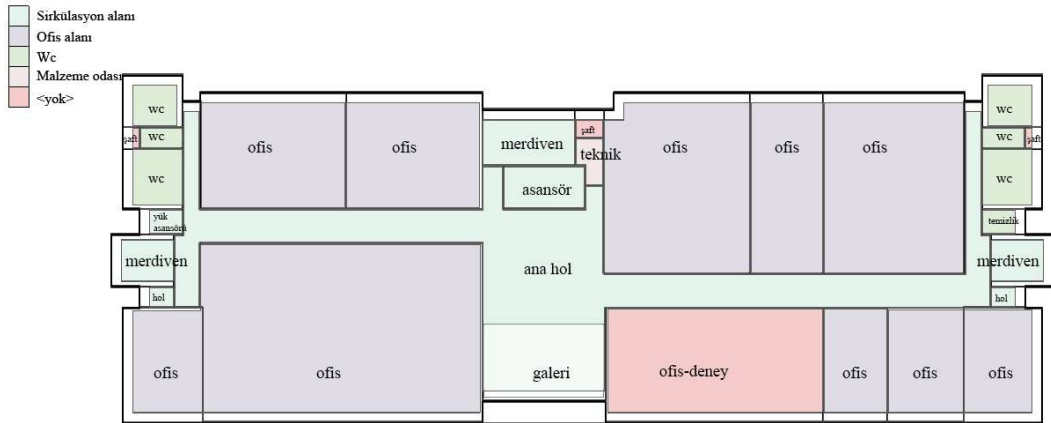
Şekil 4.1 Binanın uydu görüntüsü (Google Earth, 2019)

Binanın zemin katında, ana girişin hemen üzerinde 5x8m'lik bir galeri boşluğu bulunmaktadır. Girişin karşısında kuzey cephede dolaşım alanlarını içeren çekirdek bulunur. Binanın doğu ve batı cephesinde wc, temizlik ve dolaşım alanlarını içeren servis alanları vardır. Kuzey ve güney cephelerde ofis alanları, binanın her katında

ihtiyaca göre bölünecek şekilde örgütlenmiştir. Şekil 4.3 örnek bir ofis katı olarak kat 1'in DesignBuilder modelini göstermektedir.



Şekil 4.2 Designbuilder modeli



Şekil 4.3 Binanın birinci katının modeli

Binanın taşıyıcı sistemi betonarme iskelet sistemdir. 40 cm kalınlığında asmolen döşeme kullanılmıştır. Kat yüksekliği 385cm'dir. 60x80cm'lik betonarme kolonlar, 480x800cm'lik aks sistemine oturtulmuştur. Doğu ve batı cephelerinde 210x30cm'lik betonarme perde duvarlar kullanılmıştır. Binaya ait genel özellikler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Binaya ait genel özellikler

Binanın konumu	38°21' K, 27°12' D – Tınaztepe, İzmir
Rakım	194 m
Bina inşa yılı	2015
Bina kullanım amacı	Ofis
Bina kat sayısı	Bodrum+zemin+5 kat
Kat yüksekliği	3,85 m
Bina kat alanı	1375 m <sup>2</sup>
Bina toplam kullanım alanı	9381 m <sup>2</sup>
Bina taşıyıcı sistemi	Betonarme iskelet sistem
Bina ısıtma-soğutma sistemi	4 borulu fan coil, hava soğutmalı chiller

#### 4.1.2 Yapı Elemanları

Bu bölümde binanın opak yapı elemanları olan duvar, döşeme ve çatıya ait özellikler incelenmiştir. Binada 4 farklı duvar kesiti kullanılmıştır: betonarme perde duvarlı bodrum duvarı, tuğla duvar dolgulu ve 40 cm boşluk üzerine alüminyum kompozit kaplamalı dış duvar, panel sistem iç bölme duvarı ve tuğla dolgulu iç bölme duvarı. Binada 3 farklı zemin döşemesi kullanılmıştır: temel ile birlikte bodrum zemin döşemesi, ara kat zemin döşemesi, ara kat ıslak hacim döşemesi. Binada 2 farklı çatı kesiti kullanılmıştır: Çatının büyük bir kısmı üzerinde gezilebilen düz çatıdır. Sadece son katın teras bölümünün üstünde hafif çelik strüktürlü sandviç panel çatı sistemi kullanılmıştır. Opak bina bileşenlerine ait katmanlaşma ve U-değerleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Binanın sızdırmazlık oranı 11,3 l/s-m<sup>2</sup> (0,6 ac/h) alınmıştır.

Tablo 4.2 Opak bina bileşenlerine ait katmanlar ve U değerleri

Duvar		
	Katmanlar (dıştan içe)	U-değeri (W/m <sup>2</sup> K)
Bodrum duvarı	Sıkıştırılmış stabilize dolgu	0,621
	5cm 16 density eps köpük	
	Bitüm çimento esaslı çift bileşenli su yalıtımı	
	Betonarme perde duvar (25cm)	
	Alçı sıva (kaba+karışık+saten)	
	Saten iç cephe boyası	

Tablo 4.2 devamı

Dış duvar	Alüminyum kompozit panel	0,451
	Metal konstrüksiyon	
	Havalandırılmayan boşluk (40 cm)	
	6cm taşıyıcı ısı yalıtımı	
	Çimento esaslı dış sıva	
	Tuğla duvar (20 cm)	
	Alçı sıva (kaba+karışık+saten)	
	Saten iç cephe boyası	
İç bölme duvarı-1	Saten iç cephe boyası	0,45
	Saten alçı sıva	
	Alçıpanel levha yangına dayanımlı (FR)	
	Alçıpanel levha (FX)	
	Galvaniz konstrüksiyon (7,5 cm)	
	Taşıyıcı yalıtım (6 cm)	
	Alçıpanel levha (FX)	
	Alçıpanel levha yangına dayanımlı (FR)	
	Saten alçı sıva	
	Saten iç cephe boyası	
İç bölme duvarı-2	Saten iç cephe boyası	2,196
	Alçı sıva (kaba+karışık+saten)	
	Tuğla duvar (13,5 cm)	
	Alçı sıva (kaba+karışık+saten)	
	Saten iç cephe boyası	
Döşeme		
	(yukarıdan aşağıya)	
Bodrum zemin döşemesi - temel	Granit seramik (60x60 cm)	0,505
	Tesviye şapı	
	Zemin betonu (15cm)	
	Naylon 150 gr/m <sup>2</sup>	
	5cm XPS ısı izolasyonu	
	Koruma betonu (7cm)	
	Geotekstil keçe	
	Polimer bitümlü plastomer esaslı çift kat su yalıtım örtüsü (2mm cam tülü taşıyıcı örtü+ 3mm polyester keçe taşıyıcı örtü)	
	Grobeton (10 cm)	
	Sıkıştırılmış stabilize dolgu	

Tablo 4.2 devamı

İç zemin döşemesi	Ahşap kaplama	0,252
	Yüzer şap	
	Tesviye şapı (5cm)	
	Betonarme asmolen döşeme (40 cm)	
	Çimento esaslı tavan sıvası	
	Havalandırılmayan boşluk (30 cm)	
	Taşyünü asma tavan	
Çatı		
	(yukarıdan aşağıya)	
Düz çatı	Seramik kaplama (30x60 cm)	0,234
	Yapıştırma harcı	
	Koruma betonu (5cm)	
	Geotekstil keçe	
	XPS ısı yalıtımı (5cm)	
	Çift kat remmers flaxschlamme 2K su yalıtımı	
	160 gr/m <sup>2</sup> file	
	C20 brüt eğim betonu %2 eğim (ort. 10cm)	
	Betonarme döşeme (40cm)	
	Çimento esaslı tavan sıvası	
	Tavan boyası	
Teras üstü çatı	Taşyünü dolgulu boyalı sandviç panel (5cm)	0,683
	Çelik konstrüksiyon	
	Taşyünü/alçıpanel asma tavan	
	Tavan boyası	

#### 4.1.3 Cephe Elemanları

Binada üç çeşit cephe tipi kullanılmıştır. Binanın güney cephesinde girişin bulunduğu orta kısımda, binanın kuzey cephesinde çekirdeğin bulunduğu orta kısımda ve 3. ve 4. katların ofis bölümlerinde tek tabakalı alüminyum giydirme cephe kullanılmıştır. Bu cephe kat döşemelerine sabitlenmiştir. Binanın kalan ofis alanlarında kullanılan cephe tipi şu şekildedir: kat döşemeleri hizasında 60 cm'lik tuğla duvardan parapet önüne 50 cm'lik alüminyum kompozit panel cephe elemanlarının arasına takılan 245 cm yüksekliğinde tek tabakalı cam cephe. Son cephe tipi, binanın doğu ve batı cephesindeki servis alanlarının cephesidir. Tuğla duvar dolgusu üzerine 6 cm taşyünü ısı yalıtım malzemesi ve en dış katman olarak akrilik



esaslı dış cephe boyası kullanılmıştır. Şekil 4.4’de binanın cephelerinin görünüşleri gösterilmektedir. Görselde, birinci tipteki giydirme cam cepheler beyaz renkte gösterilmiştir. İkinci tipteki cephelerin cam alanları mavi, kompozit alanları siyah gösterilmiştir. Üçüncü tipteki cephe alanları ise gri renk ile gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Binanın görünüşleri ve kullanılan cephe tipleri

Tüm cephelerde kullanılan cam ve doğrama tipi aynıdır. Tablo 4.3’de kullanılan camların özellikleri verilmiştir. Doğrama olarak ısı yalıtımlı alüminyum doğrama kullanılmıştır. Tabloda verilen U değeri, cam ile doğramanın U-değerinin ağırlıklı ortalamasıdır.

Tablo 4.3 Cephede kullanılan camın özellikleri

	Katmanlaşma	U-değeri	Güneş ısısı kazanım katsayısı (SHGC)	Cam saydamlık oranı (VLT)
Cam	6mm temperli füme reflekte cam	2,38	0,286	0,235
	12mm argon gazlı boşluk			
	4mm düz cam			

#### 4.1.4 Binaya Ait Faaliyet Verileri

Ofis binası, hafta sonu ve tatiller haricinde 07:00-19:00 saatleri arasında kullanılmaktadır. Binaya ait faaliyet verileri konusunda ulaşılamayan veriler için, DesignBuilder programında ofis, WC ve depo çalışmasına ait şablonlarda varsayılan değerler kullanılmıştır. Buna göre, ofis 09:00-12:00 ve 14:00-17:00 saatleri arasında tam dolulukta faaliyet göstermektedir. 12:00-14:00 saatleri arasında öğle arası sebebiyle %75 doluluktadır. Bina, 07:00-09:00 saatleri arasında artarak tam doluluğa ulaşır ve 17:00-19:00 saatleri arasında ise azalarak tamamen boşalmaktadır.

Çalışma saatleri dışında HVAC elemanlarının çalışmadığı varsayılmıştır. Binanın ısıtma/soğutma enerjisi doğal gaz ile çalışan 4 borulu fan coil ünitesi, hava soğutmalı chiller ile karşılanmaktadır. Binanın iklimlendirme sisteminin ısıtma performans katsayısı (COP değeri) 0,85, soğutma performans katsayısı 1,8'dir. Binanın mekanik ısıtma/soğutma elemanları ısıtma döneminde binayı 22°C ve soğutma döneminde 24°C tutmaktadır. Binanın iç mekan sıcaklığı 24°C'yi geçtiğinde doğal havalandırma yapılmaktadır. Bina sıcaklığı 10°C altına düştüğünde mekanik havalandırma devreye girmektedir.

Yapının ofis alanı için hedeflenen aydınlatma miktarı, EN 12464-1.2009'da ofis alanları için en az değer olarak belirtilen 500 lux'tur. Yapıda herhangi bir günışığı sensörüne bağlı aydınlatma kontrolü bulunmamaktadır. Tablo 4.4'te binaya ait faaliyet verileri özetlenmiştir.

Tablo 4.4 Binaya ait faaliyet verileri.

Çalışma saatleri	07:00-19:00	Pazartesi-Cuma arası
Kullanıcı yoğunluğu	0,11	Kişi/m <sup>2</sup>
Metabolik oran	123	W/kişi
Soğutma ayar sıcaklığı	24	°C
Isıtma ayar sıcaklığı	22	°C
Doğal havalandırma ayar sıcaklığı	24	°C
Mekanik havalandırma ayar sıcaklığı	10	°C
Sıcak su tüketim oranı	0,2	l/m <sup>2</sup> gün
Hedeflenen aydınlatma miktarı	500	lux

## 4.2 Binanın Modelinin Oluşturulması

Binanın modeli, 4.1 bölümünde verilen bilgiler DesignBuilder programına girilerek oluşturulmuştur. Binanın çevresindeki zeminler ve diğer yapı herhangi bir ısııl zon içermediği için “component block” olarak girilmiştir. Beta binası, programın hiyerarşik yapısı doğrultusunda kat planları blok olarak, mahaller zon olarak oluşturulmuştur. Binaya ait faaliyet verileri “activity” sekmesinden, opak bina bileşenlerine ait veriler “construction” sekmesinden, saydam bina bileşenlerine ait veriler “openings” sekmesinden, aydınlatma verileri “lighting” sekmesinden, HVAC verileri “HVAC” sekmesinden girilmiştir. Modelin günışığı diagramı ve görsel sunumu “visualise” sekmesinden elde edilebilmektedir. Oluşturulan model üzerinde ısıtma ve soğutma tasarımı hesapları, BES ve optimizasyonu, hesaplamalı akışkan dinamiği hesaplamaları, gün ışığı aydınlatma hesaplamaları ve maliyet hesaplamaları yapılabilmektedir. Ayrıca one click LCA eklentisi ile yaşam döngüsü değerlendirmesi de yapılabilmektedir.

Isıtma tasarımı hesaplamaları, o konumda karşılaşılabilecek en soğuk kış hava koşullarını karşılamak için gerekli olan ısıtma ekipmanının boyutunu belirlemek için yapılmıştır. Hesaplamalar “kış tasarım günü”ndeki bir “en çok ısıtma gereksinimi olan an” için yapılmıştır. Kış tasarım günü, DesignBuilder programında tanımlı olan iklim verisi dosyasından elde edilen bilgiye göre istatistiki olarak belirlenen yılın en soğuk günüdür. Bu tasarım hesaplamaları genelde ASHRAE, CIBSE ve TS gibi çeşitli ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından tanımlanan kararlı hal yöntemini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon, her bir bölgedeki sıcaklık ayar noktalarını korumak için gereken ısıtma kapasitelerini hesaplayarak toplam ısı kaybını şu parçalara ayırmıştır: Camlar, duvarlar, bölmeler, zeminler, çatılar, sızdırma, doğal havalandırma (diğer soğutucu bitişik alanlara pencere, delik, kapı yoluyla ısı kaybı). Her bölgedeki toplam ısı kaybı, tavsiye edilen ısıtma tasarımı kapasitesini vermek için bir emniyet faktörü ile çarpıldı (Designbuilder help, 2019). Bu çalışmada emniyet faktörü, DesignBuilder varsayılan değeri olan 1,25 alınmıştır.

Hesaplamalar sonucu konfor sıcaklığı, kararlı hal ısı kaybı ve tasarım ısıtma kapasitesi elde edilmiştir. Konfor sıcaklığı, operatif sıcaklık olarak da bilinir, iç hava ve radyant sıcaklıkların ortalamasıdır. Konfor sıcaklıkları her bir bölge için ayrı olup

kararlı haldeki ısı kaybı, ısıtma tasarım sıcaklığını korumak için iletilen ısı miktarını göstermektedir. Bu değerin emniyet faktörü ile çarpılması sonucu tasarım ısıtma kapasitesi elde edilmiştir. Yıllık simülasyonda kullanımın değerlendirilmesinde gerekli olan tasarım ısıtma kapasitesi de hesaplanmıştır.

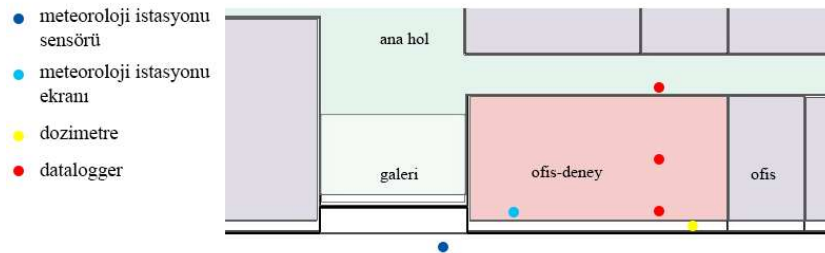
Soğutma tasarımı hesaplamaları, karşılaşılabilecek en sıcak yaz hava koşullarını karşılamak için gerekli olan mekanik soğutma ekipmanının kapasitesini belirlemek için yapılmıştır. Bu tasarım hesaplamaları CIBSE ve ASHRAE tarafından sağlanan periyodik kararlı hal yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Designbuilder help, 2019). Yaz tasarım günü, DesignBuilder programında tanımlı olan iklim verisi dosyasından elde edilen bilgiye göre istatistiki olarak belirlenen yılın en sıcak günüdür. Bu çalışmada 15 Temmuz günü için soğutma tasarımı yapılmıştır. Simülasyon, her bir bölgedeki sıcaklık/ısı akışı yakınsayana kadar devam eder. Simülasyon, her bir bölge için yarım saatlik sıcaklıklar ve ısı akışlarını hesaplamış ve her bir bölgedeki soğutma sıcaklığı ayar noktalarını korumak için gereken soğutma kapasitelerini belirlemiştir. Her bir bölgedeki en çok soğutma yükü, bir tasarım soğutma kapasitesi elde etmek için emniyet faktörü ile çarpılmıştır. Bu çalışmada emniyet faktörü, DesignBuilder varsayılan değeri olan 1,15 alınmıştır.

Gerçek hava durumu verileri kullanılarak yapılan simülasyonlara dayanarak ayrıntılı bina enerji performansı verileri oluşturulabilmektedir. Hava durumu verileri saatlik hava durumu verileri dosyasından gelmektedir. Simülasyon, farklı ısı bölgeleri arasındaki ısı iletimini ve taşınımını ve pencerelerden gelen güneş enerjisi kazancını dikkate almaktadır. Simülasyon, bina ısıl kütlelerinde ısının dağılımını ve simülasyonun başlamasını sağlamak için bir veya daha fazla 'ısınma' günü içermektedir. Isınma her bir bölgedeki sıcaklıklar/ısı akışları yakınsayana kadar veya simülasyon dönemi olarak belirlenen en çok gün sayısı için simülasyon devam etmektedir. Simülasyon belirlenen tarihler arasında yapılabileceği gibi, yıllık, yaz/ kış tasarım haftası için, yaz/kış tipik haftası için veya bütün yaz/kış için yapılabilmektedir. Hesaplama aralığı yıllık, aylık, saatlik veya çeyrek saatlik seçilebilmektedir.

#### 4.2.1 Binanın İklim Dosyasının Oluşturulması

Gerçek verilerle iklim dosyasının oluşturulması için bina içerisinde ve dışarısında ölçümler yapılarak 17.12.2018-24.12.2018 tarihleri arasında 7 günü temsil edecek saatlik veri elde edilmiştir. İç mekan ölçümleri binanın birinci katında, güney cepheye bakan, 121,6 m<sup>2</sup>'lik, ölçüm esnasında boş olan ve iklimlendirme çalıştırılmayan bir ofiste gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6). Ölçüm aletleri kurulduktan sonra ölçümün güvenilirliği için mekan tamamen kapatılmıştır. Aletlerin iç ve dış mekanda veri aldığı noktaları gösteren Şekil 4.5'deki kısmi kat planında gösterilmiştir. Ölçüm için kullanılan aletler şu şekildedir:

- İç mekan kuru termometre sıcaklığı (°C) verilerini elde etmek için HIOKI 8421-51 datalogger kullanılmıştır. Sensör olarak kullanılan T tipi termokupllar ile mekanın üç noktasından sıcaklık verisi alınmıştır: koridor, mekanın orta noktası, mekanın cepheye yakın ve gölgede kalan noktası (Şekil 4.8).
- Dış mekan kuru termometre sıcaklığı (°C), çığ noktası sıcaklığı (°C), atmosfer basıncı (kPa) ve nem (%) verilerini elde edebilmek için PCE-FWS 20 portatif meteoroloji cihazı kullanılmıştır. Sensörlerin bulunduğu birim, binanın dışında ve zemin katta ölçüm yapılan mekana yakın bir noktaya yerleştirilmiştir (Şekil 4.9). Cihazın, iç mekan sıcaklığı ölçen sensörlerinin bulunduğu ve verilerin okunduğu LCD ekranı iç mekana yerleştirilmiştir (Şekil 4.7).
- Işınım verilerini elde etmek için PCE-SPM-1 Dozimetre aleti kullanılmıştır. Alet pencere dışına, alıcısı güneşe dönecek şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 4.10). Aletin veri kapasitesi sınırlı olduğu için, 2 sefer veri aktarımı yapılmıştır. Doğrudan güneş enerjisi (W/m<sup>2</sup>) verisi elde edilmiştir.



Şekil 4.5 Ölçüm aletlerinin veri aldığı noktalar



Şekil 4.6 Ölçüm yapılan ofis mekanı (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 4.7 Portatif meteoroloji cihazının iç birimi (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 4.8 Datalogger (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 4.9 Portatif meteoroloji cihazının dış birimi (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 4.10 Dozimetre (Kişisel arşiv, 2018)

Elde edilen veriler, Rocky Mountain Institute'nin katkılarıyla hazırlanan açık kaynak kodlu Elements iklim dosyası hazırlama programına girilerek, Design Builder programında kullanılan EnergyPlus weather file (.epw) dosyası oluşturulmuştur. Bu dosya, simülasyon için kullanılan saatlik gerçek verilerden elde edilen iklim dosyasıdır.

#### 4.2.2 Modelin Doğrulanması

Bina modelinin doğrulanması, uygulanan enerji tasarrufu protokollerinin güvenilirliği açısından çok önemlidir (Ruiz ve Bandera, 2017). Günümüzde bina enerji modellemesinde bütüncül bina yaklaşımı, otomasyon seviyelerinin artması, düşük maliyetler vb. nedeniyle, tekil tedbirlerin uygulanmasından daha yaygındır. Bu enerji modellerinin kullanım amacı yalnızca enerji tasarrufu tedbirlerini incelemek değildir. Aynı zamanda yazılımın enerji tüketimini izlemek için bir hizmet olması yaklaşımına sahip şirketler veya sigorta şirketleri gibi enerji yönetimi konusunda uzmanlaşan oluşumlar tarafından, binadaki riskleri incelemek için bir araç olarak kullanılmaktadır. Kullanılan modellerin güvenilirliği tüm bu uygulamalar için belirleyici faktör olduğu için, doğrulanmış modellerin kullanılması gerekmektedir.

ASHRAE 14-2014 yönergesi kalibrasyonu şu şekilde tanımlar: “(b) belirli bir koşul kümesi için modelin öngörülen çıktısını, aynı şartlar kümesi için ölçülen verilerle karşılaştırarak bir modelin belirsizliğini azaltma işlemi. (...) kalibrasyon, cihazın, ölçüm aletinin veya modelin hangi değişkenlerinin ayarlanabileceğini, kabul edilebilir bir doğruluk veya belirsizlik seviyesinin ne olduğunu belirleyen ve süreci ve sonuçları belgeleyen tanımlanmış prosedürleri takip etmeyi içerir”. Yani kalibre edilmiş bir model, aynı koşullar altında ölçülen verileri yeniden üretebilen modeldir ve doğruluğu bir belirsizlik analizi ile ölçülmektedir (Ruiz ve Bandera, 2017).

ASHRAE Kılavuzu 14-2002 ve 14-2014'ye göre belirsizlik analizi: “(b) ölçüm prosedürlerini ve/veya hesaplamaları kullanırken gerçek değere güven derecesini belirleme sürecidir”. Bu güven derecesini öneren üç ana kaynak, ASHRAE Kılavuz 14, Federal Enerji Yönetimi Programı (FEMP) ve Uluslararası Performans Ölçümü ve Doğrulama Protokolü (IPVMP)'dür. Tasarruf hesaplamalarındaki belirsizliği ölçmek için basitleştirilmiş yöntemler kullanılmaktadır ve ASHRAE Kılavuzu 14'de açıklandığı gibi, kılavuz ile uyumlu olmaları durumunda diğer kaynaklar da kullanılabilir.

Kullanılan başlıca belirsizlik endeksleri şunlardır: Normalleştirilmiş Ortalama Sapma Hatası (NMBE), Ortalama Karekök Hatanın Değişim Katsayısı (CV (RMSE)) ve belirleme katsayısı ( $R^2$ ).



MBE (Ortalama Sapma Hatası), örneklem uzayındaki hataların ortalamasıdır ve Denklem (4.1) 'deki gibi hesaplanmaktadır. Burada  $m_i$  ölçülen değer,  $s_i$  simüle edilen değer ve  $n$  ölçülen veri noktalarının sayısıdır. Pozitif değerler, modelin ölçülen veriden daha az ve negatif değerler ise gerçek değerden büyük tahminde bulunduğu anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, MBE’de temel sorun, pozitif ve negatif değerlerin beraber toplanmasının sonuç MBE değerini azaltabilmesidir (Ruiz ve Bandera, 2017).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n} \quad (4.1)$$

NMBE, MBE endeksinin normalleştirilmesidir, bu sayede MBE sonuçları karşılaştırılabilir hale gelmektedir. MBE endeksini ölçülen değerlerin ortalamasına ( $\bar{m}$ ) bölerek, gerçek değerler ile öngörülen değerler arasındaki küresel farkı vermektedir. Denklem (4.2)’de  $p$ , ayarlanabilir model değişkenlerinin sayısıdır ve kalibrasyon amacıyla sıfır olması önerilmektedir. MBE’de olduğu gibi pozitif ve negatif değerler, bu normalleşmenin düşük veya aşırı tahmini anlamına gelmektedir. ASHRAE Klavuz 14, simüle edilmiş değerlerden ( $s_i$ ) ölçülen değerleri ( $m_i$ ) çıkarır. FEMP ve IPMVP ise tam tersini yapar. Bu nedenle, düşük ya da aşırı tahminin yönü ters çevrilir. Sonuç olarak, NMBE’nin tek başına kullanılması önerilmemektedir (Ruiz ve Bandera, 2017).

$$NMBE = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n-p} \times 100 (\%) \quad (4.2)$$

CV (RMSE), ölçülen ve simüle edilmiş değerler arasındaki hataların değişkenliğini ölçmektedir. Modelin verilere yansıyan genel yük şeklini tahmin etme yeteneğinin bir göstergesidir. Bu durumda,  $p$  değerinin bir olduğu ileri sürülmektedir. İptal hatalarına bağlı değildir ve bu nedenle AHSRAE Klavuz 14, FEMP ve IPMVP modelleri doğrulamak için NMBE ile birlikte CV(RMSE) kullanımını önermektedir (Tablo 4.5).

