

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**HASTANELERDE ISITMA VE SOĞUTMA YÜKLERİNİN ISIL
KONFOR VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN
OPTİMİZASYONU**

İSMAİL CANER

DOKTORA

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nadir İLTEN (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Bedri YÜKSEL
Dr. Öğr. Üyesi Gülşen YAMAN
Doç. Dr. Enver YALÇIN
Doç. Dr. Erol İLERİ

BALIKESİR, HAZİRAN - 2020

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Hastanelerde Isıtma ve Soğutma Yüklerinin Isıl Konfor ve Enerji Verimliliği Açısından Optimizasyonu**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

İsmail CANER

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından 2017/043 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

HASTANELERDE ISITMA VE SOĞUTMA YÜKLERİNİN ISIL KONFOR VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ

İSMAİL CANER

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. NADİR İLTEN)

BALIKESİR, HAZİRAN - 2020

Bu çalışmada amaç, Balıkesir'de bulunan Balıkesir Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi binasının enerji tüketimini yaygın olarak kullanılan enerji verimliliği stratejilerden yararlanarak tahmin etmektir. Yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak bir öğrenme algoritması oluşturulmuş ve binanın yalıtım kalınlığı, cam tipi, gölgeleme cihazı ve iç mekan hava sıcaklıkları dikkate alınmıştır. İlk olarak, hastalara, personele ve refakatçılara uygulanan ısı konfor anketleri ile en uygun konfor sıcaklıkları belirlenmiş ve bu sonuçlar dikkate alınarak bina enerji tüketimi hesaplanmıştır. Hastane binası Design Builder simülasyon program ile modelledikten ve kalibre edildikten sonra, farklı enerji verimliliği stratejileri simüle edilmiştir. Dış duvarlar ve çatı için beş farklı yalıtım malzemesi ve cam için beş farklı pencere tipi seçilmiştir. Gölgeleme ekipmanı olarak; güneş kırıcı ve panjurlar farklı tiplerde uygulanmıştır. İç ortam sıcaklıkları TS 825 (Türk Yapı Yalıtım Standardı) ve ASHRAE tarafından önerilen 22°C ila 24°C arasında seçilmiştir. Stratejilere göre YSA, hastane binasının yapımı ve kullanımı modeline göre 3125 farklı simülasyon üretmiştir. Sonuç olarak; hesaplanan değerler ile ağırlık çıkışları ile karşılaştırırken, YSA'nın tahmin ve test verileri için sırasıyla %96 ve %99 doğrulukla uygun sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. YSA değerleri incelendiğinde, ölçüm sonuçları uygulanırsa, maksimum tasarruf oranı ısıtma dönemi için %18.66 ve soğutma dönemi için %72.48 olarak hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Enerji, simülasyon, yapay sinir ağları

Bilim Kod / Kodları : 91408, 90612, 90619

Sayfa Sayısı: 126

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF HEATING AND COOLING LOAD IN HOSPITALS IN TERMS OF THERMAL COMFORT AND ENERGY EFFICIENCY

PH.D THESIS

İSMAİL CANER

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. NADİR İLTEN)

BALIKESİR, JUNE - 2020

In this study, the main objective is to predict the energy consumption of Balikesir University Training and Research Hospital building in Balikesir, Turkey benefitting from commonly used energy efficient strategies; insulation thickness, glazing type, shading device and indoor air temperature of the building by using artificial neural networks (ANN) as a learning algorithm. First of all, the most appropriate comfort temperatures were determined by thermal comfort surveys applied to patients, medical staff and patients' visitors, and building energy consumption was calculated by taking these results into consideration. After modelling and calibrating of building with Design Builder, different energy-efficient strategies were simulated. For external walls and roof five different insulation materials, and for glazing five different window type were selected. As a shading device; overhang and louvre were applied with different length. The indoor temperatures were selected between 22°C to 24°C which recommended by TS 825 (Turkish Building Insulation Standard) and ASHRAE. According to strategies, ANN produced 3125 samples in accordance with the model of construction and use of hospital building. As a conclusion; when comparing the calculated values with the outputs of the network, it is proved that the ANN gives satisfactory results with an accuracy of 96% and 99% for the prediction and test data respectively. When the ANN values are examined, if the measurement results are applied, the maximum saving rate is 18.66% for the heating period and 72.48% for the cooling period.

KEYWORDS: Energy, simulation, artificial neural network

Science Code / Codes: 91408, 90612, 90619

Page Number: 126

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Binalarda Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler	4
1.1.1 İklim Özellikleri	5
1.1.2 Binanın Yeri	5
1.1.3 Binanın Büyüklüğü, Tipi ve Fonksiyonu	6
1.1.4 Binanın Yönü	6
1.1.5 Binanın Planı	7
1.1.6 Bina Kabuğu ve Malzemelerin Özellikleri	8
1.1.7 Pencere ve Gölgeleme Araçları	9
1.1.8 Kullanıcı Davranışı	9
1.2 Tezin Amacı	10
2. LİTERATÜR	12
2.1 Isıl Konfor Çalışmaları	12
2.2 Hastanelerde Yapılan Isıl Konfor Çalışmaları	14
2.3 HVAC Sistemlerinin Enerji Tüketimlerinin Azaltılmasına Yönelik Yapılan Çalışmalar	16
2.4 Optimizasyon Çalışmaları	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 Isıl Konfor Analizleri	24
3.1.1 Anket Çalışması	24
3.1.2 Isıl Konfor Parametreleri	27
3.2 Mevcut Binanın Enerji Tüketimi	30
3.2.1 Yıllık Toplam Doğalgaz ve Elektrik Tüketimleri	31
3.3 Hastane Binasının Modellenmesi ve Kalibrasyonu	33
3.3.1 Isıl Bölgeleme Yaklaşımı	35
3.3.2 Hastane Binasının Fiziksel Özellikleri	35
3.3.3 Bina Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu: Balıkesir Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi	41
3.4 Derece-gün Hesaplamaları	42
3.4.1 Isıtma, Soğutma ve Isıtma+Soğutma Yüklerine Göre Dış Duvarlar, Çatı ve Döşeme için Optimum Yalıtım Kalınlıkları ve Yakıt Tüketim Değerleri	46
3.4.2 Hesaplamalarda Kullanılan Yakıt Özellikleri ve Mali Değerler	52
3.5 İyileştirme Stratejilerinin Seçimi	53
3.6 Optimizasyon Çalışmaları	55
3.6.1 Problemin Tanımlanması	56

3.6.2 Öğrenme Setinin ve Ağın Oluşturulması	58
3.6.3 Ağın Eğitilmesi ve Test Edilmesi	60
4. ANALİZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	62
4.1 Isıl Konfor Analizleri	62
4.1.1 İç Ortam Parametrelerinin Analizi	62
4.1.2 Isıl Konfor Tercihlerinin Analizi	63
4.1.3 Ölçülen ve Hissedilen Konfor Koşulları	64
4.1.4 Katılımcıların Analizi	67
4.1.5 Isıl Konfora Etki Eden Fiziksel Faktörler	68
4.1.6 Korelasyon Analizleri	71
4.2 Mevcut Binanın Enerji Tüketim Analizleri	74
4.3 Isıtma-Soğutma Dönemi Optimum Yalıtım Kalınlıkları	76
4.4 Isıtma ve Soğutma Dönemi için Regresyon Analizleri	81
4.5 Isıtma Dönemi Enerji Tüketimleri ve Stratejilerin Etkisi	83
4.6 Soğutma Dönemi Enerji Tüketimleri ve Stratejilerin Etkisi	87
4.7 Toplam Enerji Tüketimleri ve Stratejilerin Etkisi	91
4.8 Taguchi ve Yapay Sınır Ağları ile Tüm Kombinasyonları Oluşturulması ve Analizi	93
4.9 Enerji Tasarrufu, Yaşam Döngüsü Tasarrufu, Yaşam Döngüsü Maliyet Analizleri ve Geri Ödeme Süreleri	96
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	108
6. KAYNAKLAR	111
EKLER	123
EK A: Hastane Ölçüm ve Anket Uygulaması için İzin Yazısı	123
ÖZGEÇMİŞ	124

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Türkiye’de enerjinin sektörel dağılımı.	2
Şekil 1.2: Isıl konfor koşullarının sağlanması için izlenen adımlar.	3
Şekil 1.3: Dünyada konut ve hizmet sektöründe enerji tüketiminin kullanım amacına göre dağılımı.	4
Şekil 1.4: İzlenen yöntemin akış diyagramı.	11
Şekil 2.1: Optimum dizayn için akış diyagramı.	19
Şekil 3.1: Anket içeriği.	24
Şekil 3.2: Isıl konfor anketi.	25
Şekil 3.3: Hasta odası ve Testo 480 cihazı görüntüsü.	29
Şekil 3.4: Ölçüm ve anket yapılan alanlar.	30
Şekil 3.5: Toplam yıllık doğalgaz tüketimi (m ³).	31
Şekil 3.6: 2017 yılı bina bazında toplam doğalgaz tüketimi (m ³).	32
Şekil 3.7: Toplam yıllık elektrik tüketimi (kWh).	32
Şekil 3.8: 2017 yılı bina bazında toplam elektrik tüketimi (kWh).	33
Şekil 3.9: Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi genel görünümü.	36
Şekil 3.10: Hastane binası genel görünüşü.	36
Şekil 3.11: Hastane zemin kat planı.	37
Şekil 3.12: Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesinin DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli.	37
Şekil 3.13: Hastane binasında bulunan aydınlatma elemanları.	39
Şekil 3.14: Hastane binasında bulunan radyatör ve fancoil.	40
Şekil 3.15: Hastane binasının DesignBuilder programında tanımlanan HVAC sistemi.	41
Şekil 3.16: Derece gün bölgelerine göre illerimiz.	54
Şekil 3.17: Oluşturulan yapay sinir ağı modeli.	60
Şekil 4.1: Soğutma dönemi için PMV ve AMV değerlerinin dağılımı.	63
Şekil 4.2: Isıtma dönemi için PMV ve AMV değerlerinin dağılımı.	64
Şekil 4.3: Soğutma dönemi için PMV ve AMV değerlerinin karşılaştırılması.	66
Şekil 4.4: Isıtma dönemi için PMV ve AMV değerlerinin karşılaştırılması.	66
Şekil 4.5: Soğutma dönemi için PMV ve OPT değerlerinin karşılaştırılması.	72
Şekil 4.6: Soğutma dönemi için AMV ve OPT değerlerinin karşılaştırılması.	72
Şekil 4.7: Isıtma dönemi için PMV ve OPT değerlerinin karşılaştırılması.	73
Şekil 4.8: Isıtma dönemi için AMV ve OPT değerlerinin karşılaştırılması.	73
Şekil 4.9: Hastane binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.	74
Şekil 4.10: Hastane binası gerçek ve teorik elektrik tüketimleri.	75
Şekil 4.11: Hastane binası enerji tüketiminin dağılımı.	76
Şekil 4.12: Farklı yakıt tiplerine göre enerji tüketimleri (\$/yıl).	76
Şekil 4.13: Farklı yalıtım malzemelerine göre dış duvar için optimum yalıtım kalınlıkları.	77
Şekil 4.14: Farklı yalıtım malzemelerine göre çatı için optimum yalıtım kalınlıkları.	78
Şekil 4.15: Isıtma dönemi duvar-çatı yalıtımının enerji tüketimine etkisi.	85
Şekil 4.16: Isıtma dönemi pencere değişiminin enerji tüketimine etkisi.	85
Şekil 4.17: Isıtma dönemi güneş kırıcı kullanımının enerji tüketimine etkisi.	86
Şekil 4.18: Isıtma dönemi iç ortam sıcaklıklarının enerji tüketimine etkisi.	86
Şekil 4.19: Soğutma dönemi duvar-çatı yalıtımının enerji tüketimine etkisi.	88
Şekil 4.20: Soğutma dönemi pencere değişiminin enerji tüketimine etkisi.	89

Şekil 4.21: Soğutma dönemi güneş kırıcı kullanımının enerji tüketimine etkisi.	90
Şekil 4.22: Soğutma dönemi iç ortam sıcaklıklarının enerji tüketimine etkisi.	90
Şekil 4.23: Toplam enerji tüketimine duvar+çatı yalıtımının farklı yalıtım malzemelerine göre etkisi.	91
Şekil 4.24: Pencere tipi değişiminin toplam enerji tüketimine etkisi.....	91
Şekil 4.25: Güneş kırıcı tiplerinin toplam enerji tüketimine etkisi.	92
Şekil 4.26: İç ortam sıcaklığının toplam enerji tüketimine etkisi	93
Şekil 4.27: Isıtma Dönemi için regresyon katsayıları	94
Şekil 4.28: Soğutma Dönemi için regresyon katsayıları.	95
Şekil 4.29: En iyi kombinasyonlar için tasarruf oranları.	96
Şekil 4.30: Duvarda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için TS 825'e göre enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü maliyeti grafikleri.....	97
Şekil 4.31: Çatıda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için TS 825'e göre enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü maliyeti grafikleri.....	99
Şekil 4.32: Duvarda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için ASHRAE-55'e göre enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü maliyeti grafikleri	100
Şekil 4.33: Çatıda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için ASHRAE-55'e göre enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü maliyeti grafikleri	102
Şekil 4.34: TS 825'e göre Dış Duvar ve Çatı için 5 farklı yalıtım malzemesine göre geri ödeme süreleri	105
Şekil 4.35: ASHRAE ve DIN 1946'ya göre Dış Duvar ve Çatı için 5 farklı yalıtım malzemesine göre geri ödeme süreleri	106

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Konut ve hizmet sektöründe enerji tüketiminin dağılımı.....	2
Tablo 3.1: Anket çalışmasında kullanılan ölçekler.....	26
Tablo 3.2: Isıl duyum ölçeği skalası	27
Tablo 3.3: ISO 7730'a göre ısı konfor kategorileri	27
Tablo 3.4: TESTO-480 cihaz özellikleri.	29
Tablo 3.5: Hastane binası yapı elemanlarının malzeme bileşenleri ve U değerleri.....	38
Tablo 3.6: Bina enerji simülasyon modellerinin kalibrasyonu için kriter kabulleri.	42
Tablo 3.7: Balıkesir için meteorolojik dış hava sıcaklık verileri (⁰ C).	44
Tablo 3.8: Binanın farklı hacimleri için hesaplamalarda kullanılacak iç ortam sıcaklıkları ve ısıtma derece-gün değerleri (iç ortam ölçümlerine göre).....	45
Tablo 3.9: Binanın farklı hacimleri için hesaplamalarda kullanılacak iç ortam sıcaklıkları ve ısıtma derece-gün değerleri (TS 825).....	45
Tablo 3.10: Binanın farklı hacimleri için hesaplamalarda kullanılacak iç ortam sıcaklıkları ve ısıtma derece-gün değerleri (ASHRAE 55).	46
Tablo 3.11: Bina için hesaplamalarda kullanılacak ısıtma-soğutma derece-gün değerleri.	46
Tablo 3.12: Hesaplamalara kullanılan yakıtlar ve mali değerleri.	52
Tablo 3.13: Yalıtım malzemeleri ısı iletim katsayıları ve birim fiyatları.....	53
Tablo 3.14: Yakıtların özellikleri ve birim fiyatları.	53
Tablo 3.15: Derece gün bölgelerine göre önerilen U değerleri.	54
Tablo 3.16: Enerji tasarrufu stratejileri.....	55
Tablo 3.17: Doğalgaz tüketiminin belirlenen stratejilere göre seviyeleri (kWh).	57
Tablo 3.18: Soğutma için kullanılan elektrik tüketiminin belirlenen stratejilere göre seviyeleri (kWh).	57
Tablo 3.19: Simülasyonlar sonucunda ısıtma dönemi için elde edilen veriler ve ilgili hesaplamalar.	58
Tablo 3.20: Simülasyonlar sonucunda soğutma dönemi için elde edilen veriler ve ilgili hesaplamalar.	59
Tablo 3.21: Isıtma dönemi tahminleri için ağırlık eğitim ve test verileri.	60
Tablo 3.22: Soğutma dönemi tahminleri için ağırlık eğitim ve test verileri	61
Tablo 4.1: İç ortam parametrelerinin istatistiksel analizi.	63
Tablo 4.2: Soğutma dönemi için ölçülen ve hissedilen ısı konfor koşulları.	65
Tablo 4.3: Isıtma dönemi için ölçülen ve hissedilen ısı konfor koşulları.....	65
Tablo 4.4: Yaş, cinsiyet ve katılımcı tipine göre ısıtma ve soğutma dönemleri için ki-kare testleri.	67
Tablo 4.5: Varyansların eşitliği durumlarına göre Levene testi ve t-testi için ısıtma-soğutma dönemleri karşılaştırması.	69
Tablo 4.6: Katılımcı tipine bağlı olarak ısıtma ve soğutma dönemi için Anova testi.	70
Tablo 4.7: Soğutma dönemi için katılımcı tipine göre Tukey HSD ve LSD testi	70
Tablo 4.8: Farklı yakıt tipleri ve yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları.....	79
Tablo 4.9: Ölçüm değerlerine göre optimum yalıtım kalınlıkları.....	80
Tablo 4.10: TS 825 standardına göre optimum yalıtım kalınlıkları.	80
Tablo 4.11: ASHRAE-55 ve DIN 1946 standartlarına göre optimum yalıtım kalınlıkları.....	80

Tablo 4.12: TS 825 ve ASHRAE-55 / DIN 1946 standartlarına göre optimum yalıtım kalınlıkları.	81
Tablo 4.13: Isıtma dönemi regresyon katsayıları.	81
Tablo 4.14: Isıtma dönemi değişkenlerin enerji tüketimine etkisi.	82
Tablo 4.15: Soğutma dönemi regresyon katsayıları.	82
Tablo 4.16: Soğutma dönemi değişkenlerin enerji tüketimine etkisi.	82
Tablo 4.17: Isıtma dönemi için duvar, çatı, duvar + çatı yalıtımının farklı yalıtım malzemelerine göre enerji tüketimine etkisi.	83
Tablo 4.18: Isıtma dönemi için pencere, güneş kırıcı ve sıcaklık değişiminin enerji tüketimine etkisi.	84
Tablo 4.19: Soğutma dönemi için duvar, çatı, duvar + çatı yalıtımının farklı yalıtım malzemelerine göre enerji tüketimine etkisi.	87
Tablo 4.20: Soğutma dönemi için pencere, güneş kırıcı ve sıcaklık değişiminin enerji tüketimine etkisi.	88
Tablo 4.21: Radyant sıcaklık nedeniyle iç ısı kazanımı.	89
Tablo 4.22: Isıtma ve soğutma dönemi ağ eğitim parametreleri.	93
Tablo 4.23: Analiz ve Ağ test değerlerinin karşılaştırılması.	94
Tablo 4.24: Isıtma ve Soğutma Dönemi için En iyi Kombinasyon Tahminleri.	95
Tablo 4.25: Mevcut durum için ES, YDT ve YDM hesapları.	97
Tablo 4.26: Bina dış duvarı için ASHRAE ve TS 825'e göre 5 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü toplam maliyeti.	103
Tablo 4.27: Bina çatısı için ASHRAE ve TS 825'e göre 5 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü toplam maliyeti.	104

SEMBOL LİSTESİ

CO₂	: Karbondioksit
kWh	: Kilowatt saat
m³	: Metreküp
m²	: Metrekare
S	: Toplam enerji tüketimi
B_{toplam}	: Bir binanın doğalgaz/elektrik tüketimi
n	: İncelenen bina sayısı
m_i	: Ölçülen gerçek değer
s_i	: Simüle edilmiş değer
N_p	: “p” aralığındaki verilerin sayısı
M_p	: Ölçülen gerçek değerlerin ortalaması
°C	: Santigrat derece
k	: Isıl iletkenlik katsayısı
U	: Toplam ısıl geçirgenlik değeri
EPS	: Ekspande Polistiren
XPS	: Ekstrüde Polistiren
GW	: Cam Yünü
RW	: Taş yünü
PUR	: Poliüretan
DD	: Dış duvar
DG	: Derece-gün
T_b	: Denge sıcaklığı
T_i	: İç ortam sıcaklığı
T_o	: Dış ortam sıcaklığı
SDG	: Soğutma derece-gün
IDG	: Isıtma derece-gün
i	: Faiz oranı
g	: Enflasyon oranı
N	: Ömür
C_{ylt}	: Yalıtım malzemesi fiyatı
C_y	: Yakıt fiyatı
C_e	: Elektrik fiyatı
μ	: Sistem verimi
X_{opt}	: Optimum yalıtım kalınlığı
C	: Toplam maliyet
M_{f,H}	: Yıllık ısıtma yakıt miktarı
M_{f,C}	: Yıllık soğutma yakıt miktarı
A_s	: Yalıtımsız duvar alanı
A	: Yalıtımlı duvar alanı
H_u	: Yakıt alt ısıl değeri
PMV	: Öngörülen ortalama tercih
AMV	: Kullanıcı memnuniyet oranı
OPT	: Operatif sıcaklık
t_{cl}	: Kıyafet yüzey sıcaklığı
h_c	: Taşınım ısı transfer katsayısı
f_{cl}	: Kıyafet yüzey alanı faktörü

ÖNSÖZ

Başta değerli yardım ve katkılarından dolayı tez danışman hocam Doç. Dr. Nadir İLTEN'e derin hürmet ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca, çalışmalarım boyunca sahip olduğu engin vizyon ve akademik tecrübesiyle rehberlikte bulunan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Prof. Dr. Bedri YÜKSEL ve Dr. Öğr. Üyesi Gülşen YAMAN'a, verdiği emeklerden dolayı saygıdeğer hocam Dr. Öğretim Üyesi Okan KON'a, deney ve analizlerdeki yardım ve katkılarından dolayı Dr. Öğretim Üyesi Kadriye ERGÜN'e gönülden teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında karşılaştığım tüm maddi-manevi sorun ve sıkıntılarda her zaman yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, uzun süren analiz dönemlerinde yanlarında olamadığım süreçlerde eksikliğini hiç hissettirmeyen, hayatıma anlam ve renk katan, birçok fedakarlığa birlikte göğüs gerdiğimiz, sevgili eşim ve aynı zamanda en yakın dostum olan Yeliz CANER'e, moral ve motivasyon kaynağım biricik kızım Alya CANER'e teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Balıkesir, 2020

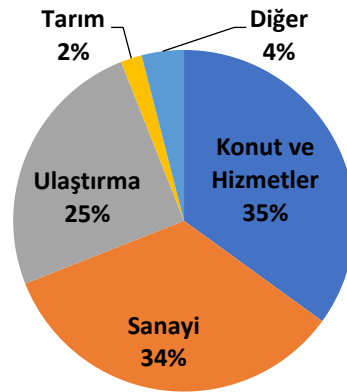
İsmail CANER

1. GİRİŞ

Dünya kalkınma ajanslarına göre gelişmiş ülkelerde 2030 yılına kadar, nüfusun %85'inin şehir merkezlerinde toplanacağı belirtilmektedir [1]. Bu artış, özellikle şehir merkezlerindeki bina yoğunluğunda artışa neden olacak bu durum da iklimlendirme sistemleri kullanılarak şartlandırılmış mekânlarda yaşayan insan sayısını arttıracaktır. Bu nedenle, zamanlarının %90'ını kapalı mekânlarda geçiren insanlar için konfor şartları daha da önemli hale gelecektir [1]. Konforlu bir ortam, kişilerin performanslarını, memnuniyet düzeylerini ve sağlık durumlarını etkilemektedir [2]. İnsanların çalışma durumlarına bakılmaksızın, buldukları ortamlarda konforlu hissetmeleri oldukça önemlidir [3]. Konfor hissi (ısı hissi), kişinin bulunduğu ortamdaki hava sıcaklığının yanı sıra, subjektif olarak ve diğer parametrelere de (hava hızı, radyan sıcaklık, aktivite ve giysi durumu) bağlı olarak; soğuk, ılık veya sıcak hissettiği durumdur [2]. ASHRAE 55:2013 [4]'te ise ısı çevreye karşı duyulan memnuniyet olarak tanımlanmaktadır. Kapalı mekânda bulunan kişilerin tamamının aynı anda buldukları ortamda konforlu hissetmeleri mümkün değildir. Amaç, standartlarda belirtilen oranda kişilerin o ortamda konforlu hissetmelerini sağlayacak iç çevresel koşulları temin etmektir. Uzun yıllardır ısı konfor konusunda farklı mekanlarda ve çeşitli iklimlerde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda dış ortam sıcaklıkları ve ısı adaptasyonun, kişilerin ısı hislerine olan etkisi ile ilgili olarak oldukça önemli bilgiler elde edilmiştir [5]. Isı hissi, kişilerin algısına etki eden birçok parametrenin kombinasyonu ile elde edilmektedir. Bu nedenle konfor koşulları, ölçüm yöntemine bakılmaksızın aynı ortamda bulunan, aynı kültür ve yaşayışa sahip kişilerde bile farklılık gösterebilir. Genel olarak konforlu bir ortam, kişinin vücut sıcaklığının belirli bir aralıkta bulunması, terleme hızının düşük ve fiziksel aktivitesinin minimize edilmesiyle oluşmaktadır. Konfor, bununla birlikte kıyafet durumu, aktivite seviyesi, bulunduğu bölge, pencerelerin açık veya kapalı olması gibi çok farklı durumdan etkilenmektedir [6].

Isı konfor konusu ilk olarak 1970 yılında Fanger tarafından fiziksel parametreler baz alınarak, iklimlendirme yapılan alanlar için değerlendirilmiştir. Fanger yaptığı çalışmada PMV (ısı hissi) – PPD (ısı memnuniyetsizlik yüzdesi) modelini oluşturmuş ve bunu 6 değişkene bağlı olarak hesaplamıştır. Bunlar, metabolizma durumu, kıyafet, iç hava sıcaklığı, ortalama radyan sıcaklık, iç hava hızı ve nem durumudur [7]. Sonraki yıllarda bu yöntem baz alınarak farklı mekan ve iklim koşulları için ISO 7730:2005 [8], ASHRAE 55:2013 [4], CIBSE Guide A:2010 [9], EN 15251:2007 [10] gibi çeşitli standartlar

oluşturulmuştur. Bu standartlarda temel amaç, kullanıcıların konfor koşullarının en uygun şekilde sağlanması, bunun yanı sıra binaların enerji tüketimlerinin en verimli şekilde optimize edilmesidir. Dünyada enerji tüketimi dikkate alındığında konut ve hizmet sektörünün payı gelişmiş ülkeler için %20 ile %40 arasında değişmektedir [11]. Türkiye’de nihai enerji tüketimi göz önüne alındığında ise enerjinin %35’inin konut ve hizmet sektörü tarafından , %34’ünün sanayide ve %25’inin ulaşırmada kullanıldığı görülmektedir (Şekil 1.1) [12].



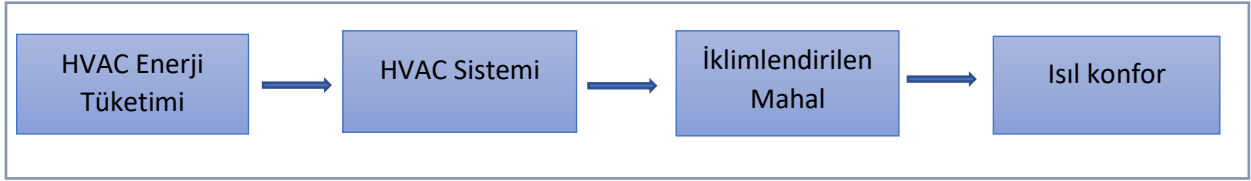
Şekil 1.1: Türkiye’de enerjinin sektörel dağılımı [12].

Tablo 1.1’de verilen konut ve hizmet sektöründeki enerji tüketiminin dağılımı ülkelere göre incelendiğinde ise hastanelerin payının %6 ile %11 arasında olduğu görülmektedir [13]. Bu oran konut sektörü içerisinde az gibi görünse de sadece enerji tüketiminden sağlanacak tasarrufun yanı sıra ısı konfor koşulları açısından da sağlanacak iyileştirmeler açısından hastanelerin daha öncelikli olduğu söylenebilir.

Tablo 1.1: Konut ve hizmet sektöründe enerji tüketiminin dağılımı [13].

Bina Tipi	AMERİKA (%)	İSPANYA (%)	İNGİLTERE (%)
Konutlar	32	22	22
Ofisler	18	33	17
Oteller	14	30	16
Okullar	13	4	10
Hastaneler	9	11	6
Mutfak	6	-	6
Diğerleri	6	-	23

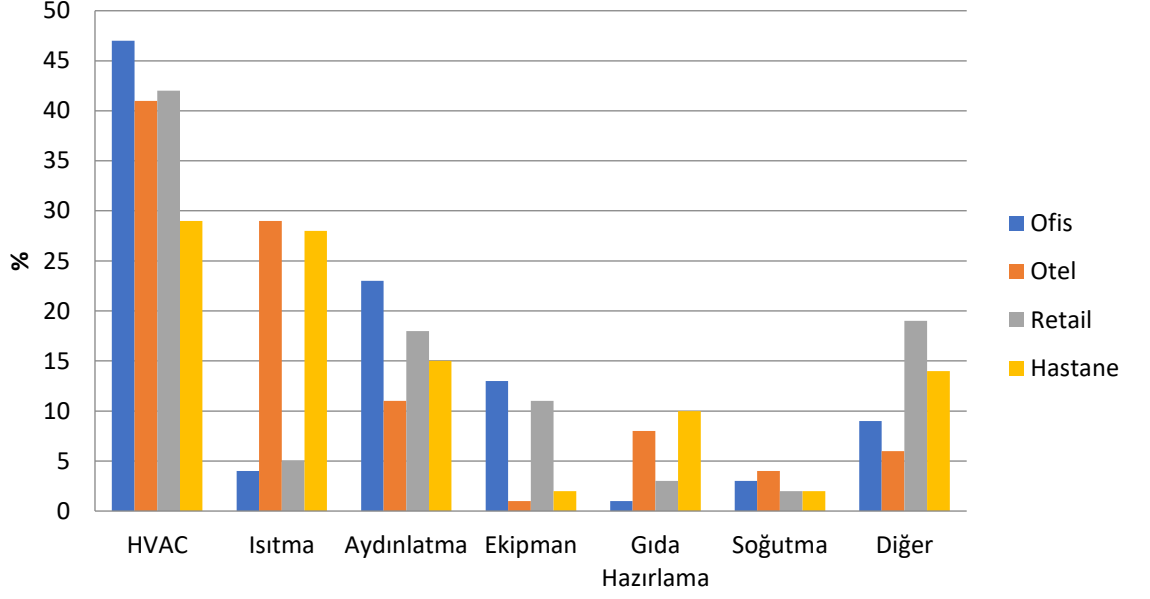
Isıl açıdan konforlu bir ortam oluşturmak için atılması gereken adımların en başında iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin uygun şekilde seçilmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte standartlarda belirtilen konfor koşullarının her zaman ve herkes için sağlanması mümkün olmayabilir veya çok daha fazla enerji tüketimine yol açabilir [8]. Bu nedenle en uygun tasarımların ortaya konulması oldukça önemlidir. Şekil 1.2’de ısııl açıdan konforlu bir ortam oluşturmak için gerekli adımlar verilmiştir.



Şekil 1.2: Isıl konfor koşullarının sağlanması için izlenen adımlar.

Jing Xiong ve arkadaşları [14]’nın yaptığı çalışmada, hastane koşullarının terleme, göz yorgunluğu, baş dönmesi, hızlı soluma ve kalp atış hızlarında artış gibi semptomlara yol açacağı ve bunun önüne geçmek için iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin (HVAC) kontrol ve optimizasyonlarının düzgün ve düzenli bir şekilde yapılmasının ne derece önemli olduğu belirtilmektedir.

Dünyada konut ve hizmet sektöründe enerji tüketimlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı incelendiğinde, en büyük payın HVAC sistemlerinde olduğu görülmektedir. Yine hastaneler için HVAC sistemlerinin enerji tüketimindeki payının %29 olduğu görülmektedir (Şekil 1.3). Yapılan araştırmalara göre bu sistemlerin optimizasyonu ve kontrolü ile %30 ile %70 arasında tasarruf sağlanabilir [15].



Şekil 1.3: Dünyada konut ve hizmet sektöründe enerji tüketiminin kullanım amacına göre dağılımı [16].

1.1 Binalarda Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler

Binalar, toplam enerji tüketiminde çok önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle binalarda enerji tüketimini etkileyen ve neden olan faktörlerin doğru bir şekilde anlaşılması ve analizi oldukça önemlidir [17].

Enerji tüketimine etki eden başlıca faktörler;

- İklim,
- Binanın yeri,
- Bina yükseklikleri ve binalar arası uzaklıklar,
- Bina formu,
- Binanın büyüklüğü, tipi ve fonksiyonu,
- Binanın yönü,
- Binanın planı,
- Bina kabuğu ve malzemelerin özellikleri,
- Pencere ve gölgeleme araçları,
- Kullanıcı davranışlarıdır.

1.1.1 İklim Özellikleri

Binanın bulunduğu yerdeki iklim özellikleri tüketilen enerji miktarını etkileyen en önemli faktörlerdendir [18]. Güneş ışıınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava bağıl nemi ve rüzgâr iklime ilişkin değişkenlerden bazılarıdır. Güneş ışıınımı, bina yüzeyinin birim alanına düşen güneş ısıını ifade eden ve binanın yönüne, yüzey açısına, konumuna, malzeme özelliklerine ve atmosfer koşullarına göre değişiklik gösteren bir parametredir [19]. Aydınlatma gereksinimi, ısıtma-soğutma yükü, elde edilebilecek olan sıcak su ve elektrik enerjisi miktarı ile doğrudan bağlantılıdır. Güneş ışıınımı, hem binalarda gün ışığı ile aydınlatma düzenlemesi hem de ısı konforun denetlenmesi için oldukça önemlidir. Güneş ışıınımından kazanç sağlanması özellikle ısıtma yüklerinin azaltılmasında etkili olabilir [20]. Güneş ışıınımı ayrıca dış hava sıcaklığı ve dış hava hareketlerini büyük miktarda etkilemektedir. Güneşin geliş açısına ve atmosfer koşullarına bağılı olarak değişen dış hava sıcaklığı, binaların ısıtma ve soğutma dönemlerinin belirlenmesini etkileyen önemli iklimsel parametrelerdendir [21].

Nem, binaların iç ortam hava kalitesini ve hissedilen sıcaklığı etkilediği gibi, binaların enerji performansını da etkileyen önemli bir faktördür. Mekân içi nem düzeyinin yüksek olması, sıcak ya da soğuk havanın etkilerini artırır. Nem düzeyinin düşük olması ise çok kuru bir hava oluşturarak, olumsuz konfor koşullarına sebep olur [22]. Bu nedenle nem, ısı konfor için dikkate alınması gereken bir etmendir. Nem, sadece insanlar için değil, binalar için de olumsuz şartlar oluşturabilir. Nem iç-dış ortam arasında geçişkenlik gösterir [23]. Bu geçiş sırasında üzerinde biriktiği yapı malzemesini yıpratır ve ısı dirençlerinde azalmaya sebep olabilir. Binaın yeri, yönü, konumu ve formuna göre değişkenlik gösteren rüzgârın enerji tüketimi üzerinde olumlu-olumsuz etkileri bulunmaktadır [19]. Örneğin rüzgârın, yazın serinletici ve nem azaltıcı etkisinden yararlanılırken, kışın bina kabuğundan ısı kaybını artırıcı etkisi vardır ve binanın rüzgardan korunması gerekmektedir [24].

1.1.2 Binaın Yeri

Coğrafik özellikler, enlem, boylam ve deniz seviyesinden yükseklik (rakım), binanın yeryüzündeki konumunu belirlemektedir. Bir binanın konumu, enerji tüketimini etkileyebilir. Güneş ışıınımı, rüzgar, sıcaklık ve nem gibi bir bölgenin iklim verileri binanın iç ortam koşullarının kalitesini belirlemektedir. Güneş ışıınımı, binanın ısıtma ve aydınlatmasında ana parametrelerdendir. Binaın bulunduğu arazinin eğimi, güneş ışıınımının geliş açısını etkiler. Bundan dolayı, binanın gün ışığını kullanmasında binanın yeri büyük önem taşımaktadır. Sıcak bölgelerde güneş kontrolünün sağlanması ile soğutma

yükleri azaltılabilir. Soğuk iklim bölgelerinde ise, rüzgar ısı kaybını arttırsa da sıcak bölgelerde buharlaşma ile soğutma etkisi vardır [25].

1.1.3 Binanın Büyüklüğü, Tipi ve Fonksiyonu

Bir binanın büyüklüğü, tipi ve fonksiyonu; kullanım durumu, binalar ve enerji tüketimleri arasındaki ilişkiyi temsil eden faktörlerdir [26]. Bina büyüklüğü ve tipi kullanıcı ihtiyaçlarına göre belirlenmelidir. Belirlenen büyüklüğe göre de aydınlatma, HVAC sistemi ve inşaat maliyeti dikkate alınmalıdır. Küçük binaların yapım süreci büyük binaların yapım sürecine kıyasla, daha az enerji ve maliyet gerektirmektedir. Ancak, bu tür binalarda uygun olmayan malzemeler kullanılırsa ve yüzey alanı/hacim oranı yanlış ise, büyük binalarda olduğu gibi yüksek miktarda enerji tüketilebilir [27].

Binalar; ofis, laboratuvar, konferans salonu, hastane, okul gibi çeşitli fonksiyonlar için kullanılmaktadır. Binalarda ofisler, sınıflar ve ortak mekanlar genelde laboratuvarlara kıyasla daha az enerji tüketir. Çünkü havanın bir kısmı bina boyunca sirküle edilmektedir. Havanın sirkülasyonu, havanın daha az şartlandırılmasına (ısıtma ve soğutma) olanak sağlar ve daha az enerji kullanılmasını sağlar [28].

Diğer taraftan, laboratuvarlar, sterilize alanlar gibi özel bölgelere sahip olduğundan genellikle daha fazla enerji kullanır, çünkü normal binalardan çok daha fazla havalandırmaya ihtiyaç duyarlar ve hava devir daim yaptırılmaz. Bazı bölümlerde giren havanın % 100'ü dış hava (taze hava) olması gerekir ve daha sonra binayı egzoz sistemlerinden tamamen terk etmesi gerekebilir. Bu havayı fanlarla hareket ettirmek, ısıtıp soğutmak da enerji açısından yoğun bir işlemdir.

1.1.4 Bina Yönü

Bir binanın yönlendirilmesi yalnızca topografik koşullara adaptasyon, mahremiyet, gürültü kontrolü ve manzara için değil, aynı zamanda güneş kazancı ve korunumu, gün ışığı ve doğal havalandırma gibi gereksinimleri karşılamak açısından önem teşkil etmektedir. Binaya doğrudan gelen güneş ışınım miktarı, binanın yönlendirme durumuna göre değişmektedir. Farklı yönler bakan cephelerin güneş ışınım şiddetleri de farklıdır [29]. Buna göre güneş ışığından maksimum yararlanabilmek ve yüksek bir ısı kazancı elde etmek için binanın ana cephesi güney yöne bakmalıdır ve bu cephede büyük pencereler bulunmalıdır. Soğuk iklim bölgelerinde ise, binanın kuzey cephesinde oluşan ısı kayıplarını önlemek için yalıtılmış duvarlar ve çok katmanlı, küçük pencereler olmalıdır [30]. Güneş kontrolünün zor

olmasından dolayı ana cephe, doğu veya batı yöne bakmamalıdır. Bu yönlere konumlanan açıklıklar için de gölgeleme araçları kullanılmalıdır [31].

Binanın yönü rüzgarın binaya alınma durumunu da etkilemektedir. Rüzgar, bina yüzeylerinden gelen ısı kayıplarını artırır, bu yüzden bina tasarım sürecinde hakim rüzgar yönü dikkate alınmalıdır. Rüzgarın serinletici etkisinden faydalanmak istenilen bölgelerde hakim rüzgar yönü bina yönlendirilme durumu için temel alınır. Hakim rüzgar doğrultusunda binanın yönlenmesi iç mekanın havalandırılmasını da etkiler. Yaz mevsiminde rüzgâr, doğal havalandırma ve soğutma sağladığı için soğutma sisteminden kaynaklı enerji tüketimini azaltabilir [32].

Sonuç olarak binanın yönlendiriliş durumuna göre farklılık gösteren özellikle güneş ışınımı ve rüzgâr, yapının enerji performansına doğrudan etki etmektedir. Doğru yönlenme ile doğal koşulların avantajlarından yararlanılarak enerji tüketimi azaltılabilir ve iç konfor koşulları iyileştirilebilir.

1.1.5 Binanın Planı

Binaların plan şeması bir başka ifadeyle mekân konumu, enerji tüketimini etkilemektedir. “Alman Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yapılan bir araştırmada, enerji tüketimi açısından, mekânların plan organizasyonundaki yerinin yönlendirilmesinden daha etkili olduğunu açıklanmaktadır.” [33].