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n-p}} \times 100 (\%) \quad (4.3)$$

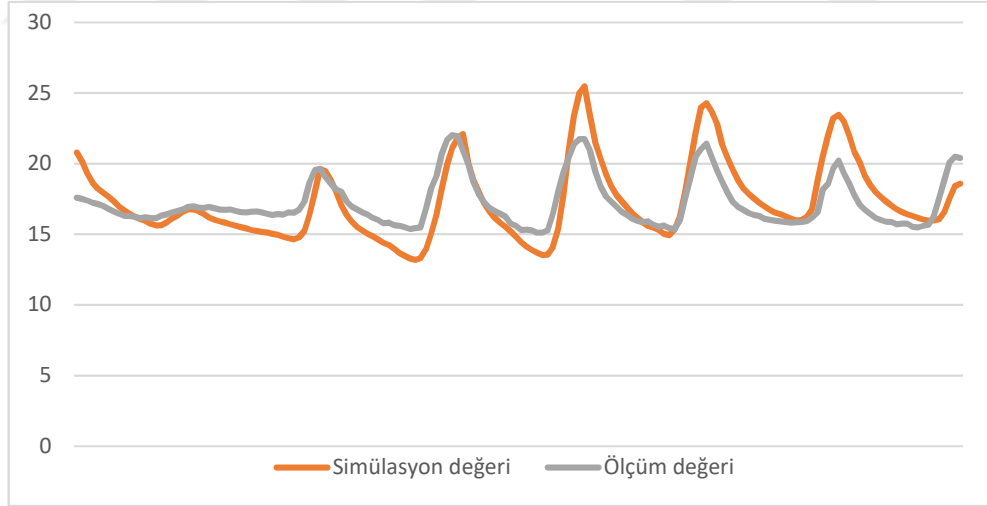
Ruiz ve Bandera (2017), model doğrulama yöntemi olarak CV(RMSE) ve NMBE/MBE kullanan, 2006-2017 yılları arasında yapılmış 55 tane çalışmaya yer

vermiştir. Bilimsel çalışmalardaki kullanım oranı gözönüne alınarak, bu çalışmada da CV(RMSE) ve NMBE endeksi kullanılmıştır.

Tablo 4.5 FEMP, AHSRAE 14 Yönergesi ve IPMVP'nin doğrulama kriterleri (Ruiz ve Bandera, 2017)

Doğrulama kriteri	Endeks	AHSRAE 14 Yönergesi	FEMP	IPMVP
Aylık değerler (%)	NMBE	±5	±5	±20
	CV(RMSE)	15	15	-
Saatlik değerler (%)	NMBE	±10	±10	±5
	CV(RMSE)	30	30	20

Doğrulama için 17.12.2018-24.12.2018 tarihleri arasında ölçülen 7 günlük saatlik veri kullanılmıştır.  $m_i$  için dataloggerda ölçülen veriler kullanılmıştır.  $s_i$  için aynı tarihler için yapılan simülasyondaki saatlik veriler kullanılmıştır. Sonuç olarak ölçüm yapılan ofis alanı için kök ortalama kare hata değişim katsayısı (CV(RMSE))=%9,34 ve ortalama sapma hatası (MBE)=%0,42 hata oranı elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 4.5'deki AHSRAE Klavuz 14, FEMP ve IPMVP'nin saatlik verilere göre doğrulama aralığı içerisinde kalmaktadır. Şekil 4.11'de toplam 166 saat için ölçülen ve simüle edilen kuru hava sıcaklığı verilerinin karşılaştırılması görselleştirilmiştir.



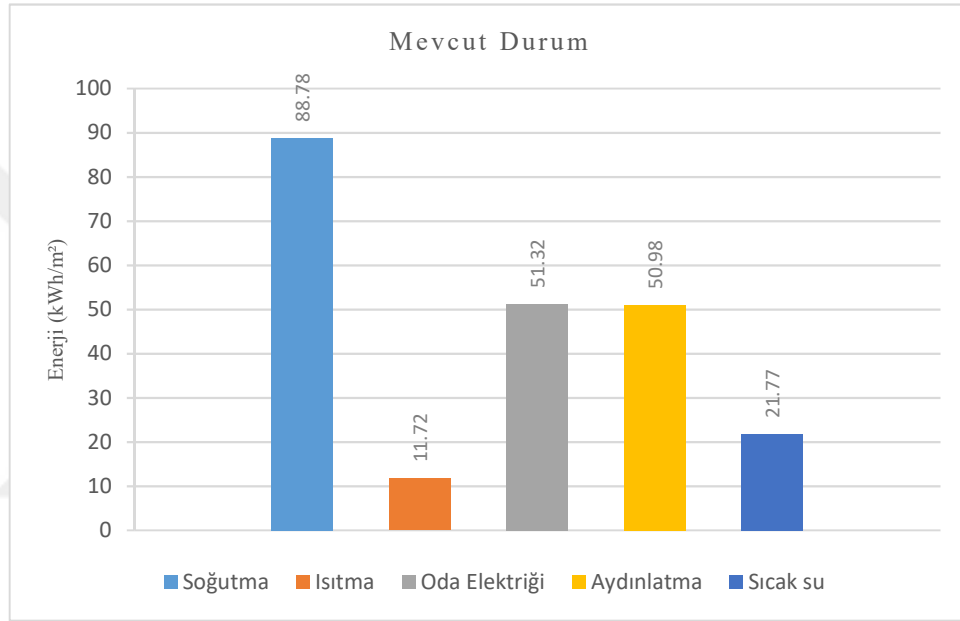
Şekil 4.11 Ölçülen veriler ile simülasyon verilerinin karşılaştırılması

### 4.3 Mevcut Binanın Enerji Tüketimi ve Isıl Konfor Analizi

Doğrulan model üzerinde, ölçülen hava durumu verilerini kullanarak yapılan simülasyonlara dayanarak mevcut binanın ayrıntılı bina enerji tüketim verileri elde edilmiştir. Simülasyon aylık ve yıllık olarak yapılmıştır. Mevcut durumun birim m<sup>2</sup>'ye

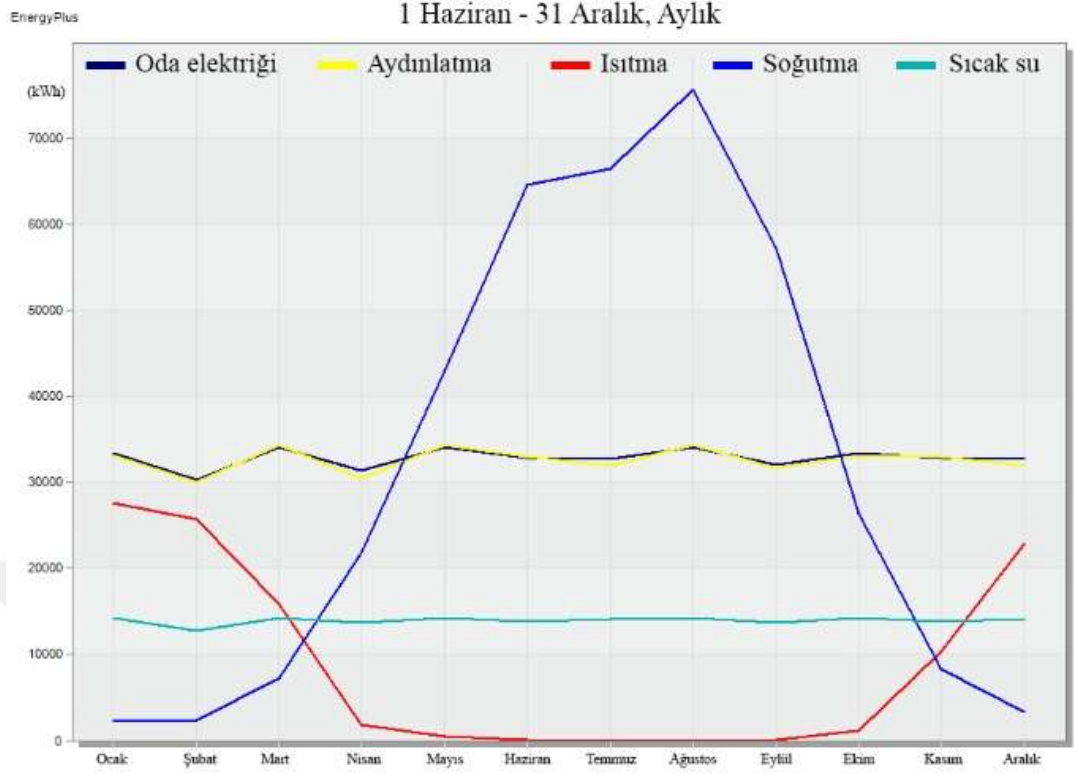
düşen toplam yıllık birincil enerjisi 221,30 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Hesaplamaya dahil edilen enerji yükleri; toplam ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su ve oda elektriği yükleridir. Birincil enerji hesaplamalarında toplam arazi enerjisi temel alınmıştır.

Toplam yıllık enerji tüketimindeki en yüksek pay, %39,5 oranıyla soğutma yüküne aittir. %22'ye yaklaşan oranlarla oda elektriği ve aydınlatma yükleri bunu takip eder. Sıcak su enerji yükü %9,6'dır ve en düşük enerji yükü %5 ile ısıtmaya aittir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Mevcut durumun birim m<sup>2</sup>'ye düşen yıllık toplam soğutma, ısıtma, oda elektriği, aydınlatma ve sıcak su enerji tüketimleri (kWh/m<sup>2</sup>)

Enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımına bakıldığında (Şekil 4.13), beklentiye uygun olarak yaz aylarında ısıtmanın sıfırlandığı görülmektedir. Soğutma yükü ise Nisan-Kasım ayları arasında aktiftir ve Ağustos ayında zirve yapmaktadır. Pencerelerden gelen güneş ışığından ısı kazancı, aydınlatma, bilgisayar, ekipmanlar ve kullanıcıların oluşturduğu ısı kazancı sebebiyle, kış aylarında soğutma yükü sıfırlanmamaktadır. Sıcak su, aydınlatma ve oda elektriği yükleri aylara göre doğrusal bir dağılım göstermektedir.



Şekil 4.13 Mevcut duruma ait toplam oda elektriği, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve sıcak su enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı (kWh)

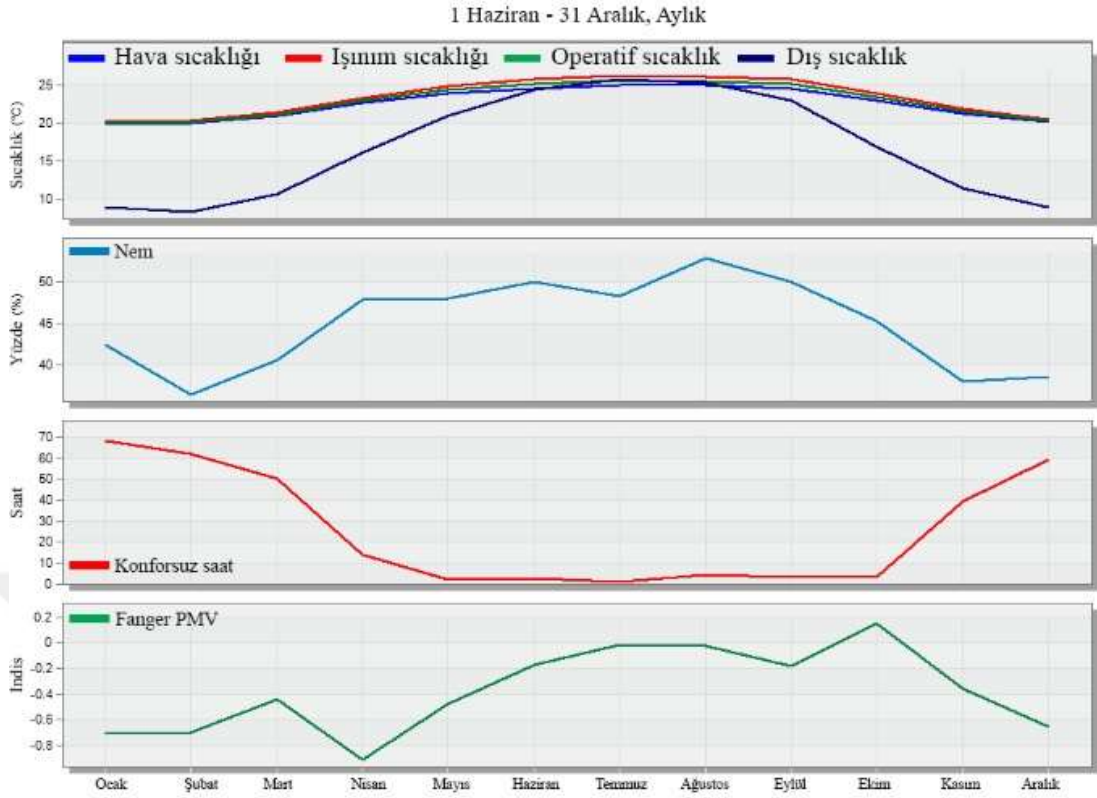
Oda elektriği, ofis ekipmanları ve bilgisayar kullanımı gibi kullanıcı davranışına bağlı tüketimleri içerir. Sıcak su kullanımı da kullanıcı davranışına ve kullanıcı yoğunluğuna bağlıdır. Oda elektriği ve sıcak su tüketiminin cephe tasarımı ile enerji tüketimi değişmeyeceğinden, ilerideki alternatif cephe önerilerinde en yüksek enerji tüketimine sahip yükler olan soğutma ve aydınlatma enerjilerini azaltmaya yönelik tedbirler alınmıştır.

Tüm konfor hesaplamaları şu şartlar için gerçekleştirilmiştir; kıyafet yalıtımı kış aylarında 1 clo, yaz aylarında 0,5 clo, metabolik oran ofis alanlarında 123 W/kişi, dolaşım alanlarında, tuvaletlerde, temizlik odası-depolarda 140 W/kişi, restoranda 110 W/kişi ve mutfakta 180 W/kişi'dir. DesignBuilder programı B grubu ve üstü standart sınırları içindeki ortamları konforlu kabul ettiği için (Designbuilder help, 2019), bu çalışmada B grubu konfor bölgesinin içinde yer alma şartı esas alınmıştır.

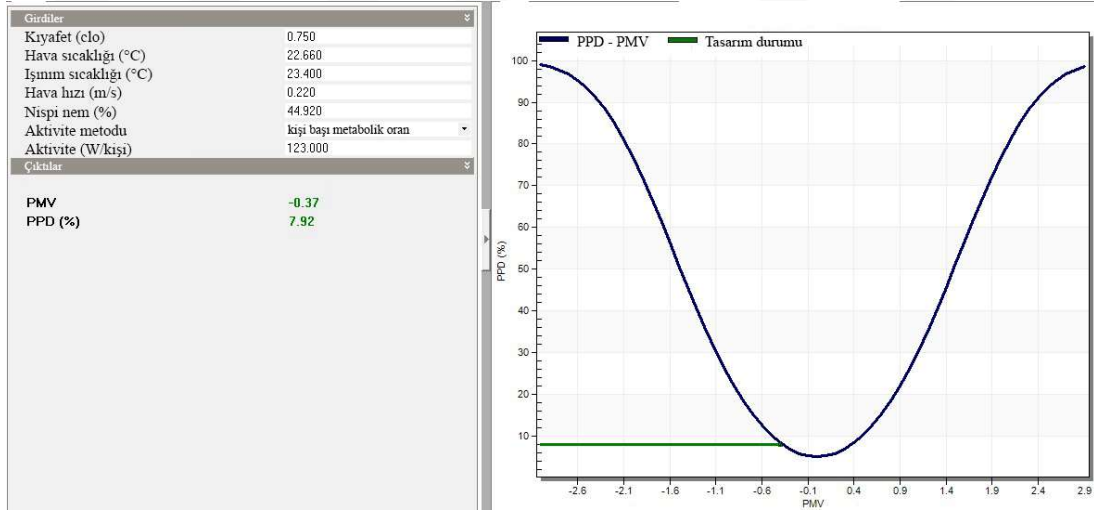
Mevcut durumda, nem oranı tüm aylarda ve yıllık ortalama %30-70 aralığındadır. Fanger PMV indisi, yıllık ortalama -0,37 ile B grubu ısı konforu sağlamaktadır (Tablo 4.6). Fakat kış aylarında ve Nisan ayında indis -1'e yaklaşarak, kullanıcıların bir kısmının ortamı serin hissettiklerini göstermektedir. Operatif sıcaklık değerlerinin hem kış hem yaz aylarında ASHRAE Standard 55 tarafından yapılan tavsiyelerdeki sınırların dışına çıktığı görülmüştür. Kış aylarında geçirilen konforsuz zaman, yaz aylarına göre daha fazladır. Binada yıl boyunca toplam 308,93 konforsuz saat yaşanmaktadır. Tablo 4.6'da verilen değerler Şekil 4.14'de grafik olarak sunulmuştur. PMV değerinin yıllık ortalama PPD indisi 7,92'dir ve PPD<10 kriterini sağladığı için B grubu ısı konfor standartlarına uymaktadır. Şekil 4.15'de yıllık PMV-PPD ısı konfor grafiği gösterilmektedir.

Tablo 4.6 Mevcut durumun konfor değişkenlerine ait aylık ve yıllık veriler

	Nem	Fanger PMV	Hava Sıcaklığı	Işınım Sıcaklığı	Operatif Sıcaklık	Konforsuz zaman	Dış kuru termometre sıcaklığı
	%		°C	°C	°C	saat	°C
Ocak	42,47	-0,71	19,98	20,15	20,07	68,15	8,91
Şubat	36,36	-0,70	20,14	20,40	20,27	62,12	8,36
Mart	40,54	-0,44	20,99	21,41	21,20	50,20	10,65
Nisan	47,93	-0,91	22,66	23,41	23,04	13,77	16,14
Mayıs	48,05	-0,48	23,93	24,86	24,39	1,82	20,96
Haziran	50,08	-0,17	24,67	25,81	25,24	2,56	24,44
Temmuz	48,38	-0,02	25,14	26,29	25,72	0,95	25,82
Ağustos	52,93	-0,03	25,00	26,18	25,59	4,07	25,38
Eylül	50,07	-0,19	24,62	25,78	25,20	2,97	23,03
Ekim	45,30	0,15	23,06	23,90	23,48	3,33	16,95
Kasım	37,84	-0,36	21,36	21,87	21,62	39,45	11,45
Aralık	38,53	-0,65	20,23	20,55	20,39	59,55	8,87
Yıllık	44,92	-0,37	22,66	23,40	23,03	308,93	16,79



Şekil 4.14 Mevcut duruma ait aylık sıcaklık, nispi nem, konforsuz saat ve Fanger PMV indisi



Şekil 4.15 Mevcut durumun yıllık ortalama PMV-PPD indisi

#### 4.4 Mevcut Binanın İyileştirilmesi İçin Alınacak Önlemler

Bu kısımda yapılan çalışmada, varolan binanın cephesine getirilen öneriler ile enerji verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. İlk önlem, binanın güney cephesinin ÇTC'ye dönüştürülmesidir. İkinci önlem ise varolan binaya gölgeleme elemanı eklenmesidir.

##### 4.4.1 Alternatif 1: Binada Çift Tabakalı Cephe Kullanılması

Çalışmanın bu bölümünde, varolan binanın nSEB kriterlerine ulaşmasında binanın güney cephesinin ÇTC'ye dönüştürülmesinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın diğer bir hedefi ise, ÇTC tasarımında hangi değişkenin enerji verimliliğini ne şekilde etkilediğinin görülebilmesidir. Bu doğrultuda, en verimli bulunan ÇTC tasarımının değişkenleri kontrollü olarak değiştirilmiş ve ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su ve elektrik yüklerinin etkilenme oranları hesaplanmıştır.

###### 4.4.1.1 Alternatif 1 Enerji Tasarrufu

ÇTC'nin varolan binanın sınırlarını değiştirmeden binanın üzerine ekleneceği varsayılmıştır. Bu durumda binanın orijinalinde dış cidar olan cephe, ÇTC'de iç cidar olacaktır. Bu cephenin alüminyum kompozit kaplamasının söküleceği ve Tablo 4.7'deki duvar katmanlaşmasına sahip olacağı var sayılmıştır. Binanın mevcut halinde bulunan camlar değiştirilmemiştir.

Tablo 4.7 ÇTC'nin yapı elemanı katmanlaşması ve özellikleri

	Katmanlaşma	U-değeri (W/m <sup>2</sup> K)
İç Cidarın opak kısmı	Saten iç cephe boyası	0,492
	Alçı sıva (kaba+karışık+saten)	
	Taşyünü ısı yalıtımı (6cm)	
	Çimento esaslı dış sıva	
	Tuğla duvar (20 cm)	
	Alçı sıva (kaba+karışık+saten)	
	Saten iç cephe boyası	
Boşluk	Boşluk (90 cm)	-
Dış cidar	Giydirme cephe - düz cam (6mm)	5,778

ÇTC tasarımını etkileyen 8 ana başlıkta 20 farklı değişken belirlenmiştir. Bunlar ÇTC'nin genel özelliklerine ait değişkenler ve saydam bileşenlerine ait değişkenler

olarak iki grupta toplanabilir. Ayrıca binanın doğal havalandırma durumu ve binada aydınlatma kontrolü bulunup bulunmaması ÇTC'nin performansını etkileyen yardımcı değişkenlerdir. Tablo 4.8'de ÇTC tasarımı ile ilgili değişkenler ve binadaki ek değişkenler özetlenmiştir.

Compagno (2002)'nin da belirttiği gibi ÇTC tipleri 5 sınıfta incelenebilir: kat yüksekliğinde ÇTC, bina yüksekliğinde ÇTC, kutu tipi ÇTC, şaft cepheler ve iklim holleri. Bu çalışmada, kat yüksekliğinde ve bina yüksekliğinde ÇTC'ler ele alınmıştır. Literatürde “koridor cepheleri” olarak da geçen kat yüksekliğinde ÇTC'de cephe boşluğu, yatay olarak kat yüksekliği boyunca bölünmüştür. Temiz havanın girdiği hava kanalları zemin katın ve kirli havanın dışarıya çıktığı hava kanalları tavanın yakınındaki duvara yerleştirilir, böylece tüm katlar ayrı olarak havalandırılır. Bina yüksekliğinde ÇTC'de ise dış ve iç tabaka arasında yatay ve düşey olarak sağlanan hava boşluğu kesintisizdir. Hava kuyusu olarak işlev gören havalandırma boşluğunda kirli hava ısınır, yükselir ve binanın üstündeki çıkıştan dışarı atılır.

ÇTC konumu açısından, ofislerin yoğunlaştığı güney cephe sabit olmak üzere, tüm yönlerdeki ÇTC performansı değerlendirilmiştir. Boşluk derinliği olarak seçilen iki değerden ilki, ÇTC'nin bakımının yapılması için minimum boşluk derinliği olan 90 cm'dir. Bu değerden 50cm fazla olan 140cm'lik boşluk derinliği, gölgeleme etkisinin artışının etkisini göstermek için seçilmiştir. Türkiye koşullarına uygun olan, Yılmaz ve Çetintaş (2005)'in da çalışmasında seçtiği 90cm ve 140cm'lik boşluk derinliği değerlendirmek için seçilmiştir. ÇTC havalandırması için yazın tüm gün havalandırma seçeneği veya yazın sadece gece havalandırması seçeneği değerlendirilmiştir.