Mekânların kullanım süreleri ve işlevlerine, enerji etkin planlama açısından dikkat edilmelidir. Mekân organizasyonunda odaların yeri, yönelişi, kullanım süresi ve işlevi göz önüne alınarak yapılmalıdır. “Gün içerisinde bazı mekânlar (Yaşama mekânı, mutfak, çalışma odası ve kütüphane) sık kullanılırken; yatak odası, koridor, banyo, çamaşır odası, garaj ve depo gibi mekânlar daha az kullanılmaktadır.” Buna göre binada az kullanılan mekânlar kuzey cephesine, çok kullanılan ve daha fazla ışık istenilen mekânlar güney cephesine yerleştirilmelidir. Böylece enerji verimliliği açısından doğru bir planlama yapılmış olur [29].

Ayrıca “bina içerisinde ısıtma ihtiyacı daha fazla olan mekânlar doğrudan dış cephede konumlandırılmak yerine, daha az ısıtma ihtiyacı olan mekânlar tampon bölge olarak konumlandırılarak, enerji korunumu sağlanabilir.” Tampon bölgeler; camanlı geçitler, seralar, garajlar, bodrum katları ve koridor gibi ısıtılmayan bölgelerden oluşabilir. Tampon

bölgeler ayrıca yazın iç mekânları gölgeleyerek yüksek sıcaklıkları engellediği, kışın ise iç mekânların soğuma süresini uzattığı için önemlidir [34].

Bir binanın plan şeması oluşturulurken, enerji tüketimine etki eden doğal havalandırmaya da dikkat edilmesi gerekir. Odaların karşılıklı yerleştirilmeleri doğal havalandırmayı kolaylaştırabilir. Bu da kullanıcı konforunun sağlanmasına ve enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlar.

1.1.6 Bina Kabuğu ve Malzemelerin Özellikleri

Opak ve saydam bileşenlerden oluşan bina kabuğu, dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayırıcı bir görev görmektedir. Duvarlar, pencereler, kapılar ve zeminler gibi binayı dış ortamdan ayıran ve ısı enerjisinin iç-dış ortama geçişini sağlayan bileşenleri içermektedir. Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, dış ortamdan içeriye etki eden iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklıklarının değişiminde etkili olmaktadır. Yani iç ortamın iklimsel koşulları bina kabuğundan kazanılan veya kaybedilen ısı miktarlarına göre değişmektedir. Bu nedenle iç ortamda istenen iklimlendirmenin sağlanması, harcanacak enerji miktarını etkileyebilir [35].

Bina kabuğunun enerji korunumu açısından verimliliğini sağlamak için malzeme kullanımı dışında farklı uygulamalar geliştirilmektedir. Buna örnek çift kabuk uygulamalarıdır. Çift kabuk uygulamaları sayesinde enerji korunumu açısından çok önemli olan iç ve dış mekân arasındaki hava kaçakları azaltılabilir.

Enerji verimli bir malzeme kullanımı da binalarda harcanacak enerji miktarını etkileyebilir. Enerji verimli ve dayanıklı olarak tanımlanan malzemeler doğadan sağlanır ve çevresel sorunlara çok fazla neden olmazlar. Bu malzemelerin hammadde olarak çıkartılmasından yapı malzemesi olarak kullanılacak aşamaya kadar harcanacak enerjinin az olması binalarda toplam enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilir. Ahşap, bambu, ayçiçek sapı gibi yenilenebilir malzemeler doğadan yerel olarak sağlanabilir ve daha az enerjiyle işlenebilir. İşgücü ve enerji tasarrufu yanında, bu malzemeler doğal kaynakların korunmasına yardımcı olmaktadır [36].

Bina kabuğunun saydam yüzeylerinin malzemesi, dış ortam koşullarını istenilen şekilde iç ortama aktaracak renk ve özellikte olmalıdır. Bina kabuğunun duvar, zemin gibi opak bileşenlerinin yansıtma ve yutuculuk özellikleri yüzey rengine bağlıdır. “Dış yüzey rengi

sıcak iklimlerde açık renkli, soğuk iklimlerde koyu renkli seçilmesi daha uygundur”. Doğru renkte ve özellikle malzeme kullanımı ile kabukta meydana gelen ısı kayıpları ve kazançları istenilen düzeyde olabilir.

1.1.7 Pencere ve Gölgeleme Araçları

Cam yüzeylerin boyutu ve yeri, binalarda enerji tüketimini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Binalardaki cam yüzeylerin boyutu, yönü, geçirgenliği ve pencere çerçeve tipi, ışık ve ısı açısından binaların enerji verimliliğini artırabilir veya azaltabilir. Binalarda oluşan ısı kayıplarının başlıca kaynağı pencerelerdir. Binalardan kaynaklanan ısı kayıplarını azaltmak için yüksek performanslı camlar kullanılmalıdır [37].

Persson ve Grönkvist [38], binalar üzerinde yaptıkları çalışmada, pencere büyüklüklerinin kullanılan cam özelliklerine bağlı olarak kış şartlarında ısıtma için çok etkili olmadığını fakat yaz aylarında soğutma talebi için daha fazla ilişkili olduğunu belirtmektedirler. Güneye bakan pencerelerin boyutu, aşırı ısınmayı önlemek ve soğutma yüklerini en aza indirmek için optimum boyutlarda belirlenmelidir.

Pencerelerde kullanılan camların termofiziksel özellikleri de yüzey alanı ve yönü kadar önemlidir. Isı kazanç ve kayıp miktarını etkileyen bir faktördür. Işık ve ısı kontrolünde kullanılan camlar genellikle ısı emici renkli camlar, yansıtıcı camlar, aynalı camlar, akıllı camlar ve polyester film kaplamalı camlardır [35].

İç mekân için gereken ışık ve sıcaklık seviyesi, pencereler ile birlikte gölgeleme araçları kullanılarak da ayarlanabilir. Mevsimsel ve saatlik güneş açıları, güneşten doğrudan gelen ışığın yansımaları için belirleyicidir. Sabit ve hareketli gölgelendirme araçları, güneş kontrolünde yüksek bir performans sergileyebilir. Panjurlar, storlar, tenteler, jaluzi ve perdeler ile derin balkonlar, yatay saçaklar, dikey güneş kırıcılar-kanat duvarları, dikey ve yatay bileşenlerin birleşimi olan kompozit elemanlar güneş kontrolü için kullanılmaktadır [39].

1.1.8 Kullanıcı Davranışı

Enerji tüketimi, kullanıcı davranışı ve yaşam standartlarıyla yakından ilişkilidir. Kullanıcı davranışı sosyal ve ekonomik faktörlerle belirlenebilir. Enerji tüketimini etkileyebilecek bu faktörler gelir düzeyi, eğitim, yaş, cinsiyet, giysi türü, aktivite düzeyi ve diğer demografik farklılıklar olarak sıralanabilir.

Çin'de yapılan çalışmalar, kullanıcı yaşının gelirden daha önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Mevcut araştırmaların aksine, kullanıcının yaşı ile enerji tüketimi arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. Yaşlılar, gençlerden daha tutumlu bir davranış modeli sergilemektedir. Ayrıca bu araştırma, kullanıcının sosyo-ekonomik ve davranış değişkenlerinin ısıtma ve soğutma enerji tüketimindeki değişimin %28,8'ini açıklayabildiğini ortaya koymaktadır [40].

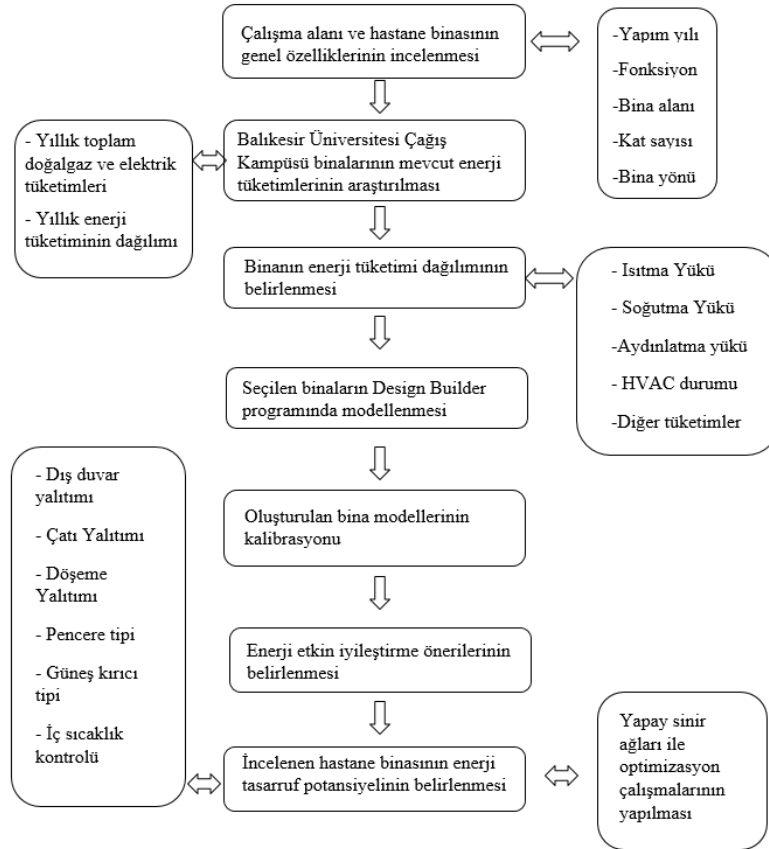
Atina'nın büyük bir bölümünde yapılan incelemelerde Sakka ve arkadaşları, kullanıcı gelirinin enerji tüketimini dolaylı olarak etkileyen önemli bir belirleyici olduğunu bulmuşlardır. Düşük gelirli insanların, zayıf bina kabuğuna sahip eski binalarda yaşıyor olması daha muhtemeldir. Kişi başına ve birim alan başına düşen maliyet, hem ısıtma hem de elektrik için düşük gelir grubunda çok daha yüksektir [41]. Yüksek gelir düzeyi ise daha yüksek konfor koşulları ve aşırı enerji tüketimiyle ilişkilendirilebilir.

Botswana ve Güney Afrika'nın sıcak ve kuru iklim bölgelerinde, en az beş ayrıntılı enerji denetimi gerçekleştirilmiştir. Bu incelemeler, mesai saatleri dışındaki zamanlarda (%56) mesai saatlerinden (%44) daha fazla enerji tüketildiğini ortaya koymaktadır. Bu, genellikle kullanıcıların, gün sonunda ışıkları ve ekipmanları kapatmama davranışından ve kısmen de kontrollerin zayıf olmasından kaynaklanmaktadır [42]. Bina sakinlerinin ışık ve ekipmanları kullanmadıkları zaman kapatmayı öğrenmelerine ihtiyaç vardır. Bunun için kural: "İhtiyacınız yoksa kullanmayın!" Bu kural enerji tasarrufları arasında en basit ve en ucuz olanıdır [43].

1.2 Tezin Amacı

Bilindiği gibi konfor koşullarının mekanik sistemlerle kontrol edildiği hastanelerde, bakteri üreme olasılığının ve enfeksiyon bulaşma riskinin fazla olması nedeniyle bu sistemlerin kontrolünün dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu koşulların sağlanması aşırı enerji tüketmek koşulu ile oldukça kolaydır. Ancak amaç, minimum enerji tüketimi ile konfor koşullarını sağlamaktır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde ısı konfor koşullarının sağlanmasına yönelik çalışmalara sıkça rastlanmaktadır ve bu çalışmaların bir kısmının hastanelerde olduğu görülmektedir. Ancak ülkemizde, hastanelerde ısı konfor koşullarına yönelik uluslararası bir yayına rastlanmamıştır. Binalarda enerji tüketimlerinin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde ise genel olarak ofis ve eğitim binalarına yönelik çalışmalara sıkça rastlanmıştır. Hastanelerde yapılan çalışmalarda ise ısı konfor koşulları dikkate alınmaksızın, standartlarda verilen değerler ile karşılaştırılmalar

yapılarak enerji tüketim parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde enerji tüketimleri arasında önemli bir paya sahip olan aynı zamanda ısıl konfor parametrelerinin sağlanmasının oldukça önem arz ettiği hastanelerin HVAC sistemlerinin optimizasyonu amaçlanmaktadır. Optimizasyon yapılırken öncelikli amaç kullanıcıların ısıl konfor tercihlerinin dikkate alınması ve buna bağlı olarak elde edilebilecek enerji tasarruf miktarlarının belirlenmesidir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4: İzlenen yöntemin akış diyagramı.

2. LİTERATÜR

Bu bölümde ısı konfor ve HVAC sistemlerinin optimizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

2.1 Isıl Konfor Çalışmaları

Teli ve arkadaşları [44] Southampton'da bulunan ilkokullarda 7-11 yaş arasındaki 230 çocuk üzerinde yaptıkları çalışmada, Nisan-Temmuz döneminde uyguladıkları 1314 anket ile çocukların ısı konfor konusundaki algılarını ve ortam koşullarının oluşturduğu yorgunluk hissini tespit etmişlerdir. Sonuçları ISO 7730 ve EN 15251 standartlarına göre değerlendirip, yorgunluk hissini ısı konfor ile oluşmadığını, iç hava kalitesinin bu duruma yol açtığını ortaya koymuşlardır. Yine yapılan ölçümler ile çocukların verdiği cevaplar karşılaştırıldığında PMV değerlerinin, AMV değerlerinin altında kaldığını belirlemişlerdir.

Buratti ve Ricciardi [45], İtalya'da bulunan Perugia, Terni ve Pavia üniversitelerinin sınıflarında sonbahar, kış ve ilkbahar dönemlerinde uyguladıkları anketler ile ölçüm sonuçlarını karşılatırmışlar ve PMV değerleri ile eşdeğer uniform sıcaklık ve konfor sıcaklığı arasındaki farkı tespit etmeye çalışmışlardır. Ölçüm sonuçlarının anket sonuçlarına göre korelasyon katsayısının daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Shaharon ve Jalaludin [32] Malezya'da yaptıkları çalışmada, düşük enerjili ofis binalarında, çalışanların bulunduğu ortam kalitesi ve konforunu tespit etmeye çalışmışlardır. Düşük enerjili binaların ortaya çıkmasından sonra ısı konfor koşullarının sağlanması, kullanıcıların rahatsız olduğu durumların önlenmesi ve kötü koşulların kullanıcı performansları üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle konfor standartlarında revizyon gerektiğini söylemişlerdir. Yaptıkları ölçüm ve uyguladıkları anketlerle, ısı konfor sıcaklığının 21.6-23.6°C ve nem oranının %42-%54 arasında olduğunu ortaya koymuşlar ve bu değerlerin ISO 7730 [8] ve ASHRAE 55 [4] standartlarına uygun olduğunu göstermişlerdir.

Conceição ve arkadaşları [46] geliştirdikleri adaptif ısı konfor modeliyle, ılıman iklime sahip Portekiz'de bulunan kreşlerde yaptıkları çalışmada, yaz ve kış dönemi boyunca doğal ve mekanik havalandırma koşulları altında, yaz dönemi için kişilerin ölçülen PMV değerinden daha sıcak hissettikleri, kış dönemi için ise ölçülen PMV değerinden daha soğuk hissettiklerini ortaya koymuşlardır. Ayrıca dış hava sıcaklığının iç ortam ısı konforuna etkisini açıklamışlardır.

Fabbri [47], ISO 10551 standardında belirtilen soruları 4 ve 5 yaş aralığındaki çocuklara uygulayarak, o yaş gurubunun ısı konfor bakımından konforlu hissettikleri ortamı tanımladıklarını ve anladıklarını ortaya koymuştur. Ancak çocukların PMV algılarının yetişkinlere nazaran daha yüksek olduğunu söylemiştir. Benzer şekilde Yun ve arkadaşları [48] çocukların metabolizma ve kıyafet durumunun ısı konfora etkisi konusunda EN 15251 [10] standardını baz alarak yaptıkları çalışmada, çocukların yetişkinlere göre daha duyarlı olduğunu ve daha düşük sıcaklıkları tercih ettiklerini söylemişlerdir.

Wang ve arkadaşları [49] 2000-2001 kış döneminde Kuzey Çin'in Harbin kentinde bulunan konut binalarının ısı çevre ve konforunu incelemiştir. 120 kişiye anket düzenlemiştir. Fiziksel ölçümler için iklim analizörü ve ısı konfor metre kullanmıştır ve bu verileri kullanarak PMV ve PPD değerlerini hesaplamıştır. Erkeklerin kadınlara göre sıcaklık değişimlerinden daha az etkilendiği ve nötr operatif sıcaklığın erkekler için kadınlardan 1°C daha düşük olduğu hesaplanmıştır.

Deb ve Ramachandraiah [50], Güney Hindistan'da bulunan büyük ve önemli bir tren istasyonundaki yolcuların ısı konforu üzerine Haziran ayı için çalışmışlardır. 15 gün boyunca tren istasyonunda çeşitli ölçümler yapılmıştır (hava sıcaklığı, küresel sıcaklık, hava hızı ve çatı yüzey sıcaklığı) ve aynı zamanda seçilen 402 yolcuya anket uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre yolcular, iç ortam koşullarına karşı yüksek tolerans kapasitesine ve uyuma sahiptir.

Öngel ve Mergen [23] çalışmalarında, insan vücudunun ısı dengesini belirleyen faktörleri; vücudun fizyolojik ısı denge mekanizmaları, kişisel ve çevresel faktörler olarak üç ana başlık altında toplamışlardır. Kişisel faktörlerin, bireylerin kendileri tarafından kontrol edilirken; çevresel faktörlerin dışarıdan saptanarak karşılanması gerektiğini, kişisel faktörlerin başında vücut yüzey alanı, giyinme ve aktivite gelirken; hava sıcaklığı, nemi ve hızının çevresel faktörlerin başında geldiğini söylemişlerdir. Ayrıca çevresel faktör olarak havanın kalitesi de önemlidir. Ana başlıklar halinde gruplandıkları bu faktörler çalışmada detaylı olarak irdelenmeye çalışılmış, sağlık sorunlarını en az indirmek için binaların uluslararası ısı konfor standartları olan ISO 7730 [8] ve ASHRAE-55 [4] standartlarına göre düzenlenip inşa edilmesi gerektiğini savunmuşlardır.

Hwang ve arkadaşları, 10'u doğal havalandırmalı ve 26'sı HVAC sistemine sahip olmak üzere Tayvan'da bulunan 7 farklı üniversite sınıflarında yaptıkları çalışmada, bağıl nemin öğrencilerin ısı hisleri üzerinde etkisinin olmadığını söylemişlerdir. Öğrencilerin

cevaplarına göre kabul edilebilir konfor koşullarının daha dar bir aralıkta olduğu ortaya konulmuştur [51]. Yaptıkları bir diğer çalışmada, Tayvan için, öğrenci yurtları ve üniversite sınıflarında genel olarak tercih edilen sıcaklıkların aynı olduğunu tespit etmişlerdir [52].

Mendes ve arkadaşları [53], Portekiz’de bulunan 22 yaşlı bakım merkezinde yaptıkları çalışmada, iç hava kalitesi ve ısı konfora etki eden parametreleri ölçümlerle ortaya koymuşlardır. Bir yıl boyunca yaz ve kış olmak üzere 2 defa yapılan ölçülerde toplam 141 örnek toplanmıştır. Bağlı nem ve PPD indeksinin en çok yalıtım, duvar tipi ve pencere tipi gibi bina karakteristiklerinden etkilendiğini söylemişlerdir.

Geva ve arkadaşları [54], Tel Aviv’de 1996 yılında İsviçreli mimar tarafından inşa edilen sinagogda yaptıkları çalışmada, kurak yaz döneminde ısı konforsuzlukların meydana geldiğini söylemişlerdir. Simülasyon çalışmaları ve ölçümler sonucunda bunun nedeninin mimarın İsviçre’deki iklim koşullarını baz alarak tasarlama yapmasından kaynaklandığını ortaya koymuşlardır. Ancak tasarımın, semboller ve inançlar konusunda gerekli hassasiyeti gösterdiğini söylemişlerdir.

Alfano ve arkadaşları [55] yaptıkları çalışmada, kişilerin sağlık ve performansına doğrudan etki etmesi nedeniyle ısı konforun çevresel konfor konusunda en önemli parametre olduğunu savunmuşlardır. Bu koşulların sağlanması için HVAC sistemlerinin uygun tasarlanması ve kontrolünün sağlanmasının gerektiğini ancak bu durumun kolay olmadığını söylemişlerdir. Özellikle HVAC sistemleri tasarlanırken standartların doğrudan kullanılmasının doğru olmadığını, bölgesel farklılıklar gösterebileceğini ve bu durumun konfor parametreleri üzerinde istenmeyen etkiler oluşturacağını söylemişlerdir. Yapılabilecek iyileştirmeler ile sağlanacak enerji tasarrufunu ve ısı konfor koşullarının daha iyi seviyelere getirilmesine yönelik tavsiyelerde bulunmuşlardır.

2.2 Hastanelerde Yapılan Isıl Konfor Çalışmaları

F. Azizpour ve arkadaşları [56], tropikal iklimde bulunan Malezya Kebangsaan üniversite hastanesinde yaptıkları çalışmada PMV değerlerini 10 mahal için +0.7 olarak hesaplamışlar ve bunun ASHRAE-55 [4] standartlarının üzerinde olduğunu söylemişlerdir. Çalışmada, ASHRAE standartlarında belirtilen; clo (kıyafet durumu) değerlerini 0.6 ve aktivite durumlarını 1.2 kabul etmişlerdir. F. Azizpour ve arkadaşları yaptıkları diğer bir çalışmada Malezya’da bulunan dört farklı hastane için ısı konfor koşullarının ASHRAE 55 standartlarına uygunluğunu tespit etmeye çalışmışlardır. 114 kişiye uyguladıkları anketler

ile katılımcıların %44'ü konfor standartlarına uyarken, diğer katılımcıların bu değerlerin dışında kalmıştır. Bu durum göz önüne alındığında Malezya için ısı konfor koşullarının ASHRAE 55 [4] standartlarından daha yüksek sıcaklıklarda olduğu söylemişlerdir [57]. Yine aynı bölgede Yau ve Chew'in yaptıkları çalışmada, hastanede bulunan kişilerin sadece %49'unun termal koşullardan memnun olduğunu ve bu nedenle ASHRAE 55 [4] standardının bu bölge için daha yüksek konfor sıcaklıklarında uygulanması gerektiğini söylemişlerdir [58]. Yau ve Chew bu konudan yola çıkarak dokuz farklı bölge hastanesinde, çalışan personeller için yeni bir konfor sıcaklık modeli oluşturmuşlardır [59]. Ruey-Lung Hwang ve arkadaşları [60], Tayvan üniversite hastanesinde ASHRAE 55 [4] standardının uygulanabilirliğinin tespiti için anket ve analiz çalışması yapmışlardır. Ölçümlerin sadece %40'ı standartlara uyarken %47'sinde ısı konfor koşulları nem açısından daha yüksek bulunmuştur. Bölgesel olarak Tayvan'da, ASHRAE 55 standardında verilen nem değerlerinin artırılması ile standardın adapte edilebileceği savunulmuştur. Niklas Fransson ve arkadaşları, hastaneler için yaptıkları çalışmada ASHRAE 55 standardının uygulanabilirliğini araştırmışlar, ölçüm ve anket uygulamaları ile değerlendirmelerde bulunmuşlardır [61].

A. Pourshaghaghay ve M. Omidvari [62], Kermanshah şehir hastanesinde yaptıkları çalışmada, bazı odaların termal konfor koşulları için ISO 7730 [8] standartlarına uymadığını ve özellikle kış ayları için PMV değerlerinde sorunlar olduğunu söylemişlerdir. Anket ve ölçümler sonucu yaptıkları bu değerlendirmede, kış ayları için cam ve kapıların yalıtılmasının, yaz ayları için perde kullanılmasının gerekliliğini göstermişlerdir. R. Van Gaever ve arkadaşları [63], Belçika'da bulunan 4 büyük hastane için ameliyathanelerde yaptıkları çalışmada, enfeksiyon risklerinin azaltılması için ısıtma, iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin teknik standartlara göre kontrol edilmesi gerektiğini ve ısı konfor koşullarının sağlanması gerektiğini söylemişlerdir. Ancak ISO 7730'a göre düzenlenen ısı konfor koşullarının ve HVAC standartlarının sadece operasyonu yapan ekip için uygun olduğunu, aynı standartlarda hemşirelerin üşüdüğünü ve anestezi uzmanlarının daha uzun kıyafetlere ihtiyaç duyduğunu ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak ortam sıcaklığı ve hava akım hızındaki değişimler ile tüm personel için uygun konfor koşullarının sağlanabileceğini savunmuşlardır.

Jing Xiong ve arkadaşları [14], laboratuvar ortamında 24 gönüllü katılımcı ile yaptıkları çalışmada ani sıcaklık değişimlerinin sağlık problemleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Katılımcıların bulunduğu ortam sıcaklıkları ani olarak; 32°C-37°C-32°C, 26°C-37°C-26°C

ve 22°C-37°C-22°C olmak üzere değiştirilmiştir. Sonuç olarak kişilerde, terleme, göz yorgunluğu, baş dönmesi, hızlı soluma ve kalp hızlarında artış tespit edilmiştir. Bu durum özellikle hastaneler için düşünüldüğünde hasta odaları, ameliyathane gibi ortamların hastanede bulunan diğer bölümler ile farklı sıcaklıklarda olması ve özellikle personelin bu ortamlar arasında çalışması ciddi sorunlar doğurabilir.

Short ve arkadaşları [64] yaptıkları çalışmada, BSEN15251 [65] standardının önemini vurgulamışlardır. ASHRAE-55 [4], CIBSE [9] ve BSEN [66] standartları arasında yaptıkları karşılaştırmada BSEN için diğer standartlara göre, ısı konfor açısından farklı kullanıcılara da hitap ettiğini, tek kişilik hastane odalarında farklı ısı konfor koşullarının sağlanabileceğini bu sayede enerji verimliliğinin geliştirilebileceğini söylemişlerdir. İklim değişikliklerine göre BSEN15251 standardının adaptasyonu sayesinde hastane ısı konfor standartlarının daha iyi hale geleceğini savunmuşlardır.

Zhongping Lin ve Shiming Deng [67] ısı konfor ölçümlerinin genelde gündüz yapılması ve standartların sadece çalışma saatlerini kapsamaması nedeniyle, hastaneler ve otel odaları gibi gece de iklimlendirmenin devam ettiği yerler için farklı bir yaklaşım önermişlerdir. Fanger'in teorilerini kullanarak, yatan kişiler için yatağın oluşturduğu ısı yalıtımını göz önüne almışlardır. İşletme sıcaklıklarının yatan kişiler için 5.3°C azaltılabildiğini söylemişlerdir.

Zhongping Lin ve Shiming Deng [68] yaptıkları diğer bir çalışmada, Hong Kong hastanelerinde yatan hastalar için clo değerlerini hesaplamışlardır. Çeşitli ölçümler sonucundan yatağın örtü durumunu, cinsine ve örtünme oranına göre 0.90 ile 4.89 arasında değişen clo değerlerini bulmuşlar ve tablo olarak vermişlerdir. Ancak çalışmada, terleme ve nem durumunu göz ardı etmişler ileride yapılacak çalışmalarda bu konulara dikkat edilmesi gerektiğini söylemişlerdir.

2.3 HVAC Sistemlerinin Enerji Tüketimlerinin Azaltılmasına Yönelik Yapılan

Çalışmalar

Vakıf ve arkadaşları, HVAC sistemlerinde enerji tasarrufuna yönelik yapılmış çalışmalar hakkında bir literatür taraması hazırlamışlardır. Bu sistemlerdeki enerji tüketiminin artışının fosil yakıt kullanımının ve çevresel kirliliğin artışına yol açtığını söylemişler ve yapılabilecek enerji tasarrufları için farklı yaklaşımları incelemişlerdir. Özellikle mevcut HVAC sistemlerinin tekrar konfigürasyonu ile enerji verimliliğinin

arttırılabileceğini ya da yeni teknolojilerin kullanılması ile HVAC performanslarının iyileştirilerek enerji tüketiminin azaltılabileceğini söylemişlerdir [21].

Teke ve Timur [69] yaptıkları çalışmada, büyüyen enerji talebi ve giderek artan nüfus nedeniyle enerji kullanımının öneminden bahsederek, fosil yakıt tabanlı kaynakların daha etkili kullanılması gerektiğini söylemişlerdir. Araştırmalara göre üretilen enerjinin yaklaşık %6'sının kamu binaları tarafından kullanıldığının ve özellikle hastaneler için bu oranın içerisindeki en büyük payın HVAC sistemleri olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada bu sistemler için pratik enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda önerilerde bulunmuşlardır. VRF sistemlerinin HVAC sistemlerine göre daha verimli olduğunu savunmuşlardır.

He ve arkadaşları [70] yaptıkları çalışmada, veri toplama yaklaşımı ile ısı konfor koşullarını koruyarak, HVAC sisteminin enerji tüketiminin minimize etmeye çalışmışlardır. İç ısı kazançları, kullanıcı durumuna göre belirlenmiştir. Ölçülerek ve simülasyon sonuçları ile elde edilen veriler, çok katmanlı algılayıcı algoritma kullanılarak modellenmiştir. Veri toplama yaklaşımında ise HVAC sisteminin kontrol ayarları ve eski tüketim verilerine bakılarak, ileride oluşacak performans durumlarının ön izlemesinde kullanılmıştır. Optimizasyon sonuçlarını simülasyon modeli ile karşılaştırmışlardır.

Petri ve arkadaşları [71], HVAC enerji tüketiminin ve oda sıcaklıklarının minimizasyonu konusunda çalışmışlardır. Veri toplama yaklaşımı ile ticari binalarda topladıkları iç ve dış parametreleri yapay zekâ yöntemi kullanarak çözmüşlerdir. Deney sonuçlarına göre parçacık sürü optimizasyonu ve harmonik araştırma algoritmasının en uygun optimizasyon modelleri olduğunu söylemişlerdir. Sonuç olarak, enerji ile aynı zamanda oda sıcaklıklarında sağlanabilecek azalma sadece enerjinin optimize edilmesi yönündeki çalışmalardan daha faydalı olduğunu belirtmişlerdir.

Lombard ve arkadaşları [13] çalışmalarında, HVAC sistemlerinin enerji tüketiminin binalarda enerji tüketiminin yaklaşık %10-%20'sine karşılık geldiğini, ancak bu enerji tüketimine rağmen HVAC sistemlerinin karmaşık yapısının bu sistemlerin enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik çalışmaları zorlaştırdığını söylemişlerdir. HVAC sisteminden ısı konfora kadar olan akış diyagramını ortaya koyarak, yararlı ısıtma veya soğutmanın ısı konforun sağlanmasındaki rolünü araştırmışlardır.

Cho ve arkadaşları [72] çalışmalarında, HVAC sistemlerinin optimum dizayn parametrelerini belirlemek, ısı yükleri ve enerji tüketimini minimize etmek amacıyla, ısıtma-soğutma yükleme oranlarını kullanarak, çift yönlü sistematik bir yöntem

geliştirmişlerdir. Simülasyonlarda toplam 384 HVAC sistem kombinasyonu ve alternatif bina modelleri kullanarak ısıtma-soğutma yüklenme oranları ile HVAC sistemleri arasındaki enerji tüketimlerinin korelasyonunu incelemişlerdir. Sonuç olarak ısıtma ve soğutma sistemlerinin veriminin optimum bina tasarımlarına etki ettiğini, binalarda bulunan aktif ve pasif enerji tüketimlerinin dikkate alınması gerektiğini söylemişlerdir.

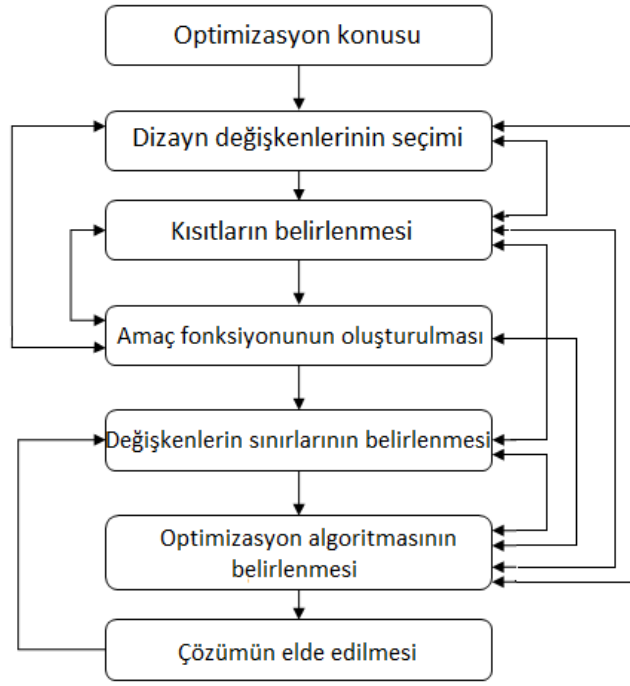
Congradac ve arkadaşları [73], ICT programı kapsamında hastanelerde enerji verimliliğini arttırmak için mevcut farklı teknolojilerin kullanımını karşılaştırmışlardır. Enerji tüketimini hesaplarken, akıllı kontrol sistemlerini kullanmışlar ve en yüksek enerji verimliliğinin elde edildiği yöntemi ortaya koymuşlardır.

Ascione ve arkadaşları [74], sağlık kuruluşları için iklimlendirme sistemlerine olan enerji talebini araştırmışlardır. Sağlık kuruluşlarını farklı ve sürekli değişken ortam koşulları bulundurması, hijyenik ortamlara sahip olması ve ortam sıcaklıklarının ve neminin dar bir aralıkta ayarlanması nedeniyle yüksek enerjili binalar olarak sınıflandırmışlardır. Tropikal iklimde bulunan orta ölçekli bir hastane için yapılan çalışmada, HVAC sistemlerindeki enerjinin talebinin değişiminin iç ortam kalitesine etkisini gözlemlemişlerdir [75].

2.4 Optimizasyon Çalışmaları

Optimum, Latince bir kelime olup ideal, nihai anlamına gelmektedir [76]. Optimizasyon ise karşılaştığımız tüm ölçülebilir sorunlar için en iyi çözümü bulma işlemidir. Genel optimizasyon problemleri, belirli koşullar (kısıtlar) altında çeşitli yöntemleri kullanarak, sayısal bir parametrenin minimum veya maksimum değerini bulmayı amaçlamaktadır. Burada amaç, karmaşık ve zor koşullardaki problemler için var olan kaynakları (iş gücü, zaman, kapasite vb.) en verimli şekilde kullanarak en az maliyet, en çok kar ve verimlilik elde etmektir [77].

Optimum dizayn, problem için oluşturulan birçok alternatif çözümün kıyaslanması sonucunda elde edilir. Bu şekilde, bütün çözüm yöntemleri araştırılır. Öncelikli amaç belirlenerek (maliyet, kar, üretim vb.) en uygun çözüm yöntemi uygulanır. Ancak mühendislik problemlerinde, üretimden üretime farklılık gösteren birçok parametre ve değişken bulunmaktadır. Bu nedenle, tek bir formül ile çözüme gitmek genel olarak imkânsızdır. Optimum dizaynın formülleştirilmesinde Şekil 2.1'deki adımlar izlenir [77];



Şekil 2.1: Optimum dizayn için akış diyagramı.

Literatürde çeşitli optimizasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; tabu araştırması, ısıl işlem algoritması, genetik algoritma, karınca kolonisi, parçacık sürü optimizasyonu, ateş böceği algoritması, yapay balık sürüsü algoritması, bakteriyel besin arama algoritması, kurt kolonisi algoritması, yapay arı koloni algoritması ve kedi sürüsü optimizasyonudur [78]. Bu algoritmalar, büyük boyutlu optimizasyon problemleri için, kabul edilebilir sürede optimuma yakın çözümler verebilen algoritmalarlardır.

Palonen ve arkadaşları çalışmalarında [79], binaların optimum dizayn parametrelerini belirlemek amacıyla kullanılan simülasyon tabanlı optimizasyon problemlerini çözmek için genetik algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritma tekil veya çoklu optimizasyon problemlerinde hiçbir kısıt olmaksızın kullanılabilir. Sonuç olarak, tekil optimizasyon yöntemi ile binaların ömürleri boyunca toplam maliyetlerini hesaplamışlardır.

Carlucci ve arkadaşları yaptıkları çalışmada [80] EN 15251 standardının soğutma döneminde uzun süreli adaptif konfor kriterlerini sağlamadığını bu sebeple Fanger konfor yaklaşımının kullanılması gerektiğini söylemişlerdir. EnergyPlus ve genetik algoritma kullanarak adaptif ısıl konfor yaklaşımı ile sıfır enerjili bina tasarımı yapmaya çalışmışlar ve bu yaklaşımın standartların dışında kaldığı durumlarda EnergyPlus ile yazdıkları kodları

kullanarak Fanger modelini uygulamışlardır. Bu sayede ısı konfor koşullarını sağlayarak elde edilecek minimum tüketim miktarını bulmuşlardır [81].

Machairas ve arkadaşları [82], bina tasarımlarında kullanılan optimizasyon algoritmaları ile ilgili literatür çalışması yapmışlardır. Tasarımların karmaşıklığından bahsederken, simülasyon programlarının yerini optimizasyon metotlarının aldığını söylemişlerdir. Bu metotların neler olduğunun yanı sıra seçim nedenlerinden bahsederken, yöntemlerin yeteneklerini ve performanslarını tanımlamışlardır.

Vakiloroaya ve arkadaşları [21], binalarda bulunan HVAC sistemlerinin %70'inin standartlara uymadığını ve bu sistemlerin optimize edilmesi gerektiğini söylemiştir. Çalışmada, HVAC sistemlerinin çalışma süreleri, kontrol tipleri, bakım-onarım durumları, tasarım değişkenleri gibi faktörleri dikkate alarak bu sistemlerin daha verimli hale getirebilmek için çeşitli optimizasyon yöntemleri denenmiştir.

Nassif [83] yaptığı çalışmada, yapay zeka yöntemlerini ve genetik algoritmaları kullanarak iç ortam koşullarının iyileştirilmesini sağlarken aynı zamanda HVAC sistemlerinin enerji tüketimlerini azaltmaya çalışmıştır. Mevcut HVAC sisteminin verilerini toplayarak yaptığı optimizasyon sonucunda soğutma dönemi için enerji tüketiminin yaklaşık %11 azaltılabileceğini söylemiştir.

Hanafy [84] çalışmasında, simülasyon tabanlı optimizasyon kontrol yaklaşımı kullanarak Stuttgart'da (Almanya) bulunan BOSCH ofis binasının HVAC sisteminin enerji tüketimini azaltmayı amaçlamıştır. Binanın ısıtma ihtiyacını karşılayan iki sistemi incelemiş ve TRNSYS programı ile binayı modelleyerek gerçek bina davranışlarını yakalamaya çalışmıştır. HVAC sisteminin enerji tüketimine etki eden birincil parametreleri hassasiyet analizi ile belirlemiş ve bunların besleme havası sıcaklığı, hava debisi ve ısıtma için harcanan enerji miktarı olduğunu söylemiştir. İlk optimizasyon yöntemi TRNSYS programı ile uygulanırken, ikinci metotta MATLAB içerisinde bulunan LINPROG algoritmasından yararlanmıştır. Sonuçlar bu yöntemlerle %24'e varan enerji tasarrufunun mümkün olduğunu göstermiştir.

Nguyen ve arkadaşları [85], binalarda kullanılan simülasyon tabanlı optimizasyon metotları hakkında yaptıkları çalışmada, bu yöntemin performansından, algoritma seçiminden ve uygulanmasından bahsetmişlerdir. Aynı zamanda, simülasyon programlarının gelişiminden, optimizasyon yöntemlerinden, bu yöntemlerin veriminden ve optimizasyon çalışmalarının

gelecekte hangi yönde ilerleyeceği ile ilgili literatür çalışmalarından derleme yapmışlardır [86].

Carlucci ve arkadaşları [80] çalışmalarında, çoklu optimizasyon metodunun bina tasarımlarında olan geçerliliğinden bahsederken, optimizasyon yöntemlerinin ilk amacının bina enerji performansını optimize etmek olduğunu, ısı konforunun ikinci planda kaldığını ve genel olarak görsel konforu ve iç hava kalitesini göz ardı ettiğini söylemişlerdir. Bu nedenle, yaptıkları optimizasyon çalışması ile İtalya'da bulunan sıfır enerjili bir binada ısı ve görsel konforsuzluğu Java Genetik algoritma içerisinde bulunan GenOpt optimizasyon motoru kullanarak minimize etmek istemişlerdir. Ayrıca çalışmada EnergyPlus kullanmışlardır. Sonuç olarak çok fazla değişkene sahip optimizasyon problemlerinin kısa sürelerde çözümü için tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Delgarm ve arkadaşları [87] çalışmalarında, EnergyPlus programı ile modelledikleri tekli ve çoklu parçacık sürü optimizasyon algoritmasını tek odalı modelde, mimari parametrelerin yanı sıra bina yönelmesi, gölgeleme faktörleri, pencere boyutları ve yansıma durumu ile duvar materyallerinin bina enerji tüketimini üzerindeki etkisini İran'ın dört farklı iklim bölgesi için uygulamışlardır. Yıllık enerji talebini minimize etmek için, tek amaçlı ve çok amaçlı optimizasyon koşulları için ısıtma, soğutma ve aydınlatma elektrik tüketimlerini araştırmışlardır. Çalışmada, çok amaçlı optimizasyon tek amaçlı optimizasyon ile karşılaştırıldığında çok amaçlı modelde elektrik tüketimlerinde soğutma için %19.8-33.3, ısıtma için %1.7-4.8 ve aydınlatma için %0.5-2.6 oranında daha fazla azalma sağlandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak önerilen yöntemin güçlü ve kullanışlı olduğunu savunmuşlardır.