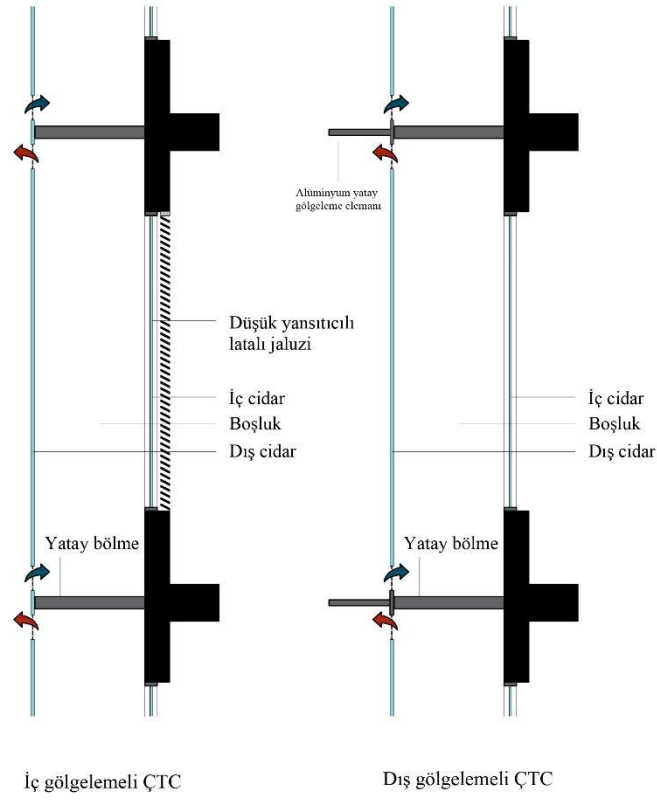
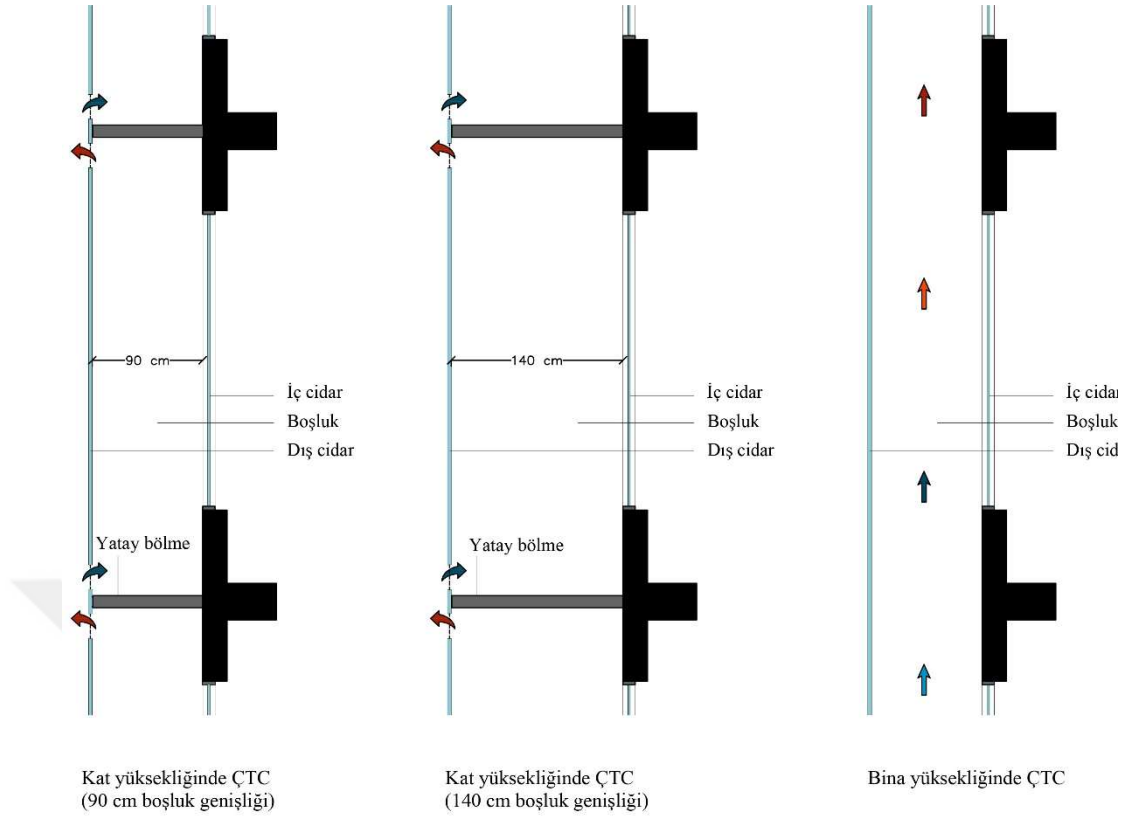
Saydam bileşenlere ait parametrelerden ilki olan PDO için 3 farklı seçenek ele alınmıştır: %100, %70 ve binanın mevcut halinde güney cephesindeki PDO olan %52. Cam tipi olarak 3 farklı tipte cam kullanılmıştır: 6mm düz cam, 6/12/4 argon gazlı çift cam ve 3/13/3/13/3 üçlü cam. İç gölgeleme, cephenin iç cidarının iç tarafına eklenen gölgeleme tipidir ve iç gölgeleme bulunan versiyon için düşük yansıtıcılı latalı jaluzi kullanılmıştır. Dış gölgeleme, her katta dış cidarın dışında bulunan 50cm'lik alüminyum yatay gölgelemeyi ifade etmektedir. Binaya ait ek değişkenler, binanın doğal havalandırma olması ya da olmaması durumunu ve binada aydınlatma kontrolü



olması veya olmaması durumunu belirtmektedir. Şekil 4.16’da ÇTC alternatiflerinin şematik görselleri bulunmaktadır.

Tablo 4.8 ÇTC tasarımı ile ilgili değişkenler ve binadaki ek değişkenler

ÇTC genel özelliklerine ait parametreler	
ÇTC tipi	Kat yüksekliğinde ÇTC
	Bina yüksekliğinde ÇTC
ÇTC konumu	Güney cephe
	Güney+kuzey cephe
	Güney+doğu cephesi
	Güney+doğu+batı cephesi
Boşluk derinliği	90 cm
	140 cm
ÇTC havalandırması	Yazın tüm gün havalandırma
	Yazın gece havalandırması
ÇTC saydam bileşenlerine ait parametreler	
PDO	100%
	70%
	52%
Cam tipi	6mm düz cam
	6/12/4 argon gazlı çift cam
	3/13/3/13/3 üçlü cam
İç gölgeleme	düşük yansıtıcılı latalı jaluzi
	yok
Dış gölgeleme	50 cm alüminyum yatay gölgeleme
	yok
Binaya ait ek değişkenler	
Doğal havalandırma	Var
	Yok
Aydınlatma kontrolü	Var
	Yok



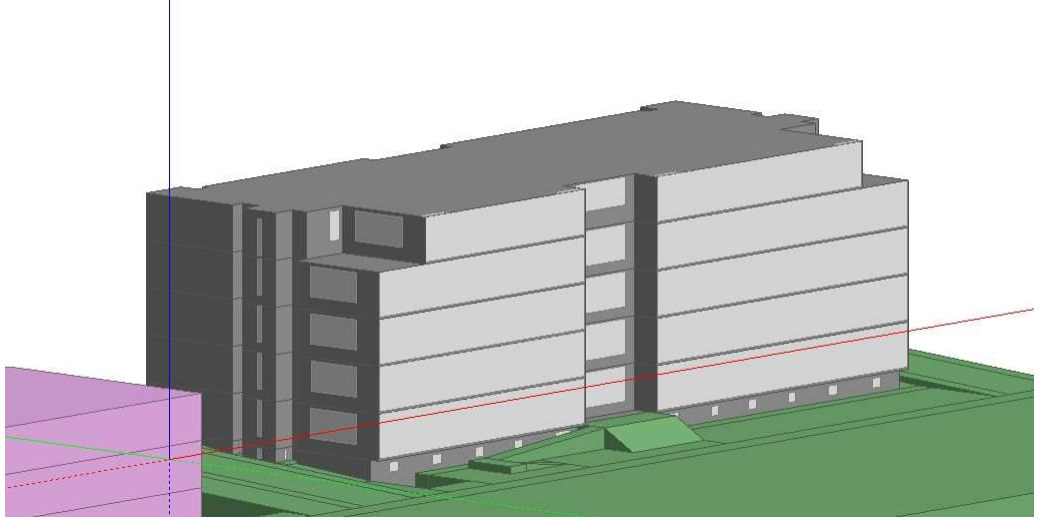
Şekil 4.16 Farklılaşan ÇTC tiplerinin şematik gösterimleri

Tablo 4.8'deki tasarım değişkenlerinin her biri simülasyon ile kendi içlerinde değerlendirilerek enerji tasarrufunu en fazla artıran belirlenmiştir. Bununla birlikte, ofis yapılarında ÇTC'nin güney cephedeki performansının değerlendirilmesi hedeflenmiş ve ÇTC sadece güney cephede ofis alanlarının olduğu kısımlarda konumlandırılmıştır. Dış gölgeleme elemanı ekleme de enerji performansını artırmasına rağmen, ÇTC tasarımının enerji verimliliğinin karşılaştırılabilmesi için dış gölgelemenin olmadığı durum seçilmiştir. Enerji tasarrufunu en fazla artıran değişkenlere sahip tasarım ÇTC-1 olarak adlandırılmıştır ve Tablo 4.9'da seçilen değişkenler özetlenmiştir. ÇTC-1 ile çalışmanın kapsamı dahilindeki en uygun cephe tadilatı alternatifi sunulmuştur.

Tablo 4.9 ÇTC-1 tasarımı için seçilen değişkenler

ÇTC tipi	Kat yüksekliğinde ÇTC
ÇTC konumu	Güney cephe
Boşluk derinliği	90 cm
ÇTC havalandırması	Yazın tüm gün havalandırma
PDO	100%
Dış cidar cam tipi	6mm düz cam
İç gölgeleme	Yok
Dış gölgeleme	Yok
Doğal havalandırma	Var
Aydınlatma kontrolü	Var

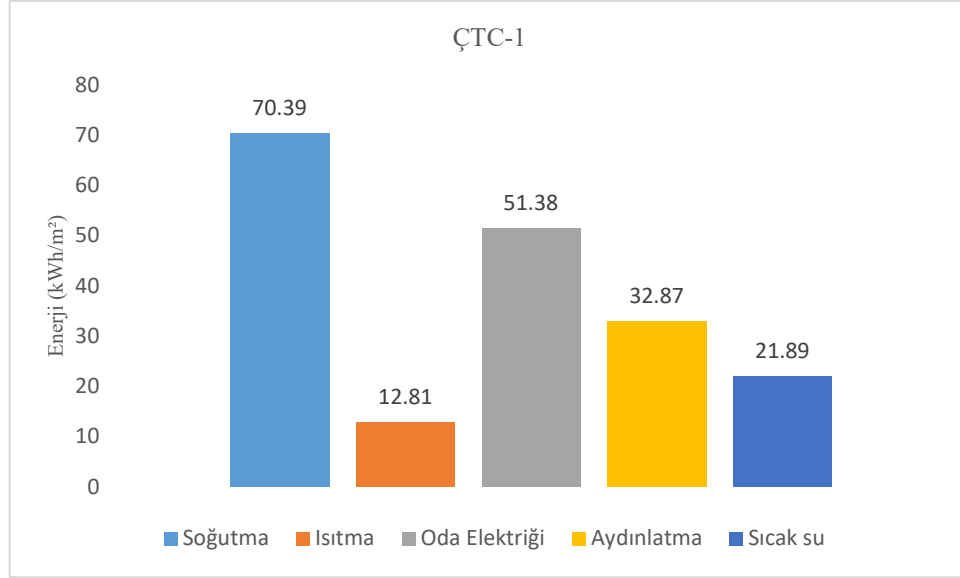
ÇTC boşluğu, ısıtılmayan-soğutulmayan-mekanik havalandırma yapılmayan bir bölümdür. Dış cidarın %10'unun üstten açılarak 30 Nisan-30 Ekim tarihleri arasında saatte 10 ac/h hava değişimi ile tüm gün doğal havalandırma yapılmaktadır. ÇTC-1 içerisindeki hava sıcaklığı, havalandırma ayar noktası sıcaklığı olarak seçilen 24°C'nin altına düştüğünde hava akışı durdurulmaktadır. ÇTC-1'in çatı seviyesinde ısınan havanın atılması için 70x300cm büyüklüğünde 4 tane havalandırma açıklığı bulunmaktadır. ÇTC'nin alt kısmı, alçı panel/5cm hava boşluğu/metal kaplama katmanlaşmasına sahiptir ve U-değeri 2,68 W/m<sup>2</sup>K'dir. Yapı modeli Şekil 4.17'de görülebilir.



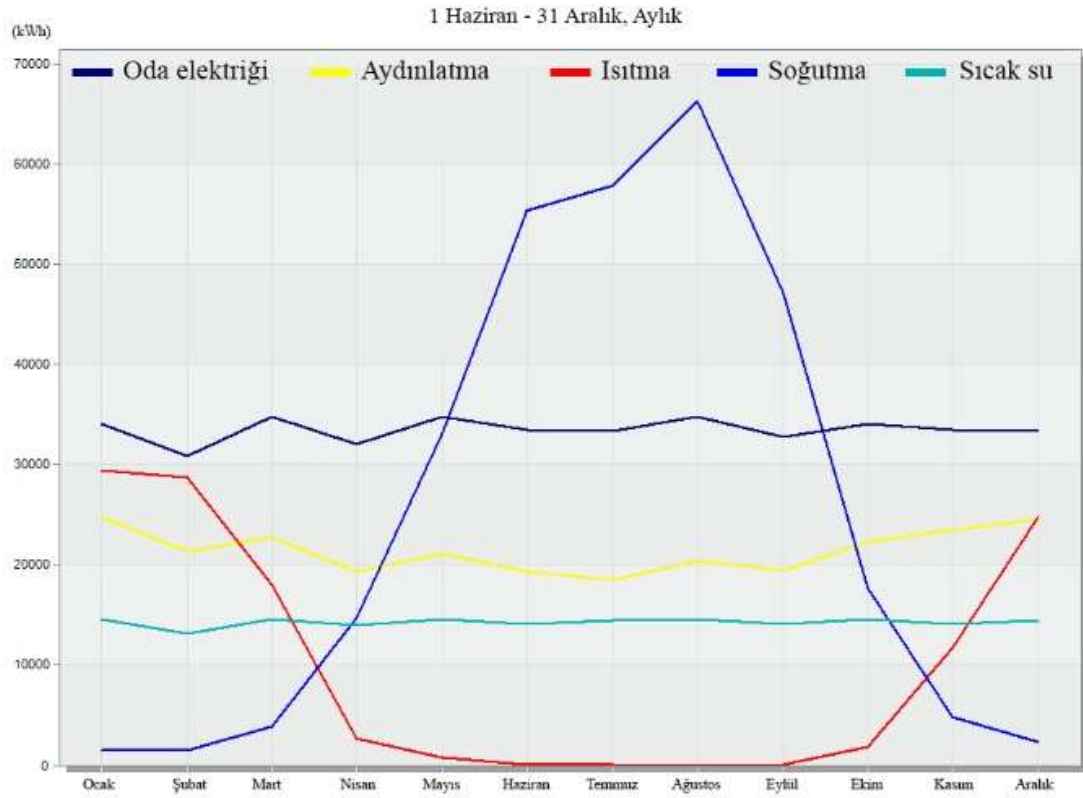
Şekil 4.17 Güney cepheye eklenen çift tabakalı cephe modeli

ÇTC-1 alternatifinde, binada aydınlatma kontrolü bulunmaktadır. Aydınlatma kontrolü, elektrikli aydınlatmayı doğal gün ışığının mevcudiyetine göre kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bir bölgedeki gün ışığı aydınlık seviyesi, gökyüzü durumu, güneş konumu, fotosel algılayıcı konumları, pencerelerin konumu, boyutu, gölgelendirmesi ve camların geçirgenliği, iç yüzeylerin yansımaları gibi birçok faktöre bağlıdır. Elektrikli aydınlatma enerjisi, günışığı aydınlık seviyesine, aydınlık ayar noktasına, kontrol edilen bölgenin fraksiyonuna ve aydınlatma kontrol tipine bağlı değişiklik göstermektedir. Kontrol tipi olarak seçilen sürekli kontrol ile, ışıklar gün ışığı parlaklığı arttıkça sürekli ve doğrusal olarak kısılarak, en çok elektrik gücü ve ışık çıkışı en az elektrik gücü ve ışık çıkışına dönüştürülmektedir. Aydınlatma sensörü, çalışma düzlemi yüksekliği olan 80cm yüksekliğe konulmuştur.

Seçilen değişkenlerle modellenen ÇTC-1 alternatifinin birim m<sup>2</sup>'ye düşen toplam yıllık birincil enerjisi 186,06 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Soğutma yükü %37 ile yine en yüksek enerji tüketim payına sahiptir. %27 ile oda elektriği bunu takip etmektedir. Aydınlatma, sıcak su ve ısıtma enerji yükleri sırasıyla %17,3, %11,5 ve %6,8'dir (Şekil 4.18). Enerji yüklerinin aylara göre dağılımı kWh cinsinden Şekil 4.19'da görülmektedir.



Şekil 4.18 ÇTC-1'in birim m<sup>2</sup>'ye düşen yıllık toplam soğutma, ısıtma, oda elektriği, aydınlatma ve sıcak su enerji tüketimleri (kWh/m<sup>2</sup>)



Şekil 4.19 ÇTC-1'e ait toplam oda elektriği, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve sıcak su enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı (kWh)

ÇTC-1 ile en uygun cephe tadilatı alternatifi sunulmuş, daha sonra her alternatifte bir değişken değiştirilerek ÇTC-1'den farklı alternatif ÇTC tasarımları simule edilmiştir. Böylece ÇTC tasarım parametrelerinin enerji tasarrufuna olan etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Tablo 4.10'da alternatiflere ait kaynakların birim m<sup>2</sup>'ye düşen yıllık enerji tüketimi, binanın birim m<sup>2</sup>'ye düşen yıllık birincil enerjisi ve birincil enerjinin binanın mevcut durumuna göre tasarruf yüzdesi görülmektedir. Sonuçlar şu şekildedir:

- ÇTC tipi olarak bina yüksekliğinde ÇTC kullanımı, soğutma yüklerini artırmış, aydınlatma yüklerini düşürmüştür. Kat yüksekliğinde ÇTC uygulamasında ise katlar arasında bulunan döşemelerin gölgeleme etkisi soğutmaya olumlu, aydınlatmaya olumsuz etki yapmıştır. Soğutma yükünün genel toplamdaki etkisi daha yüksek olduğu için, kat yüksekliğinde ÇTC alternatifinde %0,13 daha fazla tasarruf sağlanmıştır.
- Güney cephe ile birlikte kuzey cepheye de ÇTC eklemek, soğutma ve aydınlatma yüklerini artırmış, ısıtma yüklerini düşürmüştür ve sonuç olarak enerji tasarrufunu neredeyse %1 düşürmüştür. Soğutma yüklerinin baskın olduğu İzmir iklim şartlarında ÇTC, kuzey cephenin diğer cephelere göre nispeten düşük olan soğutma yüklerini artırarak olumsuz etki vermiştir. Bu sonuç literatür ile uyumludur.
- Binanın doğu ve batı cephesinin büyük kısmı teknik ve sirkulasyon amaçlıdır ve sağır cephedir. Yalnızca güney cepheye yakın 8 m'lik bölümü ofis alanı içerir. Doğru ve batı cepheye ÇTC eklenen alternatiflerde ekleme sadece ofis alanlarının cephesine yapılmıştır. Güney cephe ile birlikte doğu cephesine ÇTC eklemek, ısıtma yüklerini düşürmüştür. Diğer tüketimlere etkisi önemsizdir. Bu alternatif %0,21 daha tasarrufludur.
- Güney cephe ile birlikte doğu ve batı cephesine ÇTC eklemek, soğutma yüklerini artırmış, ısıtma yüklerini düşürmüştür. Diğer tüketimlere etkisi önemsizdir. Bu alternatif %0,09 daha tasarrufludur. Doğru ve batı yönlerinde ısıtma yüklerini düşürmüş olması, ÇTC'nin ısıtma yükünün baskın olduğu soğuk iklimlerde daha etkili olacağını göstermektedir.

- ÇTC boşluğunu 90cm'den 140 cm'e çıkarmak pencereden kazanılan ısı miktarını azaltarak soğutma yüklerini azaltmış, fakat gölgeleme etkisini artırarak aydınlatma yüklerini artırmıştır. Tasarruf yüzdesi değişmemiştir.
- Yazın sadece gece havalandırması yaptırmak, havalandırma olmayan duruma göre daha fazla enerji tasarrufu sağlamasına rağmen, yazın tüm gün havalandırmanın olduğu versiyona göre soğutma yüklerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, ÇTC'nin sadece sıcaklığın düştüğü gece saatlerinde değil yazın tüm gün havalandırılarak ÇTC içerisinde toplanan sıcak havanın tahliye edilmesi gerektiği göstermektedir.
- ÇTC'nin dış cidarında PDO'yu %100'den %70'e düşürmek, pencereden kazanılan ısı miktarı azaldığı için ısıtma ve aydınlatma yüklerini artırmış ve soğutma yüklerini azaltmıştır. %100 cam oranı %70'e kıyasla %0.11 daha tasarrufludur.
- ÇTC'nin dış cidarında PDO'yu %100'den %52'ye düşürmek, benzer etkileri yapmıştır. %100 cam oranı %52'den %0,31 daha tasarrufludur.
- ÇTC'nin dış cidarında binada kullanılan cam tipinin aynısı olan, soğutma yüklerini azaltmış, ısıtma yüklerini artırmıştır. Cam yüzeyindeki füme film kaplaması sebebiyle aydınlatma yüklerini de artırmıştır. Tek tabakalı düz cam kullanımı, 6/12/4 argon gazı dolgulu çift cam kullanımından neredeyse %1 daha tasarrufludur.
- ÇTC'nin dış cidarında 3/13 hava dolgulu üçlü camlı kullanılması, soğutma ve aydınlatma yüklerini artırmış, ısıtma yüklerini azaltmıştır. Tek tabakalı düz cam kullanımı %0,7 daha tasarrufludur.
- ÇTC'nin dış cidarının iç kısmında düşük yansıtıcılı latalı jaluzi ile iç gölgeleme kullanılması, soğutma ve aydınlatma yüklerini artırmıştır. İç gölgeleme elemanı kullanılmaması %1,27 daha tasarrufludur.
- ÇTC'nin dış cidarının dışına her katta 50cm'lik alüminyum yatay dış gölgeleme elemanı eklenmesi, soğutma yüklerini azaltırken ısıtma ve aydınlatma yüklerini

artırmıştır. 50 cm'lik yatay dış gölgeleme eklenen bu alternatif %0,1 daha tasarrufludur.

- Binada tüm yıl 7/24 boyunca, iç hava sıcaklığı 24°C'yi geçtiğinde, mahallerdeki havalandırma delikleri, kapılar ve pencereler vasıtasıyla doğal havalandırma yapılmaktadır. Bu doğal havalandırmanın kapatıldığı durumda, soğutma yükleri %9,4 artmaktadır. Isıtma yükleri ise çok az bir düşüş göstermektedir. Doğal havalandırma olan alternatif %2,84 daha tasarrufludur.
- ÇTC alternatifinde aydınlatma kontrolü kullanılması soğutma ve aydınlatma yüklerini azaltmış, ısıtma yüklerini artırmıştır. Sonuç olarak aydınlatma kontrolü olmadan ÇTC kullanılması sadece %3,32 tasarruf sağlamıştır.

Tablo 4.10 Değiştirilen değişkenlere göre kaynakların birim m<sup>2</sup>'ye düşen yıllık enerji tüketimi, binanın birim m<sup>2</sup>'ye düşen yıllık birincil enerjisi ve birincil enerjinin binanın mevcut durumuna göre tasarruf yüzdesi

		Soğutma (kWh/m <sup>2</sup> y )	Isıtma (kWh/m <sup>2</sup> y )	Oda elektriği (kWh/m <sup>2</sup> y)	Aydınlatma (kWh/m <sup>2</sup> y)	Sıcak su (kWh/m <sup>2</sup> y )	Birincil enerji (kWh/m <sup>2</sup> y)	%
ÇTC tipi	Kat yüksekliğinde ÇTC*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	Bina yüksekliğinde ÇTC	71,00	12,83	51,38	32,54	21,89	186,36	15,79
ÇTC konumu	Güney cephe*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	Güney+kuzey cephe	72,01	11,79	51,69	34,16	21,84	188,22	14,95
	Güney+doğu cephesi	70,40	12,47	51,36	32,82	21,83	185,61	16,13
	Güney+doğu+batı cephesi	70,77	12,41	51,34	32,82	21,81	185,88	16,01
Boşluk derinliği	90 cm*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	140 cm	70,09	12,81	51,38	33,14	21,89	186,08	15,92
ÇTC havalandırma	Yazın tüm gün havalandırma*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	Yazın gece havalandırması	70,92	12,80	51,38	32,87	21,89	186,58	15,69
PDO	100%*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	70%	69,80	12,92	51,38	33,61	21,89	186,32	15,81
	52%	69,50	12,98	51,38	34,29	21,89	186,76	15,61



Tablo 4.10 devamı

Cam tipi	6mm düz cam*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	6/12/4 argon çift cam	69,09	13,36	51,38	35,69	21,89	188,13	14,99
	3/13 üçlü cam	72,79	11,43	51,38	33,42	21,89	187,62	15,22
İç gölgeleme	Yok*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	Düşük yansıtıcı latalı jaluzi	71,27	12,81	51,38	34,83	21,89	188,89	14,65
Dış gölgeleme	Yok*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	50 cm yatay gölgeleme	69,59	13,01	51,38	33,26	21,89	185,85	16,02
Doğal havalandırma	Var*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	Yok	77,06	12,43	51,38	32,87	21,89	192,35	13,08
Aydınlatma kontrolü	Var*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	15,92
	Yok	82,16	10,67	51,38	51,14	21,89	213,96	3,32

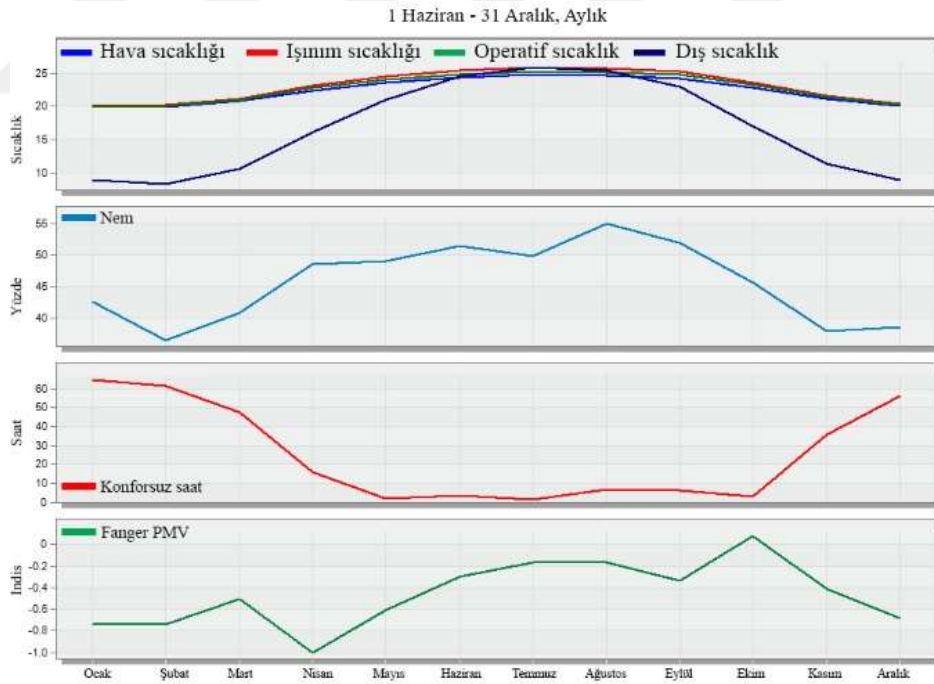
\*ÇTC-1'de kullanılan değişkenler

#### 4.4.1.2 Alternatif 1 Isıl Konfor Analizi

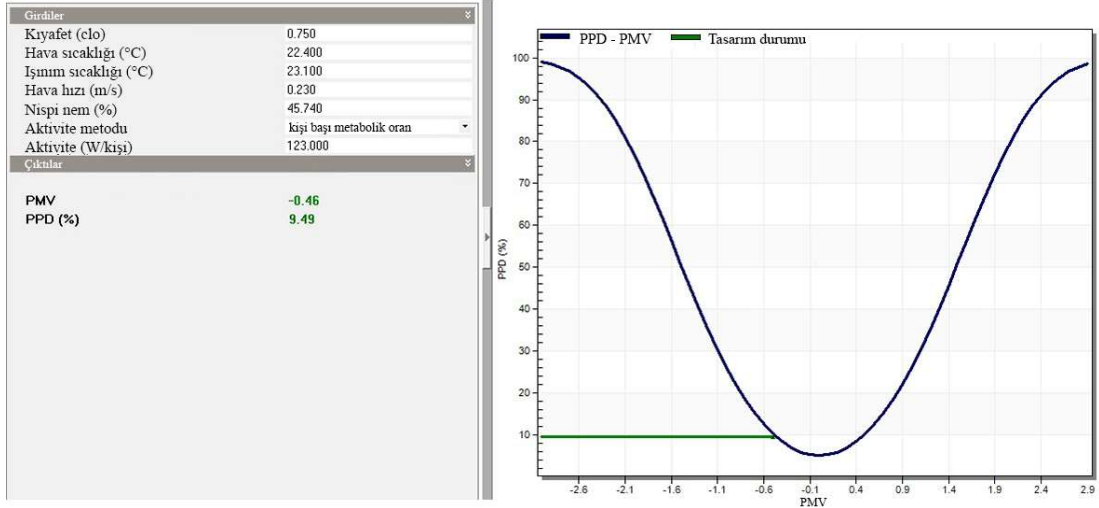
ÇTC-1 alternatifinin aylık ve yıllık konfor verileri Tablo 4.11'de özetlenmiştir. Nem oranı tüm aylarda ve yıllık ortalamada, konfor standartlarına uygun olarak %30-70 aralığındadır. Fanger PMV indisi, -0,46 ile yıllık ortalamada B grubu ısı konforu sağlamaktadır. Kış aylarında ve Nisan-Mayıs aylarında ise indis -0,5 ile -1 aralığındadır. Bu durum kullanıcıların bir kısmının bu aylarda ortamı soğuk hissettiklerini göstermektedir. Operatif sıcaklık değerlerinin ASHRAE Standard 55'a göre yazın 20-23°C aralığında, kışın ise 23-26°C aralığında olması gerekirken, ÇTC-1'de bu değerlerin dışına çıktığı görülmüştür. Kış aylarında geçirilen konforsuz zaman, yaz aylarına göre daha yüksektir ve binada yıl boyunca toplam 303,68 konforsuz saat yaşanmıştır (Şekil 4.20). ÇTC-1'in PMV değerinin yıllık ortalama PPD indisi 9,49'dur ve PPD<10 kriterini sağladığı için B grubu ısı konfor standartlarına uymaktadır. Şekil 4.21'de yıllık PMV-PPD ısı konfor grafiği gösterilmektedir.

Tablo 4.11 ÇTC-1 alternatifinin konfor değişkenlerine ait aylık ve yıllık veriler

	Nem	Fanger PMV	Hava Sıcaklığı	Işınım Sıcaklığı	Operatif Sıcaklık	Konforsuz zaman	Kuru termometre sıcaklığı
	%		°C	°C	°C	saat	°C
Ocak	42,57	-0,74	19,88	20,04	19,96	64,55	8,91
Şubat	36,54	-0,74	19,99	20,23	20,11	61,53	8,36
Mart	40,79	-0,50	20,78	21,16	20,97	47,35	10,65
Nisan	48,63	-1,00	22,42	23,12	22,77	16,03	16,14
Mayıs	49,03	-0,61	23,60	24,46	24,03	1,92	20,96
Haziran	51,56	-0,30	24,34	25,39	24,87	3,32	24,44
Temmuz	49,86	-0,17	24,73	25,83	25,28	1,23	25,82
Ağustos	55,00	-0,17	24,61	25,72	25,17	6,80	25,38
Eylül	51,93	-0,33	24,20	25,32	24,76	5,97	23,03
Ekim	45,71	0,08	22,79	23,62	23,21	2,79	16,95
Kasım	37,99	-0,42	21,15	21,65	21,40	35,87	11,45
Aralık	38,66	-0,69	20,11	20,43	20,27	56,31	8,87
Yıllık	45,74	-0,46	22,40	23,10	22,75	303,68	16,79



Şekil 4.20 ÇTC-1'e ait aylık sıcaklık, nispi nem, konforsuz saat ve Fanger PMV indisi



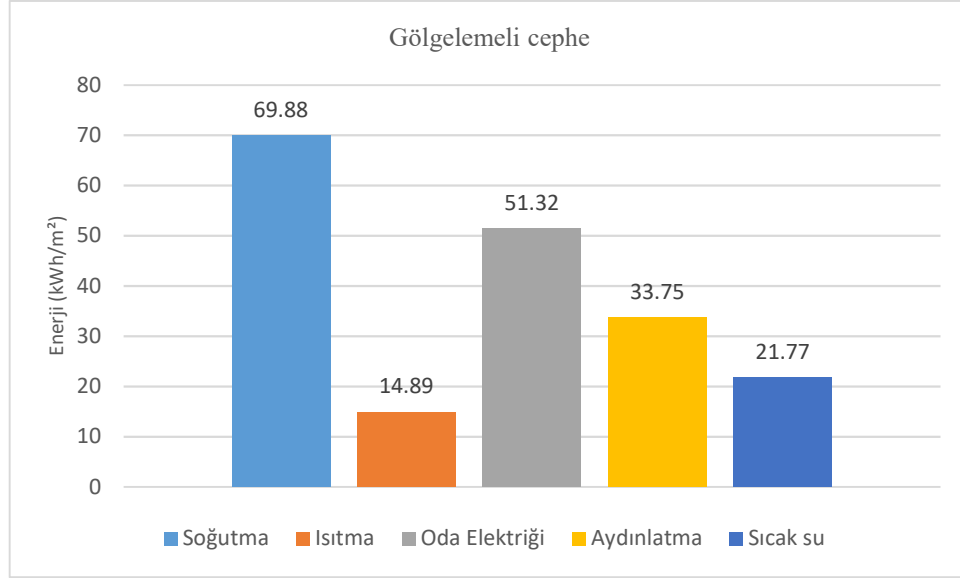
Şekil 4.21 ÇTC-1'e ait yıllık ortalama PMV-PPD indisi

#### 4.4.2 Alternatif 2: Mevcut Binaya Gölgeleme Elemanı Eklenmesi

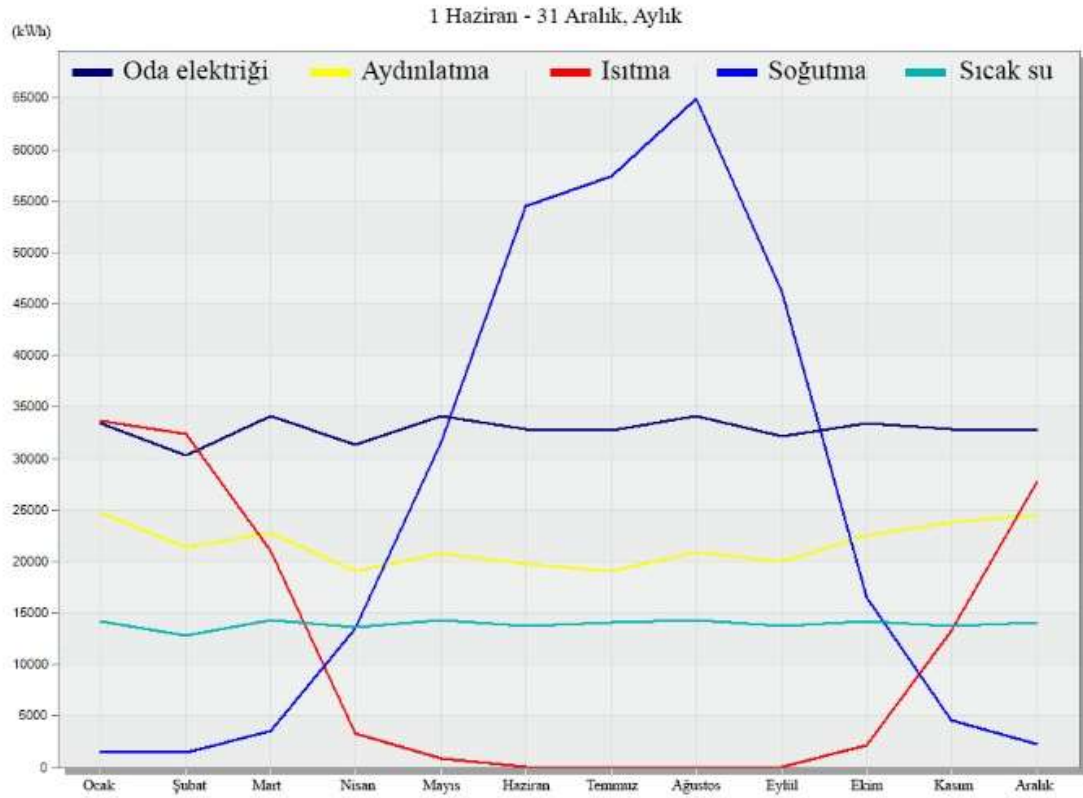
Mevcut binanın enerji yüklerinden soğutma ve aydınlatma yükleri en etkili olduğu için soğutma yüklerini düşüren önlemler tercih edilmiştir. Alternatif 2'de ÇTC ile sağlanan gölgeleme etkisinin, güney cepheye eklenen saçak elemanlarıyla elde edilmesi amaçlanmıştır. 90cm'lik alüminyum saçakların, mevcut durumun yapı kabuğu değiştirilmeden ekleneceği varsayılmıştır. Alternatif 1'de uygulanan binaya dair yardımcı değişkenler, Alternatif 2'de de kullanılmıştır. Bu bağlamda bina 7/24 doğal havalandırılmakta ve binada aydınlatma kontrolü bulunmaktadır.

##### 4.4.2.1 Alternatif 2 Enerji Performansı Analizi

Güney cepheye 90 cm'lik saçak eklenen Alternatif 2'nin yıllık birim m<sup>2</sup>'ye düşen birincil enerji tüketimi 188,3 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Gölgeleme tipi olarak 50cm derinliğinde yan kanat ve panjur kullanıldığında birincil enerji tüketimi 191,3 kWh/m<sup>2</sup> olmuştur. Saçak kullanımı birim m<sup>2</sup>'de %1,36 daha tasarruflu olduğu için tercih edilmiştir. Soğutma enerjisinin toplam enerji yüküne oranı %36,5, oda elektriğinin %26,7, aydınlatmanın %17,6, sıcak suyun %11,3 ve ısıtmanın %7,8'dir (Şekil 4.22). Enerji yüklerinin aylara göre dağılım grafiği Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.22 Gölgelemeli cepheye ait soğutma, ısıtma, oda elektriği, aydınlatma ve sıcak su enerji yükleri (kWh/m<sup>2</sup>)



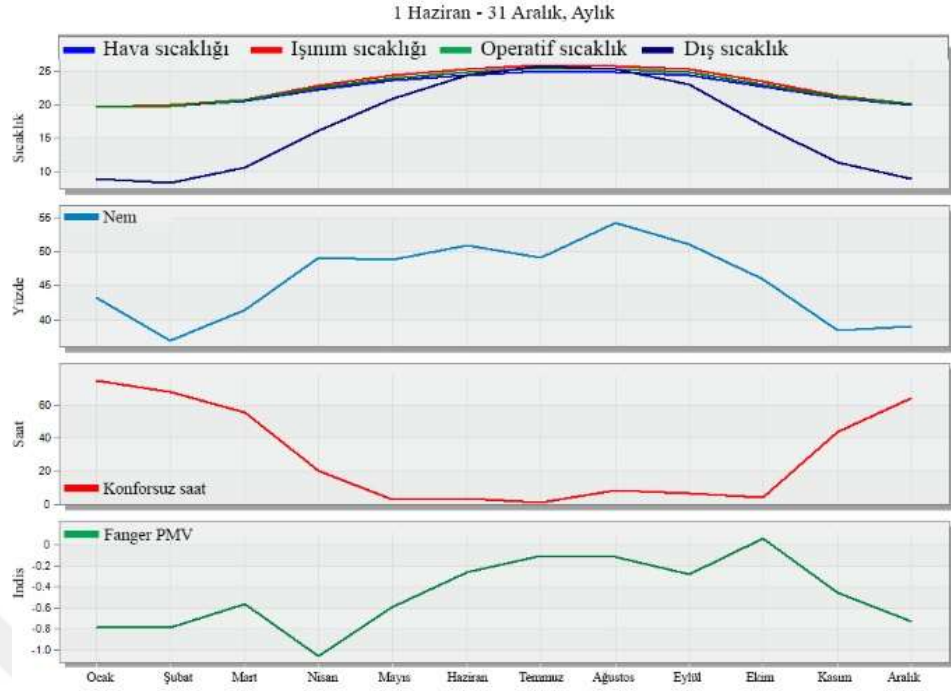
Şekil 4.23 Gölgelemeli cepheye ait toplam oda elektriği, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve sıcak su enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı (kWh)

#### 4.4.2.2 Alternatif 2 Isıl Konfor Analizi

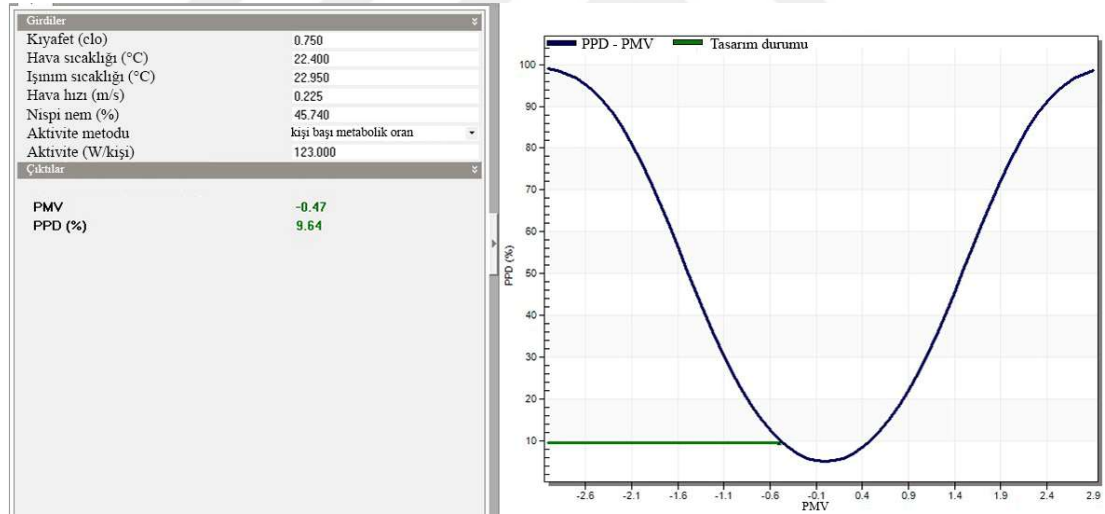
Gölgelemeli cephe alternatifinin aylık ve yıllık konfor verileri Tablo 4.12’de özetlenmiştir. Nem oranı tüm aylarda ve yıllık ortalama, konfor standartlarına uygun olarak %30-70 aralığındadır. Fanger PMV indisi, -0,47 ile yıllık ortalama B grubu ısı konforu sağlamaktadır. Yaz ve sonbahar aylarında, indis konfor standartları içinde iken kış ve ilkbahar aylarında indis -0,5 ile -1 aralığındadır. Buna göre kış ve ilkbahar mevsiminde kullanıcıların bir kısmı ortamı soğuk hissetmektedirler. Operatif sıcaklık değerlerinin ASHRAE Standard 55’a göre yazın 20-23°C aralığında, kışın ise 23-26°C aralığında olması gerekirken, sonuçların bu değerlerin dışında olduğu görülmüştür. Kış aylarında geçirilen konforsuz zaman, yaz aylarına göre daha yüksektir ve binada yıl boyunca toplam 352,36 konforsuz saat yaşanmıştır (Şekil 4.24). Alternatif 2’nin PMV değerinin yıllık ortalama PPD indisi 9,64’dür ve PPD<10 kriterini sağladığı için B grubu ısı konfor standartlarına uymaktadır. Şekil 4.25’de yıllık PMV-PPD ısı konforu gösterilmektedir.

Tablo 4.12 Gölgelemeli cephenin konfor değişkenlerine ait aylık ve yıllık veriler

	Nem	Fanger PMV	Hava Sıcaklığı	Işınım Sıcaklığı	Operatif Sıcaklık	Konforsuz zaman	Dış kuru termometre sıcaklığı
	%		°C	°C	°C	saat	°C
Ocak	43,16	-0,79	19,71	19,74	19,72	74,50	8,91
Şubat	36,97	-0,79	19,84	19,95	19,90	67,72	8,36
Mart	41,39	-0,56	20,60	20,81	20,71	55,80	10,65
Nisan	48,96	-1,06	22,31	22,85	22,58	20,21	16,14
Mayıs	48,75	-0,60	23,70	24,39	24,04	2,58	20,96
Haziran	50,84	-0,26	24,50	25,42	24,96	3,33	24,44
Temmuz	49,02	-0,10	24,98	25,93	25,46	1,16	25,82
Ağustos	54,08	-0,11	24,84	25,80	25,32	8,33	25,38
Eylül	50,99	-0,28	24,43	25,38	24,90	6,47	23,03
Ekim	45,88	0,06	22,77	23,44	23,11	4,04	16,95
Kasım	38,39	-0,45	21,03	21,39	21,21	43,92	11,45
Aralık	39,07	-0,73	19,98	20,18	20,08	64,29	8,87
Yıllık	45,68	-0,47	22,40	22,95	22,68	352,36	16,79



Şekil 4.24 Gölgelemeli cepheye ait aylık sıcaklık, nispi nem, konforsuz saat ve Fanger PMV indisi



Şekil 4.25 Gölgelemeli cepheye ait yıllık ortalama PMV-PPD indisi

#### 4.4.3 Mevcut Bina ile Alternatif 1 ve 2'nin Enerji ve Isıl Konfor Performansının Karşılaştırılması

Mevcut durumun birim m<sup>2</sup>'ye düşen toplam yıllık birincil enerjisi 221,30 kWh/m<sup>2</sup> iken ÇTC-1'in 186,06 kWh/m<sup>2</sup> ve gölgelemeli cephenin 188,3 kWh/m<sup>2</sup>'dir. ÇTC-1 ile

toplam birincil enerjide %15,92, gölgelemeli cephe ile %14,91'lik bir tasarruf sağlandığı görülmektedir (Tablo 4.13).

Tablo 4.13 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifinin yıllık birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m<sup>2</sup>)

	Soğutma	Isıtma	Oda elektriği	Aydınlatma	Sıcak su	Toplam birincil enerji	(%)
Mevcut durum	88,78	11,72	51,32	50,98	21,77	221,30	100
Alternatif-1*	70,39	12,81	51,38	32,87	21,89	186,06	84,08
Alternatif-2	69,88	14,89	51,32	33,75	21,77	188,3	85,09

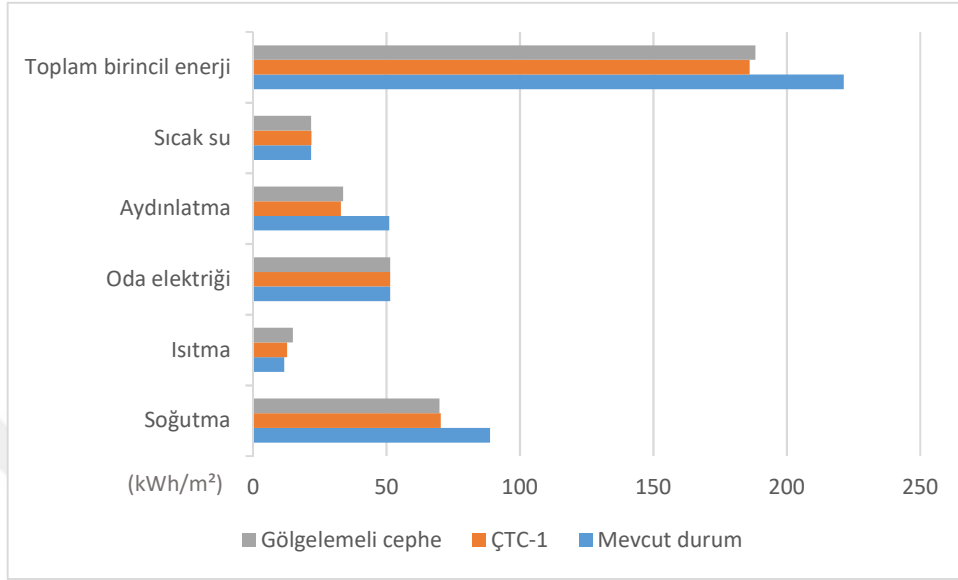
\* ÇTC-1'de bina alanı 148m<sup>2</sup> daha fazla alındığından toplam kullanıcı sayısı da orantılı olarak fazla hesaplanmakta.

Tasarrufu sağlayan iki ana unsur soğutma ve aydınlatma enerjisidir. Oda elektriği ve sıcak su kullanımı kullanıcı davranışına ve yoğunluğuna bağlı olduğu için dikkate alınmamıştır. ÇTC-1'de soğutma enerjisi %20,7, gölgelemeli cephede %21,2 azalmıştır. Aydınlatma enerjisi ise ÇTC-1'de %35,5, gölgelemeli cephede %33,7 azalmıştır.

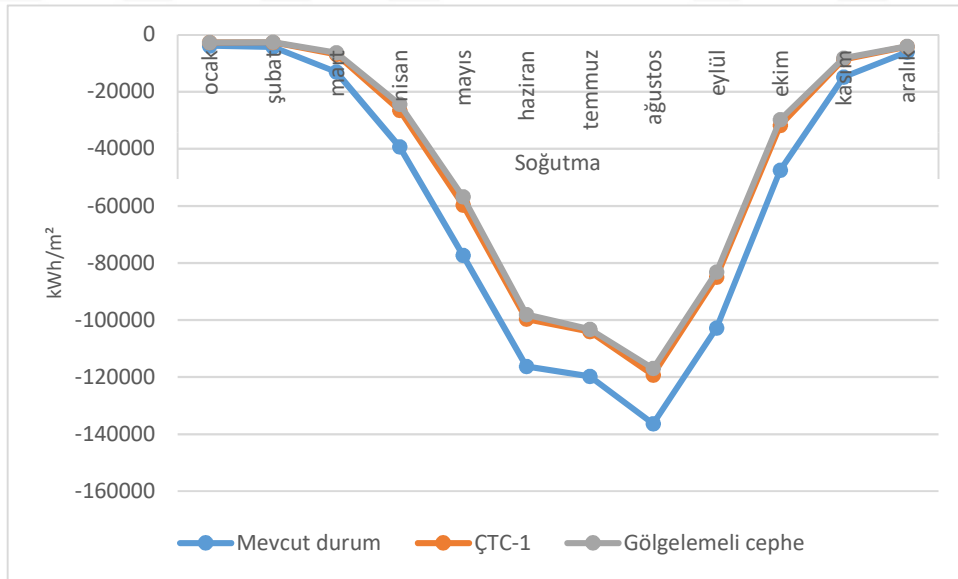
Isıtma yükünün alternatif cephe önerilerinde arttığı görülmektedir. Fakat ısıtma enerjisinin mevcut durumda toplam enerji içerisindeki yüzdesi %5,2 olduğu için enerji tasarrufunu fazla etkilememiştir. ÇTC önerisinde gölgeleme etkisi yüzünden pencerelerden direk ısı kazancı azalırken, kış aylarında ÇTC içerisindeki boşlukta toplanan sıcak hava ile ısınma sağlanmasına rağmen ısıtma yükü yine de artmıştır. Bu durum, güney cephede pencereden direk ısı kazancı sağlamanın daha etkili olacağını göstermiştir. Gölgelemeli cephe önerisinde gölgeleme elemanı olarak saçak kullanmanın, kış aylarında düşük açıyla gelen güneş ısısından faydalanmayı sağlayacağı düşünülmüştür. Fakat ısıtma yükü bu öneride de artmıştır. Şekil 4.26'da mevcut durum ve alternatif önerilerin yıllık birincil enerji tüketimleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Şekil 4.27, 4.28 ve 4.29'da mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifinin aylık soğutma, aydınlatma ve ısıtma tüketimleri görülmektedir. Toplam enerji yükünde en yüksek paya sahip olan soğutma yükünün üç durumda da benzer bir eğri çizdiğini, fakat öneri cephelerde pik noktasının daha düşük bir seviyede kaldığı

görülmektedir. Yaz aylarında etkili olan soğutma yükleri Ağustos ayında zirve yapmaktadır. Her üç durumda da kış aylarında bir miktar soğutma enerjisi kullanılmaktadır.