Wang ve arkadaşları, insanlara daha iyi bir yaşam kalitesi sunmak, bina enerji tüketimlerini azaltmak ve ısı konfor koşullarını arttırmak için HVAC sistemlerinin optimizasyonunun önemli olduğunu söylemişlerdir. Standartlara uygun bir okul binasını ve sınıflarını ısı konfor açısından, farklı iç ortam sıcaklıklarına, ön havalandırma yapılması durumunda, gölgeleme ekipmanları kullanımı ve ısı geri kazanım cihazı kullanımı gibi durumlarda araştırmışlardır. Sonuçlar ısıtma veya soğutma talebinin iç ortam sıcaklığına, kullanıcı sayısına ve ısı geri kazanım oranına bağlı olduğunu göstermiştir. Yapılan bina enerji performans analizi ise HVAC sistemleri ve gölgeleme ekipmanlarının bu enerji tüketimlerinin üzerinde çok büyük etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte önerilen konfor aralıklarını nümerik ve deneysel olarak göstermişlerdir [88].

Hamdy ve arkadaşları çalışmalarında, optimizasyon yöntemlerinin minimize veya maksimize etmek olduğunu ancak bunların çok azının bina tasarım problemlerinin çözümünde kullanıldığını söylemişlerdir. Bu nedenle, sıfır enerjili binaların tasarımında mümkün olan 1.6¹⁰ çözüm yöntemini farklı optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırmışlardır. Genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu, iki faz optimizasyon vb. bir çok yöntemden genetik algoritmaların daha fazla tekrarlanabilirliği olduğunu, ayrıca optimizasyon sonuçlarının dengelenmesi için en az 1400-1800 tekrar gerektiğini söylemişlerdir [89].

Ruano ve arkadaşları, model tabanlı ve ön izlemeli akıllı HVAC (IMBPC) kontrol sistemlerinin mevcut sistemlere uygulanması konusunda çalışmışlardır. Bu sistemin donanımsal ve yazılımsal tanımlarını yaparak algoritmalar üzerinde yoğunlaşmışlardır. Uygulama sonucunda ekonomik anlamda elde edilen tasarrufu ve sağlanan ısı konfor şartlarını standartlar ile karşılaştırmışlardır [90].

Yang ve arkadaşları [91] çalışmalarında, standart bir ofis binası için mevcut HVAC sisteminin enerji tüketimini çok katmanlı optimizasyon algoritması kullanarak minimize etmeye çalışmışlardır. Bu algorithmada üç farklı model (iç hava kalitesi modeli, bağıl nem modeli ve CO₂ modeli) kullanarak problemi oluşturmuşlardır. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile besleme havası sıcaklığını ve statik basıncın kontrolünü yeniden ayarlamışlardır. Üç farklı modelin enerji tüketimini ve ısı konfor üzerindeki ağırlıklarını değiştirerek en uygun HVAC sisteminin tasarlamışlardır. Sonuç olarak, hava kalitesinin kısıtlanması ile bile ciddi miktarda enerji tasarruf edilebileceğini söylemişlerdir [92].

Ferrara ve arkadaşları [93], sıfır enerjili bina tasarımında ortaya çıkan çok sayıda simülasyon sonuçlarını değerlendirmek için TRNSYS ve GenOpt programlarını kullanarak optimum sonucu üretmeye çalışmışlardır. Çalışmayı, Fransa, Bugey’de bulunan düşük enerji tüketimine sahip müstakil evlerde gerçekleştirmişlerdir. TRNSYS programı ile yapılan modelleme ve yıllık enerji tüketimlerinin tespitinden sonra optimum tasarım parametrelerinin kullanımının %20’ye varan enerji tasarrufu sağlayacağını ortaya koymuşlardır.

Ruiz ve arkadaşları [94] çalışmalarında, düşük enerjili bina tasarımı için; tasarım kombinasyonları, ekipmanların ısı karakteristikleri, HVAC sistemlerinin verimleri gibi birçok parametrenin olduğunu ve bu parametrelerin, ısıtma veya soğutma taleplerini, enerji tüketimlerini ve ömür boyu maliyetlerini etkilediğini söylemişlerdir. Uyguladıkları tabu

araştırma algoritması yöntemi ile yıllık enerji talebini, ömür boyu maliyetini ve enerji oranlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. En iyi enerji tasarruf oranının HVAC sistemlerinin tasarımı ile sağlandığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca bu çalışmayı 2028 farklı senaryo ve 12 iklim bölgesi için araştırmışlardır.

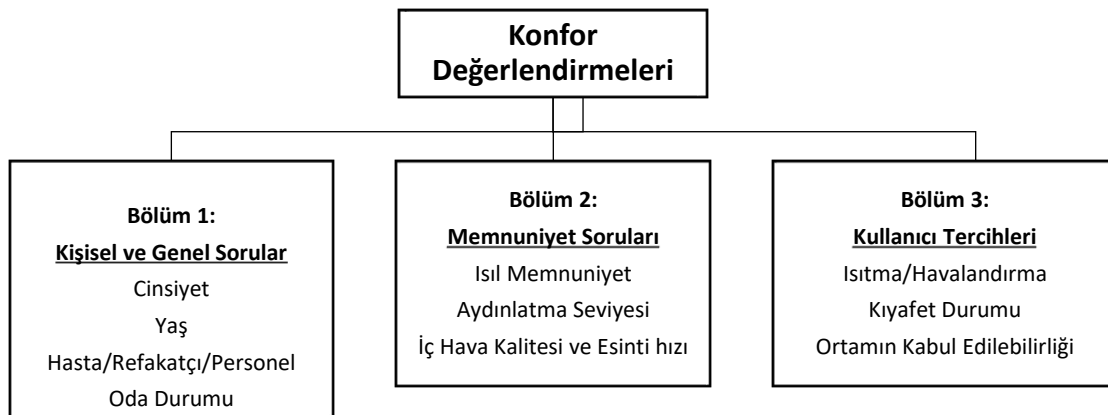
Stevanović [95] yaptığı çalışmada, pasif tasarım yöntemlerinin ısıtma soğutma ve aydınlatma kaynaklı enerji tüketimini azaltmada önemli rol oynadığını söylemiştir. Farklı optimizasyon yöntemlerinin ve çeşitli simülasyon programlarının kullanıldığı çalışmaları değerlendirmiştir. Bu programlardan simülasyon ve optimizasyon amaçlı kullanılanlardan bazıları; ADELINe, DOE-2, Design Builder, ENERGY, GenOpt, EnergyPlus, FLUENT, OPTI, RADIANCE, SIMBAD, TRNSYS ve ZEBO'dur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Isıl Konfor Analizleri

3.1.1 Anket Çalışması

Anket çalışmaları, sosyal alanlarda katılımcıların istek ve seçimlerinin belirlenmesinde kullanılan, oldukça yaygın bir yöntemdir. Isıl konfor koşulları, Fanger tarafından önerilen 7 ölçekli skalada, katılımcılara sorulan “Bulduğunuz odayı sıcaklık açısından şu anda nasıl tanımlarsınız?” sorusunun cevaplarının analizi ile belirlenmektedir. Ancak anketin tutarlı ve anlaşılabilir olması için, anket uygulanacak kişilere pilot anket uygulaması yapılarak uygunluğun tespit edilmesi gerekmektedir [96]. Ankette 12 farklı soru bulunmakta ve üç bölümden oluşmaktadır (Şekil 3.1); birinci bölümde kullanıcının yaş, cinsiyet, hastanede bulunma nedeni (hasta, refakatçi, personel) ve odanın durumu (aydınlatma, kapı ve pencere açık/kapalı) hakkında bilgiler sorulmuştur. İkinci bölümde kullanıcıların ısı açıdan nasıl hissettiği ve buldukları mekanın ısı açıdan nasıl olmasını istedikleri, aydınlatma düzeyinin yeterliliği, ortamdaki esinti miktarı ve iç hava kalitesinin rahatsızlık verip vermediği hakkında sorular sorulmuştur. Son olarak üçüncü bölümde kişilerin bu koşulların iyileştirilmesi için ısıtma/havalandırma sistemlerindeki tercihleri, kıyafet durumları ve ortamın kabul edilebilirliği konusundaki düşünceleri sorulmuştur. 40 hastanın katılımı ile gerçekleştirilen pilot çalışmada, uygulanan anket sorularının anlaşılır olup olmadığı değerlendirilmiş ve bazı sorular yeniden düzenlenerek, ankete son hali verilmiştir [97] (Şekil 3.2). Sorular, literatür araştırmaları sonucunda, en çok kullanılan ısı konfor anketlerinden derlenmiştir [40], [48]. Sağlık uygulama ve araştırma merkezi müdürlüğünden, ölçüm ve anket uygulaması için alınan izin Ek A’da gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Anket içeriği.

Hazırlanan anketler uygulayıcı tarafından şahsen gidilerek mesai saatleri içerisinde kişilerin müsait olduğu sürelerde yüz yüze görüşmek suretiyle uygulanmıştır.

Bu anket bilimsel veriler dikkate alınarak hazırlanmıştır.			Bölüm:
Tarih:	Kat / Oda No:	Yaş:	Cinsiyeti:
Pencere:		Hütu:	Kıyafetçi:
Pencere		Kıyafetçi	
Açık		Açık	
Kapalı		Kapalı	
NOT: Cevaplarınızı, kutucuklara çarpı (X) işareti koyarak belirtiniz.			
1- Bulduğunuz ortamda ısıtma/soğutma sistemi (klima) çalışıyor mu ?			
<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır			
2- Kaç dakikadır burada bulunuyorsunuz ?			
<input type="checkbox"/> 15 dk <input type="checkbox"/> 15-30 dk <input type="checkbox"/> 30-60 dk <input type="checkbox"/> 1 saatten fazla			
3- Son 15 dakikadır hangi durundasınız?			
<input type="checkbox"/> Yürüme <input type="checkbox"/> Oturma <input type="checkbox"/> Yatma			
4- Bulduğunuz odanın sıcaklığı sizin için?			
<input type="checkbox"/> Memnuniyet verici <input type="checkbox"/> Konforlu/Çok iyi <input type="checkbox"/> Az rahatsız edici <input type="checkbox"/> Rahatsız edici <input type="checkbox"/> Çok rahatsız edici			
5- Bulduğunuz odayı, sıcaklığı açısından şu an nasıl tanımlarsınız?			
L Sıcak _ Ilık L Biraz Ilık L Konforlu/Uygun _ Biraz serin L Serin _ Soğuk			
6- Bulduğunuz odanın şu an, sıcaklık açısından nasıl olmasını istersiniz?			
<input type="checkbox"/> Daha çok serin <input type="checkbox"/> Çok serin <input type="checkbox"/> Biraz serin <input type="checkbox"/> Değişikliğe gerek yok <input type="checkbox"/> Biraz ılık <input type="checkbox"/> Çok ılık <input type="checkbox"/> Daha çok ılık			
7- Kişisel tercihleriniz açısından, oda sıcaklığı şu an hangi düzeydedir?			
<input type="checkbox"/> Kabul edilemez <input type="checkbox"/> Tam istediğim gibi <input type="checkbox"/> Kabul			
8- Bulduğunuz odada konforlu hissetmek için ne yapmak gereklidir?			
<input type="checkbox"/> Pencereyi açmak <input type="checkbox"/> Kapıyı açmak <input type="checkbox"/> Kıyafet değiştirmek <input type="checkbox"/> Klima kullanmak <input type="checkbox"/> Birşey yapmaya gerek yok <input type="checkbox"/> Pencereyi kapatmak <input type="checkbox"/> Kapıyı kapatmak			
9- Odanızın aydınlık seviyesini nasıl buluyorsunuz ?			
<input type="checkbox"/> Çok Aydınlık <input type="checkbox"/> Aydınlık <input type="checkbox"/> Biraz Aydınlık <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Loş <input type="checkbox"/> Karanlık <input type="checkbox"/> Çok Karanlık			
10- Odanızın aydınlık seviyesinin nasıl olmasını istersiniz ?			
<input type="checkbox"/> Daha Aydınlık <input type="checkbox"/> Değişikliğe Gerek Yok <input type="checkbox"/> Biraz Daha Karanlık			
11- Odanızın iç hava kalitesini nasıl buluyorsunuz ?			
<input type="checkbox"/> Çok Kötü <input type="checkbox"/> Kötü <input type="checkbox"/> Biraz kötü <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Biraz İyi <input type="checkbox"/> İyi <input type="checkbox"/> Çok İyi			
12- Odanızdaki koku esintisi (hava) hızını nasıl derecelendirirsiniz ?			
<input type="checkbox"/> Çok fazla <input type="checkbox"/> fazla <input type="checkbox"/> Biraz fazla <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Biraz az <input type="checkbox"/> az <input type="checkbox"/> Çok az			

Şekil 3.2: Isıl konfor anketi [44], [97].

Hasta ve personel odalarında yapılan iç ortam ölçümleri ve ısı konfor anketleri aynı anda gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, ameliyathane ve yoğun bakım üniteleri gibi sterilize alanlarda, hijyen koşulları gereği ölçüm ve anket uygulaması yapılmamıştır. Uygulanacak olan anket soruları ve ölçüm zamanları için başhekimlikten gerekli etik izinler alınmıştır (Ek A). Ayrıca, yatan hastalar için sağlık durumu uygun olanlar seçilmiştir. Aralık 2017 ve Temmuz 2018 tarihleri arasında 469 gönüllü katılımcı ile, hasta, hasta yakını ve personele uygulanmıştır. 469 anketin 429'u geçerli olarak kabul edilmiş, diğerleri eksik cevaplar ya da uygun olmayan bilgiler nedeniyle çıkartılmıştır. Katılımcıların metabolik hızları ve kıyafet durumları için, ISO 7730'da belirtilen değerlerden yararlanılmıştır. Yine benzer çalışmalar da dikkate alınarak, yaz dönemi ölçümlerinde kıyafet durumları 0.6 ve metabolik hızları 1.2,

kış dönemi için kıyafet durumları 1.0 ve metabolik hızları 1.2 olarak alınmıştır [68]. Anket sonuçlarının ağırlıklı ortalaması AMV (Katılımcı memnuniyet oranı) ve APD (Katılımcı memnuniyetsizlik yüzdesi) değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu değerlendirmelerde Tablo 3.1’de belirtilen ölçek kullanılmıştır.

Tablo 3.1: Anket çalışmasında kullanılan ölçekler [98].

Ölçek	Isıl konfor oyu, TSV	Isıl ortam tercihi, TP	Nem durumu, HF	Nem durumu tercihi, HP	Esinti durumu, AMF	Esinti tercihi, AMP	Isıl olarak Kabul edilebilirlik durumu
+3	Çok Sıcak	-	Çok nemli	-	Çok yüksek	-	Kabul edilemez
+2	Sıcak	Daha Soğuk	Nemli	Daha nemli	Yüksek	Daha fazla esinti	Kabul edilemez
+1	Biraz Sıcak	Biraz Soğuk	Biraz nemli	Biraz nemli	Biraz Yüksek	Biraz esinti	Kabul edilebilir
0	Normal	Değişikliğe gerek yok	Normal	Değişikliğe gerek yok	Normal	Değişikliğe gerek yok	Kabul edilebilir
-1	Biraz Soğuk	Biraz ılık	Biraz kuru	Biraz kuru	Biraz Düşük	Biraz daha az esinti	Kabul edilebilir
-2	Soğuk	Daha ılık	Kuru	Daha kuru	Düşük	Daha az esinti	Kabul edilemez
-3	Çok Soğuk	-	Çok kuru	-	Çok düşük	-	Kabul edilemez

Pearson korelasyon katsayısı, ki-kare testi, Levene testi ve Anova, SPSS 22.0 istatistik programı aracılığı ile değerlendirilmiştir. Bu yöntemler sayesinde AMV ve PMV arasındaki korelasyon ilişkileri saptanmaktadır. Bununla birlikte, ölçüm ve anket sonuçları karşılaştırılarak standartlara uygun olup olmadığı gözlemlenebilir. Bu analizler 2 adımda gerçekleştirilmektedir;

1. Tüm katılımcılar için PMV-AMV değerlerinin hesaplanması
2. Hasta, hasta yakını ve hastane personeli için, anket sonuçlarının istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak (t-test ve ANOVA) farklı faktörlere bağlı istatistiksel farklılıkların ortaya konulması. Ayrıca ısıtma ve soğutma dönemlerinin, yaş, cinsiyet, bina yönü, katlar arasındaki fark, katılımcı tipi gibi faktörler açısından karşılaştırılması.

3.1.2 Isıl Konfor Parametreleri

ISO 7730 [8] standardında ısı konfor koşullarının değerlendirilmesi için PMV-PPD değerleri bulunmaktadır. PMV değeri, aynı ortamda bulunan insanların büyük çoğunluğunun ısı duyumu ölçeği skalasına (Tablo 3.2) göre verdiği cevapların ortalama değerini ifade ederken, PPD değeri aynı skala için insanların ne kadarının (% olarak) memnun olmadığını göstermektedir. ISO 7730 [8] standardında ısı duyumu skalası olarak ASHRAE veya BEDFORD ısı duyumu skalaları kullanılmaktadır.

Tablo 3.2: Isı duyumu ölçeği skalası [44].

	Çok Soğuk	Soğuk	Biraz Soğuk	Normal	Biraz Sıcak	Sıcak	Çok Sıcak
Ashrae	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Bedford	1	2	3	4	5	6	7

İklimlendirme yapılan kapalı mekanlarda PMV değerinin 0'a eşit veya yakın olması yani konforsuzluk durumunun minimum olması ($PPD \leq 10$) istenmektedir. A sınıfı binalar veya bina içi bölgeler (Ameliyathane, yoğun bakım gibi sterilize alanlar) için ± 0.2 PMV aralığının sağlanması fazla enerji tüketimine yol açması, ayrıca bu koşulların sağlanmasının zorluğu açısından B grubu daha çok tercih edilmektedir. Genel konfor için kabul edilebilir ısı çevre koşulları B grubu için (Tablo 3.3) PPD değeri < 10 , PMV değeri ise $-0.5 < PMV < +0.5$ aralığında olmalıdır. PMV ve PPD değerleri Denklem 3.1 ve Denklem 3.5 aracılığı ile hesaplanmaktadır.

Tablo 3.3: ISO 7730'a göre ısı konfor kategorileri [8].

Kategori	Vücudun ısı durumu	
	PPD (%)	PMV
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$

$$\begin{aligned}
PMV = & [0,303 * \exp(-0,036 * M) + 0,028] * [(M - W) - 3,0 * 10^{-3} \\
& * [5733 - 6,99 * (M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 \\
& * 10^{-5} * M * (5867 - p_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) - 3,96 * 10^{-8} \\
& * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)
\end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned}
t_{cl} = & 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} * \{3,96 * 10^{-8} * f_{cl} \\
& * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\}
\end{aligned} \quad (3.2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25}, & 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 * \sqrt{v_{ar}}, & 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 * I_{cl}, & I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 * K/W \\ 1,05 + 0,645 * I_{cl}, & I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 * K/W \end{cases} \quad (3.4)$$

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (3.5)$$

İç ortam ısı konfor parametreleri; iç hava sıcaklığı, küre sıcaklığı, bağıl nem ve hava akım hızı Testo-180 (Şekil 3.3) cihazı ile ölçülmüştür. Cihaza ait parametreler Tablo 3.4’de gösterilmiştir. Ölçüm sırasında cihaz, ASHRAE-55 [4] ve ISO 7726 [99] ‘da belirtildiği gibi ölçüm yapılan alanın ortasına ve yerden 1.1 m yükseklikte yerleştirilmiştir. Toplam 151 ölçümün 74’ü kış aylarında ve 77’si yaz aylarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ısıtma ve soğutma dönemi olarak ayrı ayrı analiz edilmiştir. Ölçümler, cihazın rejime girme süresi dikkate alınarak, cihazın odaya yerleştirilmesinden 5 dakika sonra kayda başlatılmış olup, 20 dakika boyunca ölçüm yapılmıştır. Radyan sıcaklık ise K. Nagano [100] tarafından önerilen denklem (Denklem 3.6) ile hesaplanmıştır.

$$T_r = T_g + 0.227 * \text{sqrt}(u * (T_g - T_a)) \quad (3.6)$$

Burada T_r (°C) ortalama radyan sıcaklık, T_g (°C) küre sıcaklığı ve T_a (°C) iç hava sıcaklığıdır. u ise ortalama hava akım hızıdır (m/s). İncelenen hastane binasının ölçüm yapılan bölümü ve ankete katılan kişilerin bulunduğu alanlar Şekil 3.4’te verilmiştir. Hava sıcaklığı, küre sıcaklığı, bağıl nem ve hava akım hızı PMV ve PPD değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Ayrıca operatif sıcaklık (OPT) ASHRAE-55’te belirtilen formül aracılığı ile elde edilmiştir. Formülde (Denklem 3.7), A hava hızına bağlı olan bir katsayıdır ve ASHRAE-55’ te belirtildiği gibi 0.5 olarak alınmıştır.

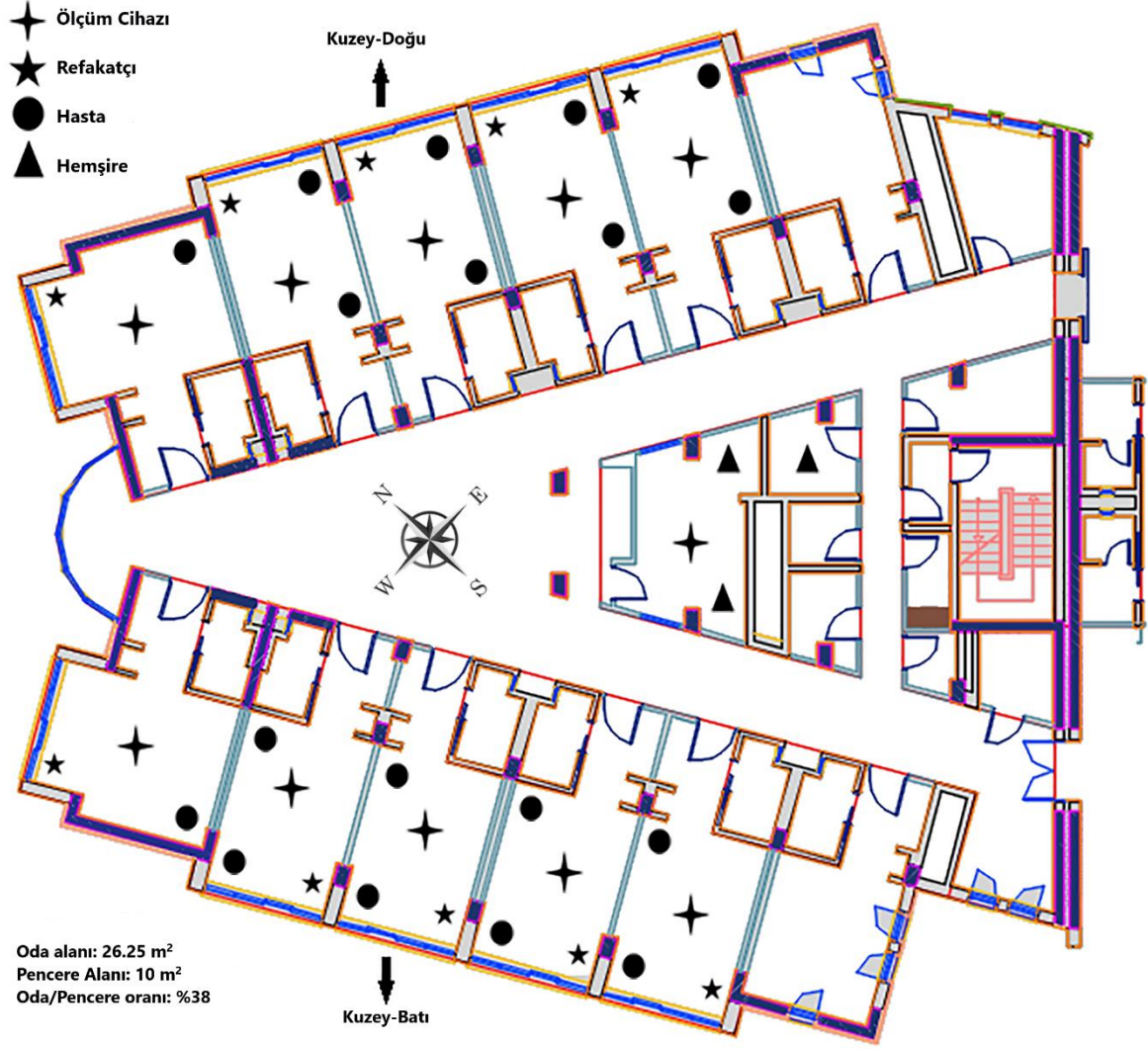
$$OPT = A * T_a + (1-A) * T_r \quad (3.7)$$

Tablo 3.4: TESTO-480 cihaz özellikleri.

Parametre	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Sıcaklık	-20 to +70 °C	±0.5 °C
Bağıl nem	0 to 100 %RH	±(1.0 %RH + 0.7%) ±(1.4 %RH + 0.7%)
Küre sıcaklığı	0 to +120 °C	±0.3 °C
Ø 150mm	0 to +50 °C	±0.5 °C
Hava akım hızı	0 to +5 m/sn	±(0.03 m/sn +4%)
	+700 to +1100 hPa	±3 hPa



Şekil 3.3: Hasta odası ve Testo 480 cihazı görüntüsü.



Şekil 3.4: Ölçüm ve anket yapılan alanlar.

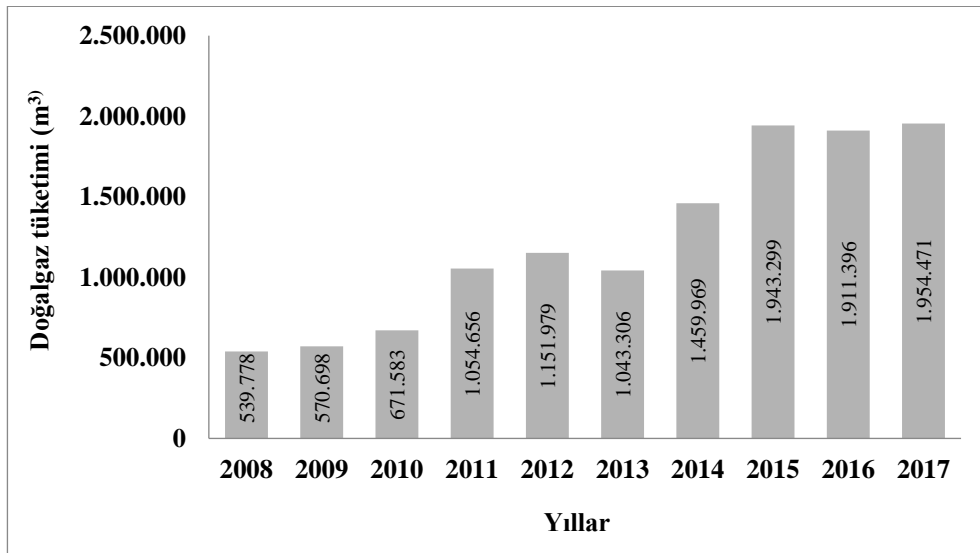
3.2 Mevcut Binanın Enerji Tüketimi

Bu çalışmada, Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesinde kullanılan ısıtma ve soğutma sistemlerinde, ısıtma dönemi için doğalgaz ve soğutma dönemi için elektrik tüketimleri baz alınmıştır. Tez kapsamında Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü'nde bulunan binaların 2008-2017 yılları arasındaki elektrik ve doğalgaz tüketimlerine ait ulaşılabilen aylık tüketim değerleri, ilgili kuruluşlardan alınmış ve 10 yıllık veriler değerlendirilmiştir.

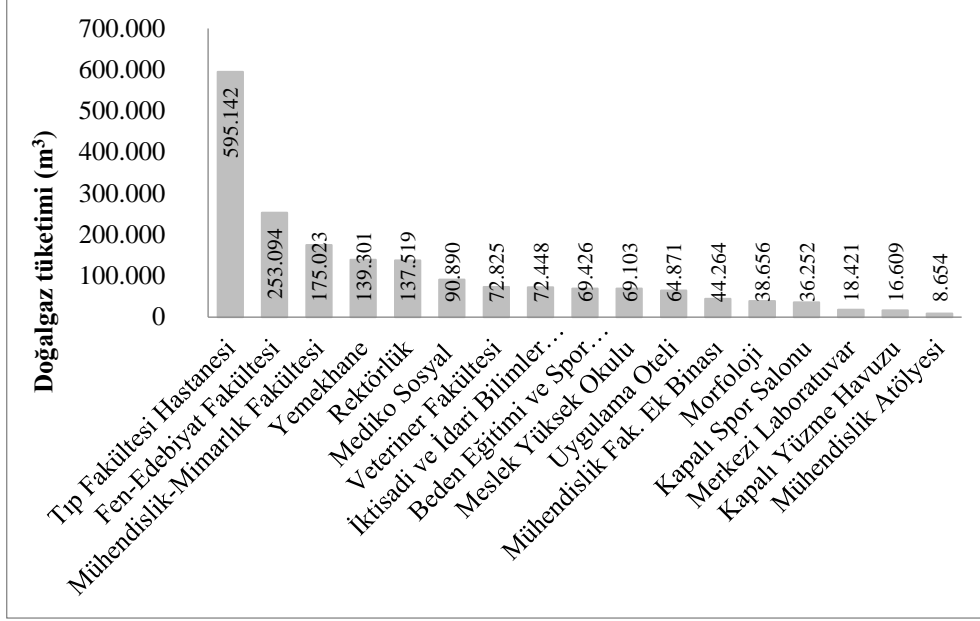
Bu bölümde bina ve kampüs bazında, doğalgaz ve elektrik tüketimleri incelenmiştir.

3.2.1 Yıllık Toplam Doğalgaz ve Elektrik Tüketimleri

Yıllara göre Balıkesir üniversitesi kampüsünün toplam doğalgaz tüketimi Şekil 3.5'te verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi doğalgaz tüketimi yıllara göre önemli ölçüde artış göstermiştir. Genel olarak bu artışın nedeni, kampüse yeni binaların inşa edilmesi ve her yıl artan öğrenci sayıları olduğu gösterilebilir. 2011 yılında 1 milyon m³ civarında olan doğalgaz tüketimi, 2014 yılına gelindiğinde 1,5 milyon m³ seviyesine yaklaşarak diğer yıllara kıyasla daha büyük bir artış göstermiştir. Bu artışın en büyük sebebi, Şekil 3.6'da da görüldüğü üzere kampüs içerisinde en çok doğalgaz tüketimine sahip olan, Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesinin hizmete girmiş olmasıdır. Ayrıca her geçen yıl öğrenci sayısının, önceki yıllara göre %10 arttığı düşünüldüğünde, diğer bir sebep olarak gösterilebilir. 2017 yılında ise Morfoloji ve Mühendislik Fakültesi Ek Binası'nın hizmete açılması ile birlikte doğalgaz tüketimi 1.954.471 m³ ile en üst seviyeye çıkmıştır. Toplam doğalgaz tüketimi 2008 yılına kıyasla 2017 yılında %262,08 oranında oldukça büyük bir artış göstermiştir.

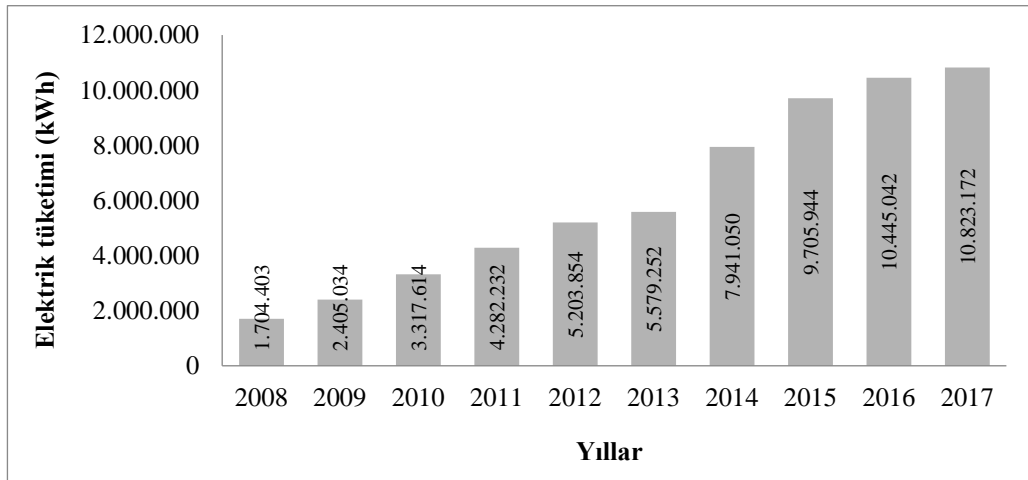


Şekil 3.5: Toplam yıllık doğalgaz tüketimi (m³).



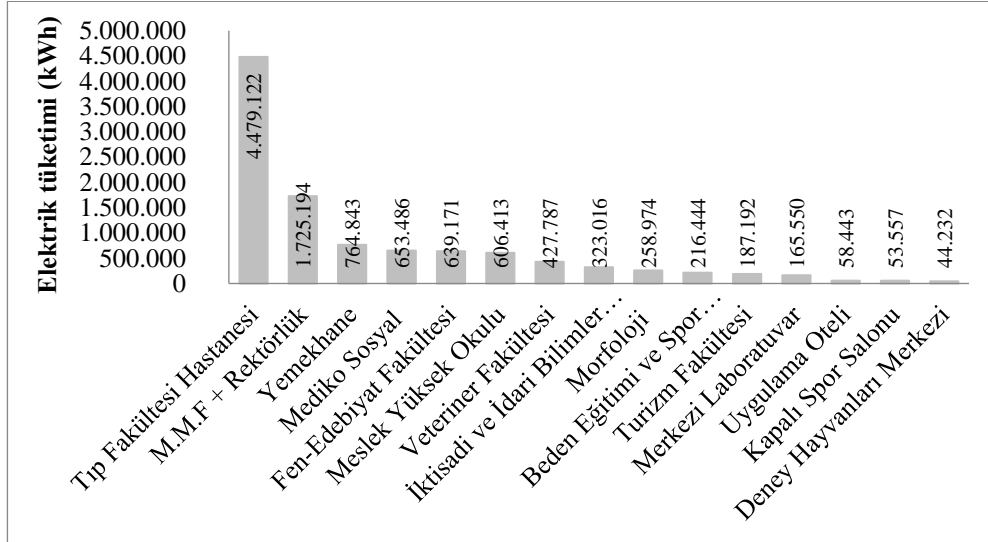
Şekil 3.6: 2017 yılı bina bazında toplam doğalgaz tüketimi (m³).

Şekil 3.7’de, kampüs binaları için toplam yıllık elektrik tüketim değerleri gösterilmiştir. Yıllık toplam elektrik tüketimi, ortalama %23,62 'lik bir büyüme oranıyla, istikrarlı bir şekilde artmıştır. Bunun başlıca nedeni, bina sayılarındaki artış, eğitim ve öğretim faaliyetlerinin büyük ölçüde gelişmesi ve öğrenci sayısındaki artış olarak ifade edilebilir. 2013 yılında 5,5 milyon kWh civarında olan elektrik tüketimi, 2014 yılına gelindiğinde 8 milyon kWh seviyesine yaklaşarak diğer yıllara kıyasla büyük bir artış göstermiştir. Bu artışın en büyük sebebi, Şekil 3.8’de görüldüğü üzere kampüs içerisinde en çok elektrik tüketimine sahip olan, Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesinin hizmete girmiş olmasıdır.



Şekil 3.7: Toplam yıllık elektrik tüketimi (kWh).

Kampüste bulunan binaların 2017 yılı toplam elektrik tüketim değerleri Şekil 3.8’de görülmektedir. Buna göre 2017 yılında en fazla elektrik tüketimin gerçekleştiği bina 4.479.122 kWh ile Tıp Fakültesi Hastanesi olmuştur. Bu nedenle önerilecek enerji stratejileri için Balıkesir Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesi seçilmiştir.



Şekil 3.8: 2017 yılı bina bazında toplam elektrik tüketimi (kWh).

3.3 Hastane Binasının Modellenmesi ve Kalibrasyonu

Bina enerji modellemesi, çeşitli simülasyon programları kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu modelleri oluşturmak için kullanılan simülasyon programları, enerji verimliliği ve maliyet açısından uygun, ayrıca çevre dostu binaları tasarlamak için önemlidir [101]. Enerji simülasyon programları ile, binaların inşa edilmeden önce ısı durumları, enerji tüketimleri gibi performansları tahmin edilebilir ve mevcut binalarda en iyi enerji etkin yenileme ve iyileştirme önlemleri uygulanabilir ve enerji tüketimleri istenilen koşullarında simüle edilebilir [102]. Binalar için simülasyon programları, uygun HVAC sistemi seçimini, boyutunu belirlemeyi ve enerji tüketimlerini analiz etmeyi sağlar. Ayrıca enerji tüketimi haricinde aşağıdaki değişkenleri hesaplamak için de simülasyon programları kullanılmaktadır;

- İç ortam sıcaklıkları,
- Isıtma ve soğutma ihtiyaçları,
- Kullanıcıların doğal aydınlatma ihtiyaçları,
- Havalandırma seviyeleri,

- Kullanıcıların iç mekân konforu,
- Yenilenebilir enerjilerin katkıları,
- Su tüketimleri,
- HVAC sistemlerinin tüketim değerleri.

Farklı karmaşıklık düzeyinde ve farklı değişkenlere cevap veren çok çeşitli bina enerji simülasyon programları bulunmaktadır ve yıllar içerisinde gelişim göstermektedir. Daha fazla değişken ve daha titiz bir yaklaşımla enerji gereksinimlerini hesaplayabilen bina enerji simülasyon programlarının sayısı da giderek artmaktadır [102]. Binaları ve enerji sistemlerini modellemek için kullanılan bina enerji simülasyon programları, farklı yazılım mimarilerine, bina ve enerji sistemlerini modellemek için farklı algoritmalara sahip olabilir ve aynı bina kabuğu veya HVAC sistem bileşenini tanımlamak için bile farklı girdileri gerektirebilir [103], [104]. Enerji simülasyon programlarının her biri belirli özelliklere ve özel uygulamalara sahiptir. Yaygın olarak kullanılan simülasyon programları arasında IES VE, HEED, eQUEST, Energy Plus, DOE-2, ESP-r, IDA ICE, ECOTECT, Energy-10, Green Building Studio, DesignBuilder, BLAST ve TRNSYS bulunmaktadır [35]. Bu tür programlar, iklim ve güneş ışınımı dahil olmak üzere ilgili tüm bina enerji özelliklerini dikkate almalı ve program kullanıcıları için kullanımı kolay olmalıdır [105].

Bu çalışmada hastane binasının modellenmesi için bina enerji simülasyon programı “DesignBuilder” seçilmiştir. DesignBuilder, binaların enerji tüketimlerini, ısıtma ve soğutma dönemleri için ayrı ayrı simüle edebilen, bununla birlikte iç ortam konforunu dikkate alan Energy Plus dinamik hesaplama motorunu içermekte ve grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) kullanmaktadır [30]. DesignBuilder simülasyon programının seçilmesinin nedeni, esnek geometri girişine müsaade etmesi, malzeme kütüphanelerinin geniş olması ve dönemsel anlamda (Yaz-Kış) binanın kullanım durumuna uygun yük profilleri sunmasıdır. EnergyPlus eklentisi yardımı ile karmaşık HVAC sistemlerinin ayrıntılı ve detaylı olarak modellenebilmesi nedeniyle daha fazla yetenek ve esnekliğe sahiptir bunun yanı sıra farklı enerji kaynaklarının kullanılmasına da olanak sağlamaktadır [106]. Ayrıca bağımsız Energy Plus motoruna kıyasla sonuçların doğruluğunu garanti eden kalite kontrol prosedürlerine sahiptir [107]. Kullanım kolaylığı sağlayan DesignBuilder, bina modellerinin hızlı bir şekilde oluşturulmasını mümkün kılar. DesignBuilder, Autocad yazılımı ile bağlantı kurabilme özelliğine sahiptir. Hem bina geometrisi hem de autocad dxf dosyalarını programa aktarmaya olanak sağlar.