Şekil 4.26 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait yıllık enerji yüklerinin karşılaştırılması (kWh/m<sup>2</sup>)

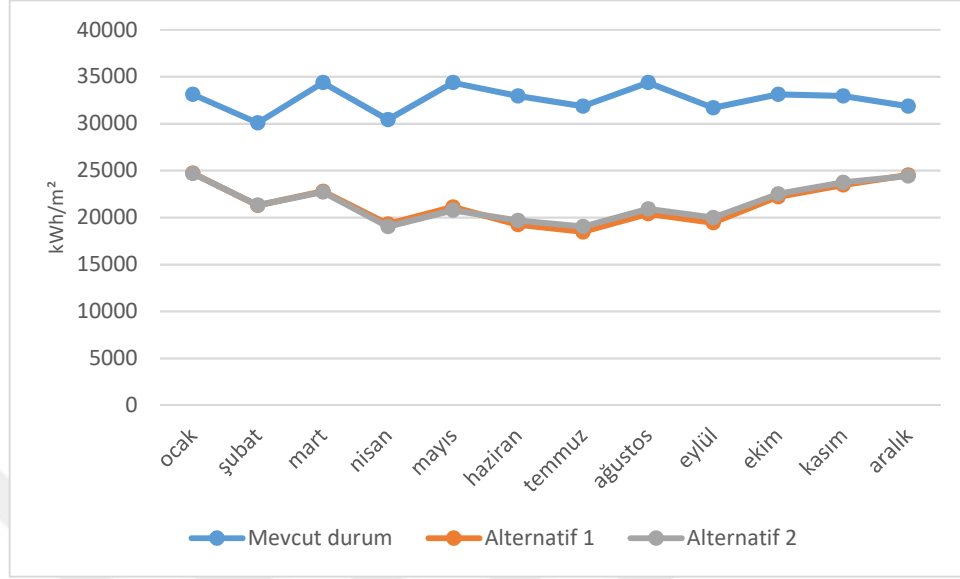


Şekil 4.27 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait aylık soğutma yükleri (kWh/m<sup>2</sup>)

Aydınlatma yükleri mevcut durumda dalgalı bir grafik vermesine rağmen, rakamsal olarak aylar arasında çok fazla fark bulunmamaktadır. Öneri cephelerde tüm aylarda

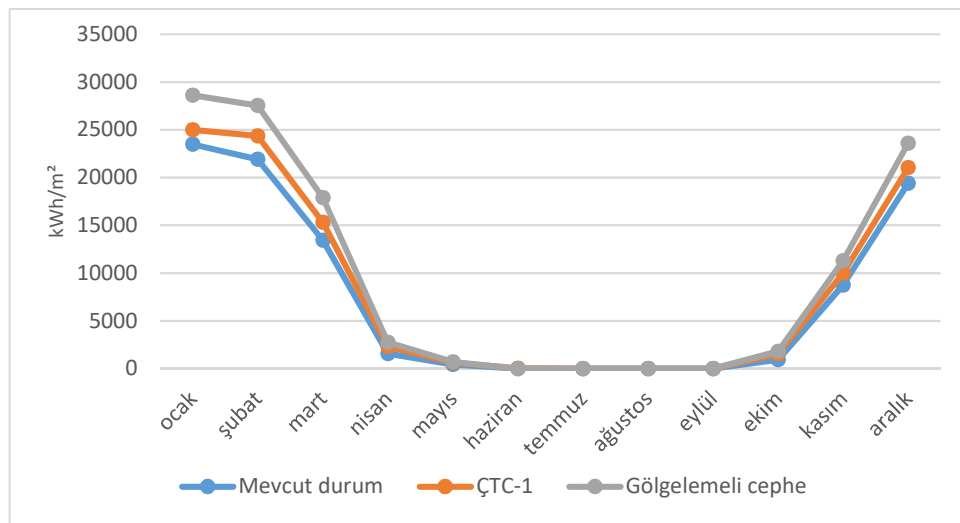


aydınlatma yükleri azalmış, hatta gölgeleme etkisi sayesinde yaz aylarında kış aylarına göre daha fazla azalmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait aylık aydınlatma yükleri (kWh/m²)

Isıtma enerjisi Ekimden Nisana kadar aktif olup en fazla olduğu ay Ocaktır. Yıllık ısıtma enerjisi karşılaştırmalarında da görüldüğü gibi, ısıtma enerjisi mevcut durumda en düşük, gölgelemeli cephede en yüksektir. Bu durum tüm aylarda gözlemlenmektedir (Şekil 4.29).

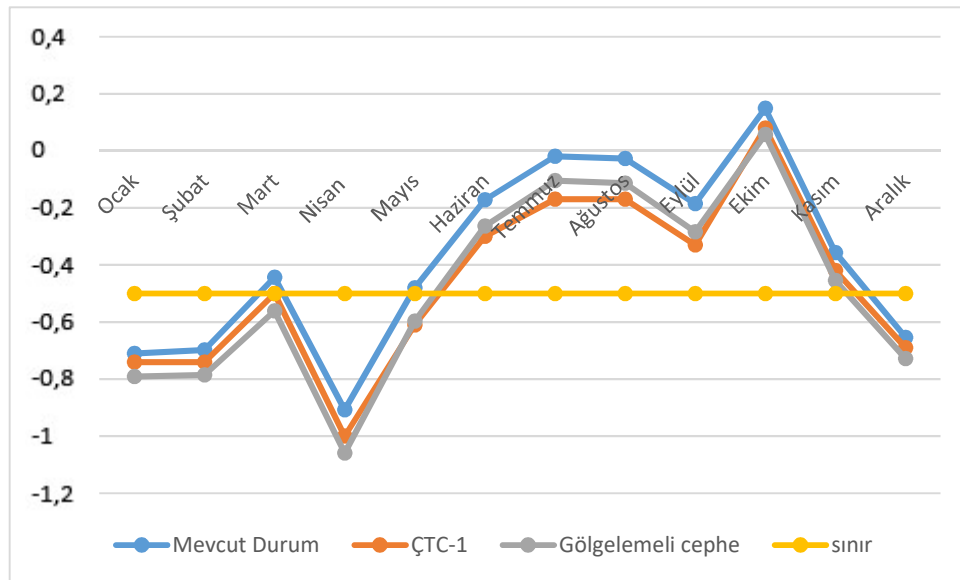


Şekil 4.29 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait ısıtma yüklerinin aylık birincil enerji tüketimleri (kWh/m²)

Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephenin konfor değerleri Tablo 4.14’de karşılaştırılmıştır. Buna göre her üç durumda ortalama Fanger PMV değeri -0,5 ile +0,5 arasında kalarak B grubu ısı konfor değerini sağlamıştır. Bununla beraber, mevcut durum sınır değerlerine en uzak değeri vererek önerilerden daha konforlu ortam sunmaktadır. Tabloda gösterilen konforsuz zaman, “nem oranı ve operatif sıcaklık kombinasyonunun ASHRAE 55-2004 yaz veya kış kıyafetleri aralığında olmadığı süre”yi vermektedir. Buna göre ÇTC-1 alternatifi yılda 303 saat ile en az konforsuz zaman geçirilen alternatiftir ve bu mevcut durumdan 5 saat daha düşüktür. Gölgelemeli cephe alternatifi ise 352 saat ile mevcut durumdan yılda 44 saat daha fazla konforsuz zaman sağlamaktadır.

Tablo 4.14 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifinin yıllık ortalama konfor değerleri

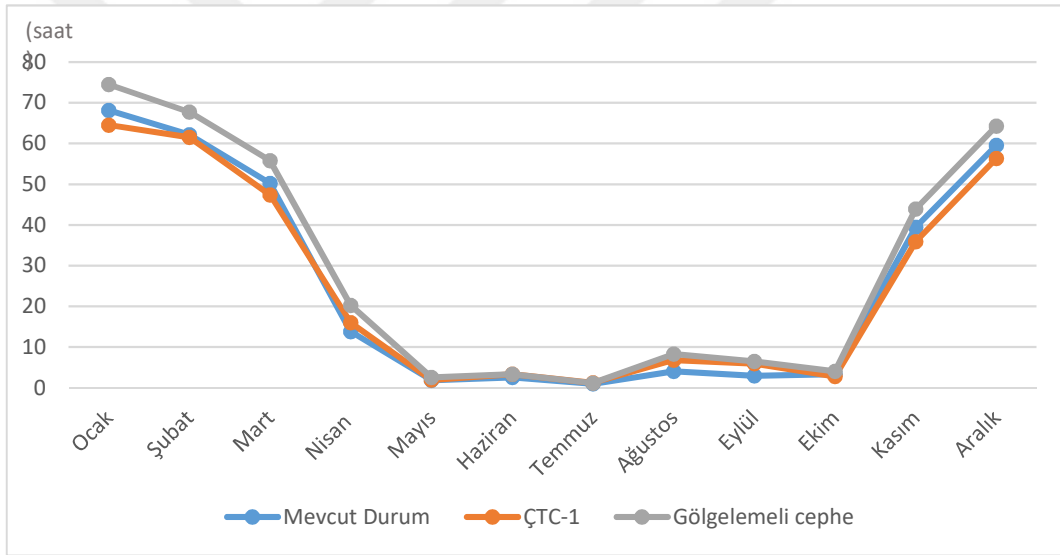
	Nem	Fanger PMV	Hava Sıcaklığı	Işınım Sıcaklığı	Operatif Sıcaklık	Konforsuz zaman	Dış kuru termometre sıcaklığı
	%		°C	°C	°C	saat	°C
Mevcut durum	44,92	-0,37	22,66	23,40	23,03	308	16,79
ÇTC-1	45,74	-0,46	22,40	23,10	22,75	303	16,79
Gölgelemeli cephe	45,68	-0,47	22,40	22,95	22,68	352	16,79



Şekil 4.30 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait aylık Fanger PMV değerleri

Fanger PMV değerlerinin aylık olarak karşılaştırılması sonucunda, Ekim ayı hariç tüm aylarda 0 değerinin altında olduğu görülmüştür. Tüm durumlarda kış aylarının ve Nisan ayında sınırın dışında kaldığı görülmüştür. Bunların dışında ÇTC-1 ve gölgelemeli cephede Mayıs ayında, gölgelemeli cephede Mart ayında sınırın negatif tarafında kalınmıştır. Bu durum, her üç durumda da kış aylarında mekanın olması gerekenden daha serin algılandığını göstermektedir (Şekil 4.30).

Konforsuz zaman değerlerinin aylık karşılaştırılması durumunda, Mayıs-Ekim ayları arasında 0 ile 10 saat arasında olduğu görülmüştür. Isıtma enerji ihtiyacının zirve yaptığı Ocak ayında konforsuz zaman da en yüksek değerine ulaşır. Fanger PMV değerinin en fazla olduğu Nisan ayında ise 10 ile 20 saat arasında bir değere sahiptir (Şekil 4.31).



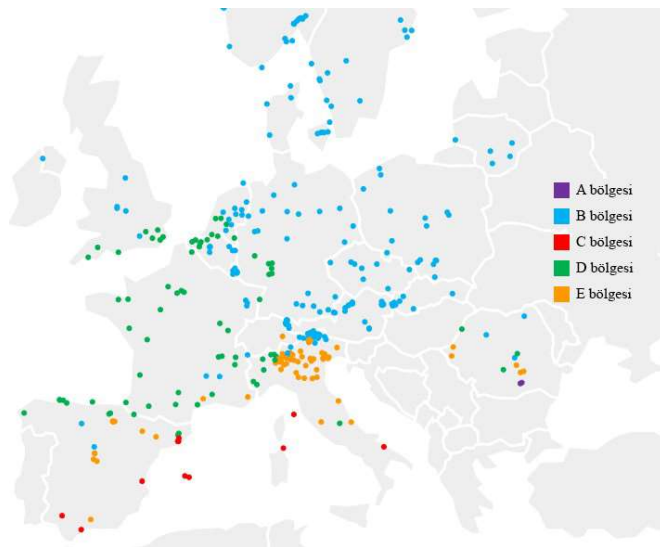
Şekil 4.31 Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephe alternatifine ait aylık konforsuz zaman değerleri

#### 4.5 Binayı Yeni Cephe Tasarımı ile nSEB Haline Getirme Önerisi

Bu kısımda mevcut binanın, literatürde nSEB'ler için önerilen tasarım yönergeleri takip edilerek, yeni cephe önerisi geliştirilmesi ve binaya enerji üretimi eklenmesiyle, binanın nSEB haline getirilmesi amaçlanmıştır. Bölüm 2.2'de de belirtildiği gibi, ülkemizde ofis yapılarının nSEB standartlarına ulaşmasını sağlayacak herhangi bir mevzuat halihazırda bulunmamaktadır. Bu sebeple AB ülkeleri arasında İzmir

iklimine en benzer iklime sahip olan ve nSEB tanımını yayınlamış olan ülke olarak Fransa seçilmiştir.

ZEBRA 2020 projesi, AB ülkelerinde inşa edilmiş olan nSEB projelerinin değerlendirildiği bir veri tabanı sunmaktadır. Projeler ülkelere ve 5 farklı iklim bölgesine göre, konut ve konut dışı yapılar olarak gruplandırılmıştır. Farklı iklim bölgelerini oluşturmak için 3 Avrupa referans kent (Brüksel, Roma ve Lizbon) seçilmiştir (Tsikaloudaki ve diğer, 2011). Referans kentler, ısıtma derece gün ve soğutma derece gün sınırının altında ve üstünde olma durumuna göre 5 farklı iklim bölgesi belirlemiştir. İklim bölgeleri nSEB'lerin karşılaştırılabilir olması için, son 36 ayın her günü <http://www.degreedays.net>'deki çevrimiçi araçla ve aynı temel sıcaklıkla (HDD için 15°C ve CDD için 18,5°C) hesaplanmıştır. Buna göre güney Avrupa'da hakim olan iki bölge;  $886 < HDD < 1962$  ve  $CDD < 525$  olan bölgeler "D bölgesi" ve  $886 < HDD < 1962$  ve  $CDD \geq 525$  olan bölgeler "E bölgesi"dir. İzmir'in iklim bölgesini bulmak için aynı kaynak kullanılmış ve LTBJ kodlu Adnan Menderes iklim istasyonu'nun son 36 aylık HDD değeri=1040 gün, CDD değeri=1208,3 gün olarak elde edilmiştir. Buna göre İzmir ili, E bölgesine dahildir. E bölgesi iklim tipine uygun yapıların İtalya'da yoğunlaştığı, İspanya, Fransa ve Romanya'da da bulunduğu Şekil 4.32'deki haritada görülmektedir. Fransa dışındaki ülkelerin resmi nSEB tanımı hazırlık aşamasında olduğu için, nSEB önerisinde Fransa'nın standartlarına uyulmuştur.



Şekil 4.32 ZEBRA 2020 projesinde elde edilen iklim bölgeleri (Zebra 2020, 2014)

Fransız hükümetinin resmi nSEB tanımı, mevcut RT2012 yönetmeliğine uygundur. Bu nedenle, Fransa'da 1 Ocak 2013'ten bu yana tüm yeni yapılar nSEB'dir. Yeni yapılan konut olmayan binalar için birincil enerji tüketimi, klimasız binalar için 70 kWh/m<sup>2</sup>y ve klimalı binalar için 110 kWh/m<sup>2</sup>y'den düşük olmalıdır. Tüketim seviyeleri, coğrafi duruma ve rakıma bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Hesaplamaya dahil edilmesi gereken sistemler ısıtma, soğutma, aydınlatma, sıcak su ve yardımcı sistemlerdir (Zebra2020, 2014). Cephe tasarımı ile nSEB haline getirilen binanın aynı zamanda ısı konfor standartlarına da uyması istenmektedir.

CO<sub>2</sub> salımının azaltımı, nSEB kriterleri arasında şimdilik bulunmamakla birlikte AB ülkelerinin 2050 hedefleri arasındadır. Buna göre yeni binalar için nSEB gereklilikleri yaklaşık sıfır karbon salımını da içermelidir: yaklaşık olarak 3 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>yıl (Boermans ve diğer., 2011). Bu nedenle, binanın enerji performansı için asgari gereksinimler, binanın hem enerjisini hem de CO<sub>2</sub> salımlarını uygun şekilde yansıtabilecek bir enerji göstergesi kullanmalıdır çünkü düşük enerji tüketimi, CO<sub>2</sub> salımlarının orantılı bir şekilde azalmasına yol açmalıdır. Genel olarak, bir binanın birincil enerji kullanımı, fosil yakıt tüketimini yansıttığı için CO<sub>2</sub> salımı ile orantılıdır. Oranlar sadece nükleer elektrik söz konusu olduğunda bozulmaktadır.

Yeni tasarlanan nSEB cephenin değişkenlerinin belirlenmesinde, yukarıdaki sebeplerden dolayı düşük CO<sub>2</sub> salımı ve en az konforsuz saat sayısı amaçlanmıştır. Değişkenler ve değerleri belirlendikten sonra optimum cephe tasarımının karar sürecinde DesignBuilder optimizasyon aracı kullanılmıştır. Bölüm 4.5.3'de elde edilen verilere dayanarak, aynı anda hem daha düşük konforsuz saat hem daha fazla enerji tasarrufu sağlayan ÇTC, yapının güney cephesinde kurgulanmıştır.

#### **4.5.1 CO<sub>2</sub> Salımı – Konforsuz Saat Sayısı Optimizasyonu**

Tasarım sürecinde genelde birçok ve birbiriyle çelişebilen hedeflerin aynı anda optimize edilmesi gerekir. Bu sebeple, birden fazla hedefin olduğu durumlarda her bir hedefe en çok uyan tek bir çözüm mevcut olmayabilir. Bu durumda, tüm amaçlar için iyi düzeyde performans sağlayan en uygun çözümün, üzerinde uzlaşmış bir veri kümesinden seçilmesi gerekir (Sağ, 2008). Bu amacı yerine getirmek için

DesignBuilder’da iki araç bulunmaktadır: parametrik analiz ve genetik algoritma kullanan çok amaçlı optimizasyon.

Parametrik analiz, genellikle eğilimleri göstermek ve en uygun özelliklere sahip tasarımları bulmak için kullanılır ve sistematik bir şekilde ayarlanan en fazla üç tasarım değişkeninden oluşur. Sonuçlar bir dizi parametrik tasarım eğrisi olarak gösterilir. Sınırlı tasarım seçeneği arasındaki basit karşılaştırmaları görselleştirmek için kullanışlı bir yol iken, daha fazla değişkenin söz konusu olduğu geniş ölçekli çalışmalar için optimizasyon aracı daha kullanışlıdır (Designbuilder help, 2019).

Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir optimizasyon yöntemidir (Emel ve Taşkın, 2002). Genetik algoritmaların geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılığı, değişken kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanmalarıdır. Etkin arama yaparak çözüm uzayının tamamı yerine belirli bir kısmını taramaları sayesinde, daha kısa sürede çözüme ulaşmaktadırlar. Sadece yerel en iyi çözümlere takılmamaları, çözümlerden oluşan popülasyonu eş zamanlı incelemeleri sayesinde.

Genetik algoritmalarda bir çözüm uzayındaki her nokta, kromozom adı verilen ikili bit dizisi ile kodlanır. Her noktanın bir uygunluk değeri vardır. Tek bir nokta yerine, noktalar kümesini popülasyon olarak kullanan genetik algoritmalar, her kuşakta seçim, çaprazlama, mutasyon ve kabul genetik operatörlerini kullanarak yeni bir popülasyon oluşturur. Birkaç kuşak sonunda popülasyon, daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir.

DesignBuilder, NSGA-II yöntemine dayanan bir genetik algoritma kullanmaktadır. İşleyiş şu şekildedir (Obitko M., 1998):

1. **[Başlangıç]** n kromozom popülasyonu rastgele oluşturulur (problem için uygun çözümler).
2. **[Uygunluk]** popülasyondaki her  $x$  kromozomu için  $f(x)$  uygunluğu araştırılır.
3. **[Yeni popülasyon]** Yeni bir popülasyon oluşturana kadar aşağıdaki adımlar tekrar edilir.

- a. **[Seçim]** Uygunluğuna göre bir popülasyondan iki ebeveyn kromozom seçilir (daha iyi uygunluk, daha fazla seçilme şansı yaratır).
  - b. **[Çaprazlama]** Bir çaprazlama olasılığı ile yeni bir yavru (çocuklar) oluşturmak için ebeveynlerin üzerinden geçilir. Çaprazlama yapılmazsa, yavru ebeveynlerin kopyası olur.
  - c. **[Mutasyon]** Mutasyon olasılığı ile her lokusta (kromozomdaki pozisyon) yeni yavrular mutasyona uğrar.
  - d. **[Kabul]** Yeni yavru yeni bir popülasyona yerleştirilir.
4. **[Tekrar]** Sonraki algoritma çalışması için yeni oluşturulan popülasyon kullanılır.
  5. **[Test]** Son durum durdurma kriterini sağlamışsa durulur ve mevcut popülasyondaki en iyi sonuca dönülür.
  6. **[Döngü]** 2.adıma dönülür.

Amaç değerlerine bağlı olarak popülasyondaki bir çözüm, en iyi, en kötü veya diğer çözümlerden farksız olabilir. Amaçların herhangi biri içinde en kötü olmayan ve en azından bir amaç içinde diğerler çözümlerden daha iyi olan çözüm en iyi çözümdür. Yani optimal çözüm, arama uzayındaki herhangi bir diğer çözüm tarafından bastırılmayan çözümdür. Bu optimal çözüm Pareto-Optimal Çözüm olarak adlandırılır ve bu şekildeki bütün optimal çözümlerin kümesine de Pareto-Optimal Küme adı verilir (Sağ, 2008).

Çok amaçlı genetik algoritmaların amacı genellikle, bastırılmamış çözüm noktaları kümesini tespit etmektir. Bu küme, Pareto-Optimal yada diğer ifadeleriyle bastırılmamış yada inferior olmayan çözümler kümesi olarak adlandırılır. Geriye kalan çözümler ise bastırılmış çözümlerdir. Çözüm, bastırılmamış çözümlerden herhangi biri olarak kabul edilebilir. Bu nedenle problem hakkında bilgi sahibi olmak, bir çözümün tercih edilmesi açısından önemlidir (Sağ, 2008). DesignBuilder optimizasyon aracı kullanılırken, üç ana verinin girilmesi gerekir:

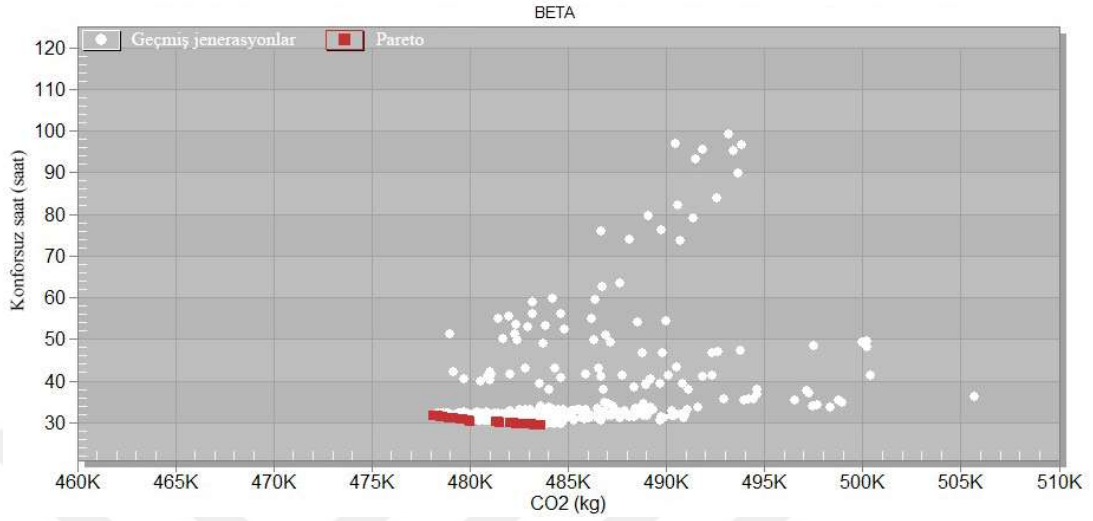
- Amaçlar: Geliştirilmesi amaçlanan amaçların girildiği kısımdır. İnşaat maliyetini düşürmek, soğutma yüklerini düşürmek veya CO<sub>2</sub> salımını düşürmek gibi amaçlardan iki tanesi seçilebilir.
- Kısıtlamalar: Binanın performansı ile ilgili sınırların tanımlamandığı kısımdır. Bir optimizasyon analizine uygulanabilecek kısıtlamalara örnekler "konforsuz saat sayısının 200'den az olması gerekli" veya "gün ışığının kullanılabilirliği %50'den büyük olmalı" şeklindedir.
- Değişkenler: Optimizasyon sırasında değişmesine izin verilen unsurlar ve bu unsurların alabileceği yeni değerlerdir. Değişkenler sekmesinde, değişkenin analiz sırasında alabileceği değerlerin yanı sıra, değişecek olan "hedef" yapı elemanları da tanımlanır. PDO, ısıtma ayar noktası sıcaklığı, kullanıcı yoğunluğu gibi çeşitli değişkenler arasından 10 taneye kadar seçim yapılabilir.

Bu çalışmada amaç olarak CO<sub>2</sub> salımının ve konforsuz saat sayısının minimize edilmesi belirlenmiştir. Bina'nın cephesi ile ilgili sekiz değişken, optimizasyon aracına girilmiştir: Güney cephedeki ÇTC iç cidarının PDO değeri, güney cephedeki ÇTC dış cidarının PDO değeri, kuzey cephenin PDO değeri, doğu cephesinin PDO değeri, batı cephesinin PDO değeri, güney cephedeki ÇTC iç cidarının cam tipi, güney cephedeki ÇTC dış cidarının cam tipi, kuzey, doğu ve batı cephelerinin cam tipi. Buna göre, cephelerin PDO değerleri, %20 ile %100 arasında her adımda %5 değişen değerleri olabilir. Cephelerin cam tipleri üç farklı cam tipinden biri seçilebilir: 6mm düz cam, 6/12/4 argon dolgulu çift cam, 3/13 argon dolgulu low-e üçlü cam. Şekil 4.33'de Optimizasyon analiz sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. Kırmızı noktalar diğer sonuçlar tarafından bastırılmayan Pareto-optimal çözümleri göstermektedir.