3.3.1 Isıl Bölgeleme Yaklaşımı

ASHRAE-55 [4] standardında, bina enerji simülasyon programları ile model oluştururken kullanılacak farklı bölgeleme tanımları yapılmıştır [108]. Bunlar HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) bölgesi ve ısıl bölge olarak ikiye ayrılmaktadır. HVAC sistemlerinin kullanıldığı alanlar ısıl bölge olarak da anılmaktadır ve tek bir iklimlendirme cihazı ile şartlandırılacak kadar benzer alana sahip olan bina içindeki tek bir mekân veya mekânlar topluluğudur. HVAC bölgesi ısıl bir kavramdır, geometrik bir kavram değildir. Mekânların tek bir HVAC bölgesi olarak birleştirilmesi için bitişik/yan yana olması gerekmez. Fakat gün ışığı gereksinimleri, bitişik olmayan alanların tek bir HVAC bölgesi olarak tanımlanmasını engelleyebilir. Bireysel mekânlar tek tek modellenmeden bir bölge olarak tanımlanmışsa alan büyüklükleri sağlanmalıdır [109].

Isıl bölge ise, simülasyon için birlikte gruplandırılmış bir veya daha fazla HVAC bölgesi topluluğudur. Isıl bölgeler, aşağıda belirtilen şartları sağlıyorsa tek bir ısıl blok olarak birleştirilebilirler:

- Aynı tip HVAC sistemi tarafından şartlandırılıyorsa,
- Benzer bir mekân tipi dağılımından oluşuyorsa,
- Benzer donanım, aydınlatma, çalışma saatleri ve termostat sıcaklık değerlerine sahip ise,
- Aynı yönlere bakıyorsa veya en fazla 45° derece farklılık varsa.

Oluşturulan binanın ısıl modelindeki zon (bölge) sayısının az olması kullanılan programın simülasyonu ve analizleri tamamlama süresini ciddi ölçüde kısaltmakta ve hata payının azaltılmasına katkı sağlamaktadır [109].

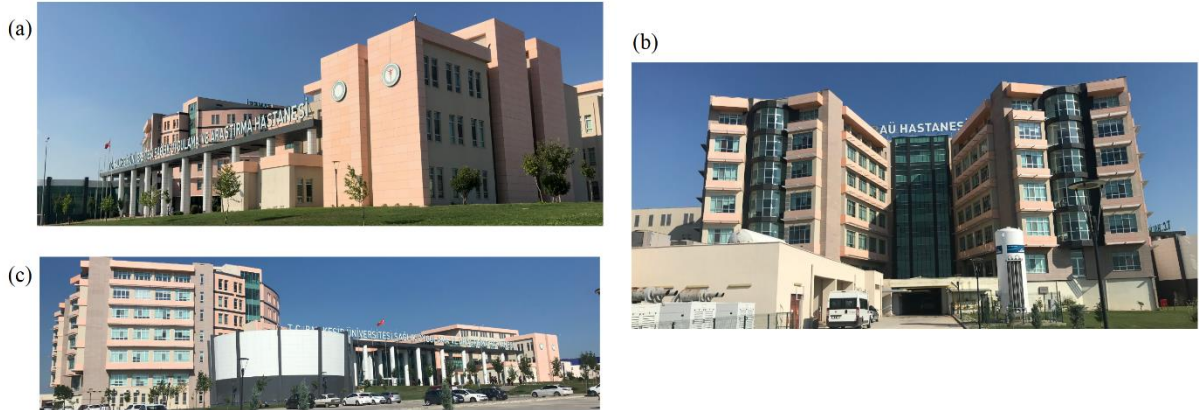
3.3.2 Hastane Binasının Fiziksel Özellikleri

Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesi 2014 yılında faaliyete geçmiş olup, yaklaşık 37000 m² kapalı alana sahip olarak, kampüs içerisinde bulunan en büyük binadır. 7 blok ve 6 kattan oluşmaktadır ve 3,8 m tavan yüksekliğine sahiptir. Isıtma ve sıcak su ihtiyacı için doğalgaz, soğutma ihtiyacı için ise yakıt olarak elektrik kullanılmaktadır. Havalandırma sistemi fan-coil üniteleri ile sağlanmakta olup, tüm odalarda sıcaklıklar termostatlar ile kontrol edilebilmektedir. 200 yatak kapasitesi ile birlikte, ameliyathane, kafeterya, poliklinikler, derslikler, öğretim elemanı odaları ve seminer salonu ile çeşitli alanlarda

hizmet vermektedir. Hasta odaları Kuzey-Doğu ve Kuzey-Batı yönlerine bakmakta olup (Şekil 3.9), yüksek pencere oranına sahiptir (Şekil 3.10).



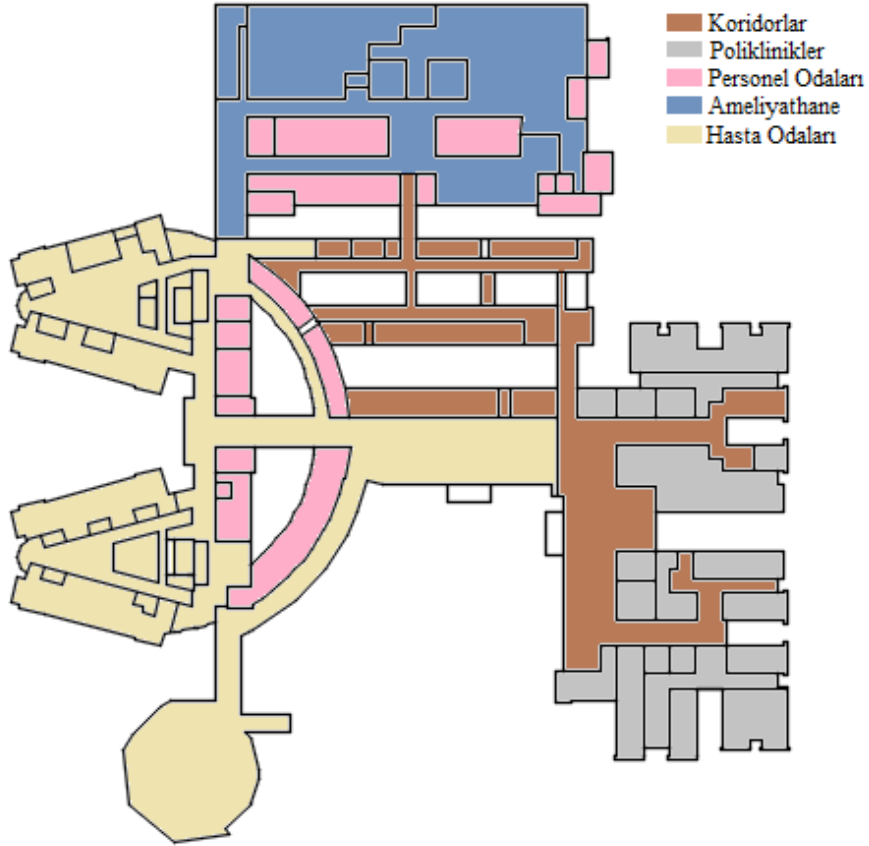
Şekil 3.9: Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi genel görünümü.



Şekil 3.10: Hastane binası genel görünüşü.

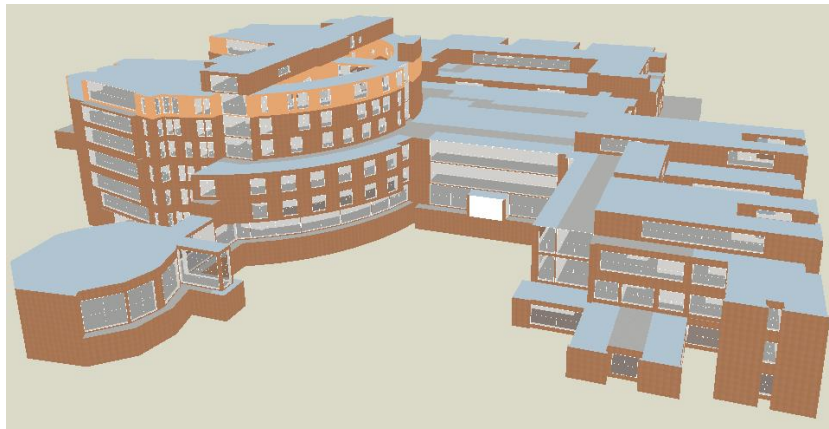
Şekil 3.11’de Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesinin zemin kat için ısıtılma bölgelemesi görülmektedir. 105 ayrı mekâna sahip olan zemin kat, 48 ısıtılma bölgeye ayrılarak sadeleştirilmiştir. Kuzeydoğu ve güneybatı cephelerinde yer alan akademisyen odalarının aralarındaki koridorların farklı bir ısıtılma bölge olarak ayrılmasıyla, kendi içlerinde birbirleriyle aynı konfor şartlarına sahip olduğu kabul edilmiş ve tek bir ısıtılma bölge olarak gösterilmiştir. Yine benzer şekilde kuzeydoğu ve güneybatı cephelerinde konumlanan yan yana odalarda yer alan ameliyathane ve yoğun bakım üniteleri ayrı tek bir ısıtılma bölge, hasta odaları da tek bir ısıtılma bölge olarak ayrılmıştır. Koridorlar, tuvaletler ve geçiş holleri farklı termostat sıcaklık

değerlerine sahip oldukları için kattaki diğer mekânlardan ayrı bir ısııl bölge olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.11: Hastane zemin kat planı.

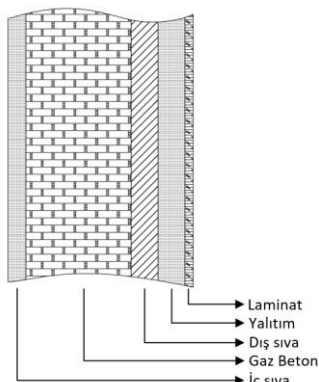
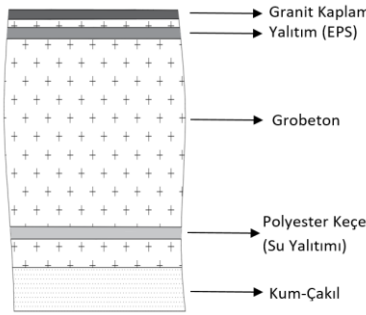
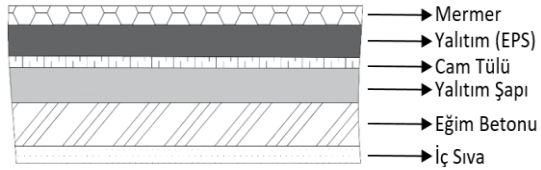
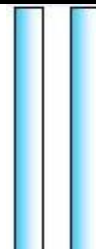
Tüm katlar için ısııl bölgelemesi yapılan Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesi DesignBuilder programı ile 3 boyutlu olarak modellenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesinin DesignBuilder programında oluşturulan 3D modeli.

Model oluşturulduktan sonra binanın mevcut özellikleri (bina kullanım süreleri, sızdırmazlık oranları, dış ve iç yapı malzemeleri, aydınlatma tipi, ofis ekipmanları ve bunun oluşturduğu iç ısı kazançları, HVAC sistemi, vb.) ile ilgili bilgiler/parametreler programa girilmiştir. Bina'nın mevcut durumunu temsil eden simülasyon modeli ile binanın yıllık enerji tüketimi yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Bununla birlikte iyileştirme önerileri ortaya konulduktan sonra her bir bileşen, enerji tasarruf potansiyeli açısından karşılaştırılabilir. Tablo 3.5'te, binanın yapı elemanlarının malzeme bileşenleri ve U değerleri verilmiştir.

Tablo 3.5: Hastane binası yapı elemanlarının malzeme bileşenleri ve U değerleri.

Yapı elemanları	Malzeme bileşenleri	U değeri (W/m ² K)
Dış duvar		0.763
Çatı		0.574
Taban		0.332
Pencere	 <p>-4 mm cam -12 mm hava boşluğu -4 mm cam - Yeşil renkli</p>	1.978

Binanın mevcut özelliklerine ait programa girilen parametrelerden biri olan iç ısı kazançları DesignBuilder programında şu şekilde tanımlanmıştır;

- Kullanıcı Yoğunluğu: Hastane binası akademik takvim dönemi içinde çoğunlukla hafta içi sabah 8 ile akşam 21 saatleri arasında yoğun olarak kullanılmaktadır. Yaz döneminde ise hafta içi sabah 8 ile akşam 17 saatleri arasında hasta, personel ve ziyaretçiler tarafından kullanıldığı kabul edilmiştir. Birim alan başına düşen kişi yoğunluğu hesaplandığında 0.13 kişi/m^2 değeri bulunmuş ve programa girilmiştir. Kullanıcı yoğunluğunun yaz döneminde eğitim olmaması nedeniyle haziran, temmuz ve ağustos aylarında büyük oranda azaldığı varsayılmıştır. Ayrıca kişilerin faaliyet düzeyi her bir mekânın kullanım amacını yansıtacak şekilde tanımlanmıştır; laboratuvarlar ve öğrenci alanlarına ofislerden daha yüksek bir aktivite seviyesi atanmıştır. Hasta odaları için aktivite seviyeleri düşük tutulmuştur.
- Aydınlatma: Hastane binasında kış döneminde lambaların hafta içi saat 8:00-10.00 ve 16:00-21:00 saatleri arasında yoğun olarak açık olduğu, 21:00-07:00 saatleri arasında koridor ve hollerin aydınlatmalarının açık tutulduğu, günün geri kalanında gün ışığının yeterli olacağı kabul edilmiştir. Binada bulunan aydınlatma elemanları Şekil 3.13’de görülmektedir. Yapılan gözlemler sonucunda mevcut bir lamba 72-volt olmakla beraber birim alan başına 3.5 W/m^2 elektrik tüketilmektedir.



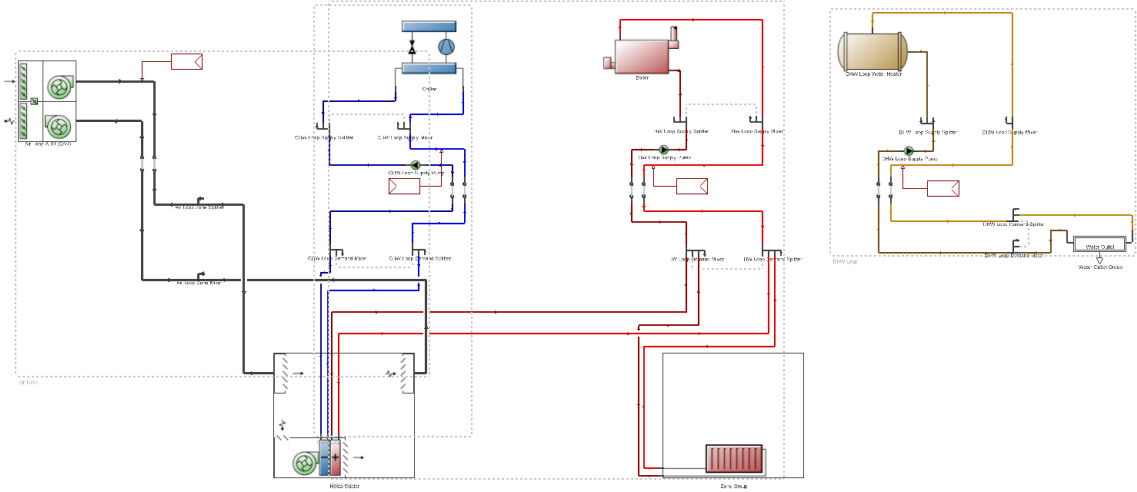
Şekil 3.13: Hastane binasında bulunan aydınlatma elemanları.

- Cihazlar: Binada röntgen, MR, tomografi gibi yüksek enerji tüketen cihazların yanı sıra bilgisayar, yazıcı, fotokopi cihazı gibi ekipmanlarda sıkça kullanılmaktadır. Bu cihazların birim alan başına ise 1.5 W/m^2 elektrik tükettikleri kabul edilmiştir. Ayrıca hastanede bulunan diğer cihazlar için ofis ekipmanları elektrik tüketimi 2.4 W/ m^2 alınmıştır.
- Hava Sızdırmazlık: Hastane binası için yapılan gözlemler sonucunda hava sızdırmazlık değeri $0,7 \text{ ac/h}$ olarak alınmıştır.
- Termostat sıcaklık değerleri: Hafta içi ısıtma döneminde (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan) $24.4 \text{ }^\circ\text{C}$, soğutma döneminde (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül) ise $25.78 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak tanımlanmıştır.

Hasta ve personel odaları, derslikler, tuvaletler, laboratuvar, yoğun bakım, ameliyathane gibi odalarda hem ısıtma hem soğutma sisteminin olduğu 4 borulu fan coil sistemi mevcuttur. Depolarda ve bodrumun bazı bölümlerinde ise sadece ısıtma yapılan radyatörler bulunmaktadır. Bu yüzden HVAC sistemi programda öncelikle 2 ayrı bölgede çözülmüştür (Şekil 3.15).



Şekil 3.14: Hastane binasında bulunan radyatör ve fancoil.



Şekil 3.15: Hastane binasının DesignBuilder programında tanımlanan HVAC sistemi.

3.3.3 Bina Simülasyon Modelinin Kalibrasyonu: Balıkesir Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi

DesignBuilder programı kullanılarak mevcut binaya ait özellikler programa tanımlandıktan sonra enerji tüketim değerleri için simülasyonu gerçekleştirilecek olan model, sonuçların güvenilirliğini ve geçerliliğini kontrol etmek için mevcut enerji tüketim değerleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Herhangi bir enerji tasarruf politikası uygulanmadan önce, sonuçlar hastane binasının gerçek doğalgaz ve elektrik tüketim değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma için oluşturulan modelin güvenilirliği ve geçerliliğini kontrol etmek için ortalama sapma hatası (MBE) ve CVRMSE (Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error) değerleri kullanılmıştır.

Öncelikle ortalama sapma hatası (MBE) hesaplanmıştır. MBE (Mean Bias Error), her ay için gerçekte ölçülen ve simülasyon sonucunda elde edilen enerji tüketim değerleri arasındaki ortalama fark ile ilgilidir [110]. Bu değerler aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i - s_i)}{\sum_{i=1}^{N_p} (m_i)} \quad (3.8)$$

Hesaplanacak diğer parametre ise, hata karelerinin ortalamasının kökünü ifade eden RMSE (Root Mean Squared Error) değeridir. Bu değer için, her ay ölçülen ve/veya kurumlardan temin edilen ve simülasyonda elde edilen enerji tüketim değerleri arasındaki farkların

kareleri alınmaktadır. Daha sonra her ay için elde edilen hata karelerinin ortalamasının karekökü hesaplanarak, RMSE değeri bulunmaktadır. Bulunan RMSE değeri, ölçülen ve/veya temin edilen gerçek enerji tüketim değerlerine bölüldüğünde CVRMSE (Coefficient of Variation of the Root Mean Squared Error) elde edilmektedir. CVRMSE aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$CVRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_p} ((m_i - s_i)^2 / N_p)}}{\overline{M_p}} \quad (3.9)$$

M_p değeri de aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$\overline{M_p} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} m_i}{N_p} \quad (3.10)$$

Bina enerji simülasyonlarında modelin kalibrasyonu için hesaplanan MBE ve CVRMSE değerleri, verilerin aylık yada saatlik ölçümüne göre belirlenmiş standart kriterlere dayanmaktadır. Sonuçlar “ASHRAE Kılavuzu 14” [111] tarafından belirlenen Tablo 3.6’da gösterilen kriterlere uygun olduğu sürece bina enerji simülasyon modeli, genellikle “güvenilir” şeklinde kabul edilir [112].

Tablo 3.6: Bina enerji simülasyon modellerinin kalibrasyonu için kriter kabulleri.

Standart/ilke	Aylık kriter (%)		Saatlik kriter (%)	
	MBE	CVRMSE (aylık)	MBE	CVRMSE (saatlik)
ASHRAE	5	15	10	30
IPMVP	20	-	5	20
FEMP	5	15	10	30

3.4 Derece-gün Hesaplamaları

Binaların dış duvar, çatı (tavan) ve döşemeleri (tabanları) için optimum yalıtım kalınlığının hesaplamasında öncelikle dış hava sıcaklıkları ile bulunan derece-gün değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir [113]. Optimum yalıtım kalınlığı tespitinde kullanılan derece gün

kavramı; enerji gereksinimi, tüketimi ve talep tahmininde kullanılır. Burada iç ortam ile dış ortam sıcaklıkları arasındaki farktan yararlanır [114]. TS 825, dış ortam aylık ortalama sıcaklık verilerini dikkate alarak ısıtma derece-gün değeri için, iç ortam ile dış ortam arasında 3°C sıcaklık farkın bulunduğu ısıtma yapılması gerektiği belirtilmektedir. Bu fark güneş enerjisi ve iç kazançlardan kaynaklanmaktadır [115]. Böylece denge sıcaklığı T_b , bina iç ortam sıcaklığı T_i 'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [116];

$$T_b = T_i - 3 \quad (3.11)$$

Burada; T_b , binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, cihaz ve ekipmanlar, güneş ışınımı v.s.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklıktır ve bu temel sıcaklık olarak tanımlanır. T_o ise aylık dış ortam sıcaklığı ve T_i ise, aylık iç ortam sıcaklığıdır. Çalışmada, TS 825'e göre ikinci bölgede bulunan Balıkesir ili için, dış ortam aylık ortalama sıcaklık verileri; Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarının ortalama dış ortam sıcaklıkları denge sıcaklığından büyük olduğundan bu aylarda ısıtma olmadığı ve $DG=0$ olduğu kabul edilerek ısıtma sezonu DG değeri, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [117];

$$\text{Eğer } (T_o \leq T_b) \text{ ise,} \quad IDG = 30 \sum_1^{12} (T_i - T_o) \quad (3.12)$$

Günlük ortalama sıcaklık verileri için soğutma derece-gün değeri;

$$\text{eğer } (T_o \leq T_b) \text{ ise} \quad SDG = \sum_1^N (T_b - T_o) \quad (3.13)$$

$$\text{eğer } (T_o > T_b) \text{ ise} \quad SDG = 0 \quad (3.14)$$

ile hesaplanır. Burada; T_b temel (denge) sıcaklık, T_o ise dış ortam sıcaklığıdır [118]. TS 825 dış ortam aylık ortalama sıcaklık verileri için soğutma derece-gün değeri için [119];

$$\text{Eğer } (T_o \leq T_b) \text{ ise,} \quad SDG = 30 \sum_1^{12} (T_b - T_o) \quad (3.15)$$

Tablo 3.7’de aylık olarak 2017 yılı sıcaklık verileri ile denklem (3.11) ile (3.12) ve TS 825 aylık dış ortam sıcaklık verileri ile denklem (3.13) kullanılarak hastane binası için ısıtma derece-gün değerleri hesaplanmıştır. Yine aynı tablodan Balıkesir ili için aylık olarak ölçülen sıcaklık verileri ile denklem (3.14) ve (3.15) kullanılarak ve TS 825 aylık dış ortam sıcaklık verileri ile kullanılarak hesaplanan derece-günler, Tablo 3.8’de verilmiştir. Soğutma derece gün (SDG) hesaplamaları, temel sıcaklık ölçüm değerlerine göre alınmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla TS 825’te hastaneler için belirtilen 22°C temel sıcaklıkta derece-gün değerleri ayrıntılı olarak Tablo 3.9’da gösterilmiştir.

Tablo 3.7: Balıkesir için meteorolojik dış hava sıcaklık verileri (°C).

Ay	2017 yılı ölçülen dış ortam sıcaklık verileri	TS 825 Dış Ortam Sıcaklık Verileri
Ocak	2.28	2.9
Şubat	7.44	4.4
Mart	9.95	7.3
Nisan	13.22	12.8
Mayıs	17.53	18.0
Haziran	23.02	22.5
Temmuz	24.73	24.9
Ağustos	23.95	24.3
Eylül	22.62	19.9
Ekim	15.02	14.1
Kasım	11.12	8.5
Aralık	9.68	3.8
Ortalama	15.05	13.6

Tablo 3.8: Binanın farklı hacimleri için hesaplamalarda kullanılacak iç ortam sıcaklıkları ve ısıtma derece-gün değerleri (iç ortam ölçümlerine göre).

	Ortalama Dış Sıcaklık	Ortalama İç Sıcaklık	Gün	IDG	SDG
Ocak	2.28	24.36	31	684.52	-
Şubat	7.44	23.56	28	451.37	-
Mart	9.95	24.5	31	450.94	-
Nisan	13.22	23.87	30	319.53	-
Mayıs	17.53	24.69	31	221.96	-
Haziran	23.02	22.36	30	-	19.84
Temmuz	24.73	23.59	31	-	35.24
Ağustos	23.95	23.18	31	-	23.73
Eylül	22.62	24.925	30	69.02	-
Ekim	15.02	24.36	31	289.47	-
Kasım	11.12	24.19	30	391.95	-
Aralık	9.68	24.75	31	467.26	-
Toplam				3346	79

Tablo 3.9: Binanın farklı hacimleri için hesaplamalarda kullanılacak iç ortam sıcaklıkları ve derece-gün değerleri (TS 825).

	Ortalama Dış Sıcaklık	Ortalama İç Sıcaklık	Gün	HDD	CDD
Ocak	2.28	22	31	611.36	-
Şubat	7.44	22	28	407.69	-
Mart	9.95	22	31	373.44	-
Nisan	13.22	22	30	263.43	-
Mayıs	17.53	22	31	138.56	-
Haziran	23.02	22	30	-	30.64
Temmuz	24.73	22	31	-	84.53
Ağustos	23.95	22	31	-	60.31
Eylül	22.62	22	30	-	18.73
Ekim	15.02	22	31	216.31	-
Kasım	11.12	22	30	326.25	-
Aralık	9.68	22	31	382.01	-
Toplam				2719	194

Benzer şekilde ASHRAE’de [108] hastaneler için belirtilen 24 °C temel sıcaklıkta soğutma derece-gün değerleri ayrıntılı olarak Tablo 3.10’da gösterilmiştir.

Tablo 3.10: Binanın farklı hacimleri için hesaplamalarda kullanılacak iç ortam sıcaklıkları ve derece-gün değerleri (ASHRAE 55).

	Ortalama Dış Sıcaklık	Ortalama İç Sıcaklık	Gün	HDD	CDD
Ocak	2.28	24	31	673.36	
Şubat	7.44	24	28	463.69	
Mart	9.95	24	31	435.44	
Nisan	13.22	24	30	323.43	
Mayıs	17.53	24	31	200.56	
Haziran	23.02	24	30	29.35	
Temmuz	24.73	24	31		22.54
Ağustos	23.95	24	31	1.68	
Eylül	22.62	24	30	41.26	
Ekim	15.02	24	31	278.31	
Kasım	11.12	24	30	386.25	
Aralık	9.68	24	31	444.01	
Toplam				3277	23

Sonuç olarak ölçümlere, TS 825 ve ASHRAE standartlarına göre Balıkesir ili için elde edilen derece-gün değerleri Tablo 3.11’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Ölçümlere göre iç sıcaklıklar, ısıtma döneminde 24.4 °C, soğutma döneminde ise 25.78 °C olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.11: Bina için hesaplamalarda kullanılacak ısıtma-soğutma derece-gün değerleri.

	Isıtma Derece-Gün	Soğutma Derece-Gün	İç Ortam Sıcaklığı
Ölçüm Sonuçları	3346	79	24.4 / 25.78
TS 825	2719	194	22
ASHRAE 55	3277	23	24

3.4.1 Isıtma, Soğutma ve Isıtma+Soğutma Yüklerine Göre Dış Duvarlar, Çatı ve Döşeme için Optimum Yalıtım Kalınlıkları ve Yakıt Tüketim Değerleri

Binalarda artan yalıtım kalınlığı ile ısıtma yükü, soğutma yükü ve buna bağlı yakıt maliyeti azalmaktadır. Ancak yalıtım kalınlığının artması yalıtım maliyetini artırmaktadır. Yakıt ve yalıtım maliyetinin toplanmasıyla elde edilen toplam maliyet, belirli bir değere kadar azalmakta ve daha sonra artmaktadır. Toplam maliyetin minimum olduğu değer, optimum yalıtım kalınlığını vermektedir [120].

Optimum yalıtım kalınlığı; bugünkü faiz ve enflasyon oranına, binanın ömrüne, ısıtma ve soğutma ekipmanlarının verimine, ısıtma ve soğutma yüklerine bağlı olduğu kadar enerji ve

yalıtım malzemesi fiyatına da bağlıdır [121]. Farklı yalııtım malzemeleri için hastane binasının dış duvarlarının, çatı (tavan) ile döşemenin (taban) teorik ve gerçekteki optimum yalııtım kalınlığı hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır. Bir binanın dış duvarının birim alan başına ısı kaybı,

$$q = U(T_b - T_o) \quad (3.16)$$

derece-gün kavramına göre birim alan için yıllık ısı kaybı,

$$q = 86400.DG.U \quad (3.17)$$

bağıntılarında hesaplanmaktadır. Duvar için toplam ısı geçiş katsayısı,

$$U = \frac{1}{(R_i + R_w + (x/k) + R_o)} \quad (3.18)$$

eşitliği ile verilirken, yalııtımsız duvar için toplam ısı direnci $R_{t,w}$ 'ya göre duvarın toplam ısı geçiş katsayısı ise dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı sebebiyle ısıtma ve soğutma için yıllık enerji miktarları yakma sisteminin verimine bölünmesiyle hesaplanabilir;

$$U = \frac{1}{(R_{t,w} + (x/k))} \quad (3.19)$$

Isıtma için yıllık enerji miktarları,

$$E_{A,H} = \frac{86400.IDG.U}{\eta} \quad (3.20)$$

Soğutma için yıllık enerji miktarları,

$$E_{A,C} = \frac{86400.SDG.U}{COP} \quad (3.21)$$

Burada R_i ile R_o iç ve dış ortam ısı dirençleridir. x , yalııtım kalınlığı; k yalııtım malzemesi ısı iletim katsayısıdır. Böylece (x/k) yalııtım tabakası ısı direncidir. Bu değerlere bağlı olarak tüketilen yıllık yakıt miktarı,

Isıtma yıllık yakıt miktarı,

$$M_{f,H} = \frac{86400 \cdot IDG}{(R_{t,w} + (x/k)) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (3.22)$$

Soğutma yıllık yakıt miktarı,

$$M_{f,C} = \frac{86400 \cdot SDG}{(R_{t,w} + (x/k)) \cdot COP} \quad (3.23)$$

formülü ile bulunur. Yıllık yakıt miktarı yakıt fiyatı (C_y) ile çarpılması ile yakıt maliyeti hesaplanabilir. Isıtma yakıt maliyeti,

$$C_{A,H} = \frac{86400 \cdot IDG \cdot C_f}{(R_{t,w} + x/k) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (3.24)$$

Soğutma yakıt maliyeti,

$$C_{A,C} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_e}{(R_{t,w} + x/k) \cdot COP} \quad (3.25)$$

Yalıtım maliyeti ise,

$$C_{t,ylt} = C_{ylt} \cdot x \quad (3.26)$$

olurken, toplam ısıtma maliyeti,

$$C_{t,H} = C_{A,H} \cdot PWF + C_{ylt} \cdot x = \frac{86400 \cdot IDG \cdot C_y \cdot PWF}{(R_{t,w} + x/k) \cdot H_u \cdot \eta} + C_{ylt} \cdot x \quad (3.27)$$

toplam soğutma maliyeti,

$$C_{t,C} = C_{A,C} \cdot PWF + C_{ylt} \cdot x = \frac{86400 \cdot SDG \cdot C_e \cdot PWF}{(R_{t,w} + x/k) \cdot COP} + C_{ylt} \cdot x \quad (3.28)$$

formülleri ile bulunur [115], [119], [120], [122]. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ömür maliyet analizi (Life Cycle Cost Analysis) yapılmaktadır. Toplam ısıtma maliyeti N yıllık ömür için bugünkü değer faktörü (PWF-Present Value Factor) ile değerlendirilir [120], [123]. Ömür maliyet analizi, ömür üzerine parça ya da sistemin fiyatı hesaplanan ekonomik değerlendirme tekniğidir [124]. Ömür maliyet analizini, ömür süresi ile faiz ve enflasyon oranları etkilemekte olup, optimum yalıtım kalınlığı da bugünkü değer faktörünü etkiler. Faiz ve enflasyon oranları sabit değildir. Faiz (i) ve enflasyon (g) oranlarının değişmesi ile

birlikte PWF ve dolayısıyla optimum yalıtım kalınlığı da değişmektedir [120]. Bugünkü değer faktörü şu şekilde hesaplanır;

eğer $i > g$ ise gerçek faiz oranı,

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (3.29)$$

eğer $i < g$ ise

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (3.30)$$

dir. O zaman;

$$PWF = \frac{(1 + r)^N - 1}{r \cdot (1 + r)^N} \text{ olur.} \quad (3.31)$$

Eğer $i = g$ ise

$$PWF = \frac{N}{1 + i} \quad (3.32)$$

ile bulunur. Denklem (3.27) ve denklem (3.28)'in yalıtım kalınlığına göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse, yalıtım maliyeti ile yakıt maliyetinin en uygun olduğu noktadaki kalınlık olan, optimum yalıtım kalınlığı [123],

ısıtma dönemi için optimum yalıtım kalınlığı,

$$x_{opt,H} = 293.94 \cdot \left(\frac{IDG \cdot C_y \cdot k \cdot PWF}{H_u \cdot C_{ylt} \cdot \eta} \right)^{1/2} - k \cdot R_{t,w} \quad (3.33)$$

soğutma dönemi optimum yalıtım kalınlığı,

$$x_{opt,C} = 293.94 \cdot \left(\frac{SDG \cdot C_e \cdot k \cdot PWF}{C_{ylt} \cdot COP} \right)^{1/2} - k \cdot R_{t,w} \quad (3.34)$$

formülleri ile elde edilir. Burada, H_u yakıtın alt ısıl değeri, C_y yakıtın fiyatı, C_{ylt} yalıtım malzemesinin fiyatı; k , yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı, η ise ısıtma sisteminin verimidir [123].

Dış duvarlar ve çatı için ısıtma+soğutma 'da toplam yakıt maliyeti, ısıtma ve soğutma yakıt maliyetlerinin toplamıdır,

$$C_{A,H,C} = \left(\frac{86400PWF}{R_{t,w} + x/k} \right) \left(\frac{C_y.IDG}{H_u.\eta} + \frac{C_e.SDG}{COP} \right) \quad (3.35)$$

Isıtma+soğutma optimum yalıtım kalınlığı ise, toplam maliyet, ısıtma ve soğutma maliyetlerinin toplamıdır.

$$C_{t,H,C} = \left(\frac{86400PWF}{R_{t,w} + x/k} \right) \left(\frac{C_y.IDG}{H_u.\eta} + \frac{C_e.SDG}{COP} \right) + (C_{ylt}.x) \quad (3.36)$$

toplam maliyet denkleminin x'e göre türevi alınıp sıfıra eşitlerse aşağıda verilen optimum yalıtım kalınlığı denklemi elde edilir [123], [125].

$$x_{opt,H,C} = 293.94. \left(\frac{IDG.C_y.k.PWF}{H_u.C_{ylt}.\eta} + \frac{SDG.C_e.k.PWF}{C_{ylt}.COP} \right)^{1/2} - k.R_{t,w} \quad (3.37)$$

Bu formüller dış ortamla temas eden dış duvar ve çatı (tavan) için kullanılır (TS 825). Dış ortamla temas etmeyen taban için ısıtma, soğutma ve ısıtma+soğutma; yakıt tüketimi, yakıt tüketimi maliyeti, toplam maliyet ve optimum yalıtım kalınlığı aşağıdaki şekilde hesaplanır [126]:

Tüketilen yıllık ısıtma yakıt miktarı,

$$M_{f,H} = \frac{86400.IDG.0.5}{(R_{t,w} + (x/k)).H_u.\eta} \quad (3.38)$$

ısıtma dönemi yakıt maliyeti,

$$C_{A,H} = \frac{86400.IDG.C_f.0.5}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} \quad (3.39)$$

toplam ısıtma maliyeti,

$$C_{t,H} = C_{A,H}.PWF + C_{ylt}.x = \frac{86400.IDG.C_y.PWF.0.5}{(R_{t,w} + x/k).H_u.\eta} + C_{ylt}.x \quad (3.40)$$

ısıtma için optimum yalıtım kalınlığı,

$$x_{opt,H} = 293.94. \left(\frac{IDG.C_y.k.PWF.0.5}{H_u.C_{ylt}.\eta} \right)^{1/2} - k.R_{t,w} \quad (3.41)$$

tüketilen yıllık soğutma yakıt miktarı,

$$M_{f,C} = \frac{86400 \cdot SDG \cdot 0.5}{(R_{t,w} + (x/k)) \cdot COP} \quad (3.42)$$

soğutma dönemi yakıt maliyeti,

$$C_{A,C} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_e \cdot 0.5}{(R_{t,w} + x/k) \cdot COP} \quad (3.43)$$

toplam soğutma maliyeti,

$$C_{t,C} = C_{A,C} \cdot PWF + C_{ylt} \cdot x = \frac{86400 \cdot SDG \cdot C_e \cdot PWF \cdot 0.5}{(R_{t,w} + x/k) \cdot COP} + C_{ylt} \cdot x \quad (3.44)$$

soğutma dönemi için optimum yalıtım kalınlığı,

$$x_{opt,C} = 293.94 \cdot \left(\frac{SDG \cdot C_e \cdot k \cdot PWF \cdot 0.5}{C_{ylt} \cdot COP} \right)^{1/2} - k \cdot R_{t,w} \quad (3.45)$$

tüketilen yıllık ısıtma+soğutma toplam yakıt maliyeti ise,

$$C_{A,H,C} = \left(\frac{86400 \cdot PWF \cdot 0.5}{R_{t,w} + x/k} \right) \cdot \left(\frac{C_y \cdot IDG}{H_u \cdot \eta} + \frac{C_e \cdot SDG}{COP} \right) \quad (3.46)$$

toplam ısıtma+soğutma maliyeti,

$$C_{t,H,C} = \left(\frac{86400 \cdot PWF \cdot 0.5}{R_{t,w} + x/k} \right) \cdot \left(\frac{C_y \cdot IDG}{H_u \cdot \eta} + \frac{C_e \cdot SDG}{COP} \right) + (C_{ylt} \cdot x) \quad (3.47)$$

ısıtma+soğutma için optimum yalıtım kalınlığı,

$$x_{opt,H,C} = 293.94 \cdot \left(\frac{IDG \cdot C_y \cdot k \cdot PWF \cdot 0.5}{H_u \cdot C_{ylt} \cdot \eta} + \frac{SDG \cdot C_e \cdot k \cdot PWF \cdot 0.5}{C_{ylt} \cdot COP} \right)^{1/2} - k \cdot R_{t,w} \quad (3.48)$$

yalıtım uygulamasının geri dönüş periyodu,

$$PP = \frac{C_{t,ylt}}{A_s} \quad (3.49)$$

Burada, A_s yalıtımsız dış duvar, çatı ve döşeme toplam ısıtma, soğutma ve ısıtma+soğutma maliyetleri ile yalıtımlı dış duvar, çatı ve taban toplam ısıtma, soğutma ve ısıtma+soğutma maliyetleri farkıdır [120], [123], [125]. Geri ödeme süresi, bir yatırımın sağladığı nakit

akımlarının kaç dönem sonra o yatırım için kullanılan fon çıkışına eşit olacağını gösteren süre şeklinde tanımlanır [127].

3.4.2 Hesaplamalarda Kullanılan Yakıt Özellikleri ve Mali Değerler

Yakıt olarak doğal gaz ve elektrik kullanılmaktadır. Doğal gazın özellikleri ve fiyatı Balıkesir Gaz Dağıtım Şirketi (BALGAZ), elektrik fiyatı Uludağ Elektrik Dağıtım A. Ş. den, enflasyon ve faiz oranları ise Merkez Bankası ve Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden alınmıştır. Yapılan hesaplamalar için kullanılan, yakıtların özellikleri ve mali değerler, 2017 yılı için Tablo 3.12’de gösterilmiştir.

Tablo 3.12: Hesaplamalara kullanılan yakıtlar ve mali değerleri.

Parametre	Değer
Yakıt	
Doğal Gaz	
Fiyat, C_y	0.385 \$/m ³
Verim, η	0.90
Alt Isıl Değer, H_u	34.48510 ⁶ J/m ³
Elektrik	
Fiyat	0.107 \$/kWh
Mali Değerler	
Faiz Oranı, (i)	%7.25
Enflasyon Oranı, (g)	%11.13
Ömür, N	10 yıl
PWF	8.27

Hesaplamalarda kullanılan (Denklemler 3.48) yalıtım malzemeleri ısı iletim katsayıları ve birim fiyatları Tablo 3.13’te verilmiştir. Optimum yalıtım kalınlıkları hesapları için ayrıca gerekli olan yakıtların özellikleri ve birim fiyatları da Tablo 3.14’te gösterilmektedir. Bu değerler doğrultusunda farklı yakıt tipleri için optimum yalıtım kalınlıkları karşılaştırılarak mevcut durumun uygunluğu araştırılmıştır.

Tablo 3.13: Yalıtım malzemeleri ısı iletim katsayıları ve birim fiyatları.

Yalıtım Malzemesi	k(W/m ² K)	Birim Fiyat (\$/m ³)
XPS	0.031	180
EPS	0.039	120
Cam Yünü (GW)	0.040	75
Taş Yünü (RW)	0.040	80
Poliüretan (PUR)	0.024	260

*Aralık 2017 değerleri temel alınmıştır.

Tablo 3.14: Yakıtların özellikleri ve birim fiyatları.

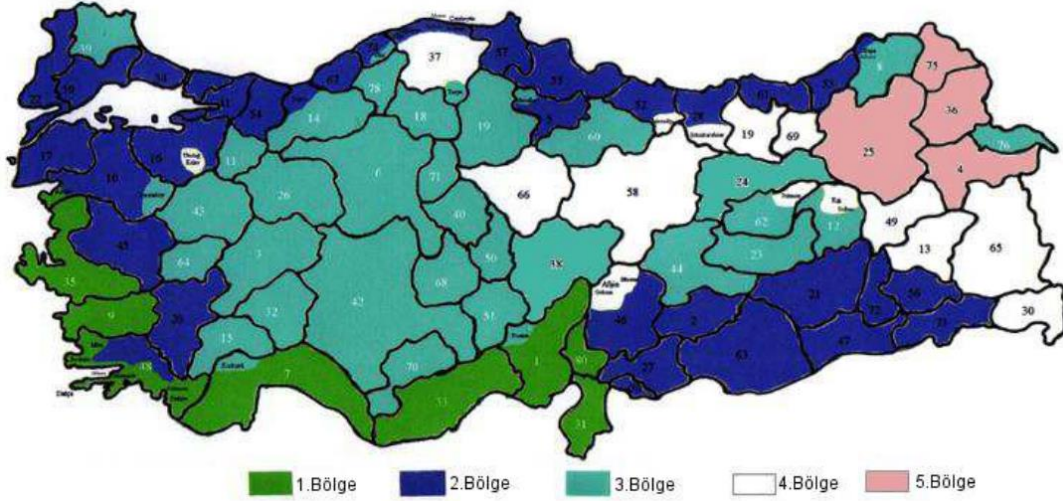
Yakıt Türü	Alt Isıl Değer (Hu) J/m ³	Verim	Birim Fiyat	kWh Eşleniği
Doğalgaz	34485000	0.92	0.385 \$/m ³	10.64
Kömür	25080000	0.65	0.273 \$/kg	3.84
Fuel-oil 4	40546000	0.80	0.766 \$/litre	11.95
LPG	45980000	0.88	1.921 \$/litre	13.8
Elektrik	3594800	0.99	0.107 \$/kWh	1
Motorin	42636000	0.86	1.47 \$/litre	12.58

*Aralık 2017 değerleri temel alınmıştır.

3.5 İyileştirme Stratejilerinin Seçimi

Binalarda enerjiyi daha verimli kullanarak tasarruf etmek için, birçok strateji geliştirilebilir. Binanın fosil kaynaklı enerji ihtiyacını azaltmak, mimari anlamda değişiklikler, HVAC sistemlerinin daha verimli sistemlerle değiştirilmesi, mevcut yalıtım durumunun iyileştirilmesi ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi ile mümkündür. Binalarda enerji tüketimini en aza indirmek için kışın ısı kayıplarını yazın ise ısı kazançlarını azaltmak gerekmektedir. Isı kayıp ve kazançlarını ısı iletim katsayısından ödün vermeden azaltmak amacıyla hastane binasına ısı yalıtımı uygulaması önerilmiştir.

2013 yılında yürürlüğe giren TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardına göre Türkiye, binalarda ısı yalıtımı uygulamaları açısından Şekil 3.16'da gösterildiği gibi 5 derece gün bölgesine ayrılmıştır [126]. Çalışma alanı olan Balıkesir ili 2. bölgede yer almaktadır.



Şekil 3.16: Derece gün bölgelerine göre illerimiz.

Derece gün bölgelerine göre önerilen toplam ısı geçirgenlik değerleri ise Tablo 3.15’de verilmiştir. Bu çalışmada, duvara ve çatıya önerilen ısı yalıtımının kalınlıklarına karar vermek için İZODER TS825 programı kullanılmıştır. Binaların duvar ve çatı için kullanılan yapı elemanlarına ve yalıtım malzemelerine ait ısı iletim katsayı ve kalınlıklar, programa girildikten sonra U değerleri hesaplanmıştır. Balıkesir ili 2. derece gün bölgesinde yer aldığı için Tablo 3.15’de 2. bölge için verilen U değerleri geçerlidir. Bu değerler baz alınarak, minimum ısı yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Mevcut bina için döşeme U değeri (0,52 W/m².K), TS825’e [126] göre yeterli olduğundan, iyileştirme önerilerinde döşeme yalıtımında değişikliğe ihtiyaç duyulmamıştır. Ancak dış duvarlar ve çatı için yalıtım kalınlıklarının artırılması gerekmektedir. Bununla birlikte mevcut pencere U değerinin 1,978 olduğu görülmüş ve TS 825’e göre önerilen minimum 1.8 değerinin sağlanması gerektiği düşünülmüştür.

Tablo 3.15: Derece gün bölgelerine göre önerilen U değerleri.

Bölge	U duvar (W/m ² K)	U tavan (W/m ² K)	U taban (W/m ² K)	U pencere (W/m ² K)
1. bölge	0.66	0.43	0.66	1.8
2. bölge	0.57	0.38	0.57	1.8
3. bölge	0.48	0.28	0.43	1.8
4. bölge	0.38	0.23	0.38	1.8
5. bölge	0.36	0.21	0.36	1.8

Bu çalışmada seçilen üniversite binalarının enerji tüketimini en aza indirmek için uygulanacak enerji tasarrufu stratejileri Tablo 3.16’da gösterilmiştir. Ayrıca belirtilen yalıtım malzemeleri için uygulanacak olan optimum yalıtım kalınlıkları hesaplar doğrultusunda Tablo 4.8’de gösterilmiştir. Çatı için; Denklem 3.29 ile 3.37 arasındaki eşitlikler yardımı ile 5 farklı yalıtım malzemesi için hesaplanan, yalıtım maliyetleri, yakıt maliyetleri ve toplam maliyetlerin grafikleri Şekil 4.14’te verilmiştir. Burada toplam maliyeti minimum yapan noktalar o yalıtım malzemesine ait optimum yalıtım kalınlıklarıdır. Elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları, gerçekçi bir yaklaşım ile simülasyonlarda kullanılarak, hastane binası çatı yalıtım malzemesinin mevcut olan 4 cm EPS malzemesine ek olarak, içten yalıtım yapılması ile elde edilecek enerji tasarrufları hesaplanmıştır.

Benzer şekilde farklı yakıt tiplerine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları Tablo 4.8’de gösterilmiştir. Burada en uygun yalıtım kalınlıklarının doğalgaz için olduğu görülmektedir. Bu nedenle yapılan analizlerde sadece doğalgaz tüketimi dikkate alınmış, diğer yakıt tiplerinin maliyet açısından uygun olmadığı düşünülerek ayrıca analiz yapılmamıştır.

Tablo 3.16: Enerji tasarrufu stratejileri.

		Seviyeler					
Sembol	Faktör	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye	5. Seviye	Birim
DD	Dış Duvar	EPS	XPS	GW	RW	PUR	Metre
C	Çatı	EPS	XPS	GW	RW	PUR	Metre
P	Pencere	1.978	1.8	1.3	1.1	0.7	W/m ² .K
GK	Güneş Kırıcı	Mevcut	0.5 m	1 m	0.5 m	1 m	Metre
S	Sıcaklık	24.4/25.78	24	23.5	23	22	Derece

3.6 Optimizasyon Çalışmaları

Rekabetin sürekli arttığı ve isteklerin sürekli değiştiği ortamda kaliteyi yükseltmek ve maliyetleri en aza indirmek büyük önem taşımaktadır. Deney tasarım yönteminin amacı, incelenecek sistemdeki değişimlerin nedenlerini araştırmak ve olağan değişimleri ortadan kaldırmak veya yapılan değişimlere karşı sistemi güçlü kılmaya çalışmaktır. Bu sayede hem zamandan hem de maliyetten maksimum tasarruf elde edilmektedir [128]. Bir faktörü değiştirmekle deney yapma yönteminde ürün ve süreci etkileyen değişkenlerin performans

değeri üzerindeki beklentilerini belirleyebilmek için her seferinde bir değerin değiştirilip diğerleri sabit tutmak Őartıyla deneyler gerçekleştirilmektedir [71]. Yüksek sayıda deney gerektiren, optimum çalışma koşullarını her seferinde belirleyememesi, her seferinde bir faktörü değiştirerek deney uygulama yönteminin hem pratik, hem ekonomik, hem de etkin olamayacağının göstergesidir. Taguchi metodu, bu konuda kullanılan ileri düzey istatistik tekniklerinden birisidir [129]. Bu çalışmada ele alınan problem, Taguchi metoduyla oluşturulan verilere alternatif olarak, yapay sinir ağı uygulanmış ve maksimum enerji tasarrufu için en uygun enerji stratejisi belirlenmeye çalışılmıştır [130].

3.6.1 Problemin Tanımlanması

Maksimum enerji tasarrufu için ısıtma ve soğutma döneminde belirlenen yöntemler Şu Őekildedir (Tablo 3.17,

Tablo 3.18);

- Dış duvarların mevcut yalıtım durumunun incelenmesi, optimum yalıtım kalınlıklarının tespit edilmesi
- atı için mevcut yalıtım durumunun incelenmesi, optimum yalıtım kalınlıklarının tespit edilmesi
- Döşeme için mevcut yalıtım durumunun incelenmesi, optimum yalıtım kalınlıklarının tespit edilmesi
- Pencereleer için U değerlerinin tespiti ve en çok kullanılan pencere tiplerinin uygulanması
- Güneş kırıcıların etkisinin hesaplanması ve farklı tip güneş kırıcı kullanımının enerji tüketime etkisi
- İç ortam sıcaklıklarının tespiti ve standartlarda belirtilen değerler ile kıyaslanması

Yapılan çalışmalar sonucunda enerji tüketimini etkileyeceği düşünülen faktörler ve seviyeleri Tablo 3.17 ve Tablo 3.18’de verilmiştir. Değerlerin yakın olması nedeniyle yapay sinir ağı uygulaması için normalizasyona gerek duyulmamıştır.

Tablo 3.17: Doğalgaz tüketiminin belirlenen stratejilere göre seviyeleri (kWh).

Isıtma Dönemi		Seviyeler					Birim
Sembol	Faktör	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye	5. Seviye	
DD	Dış Duvar	6283405	6332790	6195541	6209197	6360502	Metre
C	Çatı	6158137	6195338	6066653	6078185	6223275	Metre
P	Pencere	6381361	6345553	6007532	5861066	5578186	W/m ² .K
GK	Güneş Kırıcı	6381361	6511637	6574258	6571681	6706461	Metre
S	Sıcaklık	6381361	6351347	6328574	6297845	6238789	Derece

Tablo 3.18: Soğutma için kullanılan elektrik tüketiminin belirlenen stratejilere göre seviyeleri (kWh).

Soğutma Dönemi		Seviyeler					Birim
Sembol	Faktör	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye	4. Seviye	5. Seviye	
DD	Dış Duvar	100899	100771	104830	105095	103879	Metre
C	Çatı	100194	106068	109583	109282	105353	Metre
P	Pencere	100359	104706	102800	105589	112637	W/m ² .K
GK	Güneş Kırıcı	100359	93225	84304	85722	73102	Metre
S	Sıcaklık	100359	89539	82412	65094	51344	Derece

Tablo 3.17 ve Tablo 3.18’de görüldüğü gibi her faktörün 5 seviyesi vardır. Burada amaç yapay sinir ağıları kullanarak bu 5 faktör için enerji tüketimini minimize edecek kombinasyonu bulmaktır. Burada 55 kombinasyondan 3125 simülasyon yapılması gerekmektedir. Fakat bu simülasyonları yapmak zaman açısından oldukça zordur. Yapay sinir ağıları ise 25 simülasyonun sonuçlarını alarak en iyi kombinasyonu bulmaya çalışacaktır. Faktör sayısı ve seviyeleri arttıkça simülasyonların hepsini yapmak imkansızlaşacaktır.

3.6.2 Öğrenme Setinin ve Ağın Oluşturulması

Tablo 3.19: Simülasyonlar sonucunda ısıtma dönemi için elde edilen veriler ve ilgili hesaplamalar.

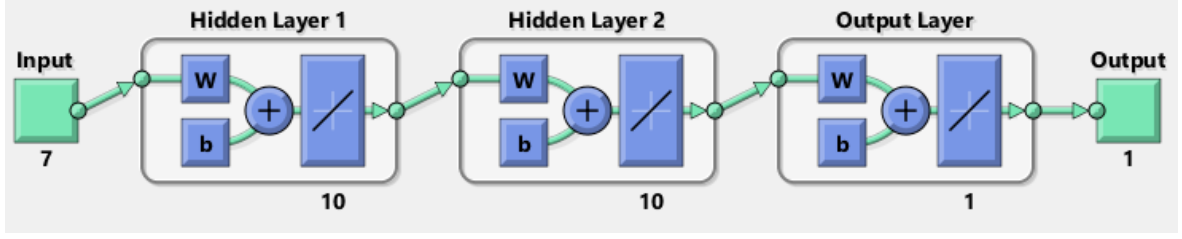
DD (cm)	Çatı (cm)	Pencere (W/m ² .K)	GK (m)	Sıcaklık (°C)	Isıtma Enerji Tüketimi(kWh)
2.15	3.13	0.7	0.5	23.5	5409749
2.15	1.82	1.978	1	23	6410220
2.15	5.74	1.8	0	22	5855765
2.15	5.34	1.3	0.5	24.4	5754899
2.15	1.11	1.1	1	24	5796435
3.17	3.13	1.8	1	23	6105658
3.17	5.74	1.1	1	24.4	5776047
3.17	5.34	0.7	0	24	5205337
3.17	1.11	1.978	0.5	23.5	6247407
3.17	1.82	1.3	0.5	22	5756926
4.78	1.82	1.8	0.5	24	6104875
4.78	5.74	1.3	1	23.5	5678519
4.78	5.34	1.1	0.5	23	5519443
4.78	1.11	0.7	1	22	5462065
4.78	3.13	1.978	0	24.4	6130635
7.07	3.13	1.1	0.5	22	5394975
7.07	1.82	0.7	1	24.4	5366659
7.07	5.74	1.978	0.5	24	6034100
7.07	1.11	1.3	0	23	5594335
7.07	5.34	1.8	1	23.5	6067101
7.48	3.13	1.3	1	24	5835462
7.48	5.74	0.7	0.5	23	5065533
7.48	5.34	1.978	1	22	5934463
7.48	1.11	1.8	0.5	24.4	6132746
7.48	1.82	1.1	0	23.5	5444173

Yapay sinir ağlarında önemli olan problemi en iyi gösterecek öğrenme setini belirlemektir. Taguchi yaptığı analizler sonucundan geliştirdiği ortogonal dizilere dayanarak oluşturulan örneklerin problem uzayını temsil ettiğini göstermiştir. YSA’da bu örnek için tasarlanmış L25 ortogonal dizisine bağlı yapılan simülasyonlar öğrenme seti olarak alınmıştır. Bu diziye göre 25 deneyin yapılması gerekmektedir. Bu durumda standart L25 ortogonal dizine faktörlerin yerleştirilmiş şekli ve simülasyonların sonuçları ısıtma dönemi için Tablo 3.19, soğutma dönemi için Tablo 3.20’deki gibi olacaktır. Her kombinasyon için yapılan simülasyon sonucu enerji tüketimini ifade etmektedir. Bu değerler eğitim seti olarak düşünülmüştür.

Tablo 3.20: Simülasyonlar sonucunda soğutma dönemi için elde edilen veriler ve ilgili hesaplamalar.

DD (cm)	Çatı (cm)	Pencere (W/m ² .K)	GK (m)	Sıcaklık (°C)	Soğutma Enerji Tüketimi(kWh)
2.15	3.13	0.7	0.5	23.5	44985
2.15	5.74	1.8	0	22	105497
2.15	5.34	1.3	0.5	25.78	77624
2.15	1.82	1.978	1	23	84805
2.15	1.11	1.1	1	24	59000
3.17	5.34	0.7	0	24	70304
3.17	5.74	1.1	1	25.78	43007
3.17	1.11	1.978	0.5	23.5	96210
3.17	1.82	1.3	0.5	22	89373
3.17	3.13	1.8	1	23	84527
4.78	5.74	1.3	1	23.5	81417
4.78	1.11	0.7	1	22	43069
4.78	5.34	1.1	0.5	23	61026
4.78	3.13	1.978	0	25.78	101767
4.78	1.82	1.8	0.5	24	88222
7.07	1.11	1.3	0	23	96123
7.07	5.74	1.978	0.5	24	95542
7.07	1.82	0.7	1	25.78	37600
7.07	5.34	1.8	1	23.5	69481
7.07	3.13	1.1	0.5	22	76236
7.48	5.74	0.7	0.5	23	62923
7.48	3.13	1.3	1	24	62331
7.48	5.34	1.978	1	22	105852
7.48	1.11	1.8	0.5	25.78	76542
7.48	1.82	1.1	0	23.5	79140

Isıtma ve soğutma dönemi için enerji tüketimini etkileyen faktörlerin sayısı 5 olduğundan, 5 giriş ünitesi ve enerji tüketimini tahmin eden 1 çıkış ünitesi belirlenmiştir. Aktivasyon fonksiyonu 'purelin', eğitim algoritması ısıtma döneminde trainlm ve soğutma döneminde trainscg kullanılarak ara katmanda ise 10 ünitelerden oluşan bir ağ oluşturulmuş ve bu ağın modeli Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17: Oluşturulan yapay sinir ağı modeli.

3.6.3 Ağın Eğitilmesi ve Test Edilmesi

Tablo 3.21: Isıtma dönemi tahminleri için ağın eğitim ve test verileri.

DD (cm)	Çatı (cm)	Pencere (W/m ² .K)	GK (m)	Dikey	Yatay	Sıcaklık (°C)	Isıtma Enerji Tüketimi(kWh)
Eğitim seti							
4.78	1.82	1.8	0.5	1	0	24	6104875
4.78	5.74	1.3	1	1	0	23.5	5678519
4.78	5.34	1.1	0.5	0	1	23	5519443
4.78	1.11	0.7	1	0	1	22	5462065
3.17	3.13	1.8	1	1	0	23	6105658
7.48	3.13	1.3	1	0	1	24	5835462
3.17	5.74	1.1	1	0	1	24.4	5776047
3.17	5.34	0.7	0	0	0	24	5205337
3.17	1.11	1.978	0.5	1	0	23.5	6247407
7.48	5.74	0.7	0.5	1	0	23	5065533
7.48	5.34	1.978	1	1	0	22	5934463
7.48	1.11	1.8	0.5	0	1	24.4	6132746
7.07	3.13	1.1	0.5	1	0	22	5394975
7.07	1.82	0.7	1	1	0	24.4	5366659
7.07	5.74	1.978	0.5	0	1	24	6034100
7.07	1.11	1.3	0	0	0	23	5594335
2.15	3.13	0.7	0.5	0	1	23.5	5409749
2.15	1.82	1.978	1	0	1	23	6410220
2.15	5.74	1.8	0	0	0	22	5855765
2.15	5.34	1.3	0.5	1	0	24.4	5754899
Test seti							
4.78	3.13	1.978	0	0	0	24.4	6130635
7.48	1.82	1.1	0	0	0	23.5	5444173
3.17	1.82	1.3	0.5	0	1	22	5756926
7.07	5.34	1.8	1	0	1	23.5	6067101
2.15	1.11	1.1	1	1	0	24	5796435

Ağın eğitilmesi, bahsedilen öğrenme kurallarına göre gerçekleştirilmiştir. Ağın öğrenip öğrenmediğinin tespiti için gerçek bir simülasyon sonucu ile ağın verdiği sonuçlar karşılaştırılmıştır. Öğrenme setinde; yapılan 25 analizin 20'si ağın eğitilmesi için ve 5'i ağın test edilmesi için kullanılmıştır. Tablo 3.21 ve Tablo 3.22'de eğitim ve test için kullanılan veriler gösterilmiştir.

Tablo 3.22: Soğutma dönemi tahminleri için ağın eğitim ve test verileri

DD (cm)	Çatı (cm)	Pencere (W/m ² .K)	GK (m)	Dikey	Yatay	Sıcaklık (°C)	Soğutma Enerji Tüketimi(kWh)
Eğitim seti							
2.15	3.13	0.7	0.5	0	1	23.5	44985
2.15	5.74	1.8	0	0	0	22	105497
2.15	5.34	1.3	0.5	1	0	25.78	77624
2.15	1.82	1.978	1	0	1	23	84805
3.17	5.34	0.7	0	0	0	24	70304
3.17	5.74	1.1	1	0	1	25.78	43007
3.17	1.11	1.978	0.5	1	0	23.5	96210
3.17	1.82	1.3	0.5	0	1	22	89373
4.78	5.74	1.3	1	1	0	23.5	81417
4.78	1.11	0.7	1	0	1	22	43069
4.78	5.34	1.1	0.5	0	1	23	61026
4.78	3.13	1.978	0	0	0	25.78	101767
7.07	1.11	1.3	0	0	0	23	96123
7.07	5.74	1.978	0.5	0	1	24	95542
7.07	1.82	0.7	1	1	0	25.78	37600
7.07	5.34	1.8	1	0	1	23.5	69481
7.48	5.74	0.7	0.5	1	0	23	62923
7.48	3.13	1.3	1	0	1	24	62331
7.48	5.34	1.978	1	1	0	22	105852
7.48	1.11	1.8	0.5	0	1	25.78	76542
Test seti							
7.48	1.82	1.1	0	0	0	23.5	79140
4.78	1.82	1.8	0.5	1	0	24	88222
3.17	3.13	1.8	1	1	0	23	84527
2.15	1.11	1.1	1	1	0	24	59000
7.07	3.13	1.1	0.5	1	0	22	76236

4. ANALİZLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Isıl Konfor Analizleri

4.1.1 İç Ortam Parametrelerinin Analizi

İç ortam parametrelerinin ısıtma ve soğutma dönemlerine göre analizleri Tablo 4.1’ de verilmiştir. Isıtma dönemi için en düşük iç ortam sıcaklığı 20.3 °C olarak kaydedilirken, en yüksek 29.4 °C ve ortalama 24.4 °C olarak kaydedilmiştir. Bu dönemde kaydedilen sıcaklık değerlerinin ASHRAE 55 [4] ve ISO 7730 [8] standartlarının üzerinde olduğu görülmüştür. Benzer şekilde soğutma dönemi içinde kaydedilen sıcaklıklar standartlara uygun değildir. Buradan sonuçla, termostat sıcaklıklarının standartlara uygun tutulduğu düşünülürse, ısıtma ve soğutma sistemlerinin istenilen düzeyde verimli çalışmadığı söylenebilir. Yani HVAC sistemi, standartlarda önerilen sıcaklık aralıklarını sağlamakta yetersizdir.

ASHRAE 55 [4] ve ISO 7730 [8] standartlarına göre bağıl nem seviyeleri sırasıyla %30-60 ve %30-70 aralığında olmalıdır. Yapılan ölçümlere göre, bağıl nem değerlerinin genel olarak bu değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Isıtma dönemi için maksimum hava akım hızı 0.34 m/s ve soğutma dönemi için 0.27 m/s olarak ölçülmüştür. Standartlarda bu değerlerin ASHRAE-55 için 0.16 ve ISO 7730 için 0.19 olması gerektiği belirtilmektedir. Isıl konfor açısından incelendiğinde ölçülen değerler standartların çok üzerindedir. ISO 7730 standardı soğutma ve ısıtma döneminde operatif sıcaklığı 22 ± 2 °C ve 24.5 ± 1.5 °C olarak önermektedir. ASHRAE-55 ise uygun operatif sıcaklığı 1 saatlik süre içerisinde iç ortam sıcaklığından maksimum 2.2 °C değişimi olarak tanımlamaktadır. Benzer şekilde HVAC sistemlerinin yetersizliği nedeniyle, ölçülen operatif sıcaklıklar standart değerlere uymamaktadır.

ISO 7730’a göre bina sınıflandırması A, B ve C olmak üzere 3 kategoride tanımlanmıştır (Tablo 3.3) . A sınıfı konfor koşullarının sağlanmasının zor olması nedeniyle ($-0.2 < PMV < +0.2$) , hastane binası için B sınıfının ($-0.5 < PMV < +0.5$; $PPD < 10\%$) seçilmesi uygun görülmüştür. Fanger teorisine göre [7] hesaplanan en düşük PMV değerleri standartlara uygundur. Diğer taraftan bazı bölümlerde ortalama ve maksimum PMV değerleri önerilen değerlerin üzerindedir. Dahası ısıtma dönemi için maksimum 1.3, soğutma dönemi için maksimum 1.28 olarak hesaplanan değerler kabul edilemez bir noktadadır. Ancak bu değerlerin kullanıcıların tercihleri ile karşılaştırılması gerekmektedir.

Tablo 4.1: İç ortam parametrelerinin istatistiksel analizi.

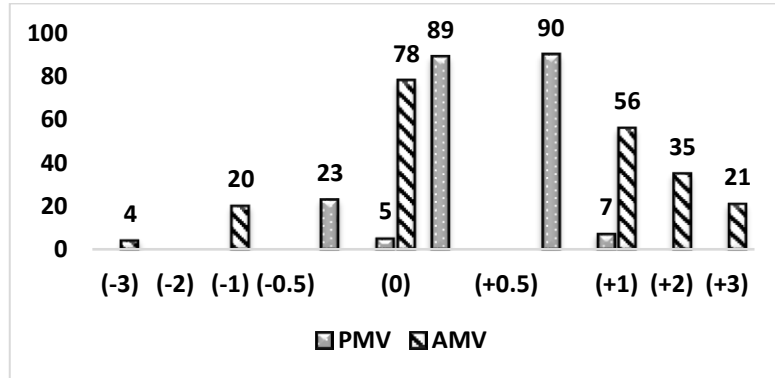
Parametre	En Düşük		En Yüksek		Ortalama		Standart Sapma		Referans
	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	Isıtma	Soğutma	
İç ortam sıcaklığı (°C)	20.3	23.8	29.4	27.7	24.4	25.78	1,196	0.868	22-24 ^{a,b}
Bağıl nem (%)	24.1	25.8	43.8	50.6	32.2	39.72	4,635	5.325	30-60 ^a /30-70 ^b
Hava akım hızı (m/s)	0.02	0.01	0.34	0.27	0.1	0.1	0.051	0.043	0,16 ^a / 0,19 ^b
Ortalama radyan sıcaklık (°C)	21.7	23.1	27.2	28.3	24.5	26.01	1.02	0.987	NA
Operatif sıcaklık (°C)	21	23.45	28.3	28	24.5	25.89	0.591	0.868	22+-2.0 ^{a,b}
PMV	-0.39	-0.48	1.3	1.28	0.54	0.43	0.35	0.36	NA
PPD	5.3	5	40.9	39.1	14.06	11.9	7.78	6.855	NA

^a ASHRAE-55.

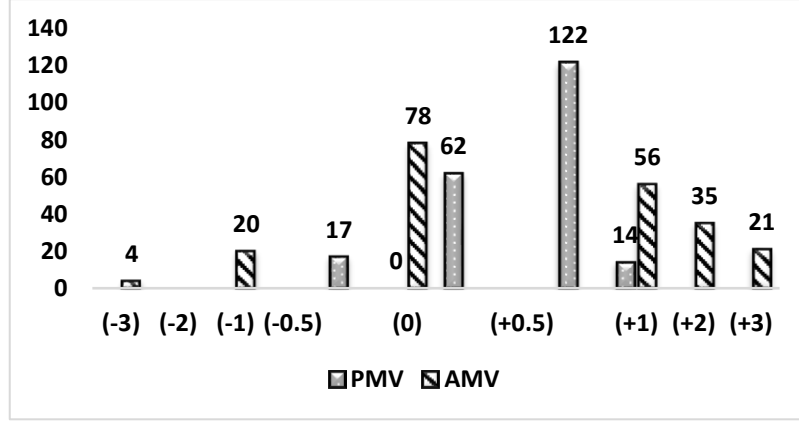
^b ISO 7730.

4.1.2 Isıl Konfor Tercihlerinin Analizi

3 farklı katılımcı tipi için (hasta, hasta yakını, personel) soğutma döneminde 214, ısıtma döneminde ise 215 anket uygulanmıştır. Katılımcıların verdiği cevapların dağılımı Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Hesaplanan PMV değerlerinin 117’sinin standartlara uygun olduğu (-0.5 / +0.5) görülmüştür. 78 katılımcı ise bulunduğu konfor koşullarının uygun olduğunu söylemiştir. Ancak diğer katılımcılar mevcut konfor koşullarının yeterli olmadığını belirtmiştir. Benzer şekilde ısıtma dönemi için hesaplanan PMV değerlerinin 79’u standartlara uygunken, 78 katılımcı anket sonuçlarına göre, mevcut koşullardan memnun olduğunu belirtmiştir.



Şekil 4.1: Soğutma dönemi için PMV ve AMV değerlerinin dağılımı.



Şekil 4.2: Isıtma dönemi için PMV ve AMV değerlerinin dağılımı.

4.1.3 Ölçülen ve Hissedilen Konfor Koşulları

Ölçülen ve hissedilen ısı konfor koşulları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Soğutma dönemi konfor koşulları incelendiğinde ölçülen konfor koşullarının hasta yakınları dışındaki gruplar için uygun olduğu görülmüştür. PMV değeri 0.45 ve PPD değeri %9.2 olarak hesaplanmıştır. Ancak anket sonuçları dikkate alındığında, AMV değeri aynı koşullar için, 0.73 ve APD değeri %16.2 değeri ile (Tablo 4.2) ortamın ısı konfor açısından uygun olmadığını göstermiştir. Bu durumun en önemli nedeni, katılımcıların aktivite durumları, kıyafet durumları, hava akım hızı ve bağıl nem değerlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Isıtma dönemi için ise, ölçülen PMV değeri 0.54 ve PPD değeri %14 (Tablo 4.3) olarak hesaplanmış ve konfor koşullarının uygun olmadığı görülmüştür. Ancak anket sonuçları, bu koşulların 0.07 AMV ve %5.1 APD değeri ile katılımcı tercihleri açısından uygun olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda hem ısıtma hem soğutma dönemi için mevcut konfor koşullarının katılımcıların tercihleri ile örtüşmediği görülmektedir. Özellikle soğutma döneminde personel için hesaplanan PMV ve personelin tercihleri arasında 1.33 AMV değeri ile çok büyük fark olduğu tespit edilmiştir. Özetle soğutma döneminde ortam koşulları standartlara uygunken, katılımcılar ortamın sıcak olduğunu; ısıtma döneminde ise ortam koşulları standartların üzerindeyken, katılımcılar ortamın normal olduğunu belirtmiştir.

Tablo 4.2: Soğutma dönemi için ölçülen ve hissedilen ısı konfor koşulları.

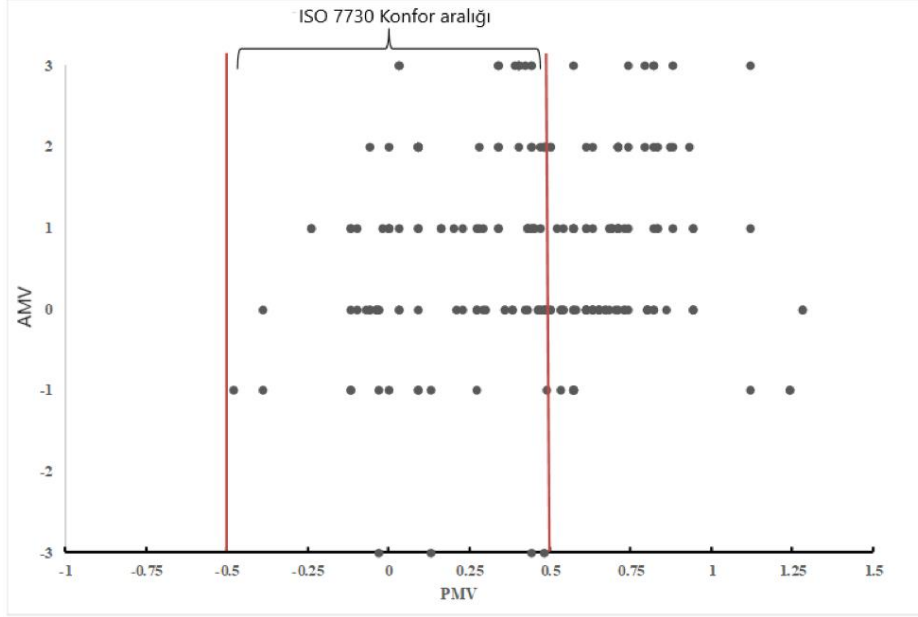
	Ölçülen ısı konfor koşulları			Hissedilen ısı konfor koşulları			
	Ortalama PMV	Konfor durumu	Ortalama PPD	Sayı	AMV	Konfor durumu	APD
Tümü	0.45	Normal	9.2	214	0.73	Biraz sıcak	16.2
Erkek	0.47	Normal	9.6	70	0.8	Biraz sıcak	18.5
Kadın	0.45	Normal	9.2	144	0.7	Biraz sıcak	15.3
Hasta	0.42	Normal	8.7	61	0.41	Normal	8.5
Personel	0.41	Normal	8.5	63	1.33	Sıcak	41.8
Hasta yakını	0.51	Biraz sıcak	10.4	90	0.53	Biraz sıcak	10.9
30 yaş altı	0.45	Normal	9.2	71	0.93	Biraz sıcak	23.3
30-60 yaş arası	0.47	Normal	9.6	96	0.76	Biraz sıcak	17.2
60 yaş üstü	0.42	Normal	8.7	47	0.38	Normal	8

Tablo 4.3: Isıtma dönemi için ölçülen ve hissedilen ısı konfor koşulları.

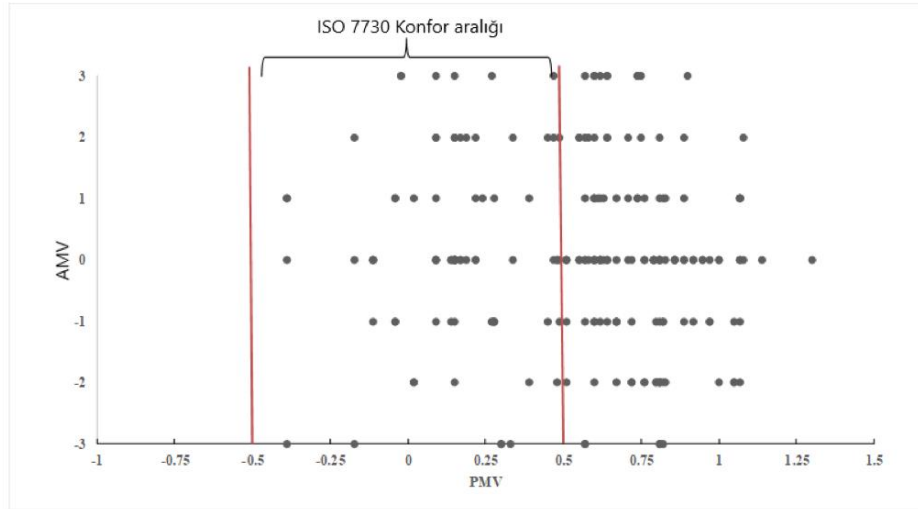
	Ölçülen ısı konfor koşulları			Hissedilen ısı konfor koşulları			
	Ortalama PMV	Konfor durumu	Ortalama PPD	Sayı	AMV	Konfor durumu	APD
Tümü	0.54	Biraz sıcak	14%	215	0.07	Normal	5.10%
Erkek	0.52	Biraz sıcak	10.70%	68	0	Normal	5%
Kadın	0.54	Biraz sıcak	14%	147	0.096	Normal	5.20%
Hasta	0.48	Normal	9.80%	42	-0.05	Normal	5.10%
Personel	0.69	Biraz sıcak	15%	76	-0.12	Normal	5.30%
Hasta yakını	0.51	Biraz sıcak	10.40%	97	0.24	Normal	6.20%
30 yaş altı	0.63	Biraz sıcak	13.30%	49	-0.04	Normal	5%
30-60 yaş arası	0.5	Normal	10.20%	101	0.08	Normal	5.10%
60 yaş üstü	0.52	Biraz sıcak	10.70%	65	0.12	Normal	5.30%

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te soğutma ve ısıtma dönemi için PMV ve AMV değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. ISO 7730' a göre konfor koşulları -0.5 ve +0.5 PMV değerleri arasında olmalıdır. Soğutma dönemi için anket sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, hissedilen konfor değerlerinin %54.4'ü konfor sınırları içerisindeyken, %45.6'sının konfor sınırları dışında kaldığı görülmektedir. Benzer şekilde ısıtma dönemi için hissedilen konfor değerlerinin %36.7'si konfor sınırları içerisindeyken %63.3'ü konfor

sınırlarının dışında kalmıştır. Bu sonuçlar, mevcut bina ve tercihler açısından, standartların konfor koşullarını sağlamakta yetersiz kaldığını göstermektedir.



Şekil 4.3: Soğutma dönemi için PMV ve AMV değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.4: Isıtma dönemi için PMV ve AMV değerlerinin karşılaştırılması.

4.1.4 Katılımcıların Analizi

Cronbach alpha katsayısı, anketlerde sorulan soruların yanıtlarının güvenilirliğini test etmek amacıyla kullanılır [131]. Değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, kabul edilen güvenilirlik değeri 0.70 ile 0.95 arasındadır [132], [133]. Bu çalışmada uygulanan anketlerin cronbach alpha değeri 0.731 bulunmuş olup, güvenilir olduğu görülmüştür. Yani soruların ve ölçeklerin mevcut durumda analiz için yeterli olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.4: Yaş, cinsiyet ve katılımcı tipine göre ısıtma ve soğutma dönemleri için ki-kare testleri.

		Isıl konfor							Toplam	Pearson ki-kare	Anlamlılık düzeyi	
		Soğuk (-3)	Biraz Soğuk (-2)	Serin (-1)	Normal (0)	Ilık (+1)	Biraz Sıcak (+2)	Sıcak (+3)				
Cinsiyet	Erkek	2	11	8	26	11	5	5	68	5.584a	0.471	
	Kadın	8	13	25	53	18	19	11	147			
	Toplam	24	33	79	79	29	24	16	215			
Isıtma Dönemi	Grup	Personel	4	5	10	10	4	4	5	42	15.570b	0.212
		Hasta	3	10	9	35	9	5	5	76		
		Hasta Yakını	3	9	14	34	16	15	6	97		
	Toplam	10	24	33	79	29	24	16	215			
Yaş	≤30	4	7	10	10	7	6	5	49	17.898c	0.119	
	31-59	6	12	13	37	11	14	3	101			
	≥60	0	5	10	32	11	4	3	65			
Toplam		10	24	33	79	29	24	16	215			
Cinsiyet	Erkek	0	0	5	28	18	14	5	70	4.454d	0.486	
	Kadın	4	0	15	50	38	21	16	144			
	Toplam	4	0	20	78	56	35	21	214			
Soğutma Dönemi	Grup	Personel	1	0	10	6	13	15	18	63	60.430e	0.000
		Hasta	2	0	4	28	20	6	1	61		
		Hasta Yakını	1	0	6	44	23	14	2	90		
	Toplam	4	0	20	78	56	35	21	214			
Yaş	≤30	1	12	15	17	14	12		71	33.766f	0.000	
	31-59	3	6	36	23	19	9		96			
	≥60	0	2	27	16	2	0		47			
Toplam		4	20	78	56	35	21		214			

a 1 cells (7,1%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 3,16.

b 6 cells (28,6%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1,95.

c 5 cells (23,8%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2,28.

d 2 cells (16,7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1,31.

e 3 cells (16,7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1,14.

f 5 cells (27,8%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,88.