Optimizasyon boyunca 638 tekrar, 19 jenerasyon elde edilmiştir. Pareto çözümler Tablo 4.15'de verilmiştir. Çözümler içinden seçim yapılırken düşük CO<sub>2</sub> salımı, dolayısıyla enerji verimliliği, konforsuz saate göre öncelenmiştir. Seçilen çözümün değişkenleri şu şekildedir: Güney cephedeki ÇTC iç cidarının ve doğu cephesinin PDO değeri %30, güney cephedeki ÇTC dış cidarının, batı ve kuzey cephesinin PDO değeri %40, güney cephedeki ÇTC iç cidarının ve kuzey-doğu-batı cephelerinin cam tipi üçlü



3/13mm Argon dolgulu low-e cam, güney cephedeki ÇTC dış cidarının cam tipi 6mm düz cam.



Şekil 4.33 Optimizasyon analiz sonuçları - CO<sub>2</sub> salımı ve konforsuz saat sayısının minimize edilmesi

Seçilen çözümün yıllık birim m<sup>2</sup>'ye düşen toplam birincil enerji tüketimi 125,81 kWh/m<sup>2</sup> iken, güney iç cephenin cam tipi 6mm düzcam ve güney dış cephenin cam tipi üçlü 3/13mm Argon dolgulu low-e cam olduğunda bu değer 126,67 kWh/m<sup>2</sup> olmaktadır. Bu yüzden tabloda değerleri verilen “tasarım” çözümü seçilmiştir.

Mevcut binanın doğu, batı ve kuzey cephelerinin PDO değeri olan %52, %52, %48, seçilen çözüme göre yeni binada şu şekilde değiştirilmiştir: %30, %40, %40. Tüm binada cephelerin PDO değeri, yaz aylarında camdan kazanılan ısının azaltılarak soğutma yüklerinin düşürülmesi için azaltılmıştır. Aynı zamanda aydınlatma yüklerinin artmaması için, PDO değerindeki bu küçülme belli bir oranda tutularak optimize edilmiştir. Güney cephedeki çift tabakanın dış cidarında, U-değeri 2,76 W/m<sup>2</sup>K olan yalıtımsız, 2 metal plaka arasında 10 cm hava boşluklu duvar kullanılmıştır (Tablo 4.16).

Tablo 4.15 Optimizasyon sonucunda elde edilen pareto-optimal çözümler

Tekrar	Jeneras- yon	Pareto	PDO- Güney iç cephe	PDO- Güney dış cephe	PDO- Kuzey	PDO- Doğu	PDO- Batı	Cam tipi- güney iç cephe	Cam tipi- güney dış cephe	Cam tipi- Kuzey, doğu, batı	CO <sub>2</sub> (kg)	Konforsuz saat (saat)
60	3	Pareto	20	70	65	30	50	6mm düzcam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	479951,84	30,63
149	6	Pareto	55	95	55	100	30	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	482628,22	29,68
220	9	Pareto	55	70	65	20	25	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	479166,81	30,97
223	9	Pareto	50	75	55	55	25	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	480008,35	30,31
231	9	Pareto	20	70	55	30	30	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	478640,12	31,24
265	11	Pareto	20	70	55	20	20	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	478140,92	31,73
285	11	Pareto	55	95	55	95	45	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	483110,47	29,55
296	12	Pareto	20	90	55	95	45	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	482228,29	29,83
299	12	Pareto	70	70	55	100	30	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	479502,78	30,74
329	13	Pareto	20	70	55	30	35	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	478907,47	31,12
370	14	Pareto	20	90	55	30	45	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	481475,35	30,12
396	15	Pareto	65	95	55	100	50	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	483367,57	29,35
399	15	Pareto	20	90	55	25	45	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	481348,54	30,19
431	15	Pareto	20	70	55	20	25	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	478370,04	31,57
445	16	Pareto	20	90	55	85	45	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	482327,93	29,70
453	16	Pareto	55	95	55	25	30	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	481355,22	30,18
476	16	Pareto	55	95	55	100	50	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	483600,16	29,27
509	17	Pareto	25	70	55	20	30	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	478550,64	31,34
538	17	Pareto	55	90	55	25	45	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	481484,33	29,99
562	18	Pareto	55	95	55	20	40	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	482071,47	29,95
614	19	Pareto	55	70	55	20	45	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	479629,76	30,73
619	19	Pareto	25	95	55	85	50	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	Trp 3/13mm Arg low-e	483254,45	29,45
Tasarım			30	40	40	30	40	Trp 3/13mm Arg low-e	6mm düz cam	Trp 3/13mm Arg low-e	479456,03	32,53

Tablo 4.16 Mevcut durum ile nSEB tasarımının cephe özelliklerinin karşılaştırılması (nSEB tasarımının güney cephesinde birinci değer iç cepheyi, ikinci değer dış cepheyi vermektedir.)

	PDO		Cam tipi		Camın U-değeri (W/m <sup>2</sup> K)	
	Mevcut durum	nSEB tasarımı	Mevcut durum	nSEB tasarımı	Mevcut durum	nSEB tasarımı
Doğu, batı, kuzey	%52, %52, %48	%30, %40, %40	6/12/4 Argon çift cam	Trp 3/13 Argon low-e	2,38	0,78
Güney	%52	%30 + %40	6/12/4 Argon çift cam	Trp 3/13 Argon low-e + 6mm düzcam	2,38	0,78 + 5,78

ZEBRA2020 projesi kapsamında, 17 Avrupa Birliği üye devletindeki nSEB olarak inşa edilen konut ve konut dışı yapının enerji tüketimi değerlendirilmiştir. Yapı elemanlarının ortalama U-değerleri, ısıtma ihtiyacı ve birincil enerji ihtiyacı verileri elde edilmiştir. Fransa'nın Passivhausproje Enertech projesinden 17 konut ve 13 konut olmayan binanın değerlendirilmesi sonucunda yapı elemanlarının ortalama U-değerleri elde edilmiştir (Zebra 2020, 2014). nSEB tasarımının cephesinin yapı elemanlarında, Tablo 4.17'de verilen bu veriler baz alınmıştır. Bunun için mevcut durumdaki yapı elemanlarının kesitleri şu şekilde geliştirilmiştir:

- Dış duvar: 6 cm taş yünü yalıtım yerine, 20 cm cam yünü yalıtım kullanılmıştır. 20 cm'lik tuğla 25 cm'e çıkarılmıştır. Tuğla duvar ile yalıtım tabakası arasında 15 cm boşluk bırakılmıştır.
- Çatı: 5 cm taş yünü yalıtım yerine, 24 cm cam yünü yalıtım kullanılmıştır.
- Zemin: 12 cm cam yünü yalıtım eklenmiştir.
- Pencere: 6/12/4 argon dolgulu çift cam yerine 3/13 argon dolgulu low-e üçlü cam kullanılmıştır.

Tablo 4.17 Fransa'daki nSEB yapılarıdaki yapı elemanlarının ortalama U-değerleri ile nSEB tasarımı ve mevcut durumun karşılaştırılması

	Kaynak çalışma	U-duvar (W/m <sup>2</sup> K)	U-çatı (W/m <sup>2</sup> K)	U-zemin (W/m <sup>2</sup> K)	U-pencere (W/m <sup>2</sup> K)
Fransa- ortalama	Passivhausproje Enertech	0,14	0,09	0,13	1,16
nSEB tasarımı		0,14	0,09	0,13	0,78
Mevcut durum		0,45	0,23	0,25	2,38

Binanın cephesi dışında, binaya dair destek değişkenlerinin de geliştirilerek binanın nSEB standartlarına ulaşması hedeflenmiştir:

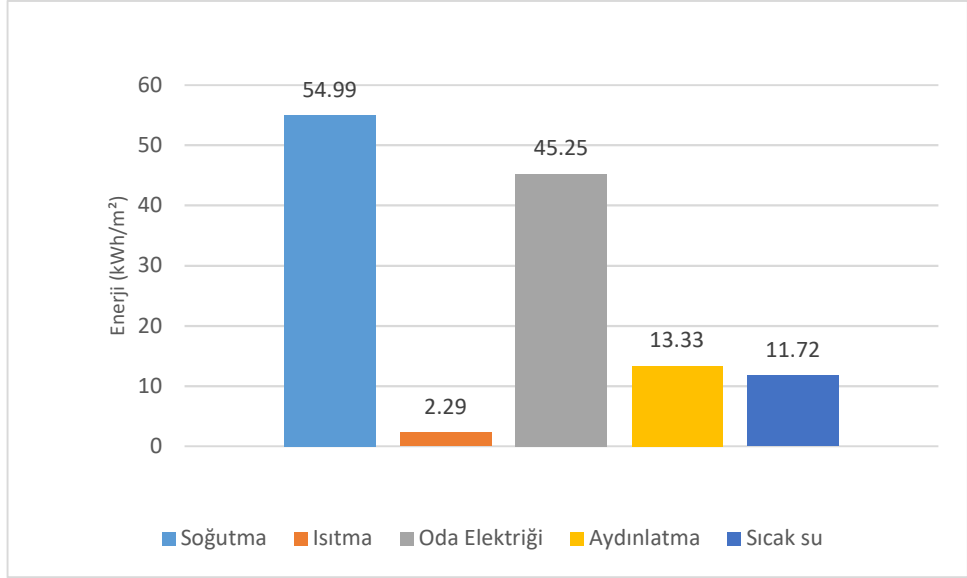
nSEB kriterleri, binanın  $\pm 50$  Pa basınç farkındaki hava değişimi testinde saatte  $m^2$  başına en çok 1 l/s hava değişim hızına karşılık gelen hava sızdırmazlık seviyesine sahip olması gerektiğini belirtmiştir (Boermans ve diğer., 2008). Binanın mevcut durumunda sızdırmazlık oranı  $m^2$  başına 11,3 l/s (6 ac/h) iken, nSEB tasarımında ısı köprüleri engellenerek binanın sızdırmazlığını  $m^2$ 'de 1 l/s değerine ulaşacağı düşünülmüştür.

Binanın mevcut durumunda asma tavana gömülü olan florasan aydınlatma elemanları, LED ile değiştirilmiştir ve doğrusal aydınlatma kontrolü tanımlanmıştır. Aydınlatma için gerekli olan elektrik, mekanda ısı kazancına sebep olur. EnergyPlus'ta bu ısı dört farklı fraksiyona bölünür. Bunlardan üçü, dönüş hava fraksiyonu, ışıyım fraksiyonu ve görünür fraksiyon, seçilen aydınlatma tipinde girdi olarak verilir. Taşınım fraksiyonu, sıcaklığın aydınlatmadan mekanın havasına iletilen fraksiyonu olarak tanımlanır ve diğer üç fraksiyona göre hesaplanır. Gömülü aydınlatmanın taşınım fraksiyonu 0,45 iken, hava kanallı gömülü aydınlatmanın 0,10'dur (Designbuilder help, 2019). nSEB önerisinde gömülü aydınlatma, hava kanallı gömülü aydınlatmaya dönüştürülmüştür.

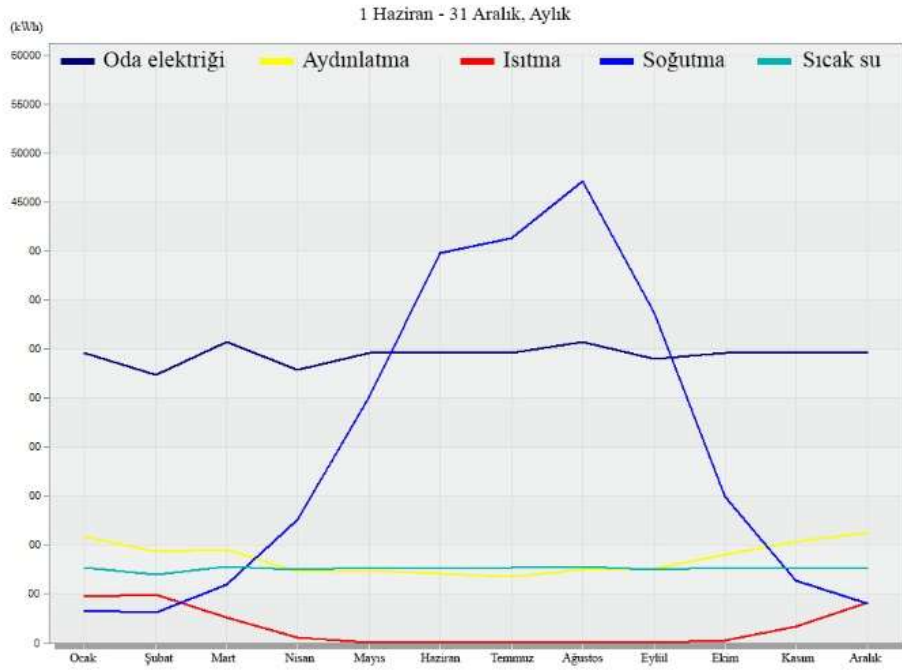
#### **4.5.2 Enerji Performansı Analizi**

nSEB tasarımının yıllık birim  $m^2$ 'ye düşen toplam birincil enerji tüketimi 125,81 kWh/ $m^2$ 'dir. Sıcak su ihtiyacının tamamını karşılamak için çatıda kullanılan 3,52  $m^2$  güneş kollektörü ile net birincil enerji 120,79 kWh/ $m^2$ 'ye düşmüştür. Enerji ihtiyacının bir kısmını sağlamak için yine çatıda kullanılan 48 adet 1,64  $m^2$ 'lik FV panel ile net birincil enerji 109,87 kWh/ $m^2$  olmuştur. Böylece Fransa'nın resmi nSEB tanımında konut olmayan yapılar için önerilen hedef sağlanmıştır.

Soğutma enerjisinin toplam enerji yüküne oranı %43, oda elektriğinin %35,4, aydınlatmanın %10,4, sıcak suyun %11,7 ve ısıtmanın %1,8'dir (Şekil 4.34). Enerji yüklerinin aylara göre dağılımı Şekil 4.35'de verilmiştir.



Şekil 4.34 nSEB tasarımının soğutma, ısıtma, oda elektriği, aydınlatma ve sıcak su enerji yükleri (kWh/m²)



Şekil 4.35 nSEB tasarımının toplam oda elektriği, aydınlatma, ısıtma, soğutma ve sıcak su enerji tüketimlerinin aylara göre dağılımı (kWh)

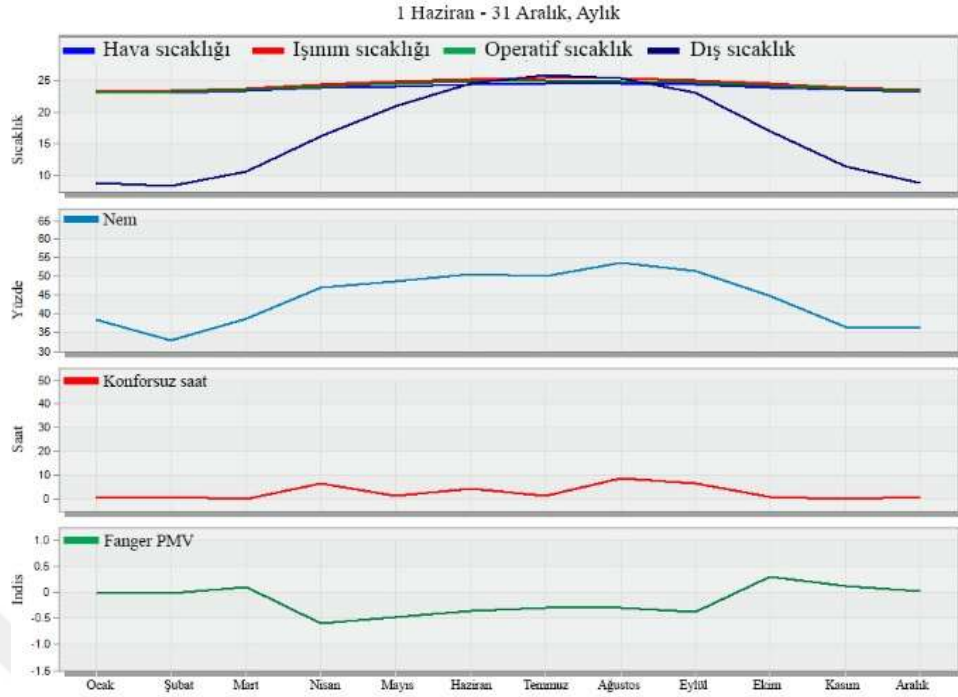
#### 4.5.3 Isıl Konfor Analizi

nSEB tasarımının konfor hesaplamaları mevcut durum ve alternatif 1-2 ile aynı şartlar için gerçekleştirilmiştir. Simülasyonun aylık ve yıllık konfor verileri Tablo

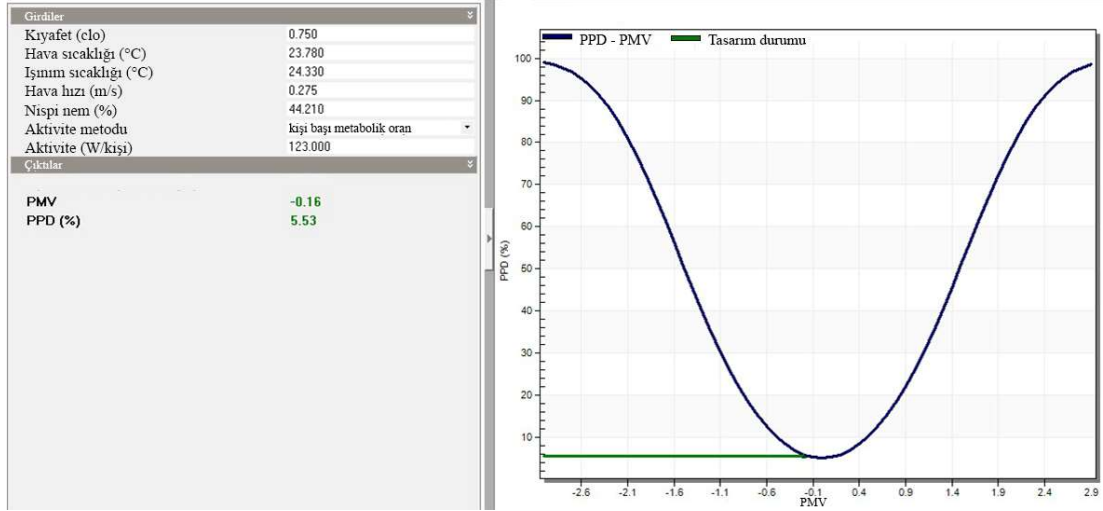
4.18’de özetlenmiştir. Nem oranı tüm aylarda ve yıllık ortalama, konfor standartlarına uygun olarak %30-70 aralığındadır. Fanger PMV indisi, -0,16 ile yıllık ortalama A grubu ısı konforu sağlamaktadır. Nisan ayı hariç tüm aylarda indis -0,5 ile +0,5 aralığındadır. Nisan ayında ise -0,6 ile sınır değerine yakındır. Operatif sıcaklık değerlerinin ASHRAE Standard 55’a göre yazın 20-23°C aralığında, kışın ise 23-26°C aralığında olması gerekmektedir. Kış ayları değerleri standartlara uygunken, yaz aylarında ortalama 24,85°C’lik operatif sıcaklık değeri, hava sıcaklığı-ışınım sıcaklığı ortalamasının düşürülmesi gerektiğini göstermektedir. En yüksek konforsuz zaman değeri 8,54 saat ile dış hava sıcaklığının en yüksek değerlere ulaştığı Ağustos ayında yaşanmıştır. Eylül, Nisan ve Haziran ayları bunu takip eder. Diğer aylarda konforsuz saat değeri dikkate alınmayacak kadar azdır. Binada yıl boyunca toplam 32,53 konforsuz saat yaşanmıştır (Şekil 4.36). nSEB tasarımının PMV değerinin yıllık ortalama PPD indisi 5,53’dür ve PPD<6 kriterini sağladığı için A grubu ısı konfor standartlarına uymaktadır. Şekil 4.37’de yıllık PMV-PPD ısı konfor grafiği gösterilmektedir.

Tablo 4.18 nSEB tasarımının konfor değişkenlerine ait aylık ve yıllık veriler

	Nem	Fanger PMV	Hava Sıcaklığı	İşınım Sıcaklığı	Operatif Sıcaklık	Konforsuz zaman	Dış kuru termometre sıcaklığı
	%		°C	°C	°C	saat	°C
Ocak	38,44	-0,01	22,95	23,19	23,07	0,36	8,91
Şubat	32,96	-0,03	23,01	23,31	23,16	0,86	8,36
Mart	38,63	0,10	23,34	23,73	23,53	0,24	10,65
Nisan	47,01	-0,60	23,77	24,31	24,04	6,63	16,14
Mayıs	48,78	-0,49	24,08	24,76	24,42	1,47	20,96
Haziran	50,77	-0,36	24,36	25,15	24,75	4,41	24,44
Temmuz	50,26	-0,29	24,54	25,35	24,95	1,35	25,82
Ağustos	53,74	-0,30	24,45	25,25	24,85	8,54	25,38
Eylül	51,49	-0,39	24,26	25,02	24,64	6,74	23,03
Ekim	44,79	0,30	23,86	24,45	24,15	0,84	16,95
Kasım	36,47	0,13	23,49	23,91	23,70	0,20	11,45
Aralık	36,34	0,03	23,15	23,45	23,30	0,88	8,87
Yıllık	44,21	-0,16	23,78	24,33	24,05	32,53	16,79



Şekil 4.36 nSEB tasarımına ait aylık sıcaklık, nispi nem, konforsuz saat ve Fanger PMV indisi



Şekil 4.37 nSEB tasarımına ait yıllık ortalama PMV-PPD indisi

#### 4.5.4 Mevcut Bina ile nSEB tasarımının Enerji ve Isıl Konfor Performansının Karşılaştırılması

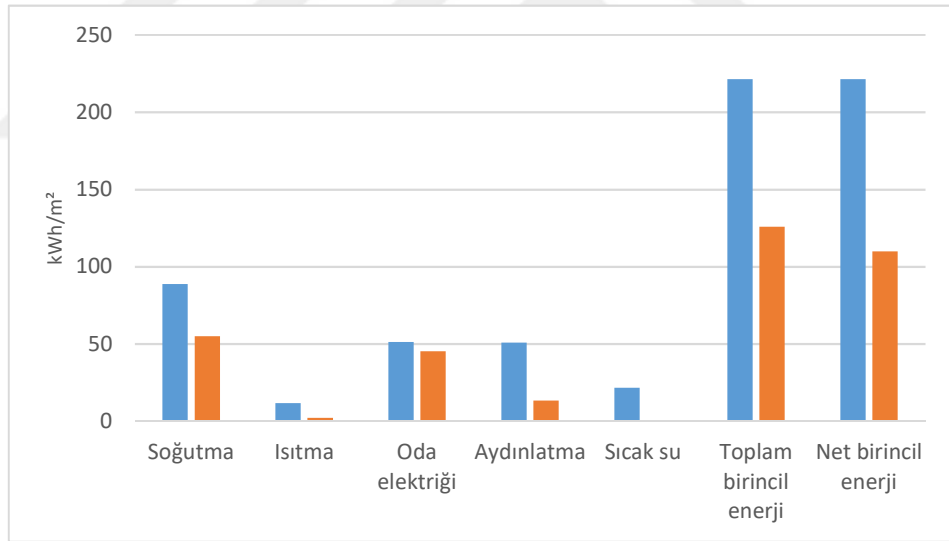
Mevcut durumun birim m<sup>2</sup>'ye düşen toplam yıllık birincil enerjisi 221,30 kWh/m<sup>2</sup> iken nSEB tasarımının 125,81 kWh/m<sup>2</sup> ve birim m<sup>2</sup>'ye düşen net yıllık birincil enerji

109,87 kWh/m<sup>2</sup>'dir. nSEB tasarımında toplam birincil enerjide %43,1, net birincil enerjide %50,3'lük bir tasarruf sağlandığı görülmektedir (Tablo 4.19).

Tablo 4.19 Mevcut durum ve nSEB tasarımının yıllık toplam ve net birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m<sup>2</sup>)

(kWh/m <sup>2</sup> )	Soğutma	Isıtma	Oda elektriği	Aydınlatma	Sıcak su	Toplam birincil enerji	Net birincil enerji
Mevcut durum	88,78	11,72	51,32	50,98	21,77	221,30	221,30
nSEB tasarımı	54,99	2,29	45,25	13,33	11,72	125,81	109,87

nSEB tasarımında soğutma enerjisi %38, aydınlatma enerjisi %73,8, ısıtma enerjisi %80,4, sıcak su enerjisi %46,1 azalmıştır. Sıcak su enerji ihtiyacının tamamı güneş kolektörlerinden sağlanarak, net birincil enerji ihtiyacının nSEB kriterlerine uygun olması sağlanmıştır. Şekil 4.38'de mevcut durum ve nSEB tasarımının yıllık toplam ve net birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırma grafiği sunulmuştur.