Ki-kare testi ise farklı gruplar arasında anlamlı farklılık olup olmadığını araştırmak için kullanılır [51], [134], [135]. Bu çalışmada ısıtma ve soğutma dönemi için, cinsiyet, yaş ve katılımcı tipine bağlı olarak farklılıklar araştırılmış ve sonuçlar Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Isıtma dönemi için farklı yaş gruplarında ki-kare değeri 17.898 olarak hesaplanmış ve 0.119 anlamlılık düzeyi ile gruplar arasında farklılık olmadığı görülmüştür. Yani ısıtma dönemi için yaş durumunun ısı konfor açısından bir etkisi yoktur. Soğutma dönemi incelendiğinde ise, yaş grupları ve katılımcı tipi için ki-kare değerleri sırasıyla 33.766 ve 60.403 olarak hesaplanmış ve anlamlılık düzeylerinin 0.05'ten küçük olduğu görülmüştür. Yani, soğutma döneminde yaş gruplarına ve katılımcı tipine bağlı olarak gruplar arasından farklılık olduğunu göstermektedir. Bu durum ileriki bölümlerde daha detaylı olarak incelenmiştir.

4.1.5 Isıl Konfora Etki Eden Fiziksel Faktörler

Bu bölümde, ısı konfora etki eden fiziksel parametreler; bina yönü, cinsiyet farklılığı, katılımcı tipi ve bina kat seviyesinin etkisi, ısıtma ve soğutma dönemleri için ayrı ayrı incelenmiştir. İstatistiksel analiz yöntemlerinden Levene testi uygulanarak varyansların eşit olup olmadığına bakılmıştır. Hipotez kabulleri denklem 4.1'de gösterilmiştir.

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2, \quad H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad (4.1)$$

Tablo 4.5'te Levene testi yöntemi doğrultusunda sadece anlamlı farklılıkların olduğu durumlar gösterilmiştir. Farklılık olmayan durumlara yer verilmemiştir. Hipotezde H_0 anlamlı farklılık olmadığını ifade ederken, H_1 gruplar arasından anlamlı farklılık olduğunu ifade etmektedir. Gruplar ısıtma ve soğutma dönemine göre gruplandırılmıştır. Yani ısıtma dönemi cevapları ile soğutma dönemi cevapları karşılaştırılmıştır. Bu sayede yaz ve kış dönemi arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

Isıl algı durumları incelendiğinde, anlamlılık düzeyi 0.000 bulunmuş ve katılımcıların yaz ve kış döneminde ısı algılarının farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu durum, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te belirtilen PMV ve AMV değerleri ile örtüşmektedir. Benzer şekilde hastane personeli için anlamlılık düzeyi 0.000 olarak bulunmuştur. Soğutma dönemi için personelin aktivite seviyelerinin diğer gruplara göre yüksek olması nedeniyle sıcak hissetmeleri, personel odalarının penceresiz bölümler olması gibi nedenler bu durumu açıklamaktadır. Literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında [97], [136], [137] bina yönünün ısı konfor üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Kuzey batı ve kuzey doğu yönlerine bakan odalarda

verilen cevaplar karşılaştırıldığında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir. Odaların sıcaklıkları analiz edildiğinde kuzey batı yönündeki odaların kuzey doğu yönündeki odalara göre daha soğuk olduğu, HVAC sisteminin binanın tümünde sıcaklık açısından dengeli bir ısıtma-soğutma yapamadığı gözlenmiştir. Hastalar dikkate alındığından ise durum benzer sonuçlar göstermiştir.

Cinsiyetin ısı konfora etkisi ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır [138] [141]. Anlamlılık düzeyi 0.000 ile anlamlı farklılık olduğu, Minitab ile yapılan ileri analizlerde, kadınların yaz dönemi için erkeklere göre, sıcaklık açısından daha hassas olduğu görülmüştür. Yaş gruplandırması yapılırken, literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak 30'dan küçük, 30-59 arası ve 60 üstü olmak üzere 3 grubun cevapları yaz ve kış dönemi olarak karşılaştırılmıştır. İlk 2 grup için anlamlı farklılık ortaya çıkarken, 60 yaş üstü grup için anlamlı farklılık olmadığı görülmüştür. Tablo 4.2' de görüldüğü gibi 60 yaş üstü katılımcıların, diğer gruplar ısı konfor açısından normal hissettiği anlarda daha sıcak hissettikleri görülmektedir.

Tablo 4.5: Varyansların eşitliği durumlarına göre Levene testi ve t-testi için ısıtma-Soğutma dönemleri karşılaştırması.

	Levene testi		t-test		
	F	Sig.	T	Df	Anlamlılık düzeyi
Isıl algı	2.089	0.149	5.018	427	0
Personel	0.641	0.425	4.483	103	0
Hasta	1.478	0.226	2.134	135	0.035
30 yaş altı	2.799	0.097	3.330	118	0.001
30-59 yaş	1.683	0.196	3.292	195	0.001
60 yaş üstü	3.576	0.061	1.409	110	0.162
Erkek	1.324	0.252	3.651	136	0
Kadın	0.922	0.338	3.628	289	0
Bina yönü	3.191	0.075	-3.306	213	0.001

Isıtma ve soğutma dönemi için katılımcı tipine göre ısı konfor koşullarının analizi amacıyla Anova testi yapılmıştır. Anova'da farklılık tespit edilirse, bu farklılığın hangi druptan kaynaklandığının anlaşılması için Tukey'in HSD ve/veya LSD (ileri düzey) testi yapılarak sonuçlar ortaya konulmaktadır. Tablo 4.6' da görüldüğü üzere ısıtma dönemi için anlamlılık düzeyi 0.310 bulunmuştur. Yani ısıtma dönemi için katılımcı tipine göre anlamlı bir farklılık yoktur. Soğutma dönemi için ise anlamlılık düzeyi 0.000 bulunarak anlamlı bir farklılık

olduğu görülmüştür. Bu durumun daha detaylı analizi için Tukey HSD ve LSD testi uygulanmıştır (Tablo 4.7).

Tablo 4.6: Katılımcı tipine bağlı olarak ısıtma ve soğutma dönemi için Anova testi.

		Kareköklerin Toplamı	Df	Ortalama	F	Anlamlılık Düzeyi
Soğutma Dönemi	Gruplar arası	32.664	2	16.332	11.755	.000
	Gruplar içi	293.154	212	1.389		
Isıtma Dönemi	Gruplar arası	5.348	2	2.674	1.177	.310
	Gruplar içi	481.741	213	2.272		

Soğutma dönemi için Tukey HSD ve LSD test sonuçlarına göre (Tablo 4.7) gruplar arası farkın hangi gruptan kaynaklandığının tespiti yapılmıştır. Tabloda 1 değeri hastane personeli, 2 değeri hasta ve 3 değeri hasta yakınına belirtmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, hastane personeli ve hastaların ısıl konfor algısının hasta yakınlarına göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu durum hastaların sağlık durumlarının kötü olması ve hastane personelinin sürekli hareket halinde olması ile açıklanabilir.

Tablo 4.7: Soğutma dönemi için katılımcı tipine göre Tukey HSD ve LSD testi.

	(I)	(J)	Ortalama Farklılık (I-J)	Hata	Anlamlılık	95% Güven aralığı	
						Alt Sınır	Üst Sınır
Tukey HSD	1	2	-0.92350*	0.21173	0.000	-1.4233	-0.4237
		3	-0.80000*	0.19362	0.000	-1.2570	-0.3430
	2	1	0.92350*	0.21173	0.000	0.4237	1.4233
		3	0.12350	0.19548	0.803	-0.3379	0.5849
	3	1	0.80000*	0.19362	0.000	0.3430	1.2570
		2	-0.12350	0.19548	0.803	-0.5849	0.3379
LSD	1	2	-0.92350*	0.21173	0.000	-1.3409	-0.5061
		3	-0.80000*	0.19362	0.000	-1.1817	-0.4183
	2	1	0.92350*	0.21173	0.000	0.5061	1.3409
		3	0.12350	0.19548	0.528	-0.2619	0.5088
	3	1	0.80000*	0.19362	0.000	0.4183	1.1817
		2	-0.12350	0.19548	0.528	-0.5088	0.2619

*. Anlamli farklılık vardır.

4.1.6 Korelasyon Analizleri

Operatif sıcaklık (OPT), sadece iç ortam sıcaklığı değil aynı zamanda ortamda bulunan kişiler tarafından yüzeylerden (duvar, zemin, tavan ve pencerelerden) kaynaklı hissedilen sıcaklıktır ve ısıl konfor analizleri için iyi bir yöntemdir [45], [142]. Operatif sıcaklık ile PMV ve AMV değerlerinin regresyon analizi konfor sıcaklıkları ortaya çıkarılmaktadır. Regresyon denklemleri aşağıdaki gibidir;

Soğutma dönemi için;

$$PMV = 0.2678 \times (OPT) - 6.553, (R^2 = 0.39) \quad (4.2)$$

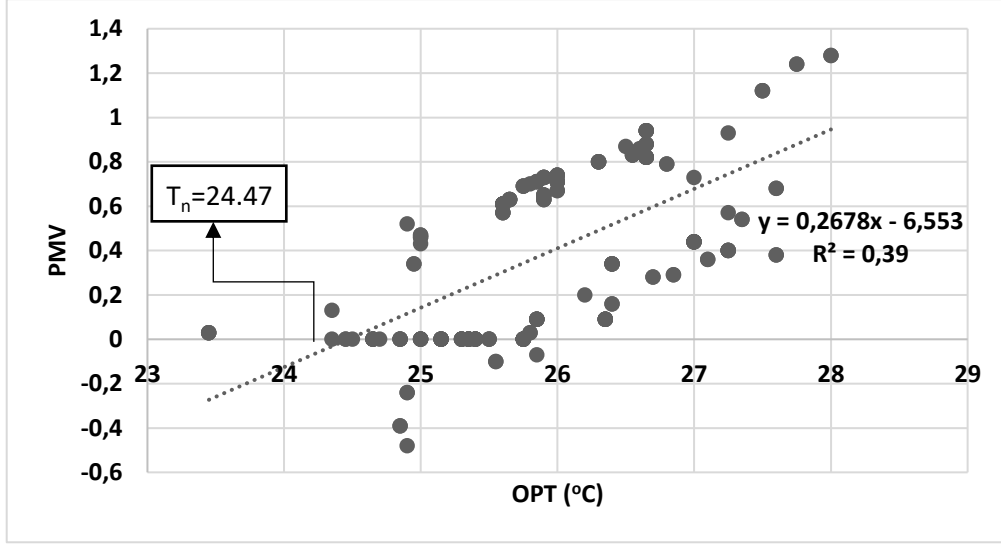
$$AMV = 0.1842 \times (AMV) - 4.0368, (R^2 = 0.0167) \quad (4.3)$$

Isıtma dönemi için;

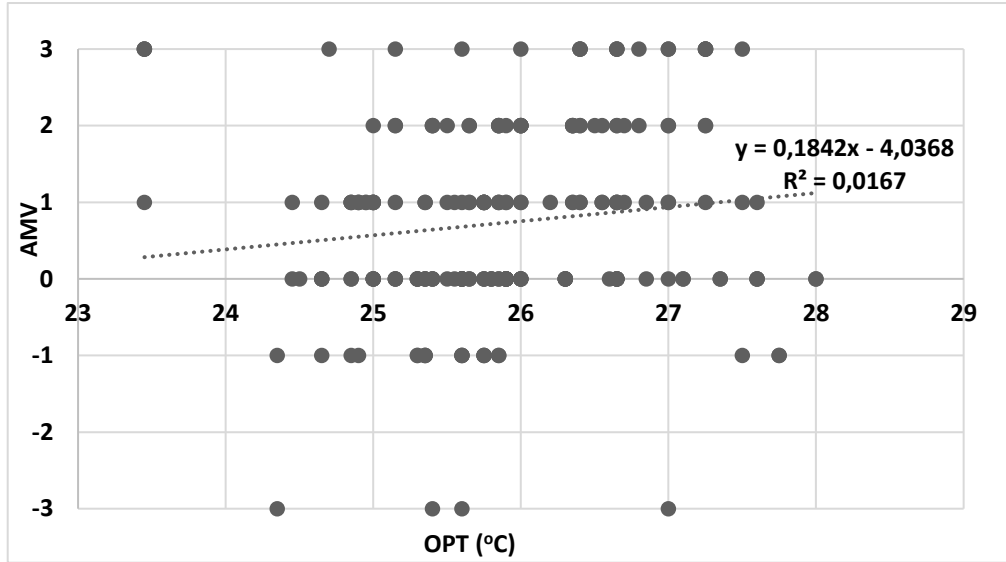
$$PMV = 0.3874 \times (OPT) - 8.8805, (R^2 = 0.9129) \quad (4.4)$$

$$AMV = 1.0272 \times (OPT) - 24.498, (R^2 = 0.4085) \quad (4.5)$$

Soğutma dönemi için sonuçlar incelendiğinde; ölçülen ve anket sonuçlarına göre hesaplanan OPT sıcaklıkları sırasıyla 24.47 °C ve 21.91 °C (Şekil 4.5, Şekil 4.6) olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, ölçülen sıcaklıkların, kullanıcıların ısıl konfor karşısındaki algıların tam olarak karşılayamadığı söylenebilir. Dahası ISO 7730'a göre operatif sıcaklıklar soğutma dönemi için 23 °C ve 26 °C arasında olmalıdır. Hesaplanan sıcaklık ise standart aralığın dışında kalmıştır. Kullanıcıların ısıl algılarının anket sonuçlarına göre Tablo 4.2'de görüldüğü gibi 'biraz sıcak' olduğu düşünülürse, iç ortam koşullarının soğutma dönemi için ısıl konfor açısından normal olduğu söylenebilir. Yani ortam koşulları düşük sıcaklıkta olmasına karşın, kullanıcı tercihleri bu değer in yüksek olduğu yönündedir.

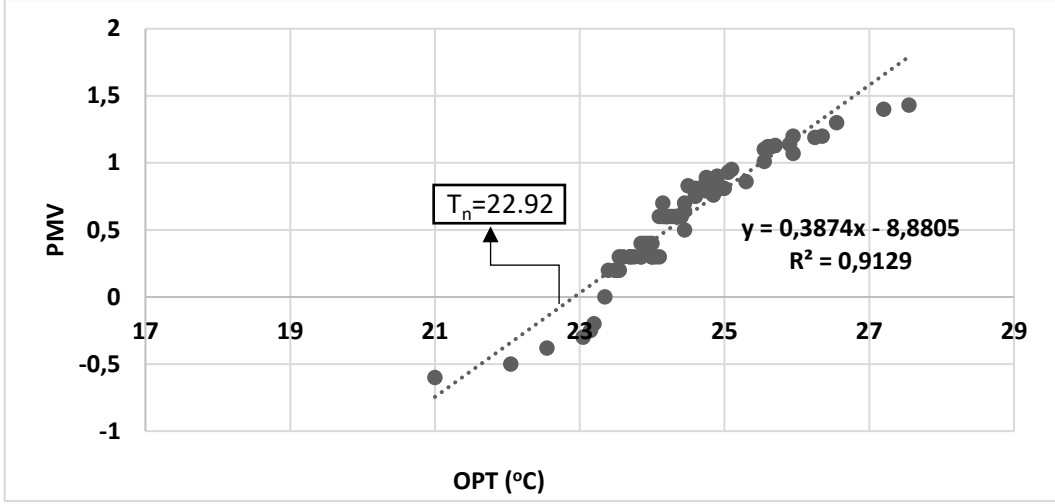


Şekil 4.5: Soğutma dönemi için PMV ve OPT değerlerinin karşılaştırılması.

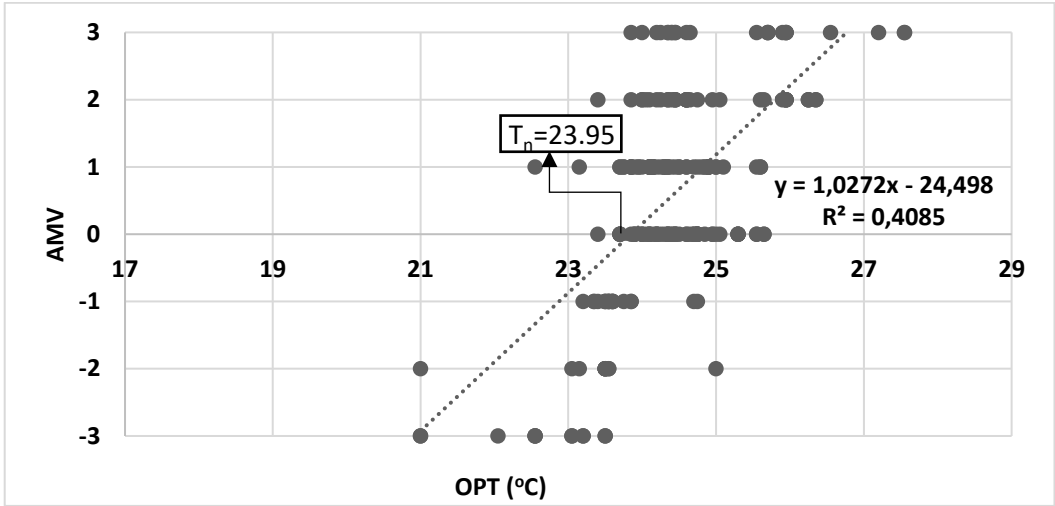


Şekil 4.6: Soğutma dönemi için AMV ve OPT değerlerinin karşılaştırılması.

Isıtma dönemi için sonuçlar incelendiğinde; ölçülen ve anket sonuçlarına göre hesaplanan OPT sıcaklıkları sırasıyla 22.92 °C ve 23.95 °C (Şekil 4.7, Şekil 4.8) olarak bulunmuştur. Operatif sıcaklıkları ISO 7730'a göre ısıtma dönemi için 20 °C ile 24 °C arasında olmalıdır. Hesaplanan değerler standartlara uygundur. Ancak anket sonuçları dikkate alındığında, katılımcıların daha sıcak bir ortam istedikleri görülmektedir (Tablo 4.3). Yani mevcut sıcaklıklar, katılımcı tercihlerine göre düşük kalmıştır.



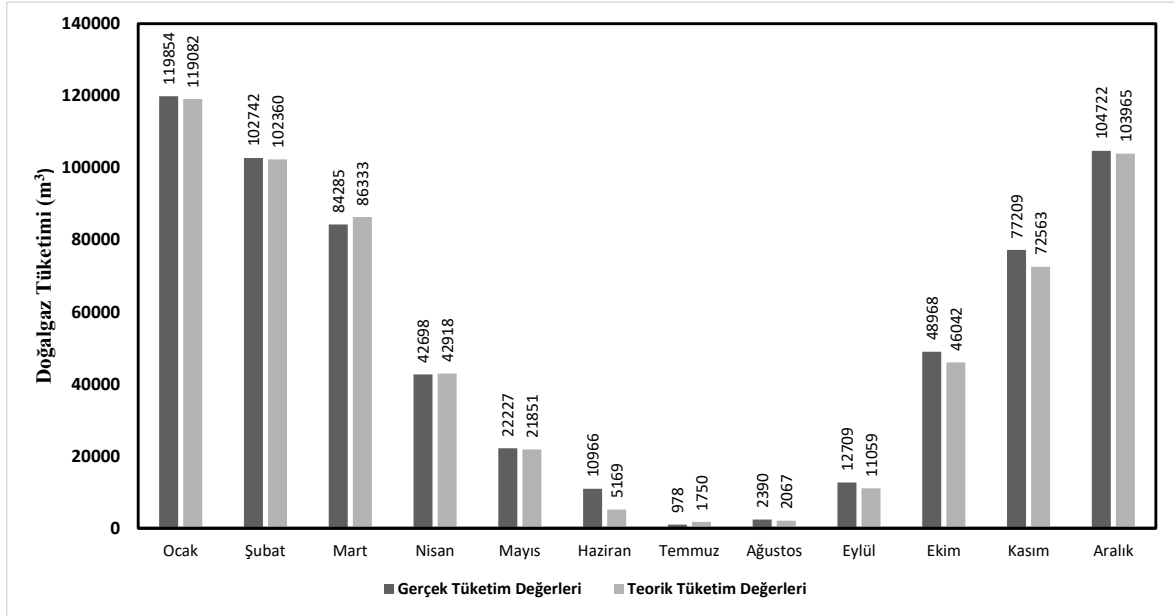
Şekil 4.7: Isıtma dönemi için PMV ve OPT değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.8: Isıtma dönemi için AMV ve OPT değerlerinin karşılaştırılması.

4.2 Mevcut Binanın Enerji Tüketim Analizleri

Hastane binasının kalibrasyonu için öncelikle oluşturulan modelin 1 yıllık simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen aylık doğalgaz tüketim verileri ve 2017 yılına ait gerçek doğalgaz tüketim verileri Şekil 4.9 gibi karşılaştırılmıştır.

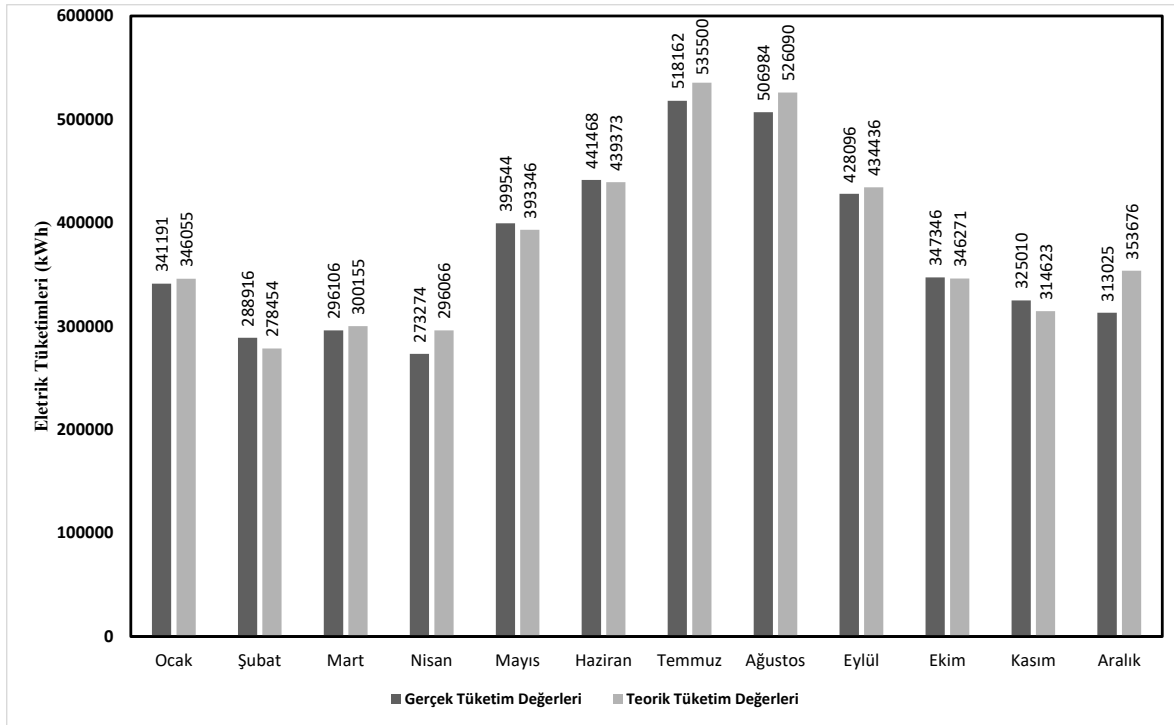


Şekil 4.9: Hastane binası gerçek ve teorik doğalgaz tüketimleri.

Bu verilere göre, modelin geçerliliğini kontrol etmek için MBE ve CVRMSE değerleri hesaplanmıştır (bkz. Denklemler (3.2)-(3.4)). Doğalgaz tüketimi için yapılan hesaplamalar sonucunda; MBE değeri %3,28; CVRMSE değeri ise %4,70 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ASHRAE Kılavuzu 14'den alınan (4.6) değerlere göre $MBE_{aylık} = \%3,28 < \%5$ ve $CVRMSE_{aylık} = \%4,70 < \%15$ olduğundan doğalgaz tüketimi için model geçerli ve güvenilirirdir.

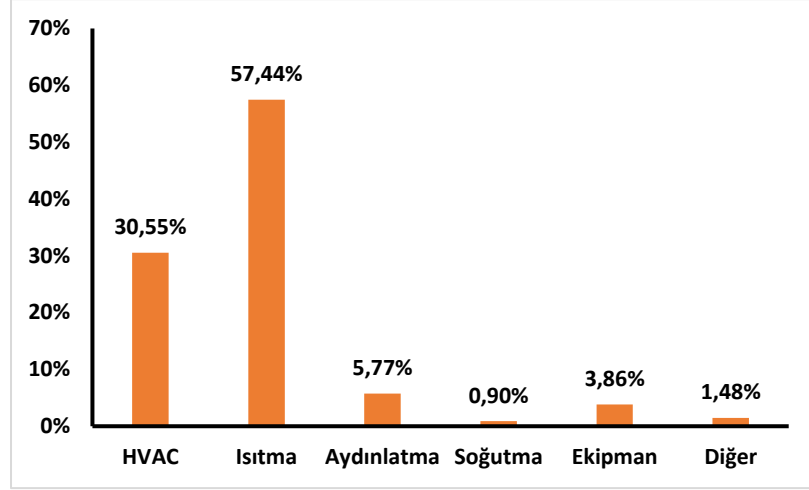
$$-\%5 \leq MBE_{aylık} \leq \%5 \text{ ve } CVRMSE_{aylık} \leq \%15 \quad (4.6)$$

Elektrik tüketimi için kalibrasyon hesabında kullanılacak, 1 yıllık simülasyon sonucundan elde edilen aylık elektrik tüketimi verileri ise Şekil 4.10'de görülmektedir.



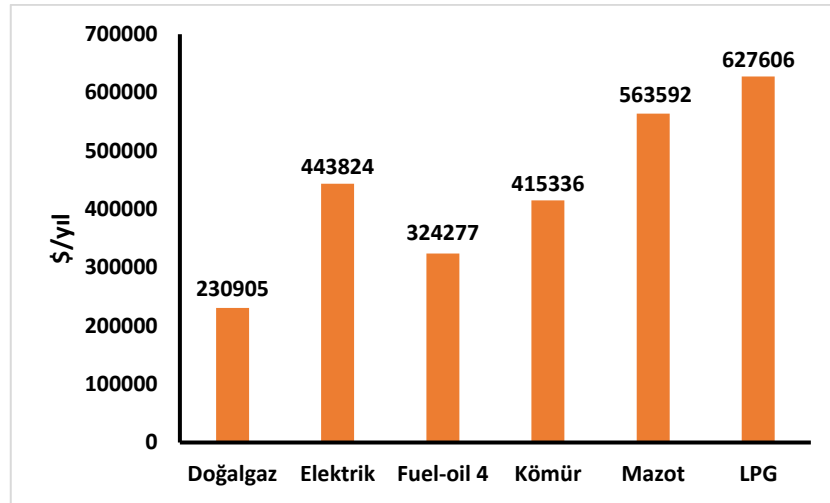
Şekil 4.10: Hastane binası gerçek ve teorik elektrik tüketimleri.

Bu verilere göre, (3.8), (3.9) ve (3.10) eşitlikleri yardımıyla MBE ve CVRMSE değerleri hesaplanmıştır. Hastane binası elektrik tüketimi için; MBE değeri %3,25 ve CVRMSE değeri %4,36 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada kriter alınan (4.6) değerine göre $MBE_{aylık} = \%3,25 < \%5$ ve $CVRMSE_{aylık} = \%4,36 < \%15$ olduğundan elektrik tüketimi için model geçerli ve güvenilirdir. Bu sonuçlar doğrultusunda hastane binasının mevcut enerji tüketiminin dağılımı Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Enerji tüketimindeki en büyük pay %57,44 ile ısıtma için harcanırken, %30,55 ile HVAC sistemleri 2. sıradadır.



Şekil 4.11: Hastane binası enerji tüketiminin dağılımı.

Mevcut ısıtma sistemi doğalgaz ile çalışmaktadır. Kontrol edilmesi amacıyla simülasyonlarda doğalgaz yerine farklı yakıtların kullanımı durumunda ortaya çıkacak ısıtma maliyetleri Şekil 4.12’ gösterilmiştir. Doğalgaz kullanımının maliyet açısından en uygun yakıt tipi olduğu açıkça görülmektedir.

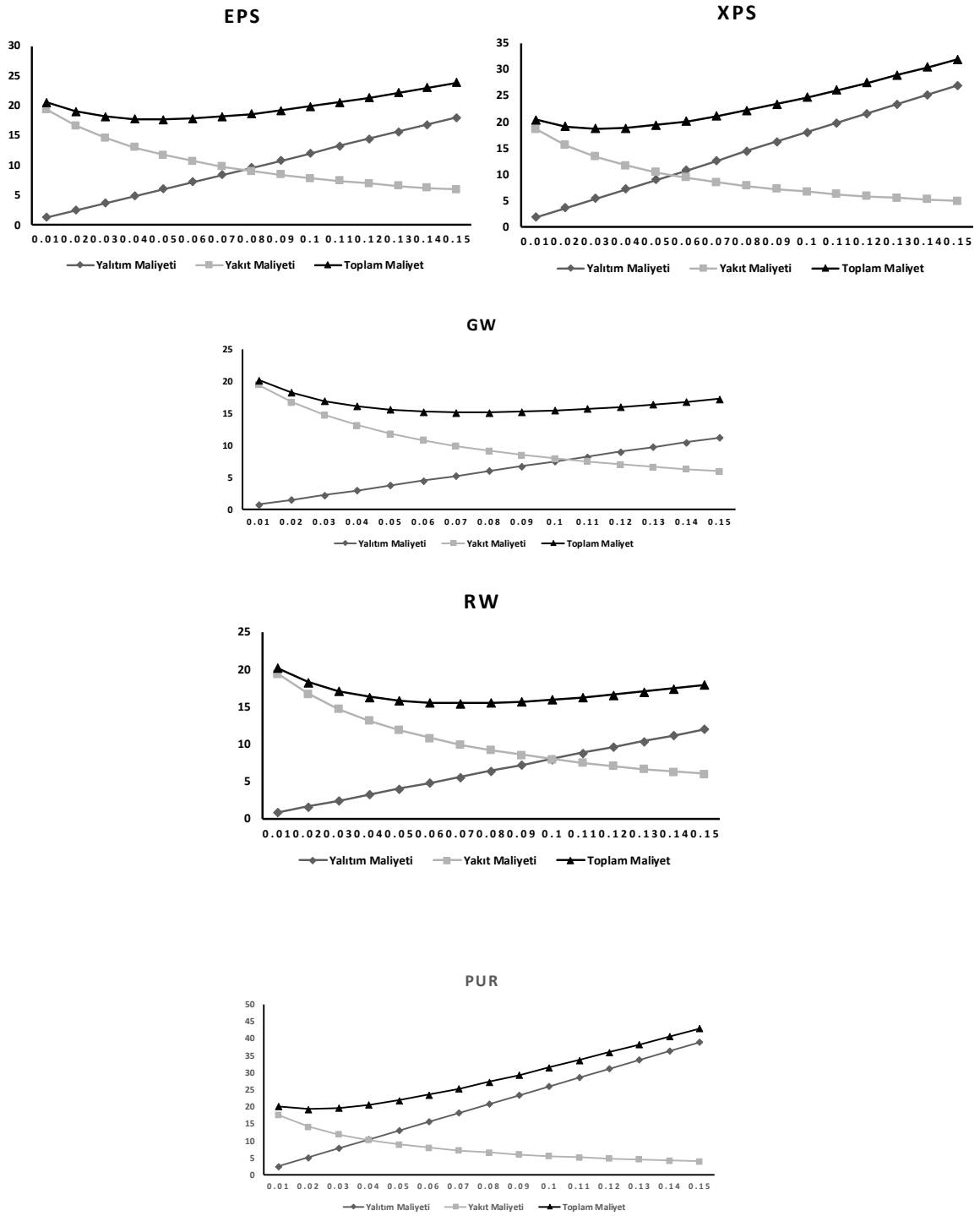


Şekil 4.12: Farklı yakıt tiplerine göre enerji tüketimleri (\$/yıl).

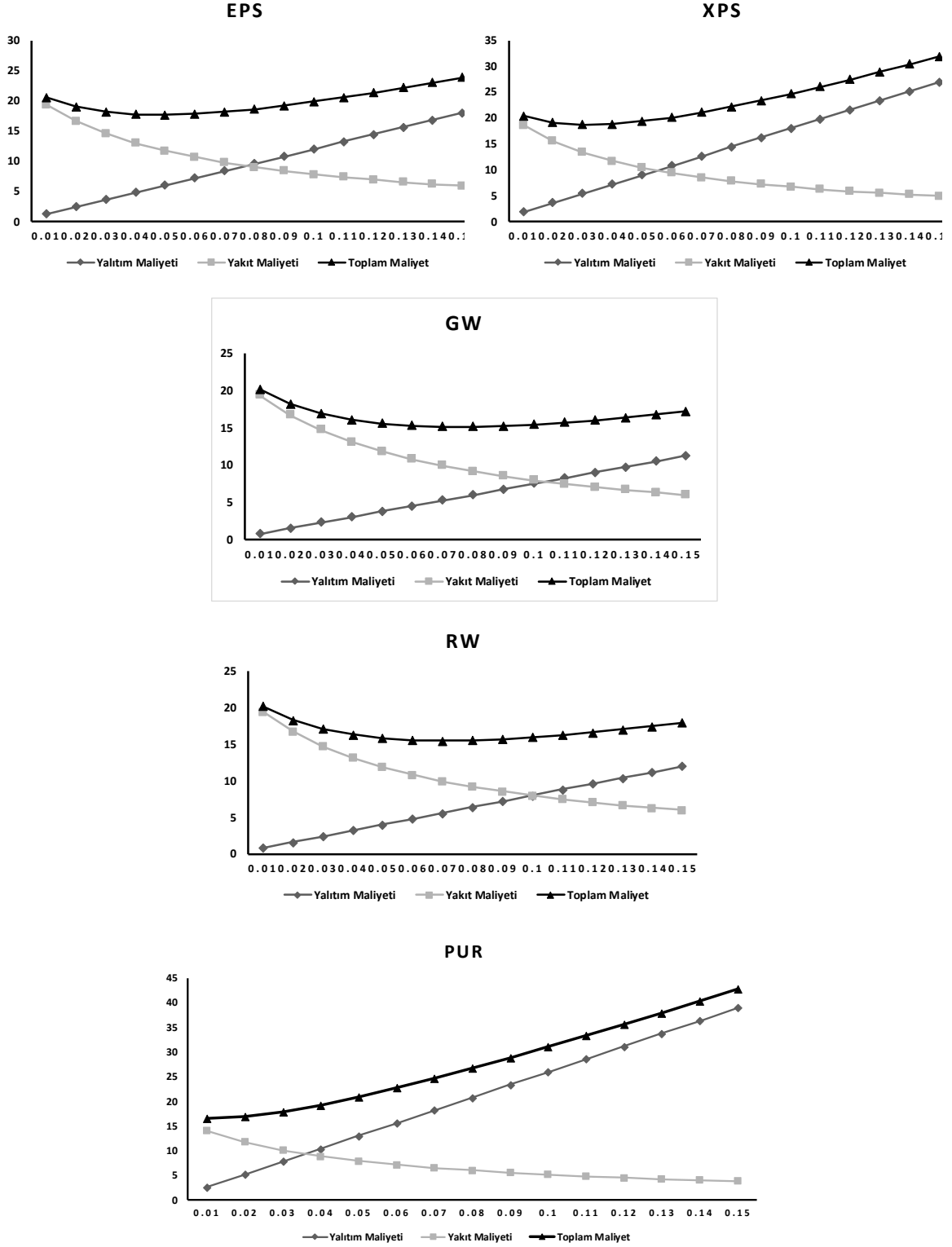
4.3 Isıtma-Soğutma Dönemi Optimum Yalıtım Kalınlıkları

Dış duvar için; denklem 3.29 ile 3.37 arasındaki eşitlikler yardımı ile 5 farklı yalıtım malzemesi için hesaplanan, yalıtım maliyetleri, yakıt maliyetleri ve toplam maliyetlerin grafikleri Şekil 4.13’te verilmiştir. Burada toplam maliyeti minimum yapan noktalar o yalıtım malzemesine ait optimum yalıtım kalınlıklarıdır. Elde edilen optimum yalıtım

kalınlıkları, gerçekçi bir yaklaşım ile simülasyonlarda kullanılarak, hastane binası dış duvar yalıtım malzemesinin değiştirilmesi ile elde edilecek enerji tasarrufları hesaplanmıştır.



Şekil 4.13: Farklı yalıtım malzemelerine göre dış duvar için optimum yalıtım kalınlıkları.



Şekil 4.14: Farklı yalıtım malzemelerine göre çatı için optimum yalıtım kalınlıkları.

Çatı için; denklem 3.29 ile 3.37 arasındaki eşitlikler yardımı ile 5 farklı yalıtım malzemesi için hesaplanan, yalıtım maliyetleri, yakıt maliyetleri ve toplam maliyetlerin grafikleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Burada toplam maliyeti minimum yapan noktalar o yalıtım malzemesine

ait optimum yalıtım kalınlıklarıdır. Elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları, gerçekçi bir yaklaşım ile simülasyonlarda kullanılarak, hastane binası çatı yalıtım malzemesinin mevcut olan 4 cm EPS malzemesine ek olarak, içten yalıtım yapılması ile elde edilecek enerji tasarrufları hesaplanmıştır.

Benzer şekilde farklı yakıt tiplerine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları Tablo 4.8’de gösterilmiştir. Burada en uygun yalıtım kalınlıklarının doğalgaz için olduğu görülmektedir. Bu nedenle yapılan analizlerde sadece doğalgaz tüketimi dikkate alınmış, diğer yakıt tiplerinin maliyet açısından uygun olmadığı düşünülerek ayrıca analiz yapılmamıştır.

Tablo 4.8: Farklı yakıt tipleri ve yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları.

Yalıtım Tipi	EPS	XPS	GW	RW	PUR	
Yakıt Tipi	Doğalgaz	4.78	3.17	7.48	7.07	2.15
	Elektrik	10.25	7.12	14.43	13.81	5.04
	Fuel-oil	8.52	5.86	12.22	11.66	4.12
	Kömür	6.39	4.31	9.49	9.03	2.99
	Mazot	12.6	8.83	17.45	16.73	6.3
	LPG	14.15	9.96	19.44	18.65	7.12

Standartlarda belirtilen ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri dikkate alınarak elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarının, gerçek ısıtma derece-gün değerleri ile karşılaştırılması amacıyla yapılan hesaplamalarda, ölçüm değerleri için elde edilen optimum yalıtım kalınlıklarının (Tablo 4.9) standartların üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.9: Ölçüm değerlerine göre optimum yalıtım kalınlıkları.

Ölçümlere göre	Optimum	Optimum	Optimum	Optimum	Optimum
	EPS	XPS	GW	RW	PUR
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Dış Duvar	4.78	3.17	7.48	7.07	2.15
Döşeme	-	-	0.68	0.27	-
Çatı	3.13	1.82	5.74	5.34	1.11

Tablo 4.10 ve Tablo 4.11’de TS 825 ve ASHRAE/DIN 1946 standartlarına göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları verilmiştir. Burada hesaplamalar hastanelerde olması istenen iç sıcaklık değerine göre yapılmıştır. Ayrıca çatı için mevcut 4 cm EPS uygulaması üzerine eklenerek hesaplanmıştır.

Tablo 4.10: TS 825 standardına göre optimum yalıtım kalınlıkları.

TS 825 22°C	Optimum	Optimum	Optimum	Optimum	Optimum
	EPS	XPS	GW	RW	PUR
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Dış Duvar	4.04	2.60	6.48	6.11	1.73
Döşeme	-	-	-	-	-
Çatı	2.35	1.25	4.74	4.37	0.69

Tablo 4.11: ASHRAE-55 ve DIN 1946 standartlarına göre optimum yalıtım kalınlıkları.

ASHRAE DIN 1946 24°C	Optimum	Optimum	Optimum	Optimum	Optimum
	EPS	XPS	GW	RW	PUR
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Dış Duvar	4.64	3.04	7.25	6.85	2.05
Döşeme	-	-	0.45	0.05	-
Çatı	2.95	1.69	5.51	5.12	1.01

Tablo 4.12’de farklı standartlara göre belirtilen optimum yalıtım kalınlıkları, hastane binasının ilk yapım aşamasında uygulanması gereken yalıtım kalınlıklarıdır. Yani Tablo 4.10 ve Tablo 4.11’de mevcut 4 cm EPS uygulaması üzerine eklenmesi gereken yalıtımlar gözardı edilerek, binanın ilk kurulumunda mevcut dış ortam sıcaklıkları dikkate alınarak elde edilen yalıtım kalınlıklarıdır. Sonraki bölümde hesaplanan enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu, yaşam döngüsü maliyeti ve geri ödeme sürelerinde bu kalınlıklar incelenmiştir.

Tablo 4.12: TS 825 ve ASHRAE-55 / DIN 1946 standartlarına göre optimum yalıtım kalınlıkları.