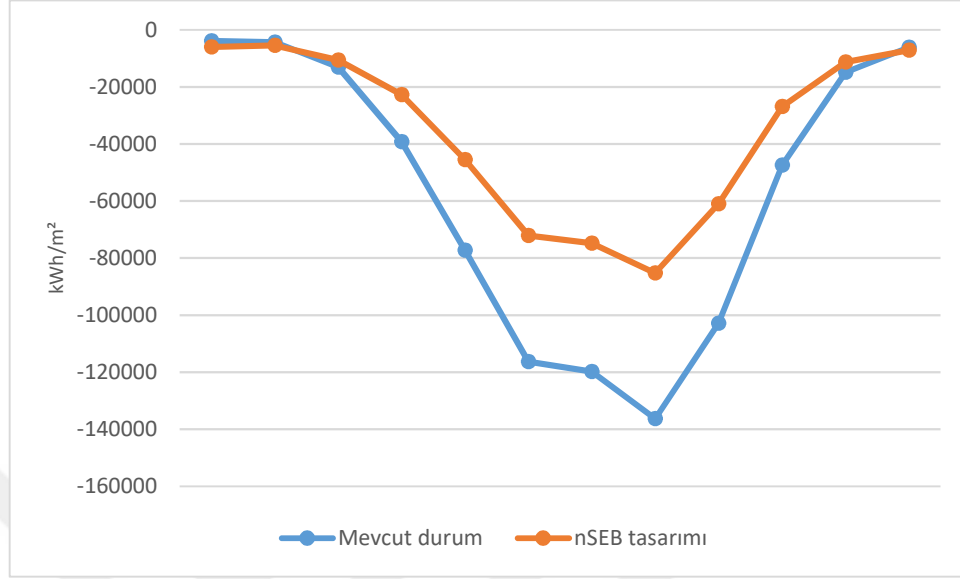


Şekil 4.38 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait enerji yüklerinin yıllık toplam ve net birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m<sup>2</sup>)

Şekil 4.39, 4.40 ve 4.41'de mevcut durum ve nSEB tasarımının aylık soğutma, aydınlatma ve ısıtma tüketimleri karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Toplam enerji yükünde en yüksek paya sahip olan soğutma yükünün iki durumda da benzer bir eğri çizdiğini, fakat nSEB tasarımında Ağustos ayındaki zirve noktasının daha düşük bir

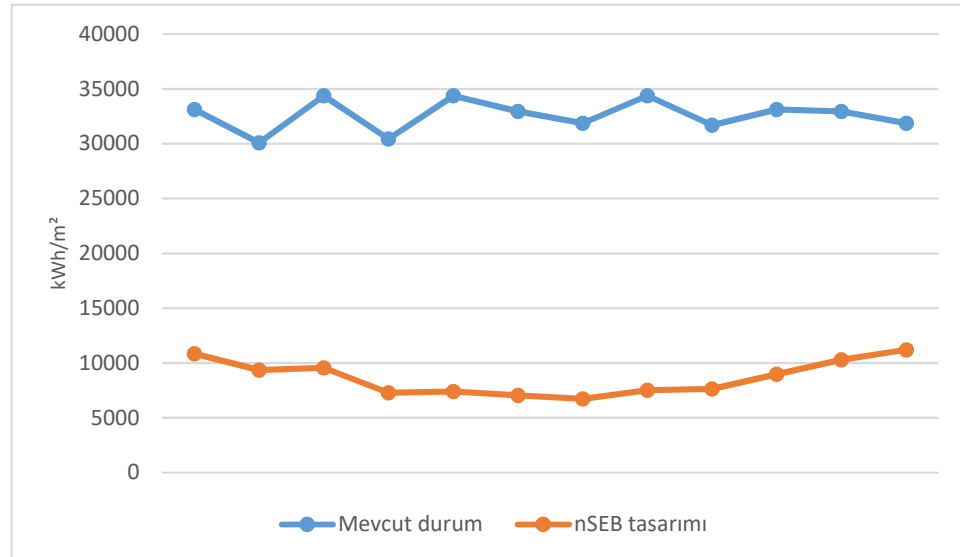


seviyede kaldığını görülmektedir. Her iki durumda da kış aylarında bir miktar kullanılan soğutma enerjisi, nSEB tasarımında Ocak ayında az miktarda yükselmiştir.



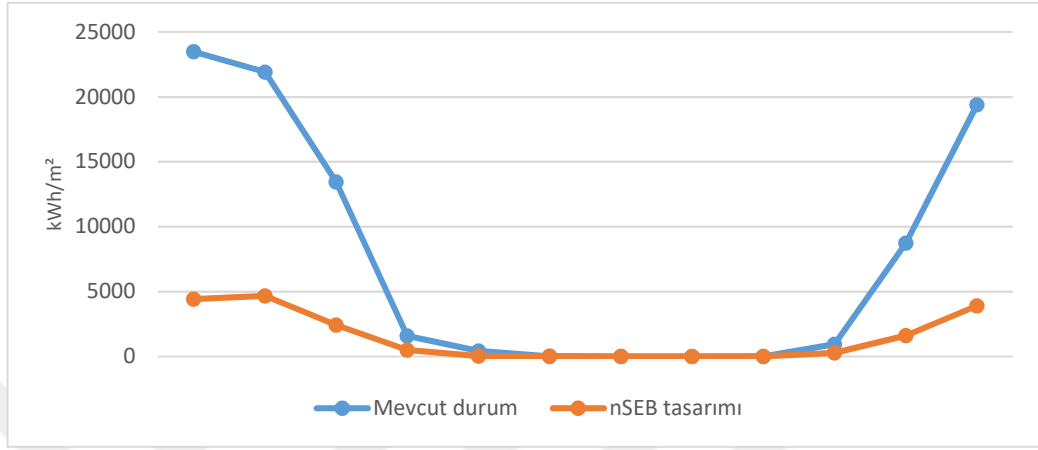
Şekil 4.39 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait soğutma yüklerinin aylık birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m²)

Yeni aydınlatma sistemi ile aydınlatma yükleri, nSEB tasarımında tüm aylarda azalmıştır. nSEB tasarımında güneşli gün sayısının artması sebebiyle yaz aylarında kış aylarına göre daha az aydınlatma enerjisi harcanmaktadır (Şekil 4.40).



Şekil 4.40 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait aydınlatma yüklerinin aylık birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m²)

Ekimden Nisana kadar aktif olan ısıtma enerjisi tüm aylarda kritik bir şekilde azalmıştır. Mevcut durumda en fazla ısıtma enerjisi gereken ay Ocak iken, nSEB tasarımında Şubat ayında ısıtma enerjisi daha yüksektir (Şekil 4.41).



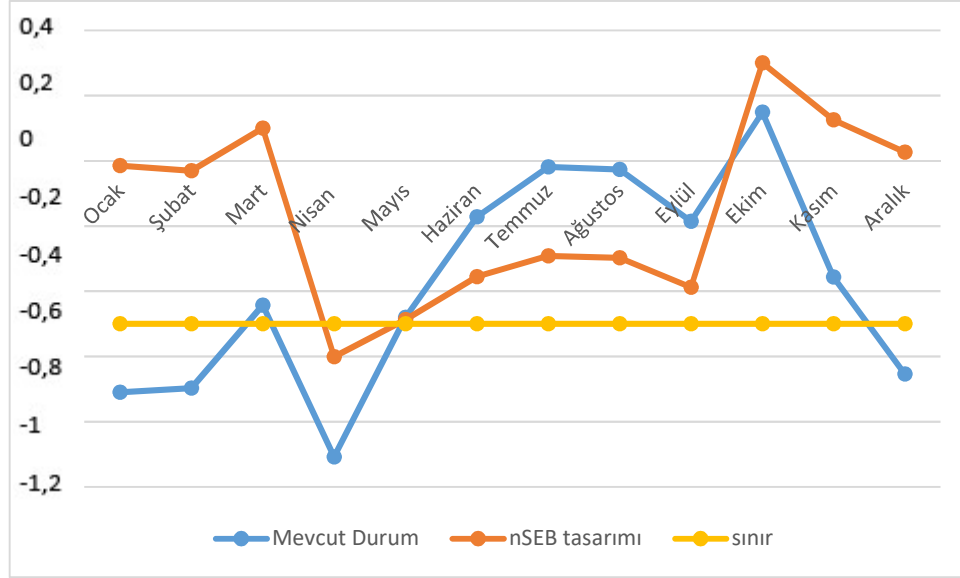
Şekil 4.41 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait ısıtma yüklerinin aylık birincil enerji tüketimlerinin karşılaştırılması (kWh/m<sup>2</sup>)

Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait konfor değerleri Tablo 4.20'de karşılaştırılmıştır. Buna göre her iki durumda da ortalama Fanger PMV değeri -0,5 ile +0,5 arasında kalarak B grubu ısı konfor değerini sağlamıştır. Bununla beraber nSEB tasarımı, 0 değerine mevcut durumdan daha yakındır. Mevcut durumda geçirilen konforsuz saat sayısı 308 iken, nSEB tasarımında 32,53'e düşmüştür.

Tablo 4.20 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait yıllık ortalama konfor değerleri

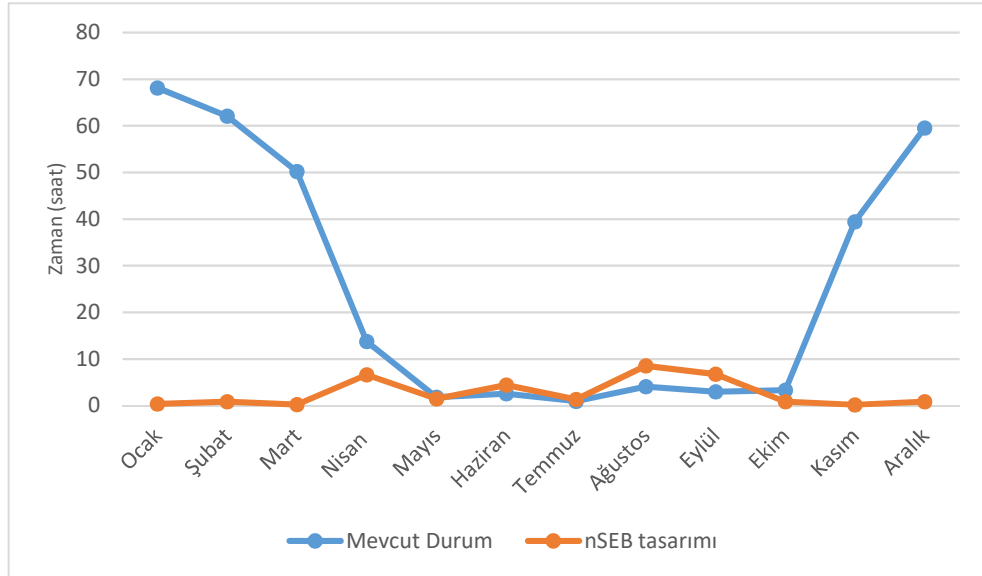
	Nem	Fanger PMV	Hava Sıcaklığı	Işınım Sıcaklığı	Operatif Sıcaklık	Konforsuz zaman	Dış kuru termometre sıcaklığı
	%		°C	°C	°C	saat	°C
Mevcut durum	44,92	-0,37	22,66	23,40	23,03	308	16,79
nSEB tasarımı	44,21	-0,16	23,78	24,33	24,05	32,53	16,79

Fanger PMV değerlerinin aylık olarak karşılaştırılması sonucunda nSEB tasarımında, Nisan ayı dışındaki tüm aylarda konfor sınırları içinde kaldığı görülmüştür. Mevcut durumda ise kış ayları ve Nisan ayında mekan olması gerekenden daha soğuk hissedilmektedir (Şekil 4.42).



Şekil 4.42 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait aylık Fanger PMV değerlerinin karşılaştırılması

Konforsuz zaman değerlerinin aylık karşılaştırılması durumunda, mevcut durumda ısıtma yüklerinin aktif olduğu Ekim-Nisan ayları arasında arttığı, yaz aylarında ise 0'a yaklaştığı görülmektedir. nSEB tasarımında ise kış aylarında sifira yakın ve Ağustos ayında en yüksek değerine sahiptir. Bu duruma cephe kabuğunun U-değerlerinin düşürülmesinden ve sızdırmazlığının azaltılmasından kaynaklı binada ısı korunumunun artmasıyla, binanın soğutulmasının zorlaşmış olması sebep olmuş olabilir (Şekil 4.43).



Şekil 4.43 Mevcut durum ve nSEB tasarımına ait aylık konforsuz zaman değerlerinin karşılaştırılması

## BÖLÜM BEŞ

### SONUÇ

Dünyadaki ve ülkemizdeki enerji talebi her geçen gün artmakta ve bu durumun üzerinde yaşadığımız dünyaya bir takım etkileri olmaktadır. Küresel ısınma, ozon tabakasının incelmeye başlaması, iklim değişikliği gibi çevresel sorunlar, inşaat sektörünün de dünya çapında %40'ından sorumlu olduğu enerji tüketiminin sonucudur (Ghiaus ve Inard, 2004). Bu küresel sorun, uluslararası anlaşmalarda alınan kararlarla önlenmeye çalışılmakta ve birincil enerji kaynaklarının tüketiminden kaynaklanan sera gazı salımlarının azaltılması hedeflenmektedir (Bayram ve Kınay, 2019).

Bu bağlamda alınan önlemlerden biri olan neredeyse sıfır enerji binaları (nSEB), enerji tasarrufu ve karbon salınımının azaltılması açısından dünya çapında giderek artan bir ilgiye sahiptir. Binanın Enerji Performansı Direktifi (EPBD)'nin yeniden düzenlenmesi, Avrupa Birliği (AB) üye devletlerindeki tüm yeni binaların 2020 yılından itibaren ve kamu otoritelerine ait tüm kamu mülklerinin veya kamu idare binalarının 2018 yılından itibaren nSEB olması hedefine ulaşmak için binalarda enerji verimliliğini artıracak önlemlerin alınmasını dayatmaktadır.

Binaların temel enerji tüketim kolları olan ısıtma, soğutma, aydınlatma, elektrik kullanımı ve sıcak su kullanımı miktarı, binanın bulunduğu iklim ve yapı tipolojisi gibi bina durumuna ve binanın faaliyet verileri ve kültürden kaynaklı kullanıcı davranışı gibi kullanım durumuna bağlıdır. Aktif ve pasif enerji verimli bina tasarım sistemleri kullanılarak ve binaya yerinde sürdürülebilir enerji üretimi sistemleri entegre edilerek binanın nSEB standartlarına ulaşılması mümkündür. Fakat nSEB tasarımının ve hesaplamasının karmaşık bir süreç olmasından ötürü, bina enerji simülasyonu (BES) araçlarının kullanımı elzemdir.

SEB kavramı çok çeşitli ifadelerle tanımlanmasına rağmen, genel kabul görmüş bir SEB tanımı bulunmamaktadır. Torcellini ve diğer. (2006), net SEB'i yıllık enerji kullanımına eşit veya daha fazla yenilenebilir enerji üreten bina şeklinde tanımlamıştır. Hernandez ve Kenny (2010)'nin savunduğu "yaşam döngüsü SEB"e göre enerji dengesi kurulurken bina yapımı ve sistemleri ile gömülü enerjiyi de içermesi, yalnızca işletme aşamasında bina tarafından kullanılan enerjiye odaklanmaması gerekmektedir.

EPBD 2010/31 revizyonuyla ortaya çıkan nSEB, bir yılın belirli bir dönemi boyunca, şehir tarafından talep edilen enerjiye bağlı olarak enerji akışını dengeleyen ve kamu şebekesine enerji sağlayan bina/tesis anlamına gelmektedir.

Hernandez ve Kenny (2010)'nin yaptığı çalışmaya göre nSEB hesaplama konusunda tartışmalı olan konular şunlardır; hesaplamalarda kullanılacak olan denge metriği, hesaplamaların hangi dönem için yapılacağı, hangi enerji türünün dengeye dahil edileceği, binanın enerji tüketimi ile yenilenebilir enerji üretimi arasındaki dengenin nasıl kurulması gerektiği, yenilenebilir enerji tedarik seçenekleri, şebekeye bağlı nSEB ile özerk nSEB arasındaki operasyonel farklılıklar, nSEB'lerde iç mekan konfor standartlarının sağlanması, şebekeye geri beslenen enerjinin ve şebekeden alınan enerjinin kalitesi, nSEB tasarımında maliyetin rolü. Ülkemizde halihazırda bir nSEB tanımı bulunmamaktadır. Bu tartışma konularının öncelikle ülkemizdeki nSEB tanımının yapılmasına, daha sonra da uluslararası kabul görmüş, her ülkenin iklim özellikleri ve enerjiye bakış açısına uyum sağlayabilir nitelikte esnekliğe sahip bir nSEB tanımının yapılmasına katkıda bulunması amaçlanmıştır.

ASHRAE'ye göre ısı konforu, insanların zihninde ısı çevre ile olan memnuniyet ifadesinin oluşmasıdır (ASHRAE Standart 55, 2013). Çalışmada ısı konforu etkileyen çevresel ve kişisel değişkenler ve Fanger'in PMV-PPD modeli açıklanmıştır. ASHRAE Standard 55'e göre uyulması gereken konfor standartları belirlenmiş ve önerilerin bu standartlara uygunluğu tartışılmıştır. Buna göre, operatif sıcaklık değerleri yazın 20-23°C aralığında, kışın ise 23-26°C aralığında olması gerekmektedir. Nispi nem oranı %30-70 aralığında olmalıdır. Genel konfor için kabul edilebilir ısı ortamları A, B ve C olarak üç seviyedir. DesignBuilder programı B grubu ve üstü ortamları konforlu kabul ettiği için, bu çalışmada B grubu konfor bölgesinin içinde yer alma şartı esas alınmıştır:  $PPD < 10$  ve  $-0,5 < PMV < 0,5$ . Standartta belirtilen şartlar, % 50'lik bir nispi nem, 0,15 m/s'den düşük bir ortalama nispi hız, hava sıcaklığına eşit bir ortalama ışınım sıcaklığı ve 1,2 met'lik bir metabolik hız için varsayılmıştır. Kıyafet yalıtımı kışın 1 clo, yaz aylarında 0,5 clo olarak tanımlanmıştır.

Elde edilen teorik bilginin vaka çalışmalarında nasıl kullanıldığını görmek için, literatürdeki enerji etkinliği BES yardımıyla araştırılan beş farklı nSEB incelenmiştir. İlk vakada, ABD'nin 6 farklı iklimine sahip bölgesinde tipik bir ofis yapısının

geometri faktörlerinin (pencere yönelimi, PDO ve oda genişliği-derinlik (G/D) oranı) bina enerji performansına etkisini araştırmıştır. İkinci vaka, Mısır'da yani sıcak iklimdeki bir eğitim yapısıdır. Yapının mevcut durumunun konfor derecesi, toplam soğutma yükleri ve aydınlatma seviyeleri belirlendikten sonra, eğitim salonunun mekan yönelimi, kat yüksekliği, saydam ve opak yapı kabuğu değişkenleri, gölgelendirme sistemleri ve havalandırma durumunun, yapının soğutma yüklerine ve aydınlatma seviyesine olan etkisi iki aşamalı olarak araştırılmıştır. Üçüncü vaka, Suudi Arabistan'da tipik bir ofis binasının görsel konforu korunurken enerji verimliliğinin sağlanmasına odaklanmaktadır. 3 farklı cam tipi, güneş ışığı kontrolü entegrasyonu seçeneği ve iç gölgeleme elemanı olarak jaluzi eklenmesi seçeneğinin, parlama indeksi ve güneş ışığı faktörüne olan etkisi incelenerek görsel konfor seviyeleri belirlenmiş, aynı senaryoların enerji tüketimi de hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Dördüncü vakanın konusu Avrupa'nın üç farklı iklim bölgesini temsil eden üç yerdeki bir ofis yapısıdır. Çalışma kapsamında her şehir için ortalama, en az ve en çok enerji tüketimi şu değişkenler için hesaplanmıştır: iki farklı PDO (%30 ve %50), 3 farklı dış duvar yalıtım seviyesi, iki farklı cam U değeri, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi veya FV panellerinin kurulumu ve iki farklı seviye aydınlatma kontrol sistemi (kısmi ve total). Son olarak beşinci vakada, ılımlı karasal iklime sahip olan Belgrad'daki bir ofis yapısının farklı kabuk özelliklerinin binanın enerji verimliliğine olan etkisi incelenmiştir. Bir masif ve iki cam cephe senaryosu için ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi, üç farklı gölgelendirme varyantı için hesaplanmıştır: gölgelemesiz, iç gölgelemeli (jaluzi) ve dış gölgelemeli (hareketli panjur). Son vaka hariç tüm vakalarda simülasyon motoru olarak EnergyPlus ve arayüz olarak DesignBuilder kullanılmıştır.

Son bölümde elde edilen teorik veri mevcut bir ofis yapısında uygulanmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi içerisinde seçilen bir ofis yapısı, yapı kabuğu elemanlarının ortam konforu ve binanın enerji etkinliğine olan etkisinin araştırılması için BES yöntemiyle modellenerek simülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Yapının modeli DesignBuilder yazılımında oluşturulduktan sonra yapıda gerekli ölçümler yapılarak modelin doğrulanması sağlanmıştır. Doğrulan model üzerinde, bina performansını geliştirmeye yönelik senaryolar denenmiştir. Çalışmanın ilk kısmı mevcut binanın tadilatı üzerinedir. Güney cepheye çift tabakalı cephe (ÇTC) ekleme

ve gölgeleme elemanı ekleme şeklinde iki farklı alternatif saenaryo ile binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma enerji ihtiyacı azaltılmış, PMV değerinin tüm aylarda B sınıfı ısı konfor sınırları içerisinde kalması, konforsuz saat sayısının azaltılması sağlanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında ise bina cephesi yeniden tasarlanarak ve binadaki yardımcı sistemler geliştirilerek binanın konut olmayan yapılar için nSEB kriterlerini sağlaması, aynı zamanda da PMV-PPD değerleri ve konforsuz saat değerlerinin ısı konfor standartlarını sağlaması sağlanmıştır.

Yapı kabuğu elemanları ve enerji etkin bina sistemlerinin, nSEB standartlarına ulaşmadaki etkisinin araştırılması çerçevesinde, yüksek performanslı yapı kabuğunu tasarlamak için aşağıdaki temel değişkenler senaryoların oluşturulmasında etkili olmuştur. Aksamija, 2016'nın da çalışmasında değindiği bu değişkenler:

- Yapı kabuğunun opak bileşenlerinin optimize edilerek mekanik ısıtma/ soğutma için kullanılan enerjiyi en aza indirmek;
- Yapı kabuğunun saydam bileşenlerini, pencere-duvar oranı (PDO), camın saydamlık oranı, U değeri ve güneş ısı kazanım katsayısı gibi cam değişkenlerini optimize ederek gün ışığının kullanımını artırmak ve bu sayede yapay aydınlatma ve mekanik ısıtma/soğutma için kullanılan enerjiyi en aza indirmek;
- Soğutma yüklerini kontrol etmek ve ısı konforu arttırmak için gölgelendirme yapmak şeklindedir.

Güney cepheye ÇTC eklenen alternatif 1 senaryosunda, ÇTC tasarımını etkileyen 8 ana başlıkta 20 farklı değişken belirlenmiştir. Ana başlıklar şu şekildedir; ÇTC tipi, konumu, boşluk derinliği, ÇTC havalandırması, ÇTC dış cidarının PDO, cam tipi, iç ve dış gölgeleme, binada doğal havalandırma bulunması ve binada aydınlatma kontrolü bulunması. Değişkenler simülasyon ile kendi içlerinde değerlendirilerek en enerji tasarruflu ÇTC tasarımı belirlenmiş ve bu durum ÇTC-1 olarak adlandırılmıştır. Buna göre ÇTC-1 özellikleri şunlardır; kat yüksekliğinde ÇTC olması, güney cephede bulunması (güney+doğu ve güney+doğu+batı konumunda ÇTC daha iyi performans göstermiştir fakat çalışmanın kapsamı dışındadır), 90 cm boşluk derinliği, ÇTC'nin yazın tüm gün havalandırılması, %100 PDO, dış cidar cam tipi olarak 6mm düz cam,

iç ve dış gölgeleme yok, binada doğal havalandırma ve aydınlatma kontrolü var. ÇTC-1 alternatifinin birim m<sup>2</sup>'ye düşen toplam yıllık birincil enerjisi 186,06 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Soğutma yükü, oda elektriği, aydınlatma, sıcak su ve ısıtma enerji yükleri sırasıyla %37, %27, %17,3, %11,5 ve %6,8'dir. ÇTC-1 ile mevcut yapının güney cephesinin önünde 90cm'lik bir ısıl tampon oluşturulmuştur. Bu tampon bölge kışın ısı enerjisi depolayarak ısıtma yüklerini düşürmüş, yazın ise gölgelendirme etkisi sağlayarak ve tampon bölgede toplanan hava sıcaklığının düşürülmesiyle soğutma yüklerini azaltmıştır.

ÇTC-1 ile optimize cephe tadilatı alternatifi sunulmuş, daha sonra her alternatifte bir değişken değiştirilerek ÇTC-1'den farklı 14 alternatif ÇTC tasarımı simule edilmiş ve bu alternatiflerin binanın mevcut durumuna göre tasarruf yüzdesi hesaplanmıştır. Böylece ÇTC-1'i oluşturan değişkenlerin enerji tasarrufuna etkisi görülmüştür. Buna göre en etkili değişken binada aydınlatma kontrolü bulundurma olmuştur.

Alternatif 2 senaryosunda güney cepheye gölgeleme elemanı eklenmiştir. 90 cm saçak ve 50cm'lik panjur+yan kanat senaryoları simule edilmiş, 90 cm saçak daha tasarruflu olduğu için seçilmiştir. Alternatif-2'nin yıllık birim m<sup>2</sup>'ye düşen birincil enerji tüketimi 188,3 kWh/m<sup>2</sup>'dir.

Mevcut durum, Alternatif 1 ve Alternatif 2 senaryolarının enerji tüketimi karşılaştırıldığında, mevcut durumda 221,30 kWh/m<sup>2</sup>yıl olan enerji tüketimi, alternatif 1 ile %15,92, alternatif 2 ile %14,91 azaltılmıştır. Tasarrufu sağlayan iki ana unsur soğutma ve aydınlatma enerjisidir. Alternatiflerde ısıtma yükü mevcut duruma göre artmasına rağmen, ısıtma yükünün toplam enerji yükü içerisindeki yüzdesi düşük olduğu için sonucu fazla etkilememiştir.

Mevcut durum, ÇTC-1 ve gölgelemeli cephenin konfor değerleri karşılaştırıldığında, her üç durumda yıllık ortalama Fanger PMV değeri -0,5 ile +0,5 arasında kalarak B grubu ısı konfor değerini sağlamıştır. Bununla beraber sınır değerlerine en uzak değeri veren mevcut durum, önerilerden daha konforlu ortam sunmaktadır. Tüm durumlarda Fanger PMV değerinin sınır değerine en uzak çıktığı değer Nisan ayıdır. Ekim ayı hariç tüm aylarda Fanger değerleri 0'ın altında çıkmıştır. Bu durum binada sıcaktan daha çok serin hissedildiğini göstermektedir. Her üç



durumda da PPD indisi <10 değerini sağlayarak B grubu ısı konfor değerini sağlamıştır. Mevcut durum, alternatif 1 ve alternatif 2'nin yıllık konforsuz saat miktarları sırasıyla, 308, 303 ve 352'dir yani konforsuz saat sayısı en düşük olan ÇTC-1 önerisidir. ÇTC-1 önerisi ile gölgelemeli cephe önerisi arasında enerji tasarrufu açısından çok fazla fark olmamasına (%1) rağmen, konforsuz saat sayısı gölgelemeli cephede yılda 49 saat fazla olması ÇTC-1'in konfor açısından tercih edilebilirliğini göstermektedir.

Çalışmanın ikinci kısmında mevcut binanın, nSEB'ler için önerilen tasarım yönergelerine uygun olarak yeni cephe önerisi geliştirilmiş ve binaya enerji üretimi eklenmiştir. Ülkemizde halihazırda ofis yapıları için bir nSEB tanımı olmadığı için, yakın iklime sahip ve nSEB tanımı olan Fransa'nın tanımı üzerinden, binanın nSEB haline getirilmesi sağlanmıştır. Tanıma göre, konut olmayan binalar için birincil enerji tüketimi klimalı binalar için 110 kWh/m<sup>2</sup>y'den düşük olmalıdır. Binanın nSEB haline getirilirken ısı konfor seviyesinin de artırılması hedeflenmiştir.

Binanın cephe tasarımının belirlenmesi, birden fazla amaç için birden fazla değişken içerisinden en uygun seçeneğin seçilmesini gerektirdiği için, DesignBuilder'ın optimizasyon aracı kullanılmıştır. Bu çalışmada amaç olarak CO<sub>2</sub> salımının (dolayısıyla enerji tüketiminin) ve konforsuz saat sayısının minimize edilmesi belirlenmiştir. Optimizasyon aracına değişken olarak binanın cephesi ile ilgili sekiz başlık girilmiştir: Güney cephedeki ÇTC iç cidarının PDO değeri, güney cephedeki ÇTC dış cidarının PDO değeri, kuzey cephenin PDO değeri, doğu cephesinin PDO değeri, batı cephesinin PDO değeri, güney cephedeki ÇTC iç cidarının cam tipi, güney cephedeki ÇTC dış cidarının cam tipi, kuzey, doğu ve batı cephelerinin cam tipi. Ana başlıkların altındaki değişkenler şu seçenekler arasından seçilebilir: Cephelerin PDO değerleri için, %20 ile %100 arasında her adımda %5 değişen değerler ve cephelerin cam tipleri için 6mm düz cam, 6/12/4 argon dolgulu çift cam, 3/13 argon dolgulu low-e üçlü cam olarak üç farklı cam tipi. Optimizasyon sonucunda elde edilen pareto çözümler arasından CO<sub>2</sub> salımı daha düşük olan, dolayısıyla enerji verimliliği daha yüksek olan öncelenmiştir. Seçilen çözümün değişkenleri şu şekildedir: Güney cephedeki ÇTC iç cidarının ve doğu cephesinin PDO değeri %30, güney cephedeki ÇTC dış cidarının, batı ve kuzey cephesinin PDO değeri

%40, güney cephedeki ÇTC iç cidarının ve kuzey-doğu-batı cephelerinin cam tipi üçlü 3/13mm Argon dolgulu low-e cam, güney cephedeki ÇTC dış cidarının cam tipi 6mm düz cam.

Binanın opak yapı kabuğu bileşenleri de Fransa'nın nSEB yapılarındaki ortalama U değerleri baz alınarak, ısı yalıtımı eklenerek iyileştirilmiştir. nSEB kriterlerine göre, binanın  $\pm 50$  Pa basınç farkındaki hava değişimi testinde saatte  $m^2$  başına en çok 1 l/s hava değişim hızına karşılık gelen hava sızdırmazlık seviyesine sahip olması gerekmektedir. Binanın nSEB tasarımında ısı köprüleri engellenerek sızdırmazlığının bu seviyeye ulaşacağı düşünülmüştür. nSEB önerisinde binadaki gömülü aydınlatma, hava kanallı gömülü aydınlatmaya dönüştürülmüştür. Binada aydınlatma kontrolü ve ofis saatlerinde doğal havalandırma olacağı düşünülmüştür.

nSEB tasarımının yıllık birim  $m^2$ 'ye düşen toplam birincil enerji tüketimi 125,81 kWh/ $m^2$ 'dir. Sıcak su ihtiyacı çatıda kullanılan güneş kollektörü ile karşılanarak net birincil enerji 120,79 kWh/ $m^2$ 'ye düşmüştür. Enerji ihtiyacının bir kısmı yine çatıda kullanılan 48 adet 1,64  $m^2$ 'lik FV panel ile sağlanarak net birincil enerji 109,87 kWh/ $m^2$  olmuştur. Böylece Fransa'nın resmi tanımında konut olmayan yapılar için önerilen nSEB hedefi sağlanmıştır. Mevcut durum ile karşılaştırıldığında, nSEB tasarımında toplam birincil enerjide %43,1, net birincil enerjide %50,3'lük bir tasarruf sağlandığı görülmektedir.

nSEB tasarımının Fanger PMV indisi, -0,16 ile, PPD indisi 5,53 ile yıllık ortalamada A grubu ısı konforu sağlamaktadır. Fanger PMV değerlerinin aylık olarak karşılaştırılması sonucunda nSEB tasarımında, Nisan ayı dışındaki tüm aylarda konfor sınırları içinde kaldığı görülmüştür. Operatif sıcaklık değerleri, kış aylarında ASHRAE Standart 55'e uygunken, yaz aylarında ortalama 24,85°C'lik operatif sıcaklık değeri, operatif sıcaklığın düşürülmesi gerektiğini göstermektedir. Mevcut durumda 308 saat olan binanın yıllık konforsuz saat toplamı, nSEB tasarımında 32,53 saattir. Mekansal olarak bakıldığında, ofis mekanlarındaki konforsuz saat sayılarının yıllık 1-2 saat civarında olduğu görülmüştür. Tuvaletler ve bodrum kattaki depo, teknik ve inkibator mekanları binanın konforsuz saat sayısını artırmaktadır. Tuvaletlerdeki insan yoğunluğu azaltıldığında rakam azalmıştır. Bu durum binadaki tuvaletlerin kişi sayısı için yetersiz olduğunu göstermektedir.

Vaka çalışmasının ilk kısmının sonucunda, mevcut ofis binasının tadilat ile güney cephesinin ÇTC'ye dönüştürülmesinin enerji verimliliğini artırarak binanın nSEB haline getirilmesinde önemli bir adım olduğu ve binanın mevcut konfor durumunda çok büyük bir etki yapmadığı görülmüştür. Binanın güney cephesine gölgeleme elemanı eklemek, ÇTC eklemeye yakın bir enerji verimliliği sağlamasına rağmen, binanın mevcut ısı konfor durumundan daha az konforlu bir ortam oluşturmuştur. İlerleyen çalışmalarda, cepheye ÇTC ekleme ve gölgeleme elemanı ekleme seçeneklerinin görsel konfor, akustik konfor ve maliyet açısından değerlendirilmesi, tasarım kararını vermeye yönelik daha sağlıklı bir sonuç elde etme açısından önemlidir.

Vaka çalışmasının ikinci kısmında, mevcut binanın cephesi tekrar tasarlanıp, binaya dair yardımcı sistemler iyileştirilerek ve binanın ihtiyacı olan enerjisinin bir kısmını kendisinin üretmesi sağlanarak nSEB standartlarına uygun hale getirilebildiği görülmüştür. Aynı zamanda binanın ısı konfor özellikleri de mevcut duruma göre büyük oranda iyileştirilmiştir. Bu durum, binanın aynı fonksiyon ve kullanım özelliklerine sahip iken, özellikle erken tasarım aşamasında BES araçlarının kullanılmasıyla hem dünyaya daha az zarar veren, hem de enerji maliyeti düşük ve konforlu bir yapı olarak tasarlanmasının mümkün olduğunu göstermektedir. İlerleyen çalışmalarda, nSEB haline getirilen yapının aynı zamanda neredeyse sıfır CO<sub>2</sub> salım binası haline getirilmesi ve binanın yaşam döngüsü analizinin yapılması yönündeki çalışmalara ağırlık verilmesi önerilmektedir.

Çalışmanın vaka çalışmasını içeren 4. Bölümünden elde edilen sonuçların özeti şu şekildedir;

- Tüm alternatiflerde ve mevcut durumda en yüksek enerji ihtiyacı soğutma enerjisi, en düşük enerji ihtiyacı ısıtma enerjisidir.
- Binanın güney cephesine ÇTC eklenmesiyle ve binaya aydınlatma kontrolü eklenmesiyle binanın enerji tüketiminde %15,92 tasarruf sağlanmıştır. Binanın ısı konfor seviyesinde mevcut binaya göre kayda değer bir değişiklik olmamıştır.

- Binanın güney cephesine her katta 90 cm alüminyum yatay gölgeleme elemanı eklenmesiyle ve binaya aydınlatma kontrolü eklenmesiyle binanın enerji tüketiminde %14,91 tasarruf sağlanmıştır. Binanın ısıl konfor seviyesi ise mevcut binaya göre düşmüştür.

- ÇTC-1 önerisi ile gölgelemeli cephe önerisi arasında enerji tasarrufu açısından sadece %1'lik bir fark oluşmuştur. Fakat gölgelemeli cephede konforsuz saat sayısı ÇTC-1'e göre yılda 49 saat fazladır. Cephe tasarımı kararında etkili olması beklenen maliyet, binanın tasarım bağlamı gibi konular bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Tasarımcının tercihini, enerji verimliliği, ısıl konfor veya diğer konulardan hangisini ön planda tutacağı belirleyecektir.

- ÇTC tasarımını etkileyen faktörler arasında en etkili faktörün binaya ait ek değişkenlerden olan binaya aydınlatma kontrolü eklenmesi olduğu görülmüştür. Aydınlatma kontrolü iptal edildiğinde ÇTC-1'in yıllık enerji tasarrufu %3,32'ye düşmektedir.

- Binanın cephe tasarımı en baştan ele alınıp, cephelerin PDO oranlarının ve cam tiplerinin optimize edilmesi, yapı kabuğu elemanlarının U-değerlerinin iyileştirilmesi, binanın sızdırmazlık oranının iyileştirilmesiyle ve binanın kendi enerjisini üretebilir hale gelmesiyle binanın nSEB olabileceği saptanmıştır. Mevcut binaya göre net birincil enerjideki enerji tasarrufu %50,3'tür. nSEB tasarımı, sadece enerji verimliliği açısından değil, ısıl konfor açısından da mevcut binanın çok ilerisindedir. Mevcut binada yılda 308 saat olan konforsuz saat sayısı, nSEB tasarımında 32,53 saate düşmüştür.

Literatürde, İzmir iklim şartları özelinde mevcut ofis yapılarının, tadilat yapılarak cephe özelliklerinin iyileştirmesiyle nSEB standartlarına ulaşmasının sağlanması ve ulaşılan nSEB binasının ısıl konfor standartlarına uygunluğunu inceleyen bir çalışma bulunamamıştır. Bu çalışma literatürdeki bu boşluğu doldurmaktadır. nSEB tasarımı, oldukça karmaşık bir hesaplama gerektiren bir süreç olduğu için BES araçlarının kullanılmasının zaruri olduğu literatüre uygun olarak doğrulanmıştır. nSEB'lerin sadece enerji verimliliğini değil, ısıl, görsel, akustik konfor, maliyet ve CO<sub>2</sub> salımı optimizasyonunu hedeflemesi literatürde de belirtildiği gibi gelecek çalışmalarda

hedeflenmelidir.. Yapının farklı hedefler açısında optimizasyonunun sağlanması için BES araçlarının genetik algoritma kullanan optimizasyon araçlarının kullanılmasının oldukça faydalı olduğu görülmüştür. Optimizasyon aşamasının kullanılan bilgisayarın işlemci gücüne bağlı olarak oldukça uzun sürmesi ve elde edilen sonuçların birden fazla olması sebebiyle seçim yapılırken optimizasyon aracına girilmeyen hedeflerin de ele alınması zorunluluğu, çalışmada karşılaşılan zorluklardandır. Bu sebeple araştırmacının BES aracından elde ettiği verileri iyi okuyup yorumlayabiliyor olması gerekmektedir.



## KAYNAKLAR

- Aksamija, A. (2016). Design methods for sustainable, high-performance building facades. *Advances in Building Energy Research*, 10(2), 240-262.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE] (2002). *Guideline 14-2002, Measurement of energy and demand savings*. Atlanta: ASHRAE.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (2004c). *Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE.
- Attia, S., De Herde, A., Gratia, E., ve Hensen, J. L. (2013). Achieving informed decision-making for net zero energy buildings design using building performance simulation tools. *Building Simulation*, 6(1), 3-21.
- Attia, S., ve De Herde, A. (2011). Early design simulation tools for net zero energy buildings: a comparison of ten tools. *Conference Proceedings of 12th International Building Performance Simulation Association*, 94-101.
- Avrupa Birliği (2010). The Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the European Union*, 334, 17-119.
- Background*, (b.t.). 10 Mayıs 2018, <https://zebra2020.eu/>
- Ballestini, G., De Carli, M., Masiero, N., ve Tombola, G. (2005). Possibilities and limitations of natural ventilation in restored industrial archaeology buildings with a double-skin façade in Mediterranean climates. *Building and Environment*, 40(7), 983-995.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2007). *Enerji verimliliği kanunu*. Ankara.
- Bayram, M. (2011). Bep-tr hesaplama yönteminde referans bina kavramı ve enerji sınıflandırması. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13(16), 755-762.

Bayram, M. ve Kınay, U. (2019). Binalarda enerji performansı direktifi doğrultusunda Avrupa Birliği üye ülkelerinin nZEB çalışmaları ve Türkiye incelemesi. *14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 702-1*, 203-209.

*Binalarda enerji performansı*, (b.t.). 12 Mart 2019, [http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/Default.aspx#.Wqj\\_RujFKUk](http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/Default.aspx#.Wqj_RujFKUk)

Bogenstätter, U. (2000). Prediction and optimization of life-cycle costs in early design. *Building Research & Information*, 28(5-6), 376-386.

Boyano, A., Hernandez, P., ve Wolf, O. (2013). Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on Energy Plus simulations. *Energy and Buildings*, 65, 19-28.

Compagno, A. (2002). *Intelligent glass facades* (5th revised and updated edition). Berlin: Birkhäuser.

*Cooling Design Calculation*, (b.t.). 17 Haziran 2019, [https://designbuilder.co.uk/helpv2/Content/\\_Cooling\\_design\\_simulation.htm](https://designbuilder.co.uk/helpv2/Content/_Cooling_design_simulation.htm)

Crawley, D., Pless, S., ve Torcellini, P. (2009). Getting to net zero. *ASHRAE Journal*, 51(9), 18-25.

Çalış, G., Kuru, M. ve Alt, B. (2017). Bir eğitim binasında ısı konfor koşullarının analizi: İzmir’de bir alan çalışması. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 22(2), 93-106.

Çevre ve şehircilik bakanlığı mesleki hizmetler genel müdürlüğü enerji verimliliği ve tesisat dairesi başkanlığı (2017). *BEP-TR 2 eğitim kataloğu*. 18 Nisan 2018, <https://beptr.csb.gov.tr/bep-web/TaslakBepTr2EgitimKatalogu.pdf>

DesignBuilder (2009). *DesignBuilder 2.1 user manual*. 03 Mayıs 2019, [http://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder\\_2.1\\_Users-Manual\\_Ltr.pdf](http://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder_2.1_Users-Manual_Ltr.pdf)

Djongyang, N., Tchinda, R., ve Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2626-2640.

Dodd, N., Garbarino, E., ve Gama Caldas, M. (2016). Green public procurement criteria for office building design, construction and management. *Procurement practice guidance document.*, 1-131.

DOE Zero Energy Ready Home National Program Requirements (Rev. 06), 2017. 01 Şubat 2019, [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/04/f34/DOE%20Zero%20Energy%20Ready%20Home%20National%20Program%20Requirements%20Rev06%20-%20Final\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/04/f34/DOE%20Zero%20Energy%20Ready%20Home%20National%20Program%20Requirements%20Rev06%20-%20Final_0.pdf)

Efficiency Valuation Organization (2012). International performance measurement and verification protocol: Concepts and options for determining energy and water savings, Volume I, *Technical Report*, Efficiency Valuation.

EIA. (2005). *Annual Energy Review 2004*. Washington: U.S.Department of Energy, Energy Information Administration. 15 Mayıs 2019, [www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html).

*Elements 1.0.6*, (b.t.). 10 Ocak 2019, <https://bigladdersoftware.com/projects/elements/>

Emel, G. G., ve Taşkın, Ç. (2002). Genetik algoritmalar ve uygulama alanları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 129-152.

EN 12464-1.2009, Light and Lighting – Lighting of Work Places – Part 1: Indoor Work Places.

European Parliament (2009). *Report on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast)*. 13 Mart 2019, <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A6-2009-0254&language=EN>



*EVD kuluçka merkez binası - Enerphit (enerji verimli yenileme) mimari proje*, (b.t.). 9 Kasım 2018, <http://ekho.com.tr/category/projeler/>

Fanger PO. (1967). Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. *ASHRAE Transactions*, 73(2), III4.1-III4.20.

Fanger PO. (1970). *Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.

Fasi, M. A., ve Budaiwi, I. M. (2015). Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates. *Energy and Buildings*, 108, 307-316.

*General lighting*, (b.t.). 12 Haziran 2019, [https://designbuilder.co.uk/helpv5.0/Content/\\_General\\_lighting.htm](https://designbuilder.co.uk/helpv5.0/Content/_General_lighting.htm)

Ghiaus, C. ve Inard, C. (2004). Energy and environmental issues of smart buildings. *A handbook for intelligent building*, 26-51. 03 Şubat 2019, <http://www.ibuilding.gr/handbook/>

Gilijamse, W. (1995). Zero-energy houses in the Netherlands. *Proceedings of Building Simulation '95*, Madison, Wisconsin, USA, 276-283.

Gratia, E., ve De Herde, A. (2004). Optimal operation of a south double-skin facade. *Energy and Buildings*, 36(1), 41-60.

Gratia, E., ve De Herde, A. (2007). Guidelines for improving natural daytime ventilation in an office building with a double-skin facade. *Solar Energy*, 81(4), 435-448.

*Heating Design Calculation*, (b.t.). 15 Haziran 2019, [https://designbuilder.co.uk/helpv5.5/Content/\\_Heating\\_design\\_simulation.htm](https://designbuilder.co.uk/helpv5.5/Content/_Heating_design_simulation.htm)

Hermelink, A., Schimschar, S., Boermans T., Pagliano, L., Zangheri, P., Voss, K., ve diğer (2013). *Towards nearly zero-energy buildings - definition of common principles under the EPBD Final report - Executive Summary*.

- Hernandez, P., ve Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42(6), 815-821.
- Hetherington, R. (2013). *The integration of architectural design and energy modelling software*. Doktora tezi, The Open University, Birleşik Krallık.
- Hopfe, C. J. (2009). *Uncertainty and sensitivity analysis in building performance simulation for decision support and design optimization*. Doktora tezi, Eindhoven University, Eindhoven, Hollanda.
- Iqbal, M. T. (2004). A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland. *Renewable Energy*, 29(2), 277-289.
- Kılış, S. (2007). A new metric for net-zero carbon buildings. *Energy Sustainability Conference*, 219-224.
- Koyun, T. (2016). Seçilen bir ortam için ısı konfor seviyesinin belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(1), 57-66.
- Krstić-Furundžić, A., ve Kosić, T. (2016). Assessment of energy and environmental performance of office building models: A case study. *Energy and Buildings*, 115, 11-22.
- Kurnitski, J., Allard, F., Braham, D., Goeders, G., Heiselberg, P., Jagemar, L., ve diğer. (2011). How to define nearly net zero energy buildings nZEB. *Rehva Journal*, 48(3), 6-12.
- Laustsen, J. (2008). Energy efficiency requirements in building codes. *Energy Efficiency Policies for New Buildings*. Paris: The Organisation for Economic Co-operation and Development /International Energy Agency.
- Loonen, R. C., Favoino, F., Hensen, J. L., ve Overend, M. (2017). Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades. *Journal of Building Performance Simulation*, 10(2), 205-223.

- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., ve Napolitano, A. (2011). Zero energy building—A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and buildings*, 43(4), 971-979.
- Mertz, G.A., Raffio, G.S. ve Kissock, K. (2007). Cost optimization of net-zero energy house. *ASME 2007 Energy Sustainability Conference*, 477-487.
- Obitko, M. (1998). *Genetic algorithm*. 29 Mayıs 2019, <https://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/ga-basic-description.php>
- Ogbonna, A. C., ve Harris, D. J. (2008). Thermal comfort in sub-Saharan Africa: field study report in Jos-Nigeria. *Applied Energy*, 85(1), 1-11.
- Optimisation technical background*, (b.t.). 21 Haziran 2019, <https://designbuilder.co.uk/helpv4.2/Content/OptimisationBackground.htm>
- Optimisation*, (b.t.). 19 Haziran 2019, <https://designbuilder.co.uk/helpv4.2/Content/Optimisation.htm>
- Özyurt, G., ve Karabalık, K. (2009). Enerji verimliliği, binaların enerji performansı ve Türkiye’deki durum. *TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri*, 457(54), 32-34.
- Pasif ev projemiz tamamlandı*, (b.t.). 12 Kasım 2018, <http://sepev.org/projeler-uygulamalar/pasif-ev-projemiz-tamamlandi/>
- Passive House certification criteria* (b.t.). 20 Ekim 2018, [https://passivehouse-international.org/index.php?page\\_id=150&level1\\_id=78](https://passivehouse-international.org/index.php?page_id=150&level1_id=78)
- Passive house database*, (b.t.). 7 Mayıs 2018, <https://passipedia.org/examples>
- Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy policy*, 24(5), 377-390.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. ve Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and buildings*, 40(3), 394-398.

- Ruiz, G., ve Bandera, C. (2017). Validation of calibrated energy models: common errors. *Energies*, 10(10), 1587.
- Sağ, T. (2008). *Çok kriterli optimizasyon için genetik algoritma yaklaşımları*. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Samaan, M. M., Farag, O., ve Khalil, M. (2018). Using simulation tools for optimizing cooling loads and daylighting levels in Egyptian campus buildings. *HBRC Journal*, 14(1), 79-92.
- Sartori, I., Napolitano, A., ve Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, 48, 220-232.
- Schimschar, S., Blok, K., Boermans, T., ve Hermelink, A. (2011). Germany's path towards nearly zero-energy buildings - Enabling the greenhouse gas mitigation potential in the building stock. *Energy Policy*, 39(6), 3346-3360.
- Segers, R. (2008). Three options to calculate the percentage renewable energy: an example for a EU policy debate. *Energy Policy*, 36(9), 3243-3248.
- Superior energy efficiency in buildings*, (b.t.). 15 Kasım 2018, [https://passiv.de/en/01\\_passivehouseinstitute/01\\_passivehouseinstitute.htm](https://passiv.de/en/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm)
- Susorova, I., Tabibzadeh, M., Rahman, A., Clack, H. L., ve Elnimeiri, M. (2013). The effect of geometry factors on fenestration energy performance and energy savings in office buildings. *Energy and Buildings*, 57, 6-13.
- Thermal comfort calculator*, (b.t.). 10 Haziran 2019, <https://designbuilder.co.uk/helpv4.2/Content/ThermalComfortCalculator.htm>
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. ve Crawley, D. (2006). Zero energy buildings: a critical look at the definition. *ACEEE Summer Study Conference*, 1-12.
- Tsikaloudaki K., Laskos K. ve Bikas D. (2011). On the Establishment of Climatic Zones in Europe with Regards to the Energy Performance of Buildings. *Energies* 2012, 5, 32-44.

Türk Standartları Enstitüsü [TSE] (2013). *TS 825 - Binalarda ısı yalıtım kuralları*. Ankara.

Vitruvius, P. (1960). *The ten books on architecture*. New York City: Dover Publications.

*What is bolig+?*, (b.t.). 8 Kasım 2018, <http://www.boligplus.org/>

*Who we are*, (b.t.). 15 Mayıs 2019, <http://www.activehouse.info/>

Yılmaz, Z., ve Çetintaş, F. (2005). Double skin façade's effects on heat losses of office buildings in Istanbul. *Energy and Buildings*, 37(7), 691-697.



## **EKLER**

### **EK 1: Kısaltmalar**

SEB	Sıfır Enerjili Bina
nSEB	Neredeyse Sıfır Enerjili Bina
AB	Avrupa Birliği
BEP	Binaların Enerji Performansı
BEP-TR	Bina Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi
EPBD	Binaların Enerji Performansı Yönergesi
EKB	Enerji Kimlik Belgesi
ÇTC	Çift Tabakalı Cephe
BES	Bina Enerji Simülasyonu
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
DOE	ABD Enerji Bakanlığı
SEHE	Sıfır Enerji Hazır Ev
GF	Gün Işığı Faktörü
FV	Fotovoltaik
PDO	Pencere-Duvar Oranı
G/D	Oda Genişliği-Derinlik
PMV	Tahmini Ortalama Oy
PPD	Öngörülen Memnuniyetsizlik Yüzdesi