	Optimum EPS (cm)	Optimum XPS (cm)	Optimum GW (cm)	Optimum RW (cm)	Optimum PUR (cm)
TS 825	6.35	4.43	8.85	8.47	3.15
ASHRAE55	6.95	4.87	9.62	9.22	3.47

4.4 Isıtma ve Soğutma Dönemi için Regresyon Analizleri

Tablo 3.19 ve Tablo 3.20’de simülasyonlar sonucundan elde edilen enerji tüketimlerine göre, dış duvar yalıtımı, çatı yalıtımı, pencere tipi, güneş kırıcı ve sıcaklık durumunun etkisini görmek amacıyla regresyon analizleri yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları doğrultusunda ısıtma dönemi için R^2 değeri 0.992 (Tablo 4.13) olarak bulunmuştur. Enerji tüketimi ile incelenen 5 faktör arasında oldukça yüksek bir ilişki olduğu görülmektedir. Tablo 4.14’te dış duvar yalıtımı, çatı yalıtımı, pencere tipi, güneş kırıcı ve sıcaklık değişiminin ısıtma dönemi için enerji tüketimine etkisi açıkça görülmektedir.

Tablo 4.13: Isıtma dönemi regresyon katsayıları.

Model	R	R^2	Standart Hata
Isıtma Dönemi Enerji Tüketimi	0.996 ^a	0.990	34483.13725

Bağımlı Değişken: Sıcaklık, Güneş Kırıcı, Pencere Tipi, Çatı Yalıtımı, Dış Duvar Yalıtımı

Tablo 4.14: Isıtma dönemi değişkenlerin enerji tüketimine etkisi.

Model	Standartize edilmemiş katsayılar		Standart katsayılar	t	Anlamlılık
	B	Standart Hata	Beta		
Sabit	3511588.824	195898.146		17.926	0.000
Dış Duvar Yalıtımı	-31339.721	3293.036	-0.194	-9.517	0.000
Çatı Yalıtımı	-35105.488	3734.878	-0.191	-9.399	0.000
Pencere Tipi	667442.125	14856.384	0.914	44.926	0.000
Güneş Kırıcı	58531.500	4876.652	0.244	12.002	0.000
Sıcaklık	61303.305	8257.214	0.151	7.424	0.000

Bağımlı Değişken: EnerjiTüketimi

Soğutma dönemi için yapılan analiz sonuçları doğrultusunda ısıtma dönemi için R^2 değeri 0.450 (Tablo 4.15) olarak bulunmuştur. Enerji tüketimi ile incelenen faktörler arasında düşük bir ilişki olduğu görülmektedir. Tablo 4.16'te anlamlılık düzeyleri incelendiğinde pencere tipi, güneş kırıcı ve sıcaklık değişiminin (sig. < 0.05) soğutma dönemi için enerji tüketimine etkisi açıkça görülmektedir. Ancak dış duvar yalıtımı ve çatı yalıtımının tek başına anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür (sig. > 0.05).

Tablo 4.15: Soğutma dönemi regresyon katsayıları.

Model	R	R^2	Standart Hata
Soğutma Dönemi Enerji Tüketimi	0.752	0.450	13340.03443

Bağımlı Değişken: Sıcaklık, Güneş Kırıcı, Pencere Tipi, Çatı Yalıtımı, Dış Duvar Yalıtımı

Tablo 4.16: Soğutma dönemi değişkenlerin enerji tüketimine etkisi.

Model	Standartize edilmemiş katsayılar		Standart katsayılar	t	Anlamlılık
	B	Standart Hata	Beta		
Sabit	-41968.852	52060.891		-0.806	0.430
Dış Duvar Yalıtımı	-570.394	1273.933	-0.068	-0.448	0.659
Çatı Yalıtımı	-302.925	1444.863	-0.032	-0.210	0.836
Pencere Tipi	-12531.452	5747.293	-0.330	-2.180	0.042
Güneş Kırıcı	-5700.260	1886.566	-0.457	-3.022	0.007
Sıcaklık	6918.945	2132.466	0.491	3.245	0.004

Bağımlı Değişken: Enerji Tüketimi

4.5 Isıtma Dönemi Enerji Tüketimleri ve Stratejilerin Etkisi

Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesi için, dış duvarlara dıştan uygulanması önerilen optimum EPS, XPS, GW, RW ve PUR ısı yalıtımı (Tablo 4.9) ile oluşan yıllık ısıtma tüketimleri Tablo 4.17’de verilmiştir. Buna göre mevcut binanın ısıtma tüketimi 6381361 kWh iken, EPS yalıtımı uygulaması ile bu değer 6283405 kWh, XPS için 6332790 kWh, GW için 6261362 kWh, RW için 6209197 kWh ve PUR için 6360502 kWh olarak hesaplanmıştır. Çatıya içten uygulanması önerilen yalıtım için EPS uygulaması ile 6237339 kWh, XPS için 6195338 kWh, GW için 6066653 kWh, RW için 6078185 kWh ve PUR için 6223275 kWh olarak hesaplanmıştır. Duvar ve çatı yalıtımının birlikeye uygulanması durumunda ise bu değerler sırasıyla EPS için 6069982, XPS için 6147529, GW için 5880967, RW için 5905578 ve PUR için 6202536 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu uygulamaların sonucunda mevcut enerji tüketiminde meydana gelen değişim Şekil 4.15’te gösterilmiştir. En büyük değişim %7.84 ile GW yalıtım malzemesinde hesaplanmıştır.

Tablo 4.17: Isıtma dönemi için duvar, çatı, duvar + çatı yalıtımının farklı yalıtım malzemelerine göre enerji tüketimine etkisi.

	Mevcut (EPS 3cm) (kWh)	Optimum EPS (kWh)	Optimum XPS (kWh)	Optimum GW (kWh)	Optimum RW (kWh)	Optimum PUR (kWh)
Dış Duvar Yalıtımı		6283405	6332790	6261362	6209197	6360502
Çatı Yalıtımı	6381361	6237339	6195338	6066653	6078185	6223275
Dış Duvar + Çatı Yalıtımı		6069982	6147529	5880967	5905578	6202536

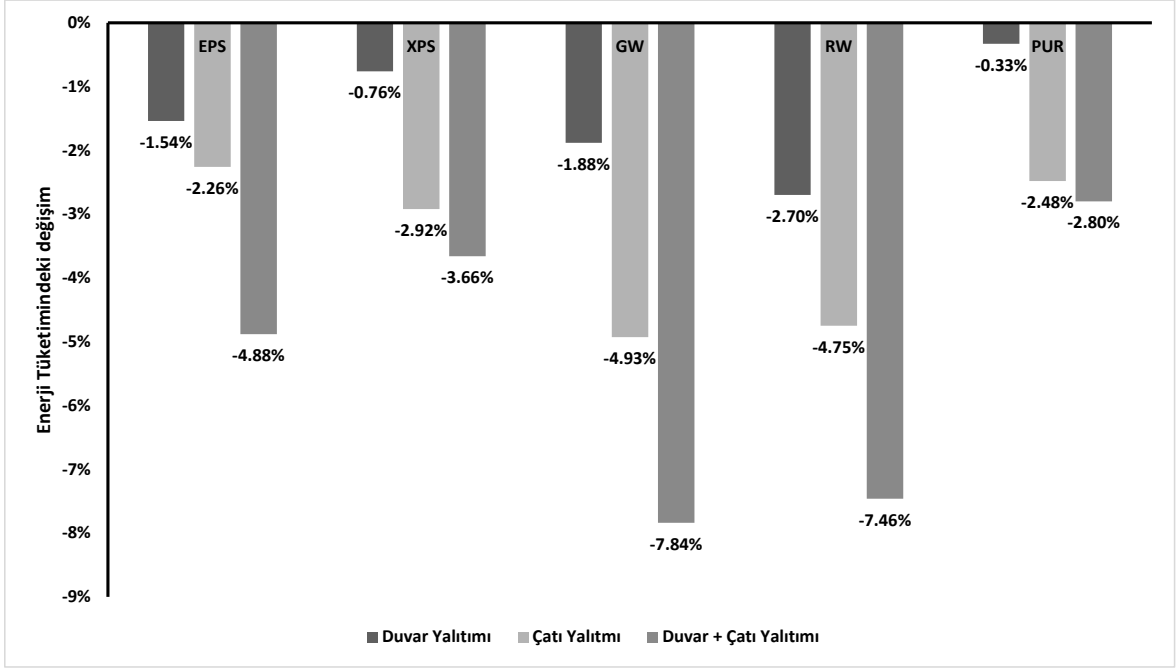
Diğer stratejiler için pencere tipi değişimi, güneş kırıcı değişimi ve iç sıcaklığın standartlarda belirtilen değerlere getirilmesiyle elde edilen enerji tüketimi değişimi Tablo 4.18’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, mevcut durumda 1,978 W/m².K U değerine sahip ve SGCH değeri 0.687 olan pencere bulunmakta olup, standartlarda belirtilen 4 farklı pencere tipinin uygulanması ile elde edilecek tüketimler kıyaslanmıştır. Mevcut enerji tüketimi 6381361 kWh iken, 1.8 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile bu değer 6345553 kWh değerine düşmüştür. 1.3 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile ısıtma tüketimi 6007532 kWh, 1.1 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile 5861066 kWh ve 0.7 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile 5578186 kWh ısıtma tüketimi elde

edilmiştir. Güneş kırıcıların etkisi dikkate alındığında ise 0.5 m güneşlik uygulaması ısıtma dönemi için tüketimi 6511637 kWh, 1 m güneşlik uygulaması ile 6574258 kWh, 0.5 m panjur uygulaması ile 6571681 kWh ve 1 m panjur uygulaması ile 67006461 kWh ısıtma tüketimi hesaplanmıştır.

Tablo 4.18: Isıtma dönemi için pencere, güneş kırıcı ve sıcaklık değişiminin enerji tüketimine etkisi.

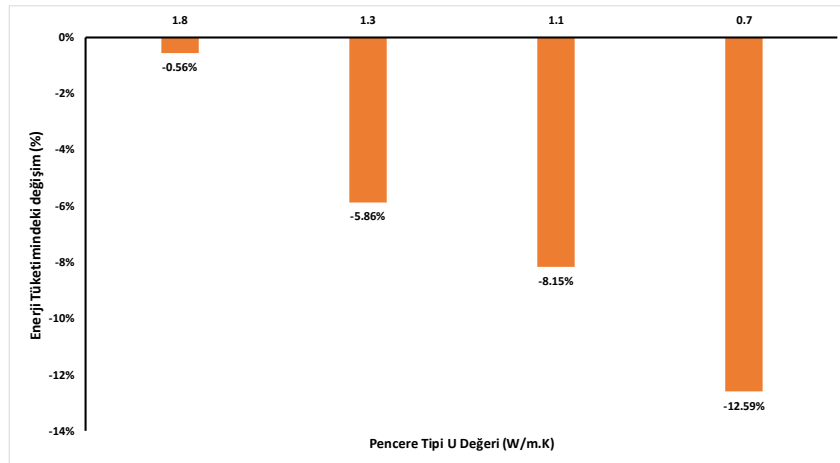
Mevcut Tüketim Değeri kWh	Pencere U Değeri W/m ² .K / SHGC değeri	Enerji Tüketimi kWh	Güneş Kırıcı	Enerji Tüketimi kWh	Sıcaklık °C	Enerji Tüketimi kWh
6381361	1.8 / 0.641	6345553	0.5 m güneşlik	6511637	24	6351347
	1.3 / 0.47	6007532	1 m güneşlik	6574258	23.5	6328574
	1.1 / 0.30	5861066	0.5 m panjur	6571681	23	6297845
	0.7 / 0.135	5578186	1 m panjur	6706461	22	6238789

Isıtma dönemi için hesaplanan iç sıcaklık ortalama değeri 24.4 °C iken enerji tüketimi 6381361 kWh olarak bulunmuştur. İç sıcaklık değerinin TS 825, ASHRAE ve DIN normlarında belirtilen aralıklara getirilmesi ile elde edilen ısıtma tüketim değerleri ise sırasıyla, 24.0 °C için 6351347 kWh, 23.5 °C için 6328574 kWh, 23.0 °C için 6297845 kWh ve 22 °C için 6238789 kWh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.15: Isıtma dönemi duvar-çatı yalıtımının enerji tüketimine etkisi.

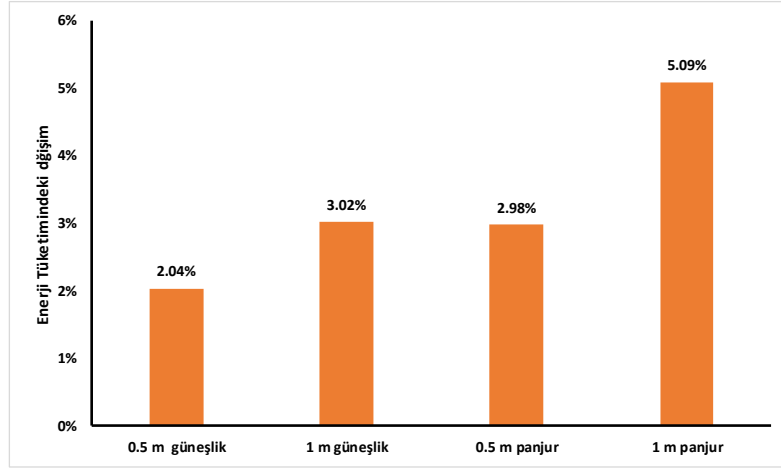
Isıtma dönemi duvar-çatı yalıtımının enerji tüketimine etkisi incelendiğinde en yüksek tasarruf miktarı optimum yalıtım kalınlığında GW için %7.84 (Şekil 4.15) değeri ile elde edilmiştir. RW ile optimum yalıtım yapılması durumunda %7.46, EPS ile yalıtım yapılması durumunda %4.88, XPS ile yalıtım yapılması durumunda %3.66 ve PUR ile yalıtım yapılması durumunda %2.80 tasarruf elde edilebileceği hesaplanmıştır.



Şekil 4.16: Isıtma dönemi pencere değişiminin enerji tüketimine etkisi.

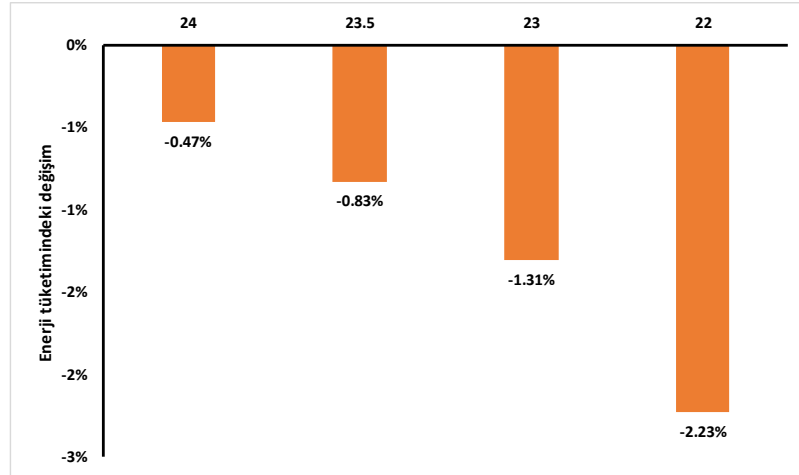
Pencere tipinin değişimi incelendiğinde ısıtma tüketimi için, en fazla tasarruf miktarı 0.7 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile %12.59 (Şekil 4.16) olarak hesaplanmıştır. 1.1 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile %8.15, 1.3 W/m².K U değerine sahip

pencere uygulaması ile %5.86 ve 1.8 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile %0.56 tasarruf potansiyeli olduğu görülmüştür.



Şekil 4.17: Isıtma dönemi güneş kırıcı kullanımının enerji tüketimine etkisi.

Güneş kırıcıların etkisi dikkate alındığında, 0.5 m güneşlik uygulaması ile ısıtma dönemi için enerji tüketiminde %2.04 artış görülmüştür. 1 m güneşlik uygulaması ile %3.02, 0.5 m panjur uygulaması ile %2.98 ve 1 m panjur uygulaması ile ısıtma dönemi enerji tüketimindeki artış miktarı %5.09 olmuştur.



Şekil 4.18: Isıtma dönemi iç ortam sıcaklıklarının enerji tüketimine etkisi.

Isıtma dönemi için hesaplanan iç sıcaklık ortalama değeri 24.4 °C iken enerji tüketimi 6381361 kWh olarak bulunmuştu. İç sıcaklık değerinin TS 825, ASHRAE ve DIN normlarında belirtilen aralıklara getirilmesi ile elde edilen ısıtma tüketim değerleri ise, 24.0°C için %0.47, 23.5 °C için %0.83, 23.0 °C için %1.31 ve 22 °C için %2.23 azalmıştır.

4.6 Soğutma Dönemi Enerji Tüketimleri ve Stratejilerin Etkisi

Balıkesir Sağlık Uygulama ve Araştırma hastanesi için, dış duvarlara dıştan uygulanması önerilen optimum EPS, XPS, GW, RW ve PUR ısı yalıtımı (Tablo 4.9) ile oluşan yıllık soğutma tüketimleri Tablo 4.19’de verilmiştir. Buna göre mevcut binanın soğutma dönemi elektrik tüketimi 100359 kWh iken, optimum EPS yalıtımı uygulaması ile bu değer 100899 kWh, optimum XPS için 100771 kWh, GW için 104830 kWh, RW için 105095 kWh ve PUR için 103879 kWh olarak hesaplanmıştır. Çatıya içten uygulanması önerilen yalıtım için optimum EPS uygulaması ile 100194 kWh, XPS için 106068 kWh, GW için 109583 kWh, RW için 109282 kWh ve PUR için 105352 kWh olarak hesaplanmıştır. Duvar ve çatı yalıtımının birlikye uygulanması durumunda ise bu değerler sırasıyla optimum EPS için 100734, XPS için 106480, GW için 114065, RW için 114018 ve PUR için 108872 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu uygulamaların sonucunda mevcut enerji tüketiminde meydana gelen değişim Şekil 4.19’da gösterilmiştir. En büyük değişim %13.66 ile GW yalıtım malzemesinde hesaplanmıştır.

Tablo 4.19: Soğutma dönemi için duvar, çatı, duvar + çatı yalıtımının farklı yalıtım malzemelerine göre enerji tüketimine etkisi.

	Mevcut (EPS 3cm) (kWh)	Optimum EPS (kWh)	Optimum XPS (kWh)	Optimum GW (kWh)	Optimum RW (kWh)	Optimum PUR (kWh)
Dış Duvar Yalıtımı		100899	100771	104830	105095	103879
Çatı Yalıtımı	100359	100194	106068	109583	109282	105352
Duvar + Çatı Yalıtımı		100734	106480	114065	114018	108872

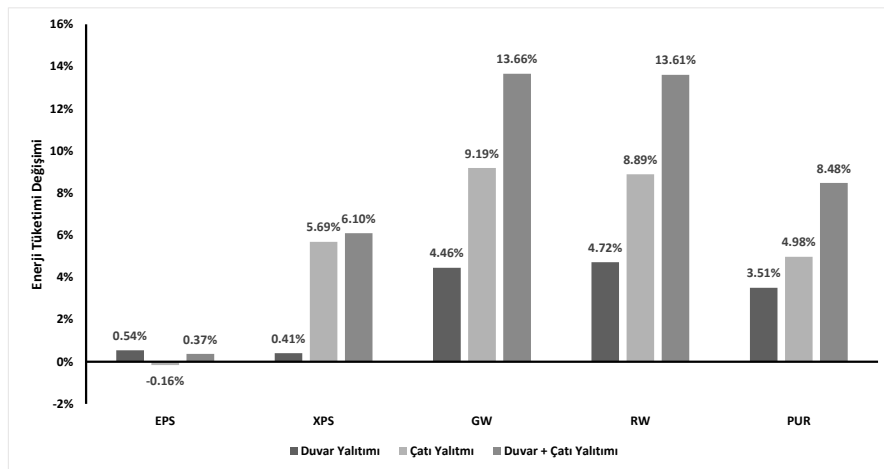
Diğer stratejiler için Pencere tipi değişimi, Güneş kırıcı değişimi ve iç sıcaklığın standartlarda belirtilen değerlere getirilmesiyle elde edilen soğutma dönemi enerji tüketimi değişimi Tablo 4.20’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, mevcut durumda 1.978 W/m².K U değerine sahip ve SGCH değeri 0.687 olan pencere bulunmakta olup, standartlarda belirtilen 4 farklı pencere tipinin uygulanması ile elde edilecek soğutma enerji tüketimleri kıyaslanmıştır. Mevcut enerji tüketimi 100359 kWh iken, 1.8 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile bu değer 89539 kWh değerine düşmüştür. 1.3 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile soğutma için enerji tüketimi 82412 kWh, 1.1 W/m².K U

değerine sahip pencere uygulaması ile 65094 kWh ve 0.7 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile 51344 kWh soğutma için elektrik tüketimi elde edilmiştir. Güneş kırıcların etkisi dikkate alındığında ise 0.5 m güneşlik uygulaması soğutma dönemi için enerji tüketimi 93225 kWh, 1 m güneşlik uygulaması ile 84304 kWh, 0.5 m panjur uygulaması ile 85722 kWh ve 1 m panjur uygulaması ile 73102 kWh soğutma tüketimi hesaplanmıştır.

Tablo 4.20: Soğutma dönemi için pencere, güneş kırıcı ve sıcaklık değişiminin enerji tüketimine etkisi.

Mevcut Tüketim Değeri kWh	Pencere U Değeri W/m ² .K / SHGC değeri	Enerji Tüketimi kWh	Güneş Kırıcı	Enerji Tüketimi kWh	Sıcaklık °C	Enerji Tüketimi kWh
100359	1.8 / 0.641	89539	0,5 m güneşlik	93225	24	103526
	1.3 / 0.47	82412	1 m güneşlik	84304	23,5	106748
	1.1 / 0.30	65094	0,5 m panjur	85722	23	109889
	0.7 / 0.135	51344	1 m panjur	73102	22	115742

Soğutma dönemi için hesaplanan iç sıcaklık ortalama değeri 25.78 °C iken enerji tüketimi 100359 kWh olarak bulunmuştur. İç sıcaklık değerinin TS 825, ASHRAE ve DIN normlarında belirtilen aralıklara getirilmesi ile elde edilen soğutma tüketim değerleri ise sırasıyla, 24.0 °C için 103526 kWh, 23.5 °C için 106748 kWh, 23.0 °C için 109889 kWh ve 22 °C için 115742 kWh olarak hesaplanmıştır.

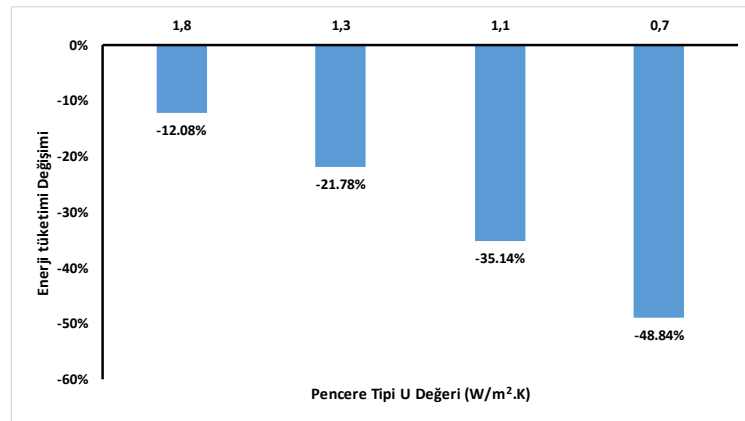


Şekil 4.19: Soğutma dönemi duvar-çatı yalıtımının enerji tüketimine etkisi.

Soğutma dönemi Duvar-Çatı yalıtımının enerji tüketimine etkisi incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığında GW için enerji tükeminde %13.66 artış görülmüştür (Şekil 4.19). RW ile optimum yalıtım yapılması durumunda %13.61, EPS ile yalıtım yapılması durumunda %0.37, XPS ile yalıtım yapılması durumunda %6.10 ve PUR ile yalıtım yapılması durumunda %8.48 enerji artışı hesaplanmıştır. Isıtma döneminde enerji tüketiminde azalma sağlayan yalıtım artışının soğutma döneminde ise negatif etki ettiği gözlenmiştir. Bu durumun daha detaylı incelenmesi amacıyla yapılan analizlerde, iç ortam ısı kazançlarının (insanlar, havalandırma sistemleri, aydınlatma, ofis ekipmanları ve cihazlar gibi) yalıtım kalınlığı arttıkça arttığı ve bu nedenle soğutma dönemi için enerji tüketiminde artışa neden olduğu görülmüştür (Tablo 4.21).

Tablo 4.21: Radyant sıcaklık nedeniyle iç ısı kazanımı.

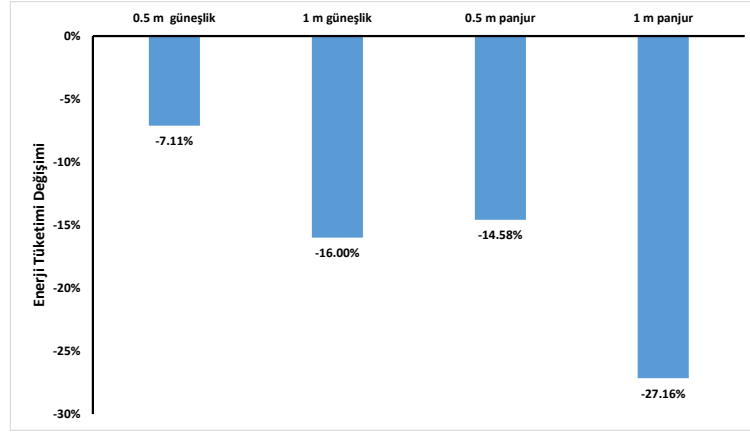
Ay	RW optimum çatı yalıtımı (kWh)	GW optimum çatı yalıtımı (kWh)
Ocak	1870	1877
Şubat	1876	1883
Mart	1879	1886
Nisan	1820	1825
Mayıs	2044	2048
Haziran	2322	2329
Temmuz	2556	2563
Ağustos	2512	2521
Eylül	2111	2120
Ekim	1870	1875
Kasım	1963	1970
Aralık	1833	1839



Şekil 4.20: Soğutma dönemi pencere değişiminin enerji tüketimine etkisi.

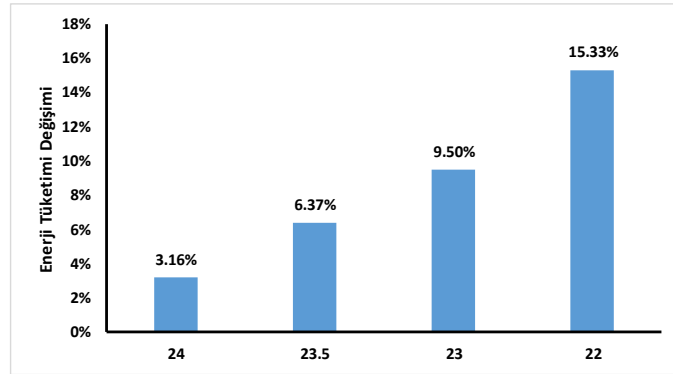
Pencere tipinin değişimi incelendiğinde soğutma tüketimi için, en fazla tasarruf miktarı 0.7 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile, %48.84 (Şekil 4.20) olarak hesaplanmıştır. 1.1 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile %35.14, 1.3 W/m².K

U değerine sahip pencere uygulaması ile %21.78 ve 1.8 W/m².K U değerine sahip pencere uygulaması ile %12.08 enerji tasarruf potansiyeli olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21: Soğutma dönemi güneş kırıcı kullanımının enerji tüketimine etkisi.

Güneş kırıcıların etkisi dikkate alındığında, 0.5 m güneşlik uygulaması ile soğutma dönemi için enerji tüketiminde %7.11 azalma görülmüştür. 1 m güneşlik uygulaması ile %16.00, 0.5 m panjur uygulaması ile %14.58 ve 1 m panjur uygulaması ile soğutma dönemi enerji tüketimindeki azalma miktarı %27.16 olmuştur.

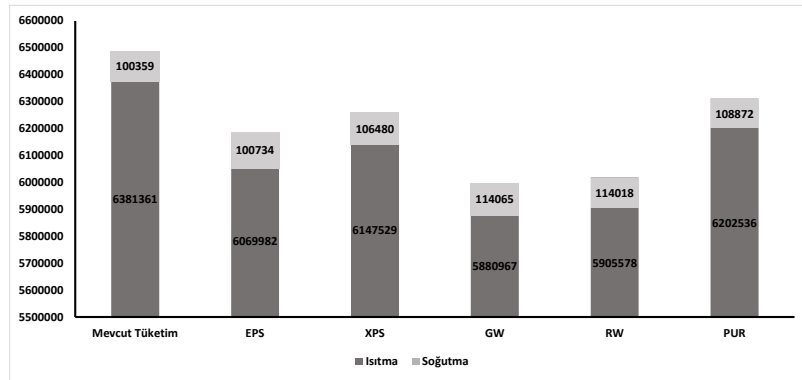


Şekil 4.22: Soğutma dönemi iç ortam sıcaklıklarının enerji tüketimine etkisi.

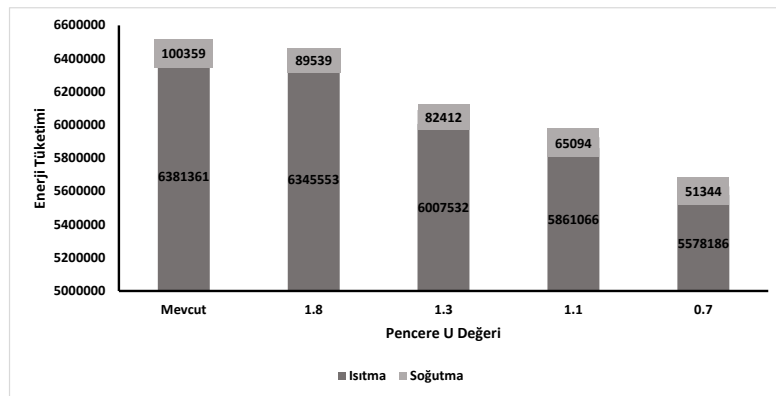
Soğutma dönemi için hesaplanan iç sıcaklık ortalama değeri 25.78 °C iken enerji tüketimi 100359 kWh olarak bulunmuştu. İç sıcaklık değerinin TS 825, ASHRAE ve DIN normlarında belirtilen aralıklara getirilmesi ile elde edilen soğutma dönemi enerji tüketim değerleri ise, 24.0 °C için %3.16, 23.5 °C için %6.37, 23.0 °C için %9.50 ve 22 °C için %15.33 artmıştır.

4.7 Toplam Enerji Tüketimleri ve Stratejilerin Etkisi

Şekil 4.23'te mevcut duvar+çatı yalıtımının ve 5 farklı yalıtım malzemesinin optimum kalınlıkta uygulanması ile elde edilen enerji tüketimleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre, ısıtma dönemi için en düşük enerji tüketimi GW malzemesi için elde edilirken, soğutma dönemi için mevcut durumun en düşük enerji tüketim değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu noktada yalıtım malzemesinin tercihinde ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerinin durumuna göre seçim yapılmasının uygun olduğu söylenebilir. TS 825'e göre 2. Bölgede bulunan Balıkesir ili için ısıtma derece-gün değerlerinin fazla olduğu düşünülürse, ısıtma enerjisi tüketiminin minimum olduğu yalıtım malzemesinin seçiminin önemli olduğu görülmüştür. Ancak soğutma derece-gün değerlerinin fazla olduğu veya ısıtma-soğutma derece-gün değerlerinin birbirine yakın olduğu bölgeler için maliyet analizleri de dikkate alınarak, optimizasyon yapılması oldukça önemlidir. Toplam tüketim olarak incelendiğinde, yıllık ısıtma-soğutma enerjisi tüketimi en düşük 5995032 kWh ile GW yalıtım malzemesine aittir. Daha sonra ise 6019596 kWh tüketim ile RW yalıtım malzemesi 2. Sıradadır. En yüksek tüketim ise 6481720 kWh ile mevcut durumdadır.



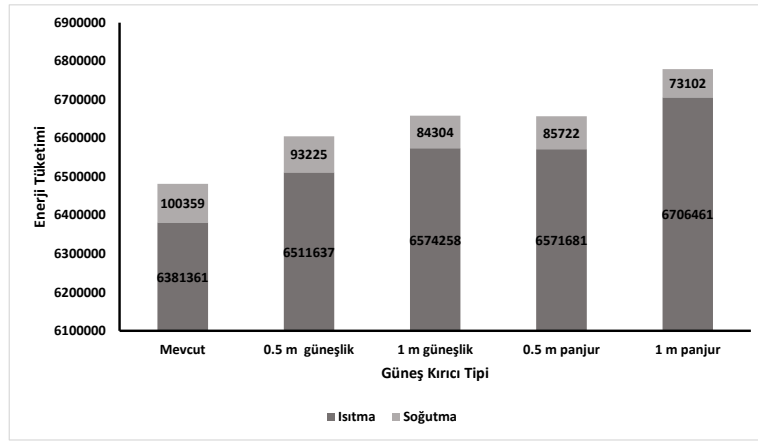
Şekil 4.23: Toplam enerji tüketimine duvar+çatı yalıtımının farklı yalıtım malzemelerine göre etkisi.



Şekil 4.24: Pencere tipi değişiminin toplam enerji tüketimine etkisi.

Mevcut pencere durumu ve 4 farklı pencere için U değerinin değişiminin ısıtma+soğutma dönemi enerji tüketimine etkisi Şekil 4.24'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, pencere U değerinin değişiminin enerji tüketimi üzerinde büyük bir etkisi vardır. 0.7 W/m²K U değerine sahip pencere kullanımı, mevcut enerji tüketiminde soğutma dönemi için %48.8 azalma sağlarken, ısıtma dönemi için %12.59 civarında bir azalma sağlamıştır (Şekil 4.24).

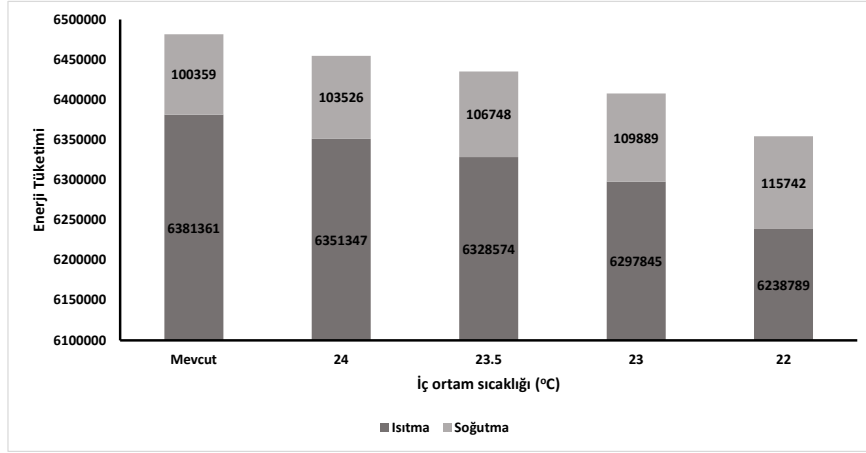
Güneş kırıcı kullanımının etkileri dikkate alındığında, sabit güneş kırıcı kullanımının ısıtma dönemi için enerji tüketimine olumsuz etki ettiği, soğutma dönemi için ise enerji tüketiminde azalma sağladığı görülmektedir (Şekil 4.25). Sabit panjur veya güneşlik kullanımı soğutma dönemi için enerji tüketiminde maksimum %27 azalma sağlarken, ısıtma dönemi için %5 civarında bir artışa neden olmuştur. Ancak ısıtma derece-gün değerinin Balıkesir ili için yüksek olduğu dikkate alınır, %5'lik bir artışın etkisinin (325000 kWh), soğutma dönemindeki %27 azalmaya oranla (27000 kWh) olumsuz yönde etki ettiği görülmektedir. Bu nedenle sabit panjur-güneşlik kullanımının değiştirilip, yaz döneminde güneşten olan ısı kazancını azaltmak için açılan ve kış döneminde güneşten olan ısı kazancını artırmak için kapanan güneşlik sistemlerinin kullanılması gerekmektedir.



Şekil 4.25: Güneş kırıcı tiplerinin toplam enerji tüketimine etkisi.

İç ortam sıcaklıkları yapılan ölçümlerde yaz dönemi için ortalama 25.78 °C ve kış döneminde 24.4 °C olarak hesaplanmıştır. Mevcut enerji tüketimleri analiz edilirken bu değerler dikkate alınmıştır. Ancak TS 825, ASHRAE-55 ve DIN4164 standartları dikkate alındığında hastaneler için (sterilize alanlar hariç) iç sıcaklıkların 22 °C ila 24 °C arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle mevcut durumun dışında, iç sıcaklıkların standartlarda önerilen değerlere getirilmesi ile elde edilebilecek enerji tüketim değerleri Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Buna göre, ısıtma dönemi için iç sıcaklıkların 22 °C'ye getirilmesi ile enerji

tüketiminde %2.23 azalma olacağı görülmüştür. Bunun aksine soğutma döneminde ise %15.33 artışa neden olmuştur. Burada asıl amaç, ısı konfor koşullarının dikkate alınmaması, standartlarda belirtilen değerlerin uygulanmasının etkisini görmektir. Ancak, önceki bölümlerde bahsedildiği gibi ısıtma dönemi için 22 °C'nin hastane binamızda bulunan hasta, refakatçi ve personel açısından düşük kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.26: İç ortam sıcaklığının toplam enerji tüketimine etkisi.

4.8 Taguchi ve Yapay Sinir Ağları ile Tüm Kombinasyonları Oluşturulması ve Analizi

Taguchi ile elde edilen 25 dizi için yapay sinir ağlarında tahmin yapılmadan önce, ağı eğitilmesi için gerekli parametreler Tablo 4.22'de verilmiştir. Bu parametreler, %80 eğitim ve %20 test seti olarak oluşturulan dizinin uygunluğunun kontrolünde kullanılmıştır. Analiz sonuçları ile ağı verdiği sonuçlar karşılaştırılarak, hata oranları ve regresyon katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 4.23).

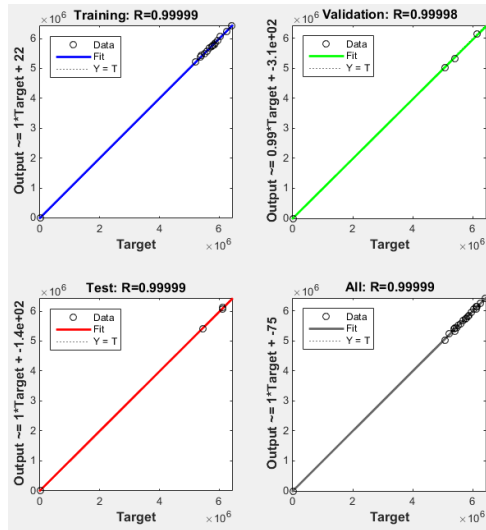
Tablo 4.22: Isıtma ve soğutma dönemi ağ eğitim parametreleri.

	Isıtma Dönemi	Soğutma Dönemi
Ağ Tipi	Geri Beslemeli	Geri Beslemeli
Eğitim Fonksiyonu	TRAINLM	TRAINSCG
Öğrenme Fonksiyonu	LEARNGDM	LEARNGDM
Performans Fonksiyonu	MSE	MSE
Katman Sayısı	3	3
Nöron Sayısı	10 / 10 / 1	10 / 10 / 1
Transfer Fonksiyonu	PURELIN	PURELIN

Tablo 4.23: Analiz ve ağ test değerlerinin karşılaştırılması.

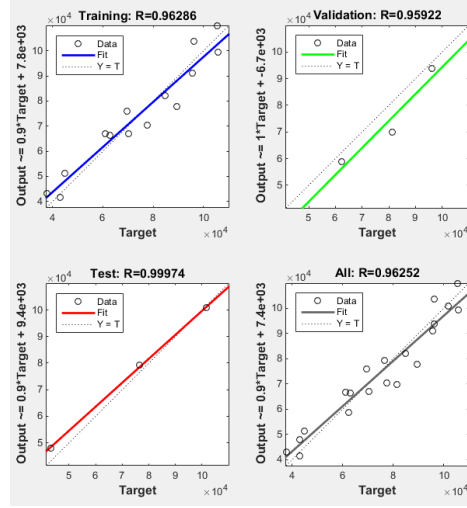
Isıtma Dönemi			Soğutma Dönemi		
Analiz Değeri	Ağ Test Değeri	Hata (%)	Analiz Değeri	Ağ Test Değeri	Hata (%)
6130635	6177593	-0.77%	79140	83714	-5.78%
5444173	5534381	-1.66%	88222	91153	-3.32%
5756926	5765091	-0.14%	84527	80038	5.31%
6067101	6022528	0.73%	59000	57506	2.53%
5796435	5880560	-1.45%	76236	78677	-3.20%

Isıtma dönemi için ağın eğitilmesi sonucu elde edilen regresyon katsayıları şekil 4.27’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre regresyon değerlerinin 0.99 olduğu ve ağın test sonuçlarının designbuilder programı ile yapılan analiz sonuçlarını oldukça iyi bir oranda karşıladığı söylenebilir.



şekil 4.27: Isıtma dönemi için regresyon katsayıları.

Soğutma dönemi için ağın eğitilmesi sonucu elde edilen regresyon katsayıları şekil 4.28’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre regresyon değerlerinin 0.96-0.99 arasında olduğu ve ağın test sonuçlarının designbuilder programı ile yapılan analiz sonuçlarını oldukça iyi bir oranda karşıladığı söylenebilir. Burada elde edilen değerlerin ısıtma dönemine göre daha düşük olmasının nedeni olarak, duvar+çatı yalıtımının soğutma döneminde etkisinin, ısıtma dönemine göre daha az olmasından kaynaklandığı görölmektedir.



Şekil 4.28: Soğutma Dönemi için regresyon katsayıları.

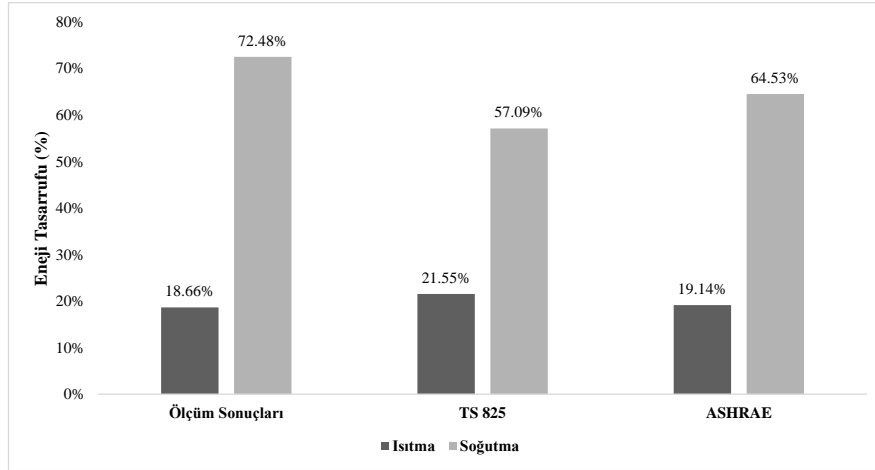
Bu değerler dikkate alınarak uygun olduğu kabul edilen ağ için, ısıtma ve soğutma dönemi için ayrı ayrı oluşturulan 3125 kombinasyonun kalan 3100 değeri tahmin edilmiştir. Ölçüm sonuçları ve standartlarda belirtilen değerlere göre minimum enerji tüketimlerini veren kombinasyonlar Tablo 4.24’te gösterilmiştir.

Tablo 4.24: Isıtma ve soğutma dönemi için en iyi kombinasyon tahminleri.

Isıtma Dönemi En İyi Kombinasyon								
	DD (cm)	Çatı (cm)	Pencere (W/m ² .K)	GK (m)	Dikey	Yatay	Sıcaklık (°C)	Isıtma Enerji Tüketimi (kWh)
Ölçüm								
Sonuçları	7.48	5.74	0.7	0	0	0	24.4	5190359
TS 825	7.48	5.74	0.7	0	0	0	22	5006476
ASHRAE	7.48	5.74	0.7	0	0	0	24	5159712
Soğutma Dönemi En İyi Kombinasyon								
	DD (cm)	Çatı (cm)	Pencere (W/m ² .K)	GK (m)	Dikey	Yatay	Sıcaklık (°C)	Soğutma Enerji Tüketimi(kWh)
Ölçüm								
Sonuçları	2.15	5.74	0.7	1	0	1	25.78	27621.5
TS 825	4.78	1.11	0.7	1	0	1	22	43069
ASHRAE	2.15	5.74	0.7	1	0	1	24	35600.5

En iyi kombinasyonlar için ısıtma ve soğutma dönemine göre elde edilebilecek tasarruf oranları Şekil 4.29’da verilmiştir. Değerler incelendiğinde ölçüm sonuçlarının uygulanması halinde ısıtma dönemi için tasarruf oranı %18.66 iken, soğutma dönemi için %72.48 olarak

hesaplanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ise, ısıtma ve soğutma dönemi için kombinasyonların farklı olduğudur. Tablo 4.24'te görüldüğü gibi, ısıtma dönemi için güneş kırıcı kullanımı yokken, soğutma döneminde ise 1 metrelik yatay güneş kırıcı kullanımı öngörülmüştür. Bu nedenle hastane binası için sabit güneş kırıcı kullanımının uygun olmadığı söylenebilir. Pencere tipi dikkate alındığında ise tüm kombinasyonlarda en iyi sonuçların $0.7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ U değerine sahip olan pencerelerde olduğu görülmektedir.



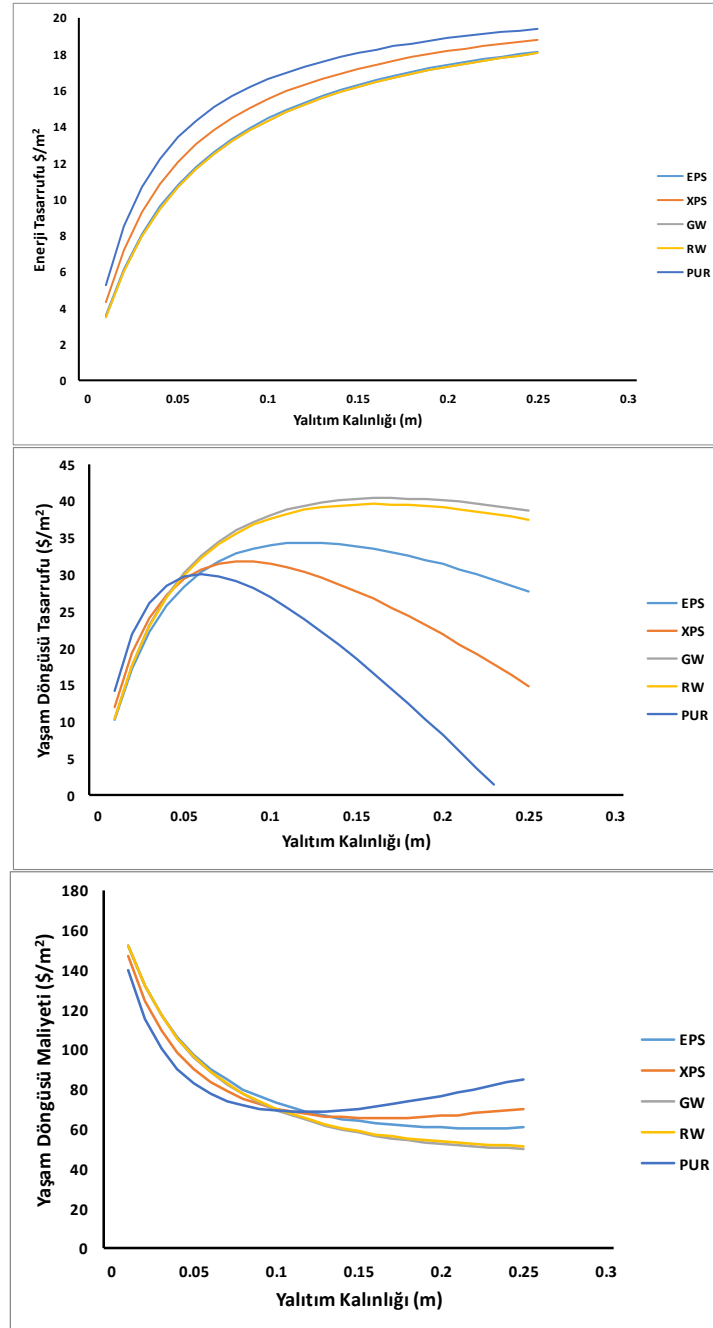
Şekil 4.29: En iyi kombinasyonlar için tasarruf oranları.

4.9 Enerji Tasarrufu, Yaşam Döngüsü Tasarrufu, Yaşam Döngüsü Maliyet Analizleri ve Geri Ödeme Süreleri

Hastane binasının mevcut durumu için Denklem 3.18, 3.19 ve 3.20 formülleri kullanılarak hesaplanan enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü toplam maliyeti Tablo 4.25'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre enerji tasarrufu dış duvar için $9.7142 \text{ \$/m}^2$ bulunurken, çatı için $7.33458 \text{ \$/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yaşam döngüsü tasarrufu ise dış duvar için $76.7364 \text{ \$/m}^2$, çatı için $55.9397 \text{ \$/m}^2$ 'dir. Yaşam döngüsü maliyeti incelendiğinde, dış duvar için $141.41 \text{ \$/m}^2$ ve çatı için $108.229 \text{ \$/m}^2$ olduğu görülmüştür.

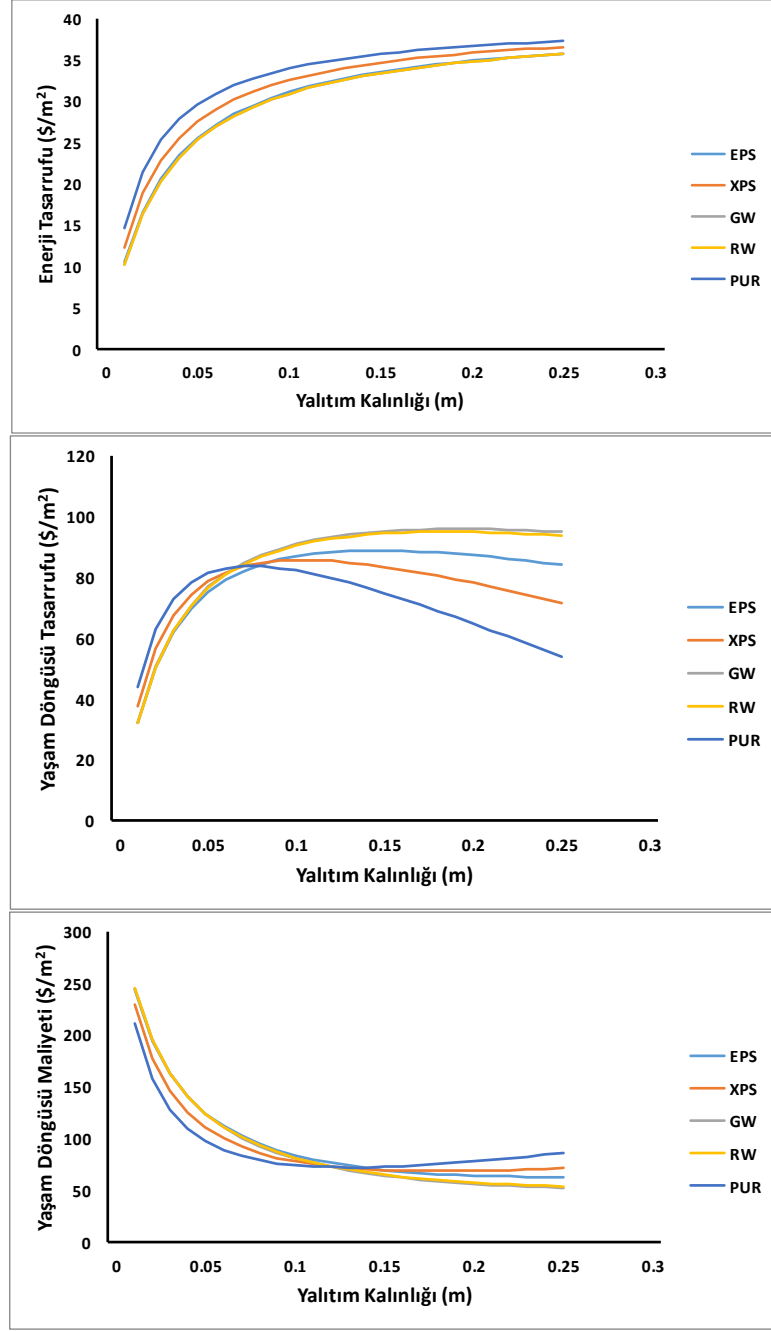
Tablo 4.25: Mevcut durum için ES, YDT ve YDM hesapları.

Mevcut Durum için	Dış Duvar	Çatı
Enerji Tasarrufu (\$/m ²)	9.7142	7.34458
Yaşam Döngüsü Tasarrufu (\$/m ²)	76.7364	55.9397
Yaşam Döngüsü Toplam Maliyeti (\$/m ²)	141.41	108.229



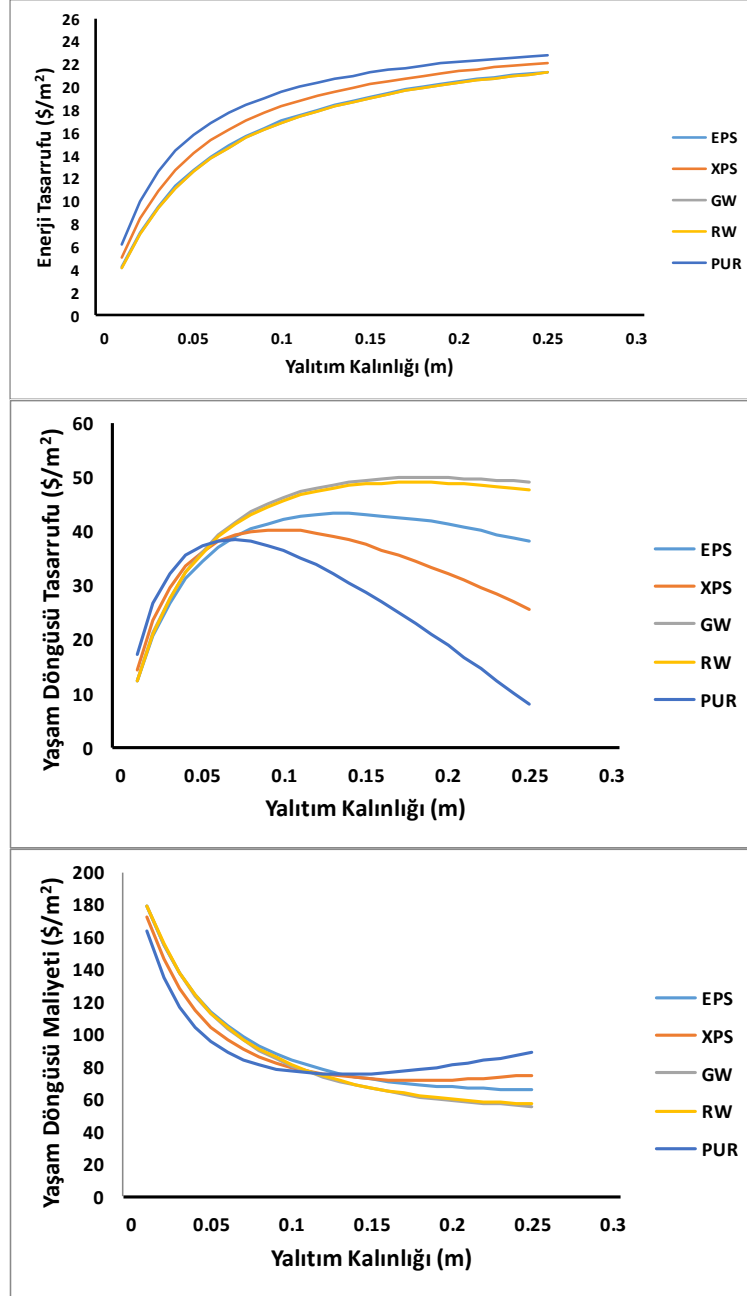
Şekil 4.30: Duvarda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için TS 825'e göre enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü maliyeti grafikleri.

Duvarda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için TS 825'e göre Enerji Tasarrufu, Yaşam Döngüsü Tasarrufu ve Yaşam Döngüsü Maliyeti grafikleri incelendiğinde (Şekil 4.30), enerji tasarrufu EPS yalıtım malzemesi için 3.5776 ile 18.1478 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 4.3186 ile 18.8023 (\$/m²) arasında, GW için 3.5026 ile 18.0692 (\$/m²) arasında, RW için 3.5026 ile 18.0682 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 5.2742 ile 19.4149 (\$/m²) arasında değişmektedir. Yaşam döngüsü tasarrufu EPS yalıtım malzemesi için 10.1914 ile 27.7818 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 11.9502 ile 14.8656 (\$/m²) arasında, GW için 10.422 ile 38.7815 (\$/m²) arasında, RW için 10.3522 ile 37.5315 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 14.193 ile 1.4214 (\$/m²) arasında değişmektedir. Yaşam döngüsü maliyeti incelendiğinde ise; EPS yalıtım malzemesi için 152.3656 ile 60.6709 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 146.8387 ile 70.2586 (\$/m²) arasında, GW için 152.5368 ile 50.0710 (\$/m²) arasında, RW için 152.5868 ile 51.3210 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 139.7356 ile 85.1922 (\$/m²) arasında değişmektedir.



Şekil 4.31: Çatıda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için TS 825'e göre enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü maliyeti grafikleri.

Çatıda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için TS 825'e göre Enerji Tasarrufu, Yaşam Döngüsü Tasarrufu ve Yaşam Döngüsü Maliyeti grafikleri (Şekil 4.31), enerji tasarrufu EPS yalıtım malzemesi için 10.4935 ile 35.8608 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 12.3620 ile 36.6174 (\$/m²) arasında, GW için 10.2989 ile 35.7684 (\$/m²) arasında, RW için 10.2989 ile 35.7684 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 14.6436 ile 37.3061 (\$/m²) arasında değişmektedir.



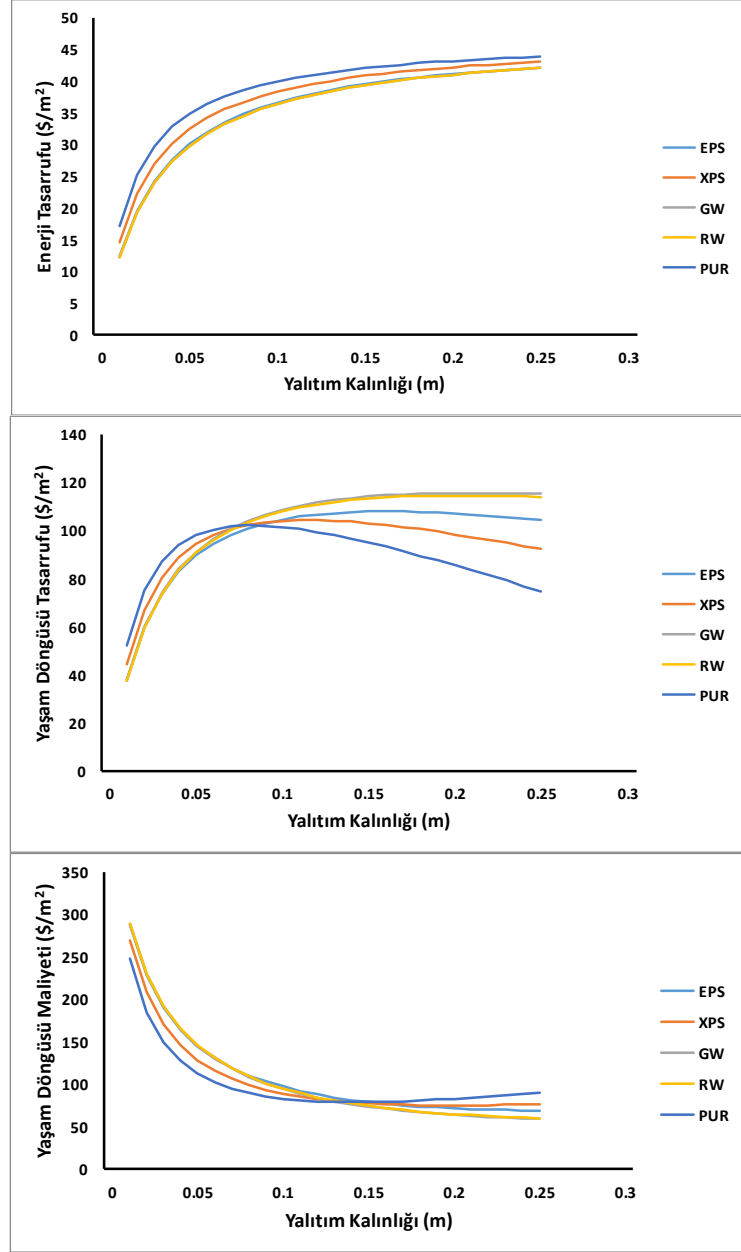
Şekil 4.32: Duvarda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için ASHRAE-55'e göre enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü maliyeti grafikleri.

Yaşam döngüsü tasarrufu EPS yalıtım malzemesi için 32.2109 ile 84.1791 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 37.5601 ile 71.5880 (\$/m²) arasında, GW için 32.0413 ile 93.1350 (\$/m²) arasında, RW için 31.9913 ile 93.8850 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 44.0246 ile 53.7808 (\$/m²) arasında değişmektedir. Yaşam döngüsü maliyeti incelendiğinde ise; EPS yalıtım malzemesi için 244.2058 ile 63.2181 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 229.3531 ile 71.9612 (\$/m²) arasında, GW için 245.3651 ile 63.7321

(\$/m²) arasında, RW için 245.4151 ile 53.9821 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 211.2845 ile 86.2657 (\$/m²) arasında değişmektedir.

Duvarda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için ASHRAE-55'e göre Enerji Tasarrufu, Yaşam Döngüsü Tasarrufu ve Yaşam Döngüsü Maliyeti grafikleri incelendiğinde (Şekil 4.32), enerji tasarrufu EPS yalıtım malzemesi için 4.2146 ile 21.3783 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 5.0873 ile 22.1493 (\$/m²) arasında, GW için 4.1261 ile 21.2857 (\$/m²) arasında, RW için 4.1261 ile 21.2857 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 6.2131 ile 22.8709 (\$/m²) arasında değişmektedir. Yaşam döngüsü tasarrufu EPS yalıtım malzemesi için 12.2192 ile 38.0676 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 14.3979 ile 25.5222 (\$/m²) arasında, GW için 12.3874 ile 49.0227 (\$/m²) arasında, RW için 12.3374 ile 47.7727 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 17.1823 ile 7.8201 (\$/m²) arasında değişmektedir. Yaşam döngüsü maliyeti incelendiğinde ise; EPS yalıtım malzemesi için 179.2745 ile 66.1306 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 172.657 ile 74.7549 (\$/m²) arasında, GW için 179.5563 ile 55.6465 (\$/m²) arasında, RW için 179.6063 ile 56.8965 arasında (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 164.147 ile 88.7866 (\$/m²) arasında değişmektedir.

Çatıda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için ASHRAE-55'e göre Enerji Tasarrufu, Yaşam Döngüsü Tasarrufu ve Yaşam Döngüsü Maliyeti grafikleri (Şekil 4.33), enerji tasarrufu EPS yalıtım malzemesi için 12.3614 ile 42.2444 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 14.5626 ile 43.1356 (\$/m²) arasında, GW için 12.1322 ile 42.1355 (\$/m²) arasında, RW için 12.1322 ile 42.1355 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 17.2503 ile 43.9469 (\$/m²) arasında değişmektedir. Yaşam döngüsü tasarrufu EPS yalıtım malzemesi için 38.1583 ile 104.5041 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 44.5666 ile 92.3418 (\$/m²) arasında, GW için 37.8784 ile 115.4076 (\$/m²) arasında, RW için 37.8284 ile 114.1576 (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 52.3241 ile 74.9249 (\$/m²) arasında değişmektedir. Yaşam döngüsü maliyeti incelendiğinde ise; EPS yalıtım malzemesi için 287.4632 ile 69.1312 (\$/m²) arasında, XPS yalıtım malzemesi için 269.8598 ile 58.7812 (\$/m²) arasında, GW için 288.9089 ile 58.7812 (\$/m²) arasında, RW için 288.9589 ile 60.0312 arasında (\$/m²) arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 248.4324 ile 90.0512 (\$/m²) arasında değişmektedir.



Şekil 4.33: Çatıda kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi için ASHRAE-55'e göre enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü maliyeti grafikleri.

Tablo 4.26 ve Tablo 4.27’de bina dış duvarı ve çatısı için ASHRAE ve TS 825’e göre 5 farklı yalıtım malzemesine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları, yaşam döngüsü tasarrufları, yaşam döngüsü toplam maliyetleri ve geri ödeme süreleri verilmiştir.

Tablo 4.26: Bina dış duvarı için ASHRAE ve TS 825’e göre 5 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü toplam maliyeti.

Standart	EPS	XPS	GW	RW	PUR
Optimum Yalıtım Kalınlığı (cm)					
TS 825	4.04	2.60	6.48	6.11	1.73
ASHRAE	4.64	3.04	7.25	6.85	2.05
Enerji Tasarrufu (\$/m²)					
TS 825	9.6358	7.4328	12.2316	11.8426	7.6741
ASHRAE	13.6741	10.9842	14.9246	14.4312	10.2158
Yaşam Döngüsü Tasarrufu (\$/m²)					
TS 825	25.8613	21.9416	33.5832	32.4332	20.3124
ASHRAE	33.3846	29.5198	42.0216	40.9614	26.7418
Yaşam Döngüsü Toplam Maliyeti (\$/m²)					
TS 825	105.1622	115.4224	85.2718	88.9078	121.7314
ASHRAE	118.4318	127.6814	94.9310	97.0618	134.256
Dış Duvar için Geri Ödeme Süresi (yıl)					
TS 825	0.81	0.61	1.23	1.17	0.55
ASHRAE	0.91	0.75	1.38	1.30	0.66

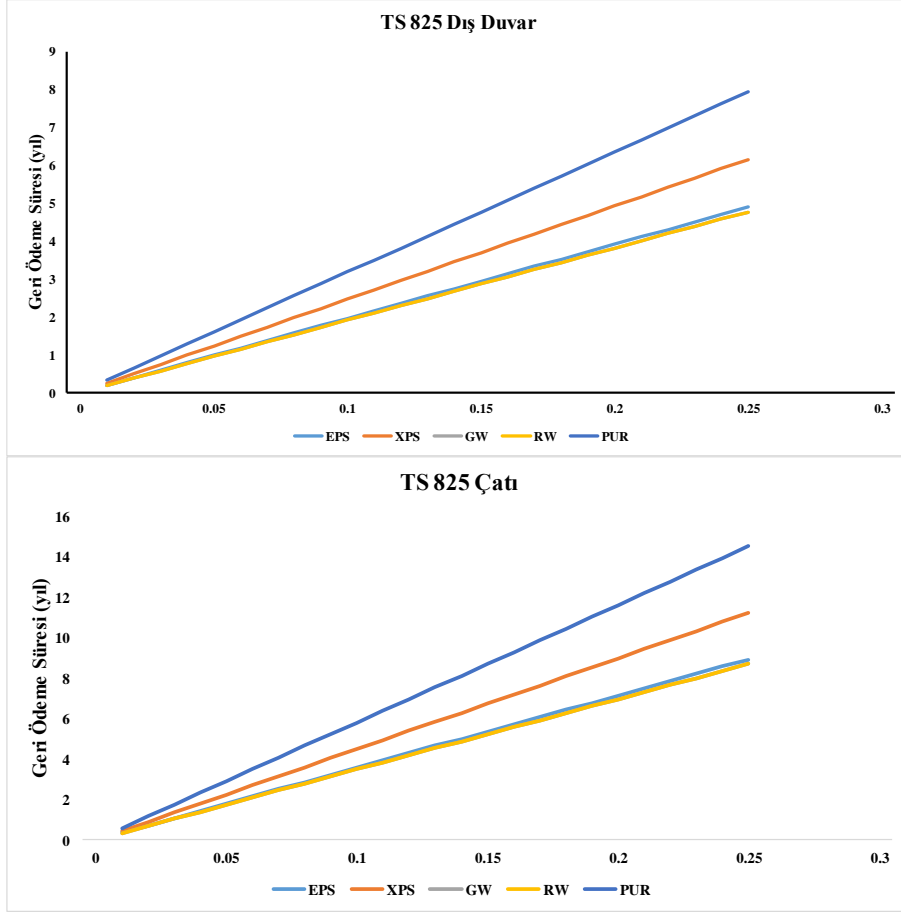
Tablo 4.27: Bina çatısı için ASHRAE ve TS 825'e göre 5 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, yaşam döngüsü tasarrufu ve yaşam döngüsü toplam maliyeti.

Standart	EPS	XPS	GW	RW	PUR
Optimum Yalıtım Kalınlığı (cm)					
TS 825	6.35	4.43	8.85	8.47	3.15
ASHRAE	6.95	4.87	9.62	9.22	3.47
Enerji Tasarrufu (\$/m²)					
TS 825	27.57843	26.58084	30.08632	29.79316	25.72816
ASHRAE	33.44872	32.26825	36.01185	35.87632	31.33747
Yaşam Döngüsü Tasarrufu (\$/m²)					
TS 825	80.28768	76.56213	89.2016	88.3528	73.26184
ASHRAE	98.26324	93.98775	107.6672	107.1342	90.50364
Yaşam Döngüsü Toplam Maliyeti (\$/m²)					
TS 825	109.5698	117.5842	87.58014	90.0124	124.6644
ASHRAE	119.0124	130.5248	97.08016	99.0186	138.3684
Çatı için Geri Ödeme Süresi (yıl)					
TS 825	2.27	1.99	3.06	2.95	1.81
ASHRAE	2.47	2.20	3.31	3.23	1.97

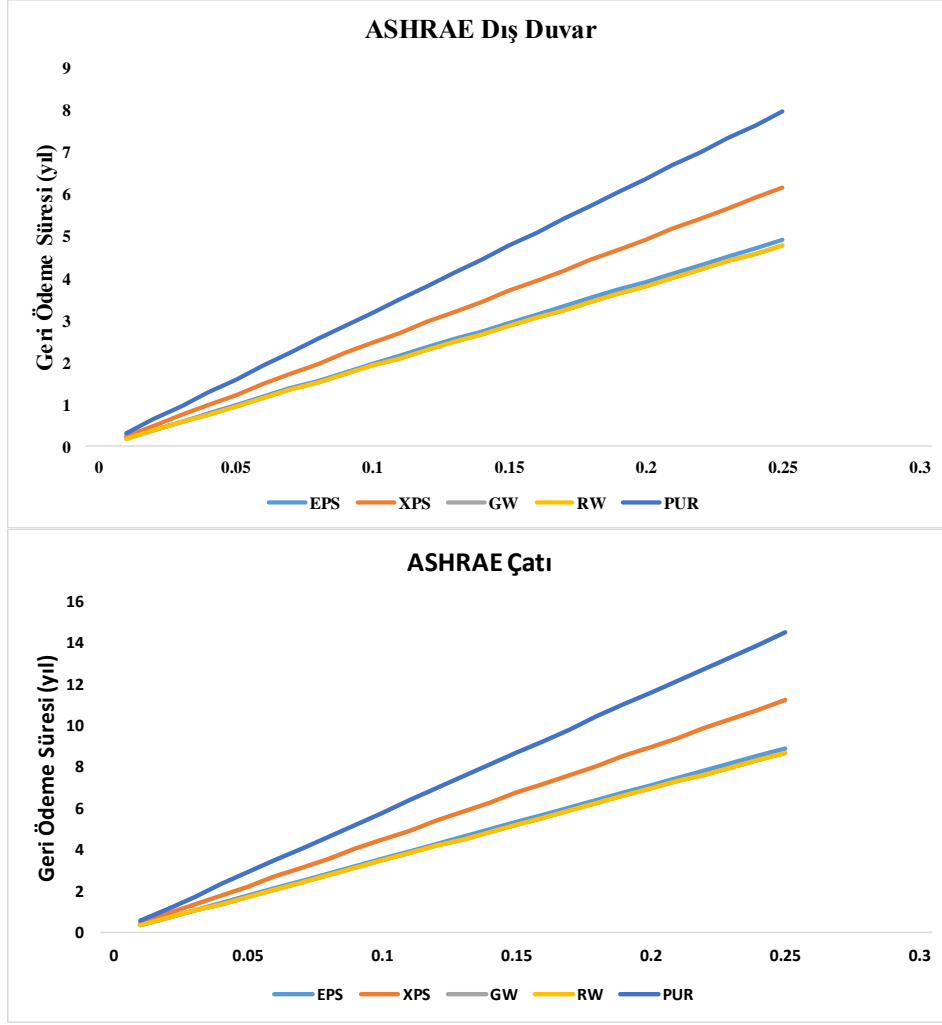
TS 825'e göre dış duvar ve çatı için 5 farklı yalıtım malzemesine göre geri ödeme süreleri Şekil 4.34'de verilmiştir. Duvar için geri ödeme süreleri incelendiğinde; EPS yalıtım malzemesinin değeri 0.195 ile 4.89 yıl arasında, XPS yalıtım malzemesi için 0.246 ile 6.156 yıl arasında, GW ve RW yalıtım malzemesi için 0.19 ile 4.77 yıl arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 0.318 ile 7.952 yıl arasında yalıtım kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan hesaplamalara göre 5 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığındaki geri ödeme süreleri Tablo 4.26'te gösterilmiştir.

Çatı için geri ödeme süreleri incelendiğinde ise; EPS yalıtım malzemesinin değeri 0.357 ile 8.927 yıl arasında, XPS yalıtım malzemesi için 0.449 ile 11.232 yıl arasında, GW ve RW yalıtım malzemesi için 0.348 ile 8.704 yıl arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 0.58 ile

14.507 yıl arasında yalıtım kalınlığına bağılı olarak değişmektedir. Yapılan hesaplamalara göre 5 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığındaki geri ödeme süreleri Tablo 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.34: TS 825’e göre dış duvar ve çatı için 5 farklı yalıtım malzemesine göre geri ödeme süreleri.



Şekil 4.35: ASHRAE ve DIN 1946'ya göre dış duvar ve çatı için 5 farklı yalıtım malzemesine göre geri ödeme süreleri.

ASHRAE ve DIN 1946'ya göre Dış Duvar ve Çatı için 5 farklı yalıtım malzemesine göre geri ödeme süreleri Şekil 4.35'de verilmiştir. Duvar için geri ödeme süreleri incelendiğinde; EPS yalıtım malzemesinin değeri 0.195 ile 4.89 yıl arasında, XPS yalıtım malzemesi için 0.246 ile 6.156 yıl arasında, GW ve RW yalıtım malzemesi için 0.19 ile 4.77 yıl arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 0.318 ile 7.952 yıl arasında yalıtım kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan hesaplamalara göre 5 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığındaki geri ödeme süreleri Tablo 4.26'te gösterilmiştir. Çatı için geri ödeme süreleri incelendiğinde ise; EPS yalıtım malzemesinin değeri 0.357 ile 8.927 yıl arasında, XPS yalıtım malzemesi için 0.449 ile 11.232 yıl arasında, GW ve RW yalıtım malzemesi için 0.348 ile 8.704 yıl arasında ve PUR yalıtım malzemesi için 0.58 ile 14.507 yıl arasında yalıtım kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan hesaplamalara göre 5 farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlığındaki geri ödeme süreleri Tablo 4.27'de

gösterilmiştir. Farklı standartlar için geri ödeme süreleri eşit gibi gözüksede optimum yalıtım kalınlıkları farklılık gösterdiğinden dolayı, standartlara göre geri ödeme süreleride farklıdır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada ısı konfor koşulları dikkate alınarak, elde edilebilecek maksimum tasarruf miktarları ortaya konulmuştur. Bu aşamada şu sonuçlar elde edilmiştir;

Ortalama ve maksimum PMV değerleri standartlarda önerilen aralıkların üzerindedir. Soğutma dönemi için, AMV değerlerinin sadece % 54,4'ü ve ısıtma dönemi için AMV değerlerinin % 36,7'si konfor aralığındadır.

Ölçülen ve algılanan sıcaklıklar, soğutma dönemi için sırasıyla 24.47 °C ve 21.91 °C olarak hesaplanmıştır. Ölçülen sıcaklıklar, konfor sıcaklıklarına göre daha yüksektir ve kullanıcılar soğutma dönemi için daha sıcak bir ortam istemektedirler. Isıtma dönemi için; ölçülen ve algılanan çalışma sıcaklıkları 22.92 °C ve 23.9 °C olarak hesaplanmıştır. Algılanan çalışma sıcaklıkları önerilen sıcaklık aralığındadır, ancak anket sonuçlarına göre; kullanıcılar daha sıcak ortam tercih etmektedirler.

Anket sonuçlarına göre cinsiyetin ısı konfor üzerinde etkisi vardır. Bu durumda, bu farkın nedenini anlamak için Minitab yardımı ile uygulanan t-testi sonuçlarına göre, P değeri 0.003 ve $\mu_2 > \mu_1$ bulunmuştur. Dolayısıyla, yaz aylarında kadınların kış aylarına göre daha hassas olduğu sonucuna varılabilir.

Yaşın termal konfor üzerindeki etkisi incelendiğinde, 30 yaş altı ve 30-59 yaş için (P değeri <0.05) istatistiksel farklar görülmüştür, ancak 60 yaşın üzerinde anlamlı bir farklılık yoktur (P değeri 0.162). Bu sonuç, yaşın termal konfor üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Sonuçlara göre, PMV değeri hastalar ve hemşireler için iyi bir izleme aracı değildir. Bu nedenle, bu gruplar ayrı bir grup olarak düşünülmeli ve ısı ortamları algılarına göre düzenlenmelidir.

Hasta odalarında hava akım hızlarının dağılımının yeterli olmadığı görülmüştür. Doğrudan üfleme alanında bulunan kullanıcıların ısı açıdan rahatsız olduğu ve bu nedenle havalandırma yönlerinin doğrudan kullanıcılara gelmemesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde ısı açıdan konforsuz bir ortam oluşmaktadır.

Bu sonuçlara göre, ısı konfor aralığı ISO 7730'da belirtilen aralığa göre +0,7 yükseltilecek (+0,2 <PMV <+1,2), PPD değeri% 20'nin altına düşürülebilir ve kullanıcılar açısından daha konforlu bir ortam sağlanabilir.

Kullanılan yakıt ve seçilen yalıtım malzemesine göre değişken olmasına rağmen, binalara uygulanan yalıtımların geri ödeme süreleri genellikle çok kısa olmaktadır. Yalıtım yatırımları kısa sürede karşılığını vermekte ve bu ülkenin yakıt kaynakları açısından bağımlılığının azalmasına katkıda bulunmaktadır. Günümüzde olduğu gibi, yakıt ve enerji maliyetlerinin önemli ölçüde arttığı bir zamanda bu durum önem kazanmaktadır. Farklı yakıt türlerine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı ve yakıt atıklarından kaynaklanan çevre kirliliği göz önüne alındığında, doğal gazın seçilen diğer türler arasında en uygun yakıt olduğu bulunmuştur. Bu arada, doğal gaz için optimum yalıtım kalınlığı diğer yakıtlara göre daha düşük olduğundan, ilk yatırım maliyeti de daha düşük olacaktır.

Sonuç olarak, ölçüm sonuçlarının uygulanması durumunda tasarruf oranı ısıtma dönemi için % 18.66 ve soğutma dönemi için % 72.48 olarak bulunmuştur. Sonuçlar TS 825 ve ASHRAE ile karşılaştırıldığında en yüksek tasarruf miktarı elde edilmiştir. Özellikle soğutma dönemi için tasarruf oranları oldukça yüksektir. Bunun nedeni TS 825, ısıtma döneminde 22 °C iç hava sıcaklığı önermektedir ve soğutma dönemini göz ardı etmektedir. Benzer şekilde, ASHRAE her iki mevsim için 22-24 °C iç hava sıcaklığı önermektedir ve çalışmada üst sınır olan 24 °C dikkate alınmıştır.

Isıtma dönemi için yalıtım durumu incelendiğinde, cam yünü malzemesinin enerji tasarrufu açısından en uygun yalıtım malzemesi olduğu görülmektedir. Pencere tipi dikkate alındığında ise 0.7 W/m².K U değerine sahip pencere %12.59 oranında bir tasarruf sağlamıştır. Güneş kırıcılar açısından ise, güneş kırıcı kullanımı kış döneminde güneşten ısı kazancını azalttığından olumsuz bir etki yapmaktadır. Özellikle 1 m panjur kullanımının enerji tüketimini %5.09 artırdığı görülmüştür. Bu durum yaz dönemi için olumlu olarak gözükürken, ısıtma dönemi enerji tüketimlerinin fazla olduğu dikkate alınır, güneş kırıcı kullanmamak daha avantajlıdır ya da hareketli panjur sistemleri ile kışın güneş kırıcıların kapatılması ve yazın açılması enerji tüketimine oldukça iyi oranda katkı sağlayacaktır.

Soğutma dönemi incelendiğinde, ısıtma döneminde olduğu gibi Balıkesir ili için en uygun yalıtım malzemesinin cam yünü olduğu görülmüştür. Soğutma enerji tüketimi, optimum cam yünü kullanılarak yalıtım yapılması durumunda %13.66 oranında azalmaktadır. 0.7 W/m².K

U pencere tipi ise %48.84 oranında enerji tasarrufu sağlayarak, pencerelerin enerji tüketimindeki rolünü açıkça göstermiştir. Özellikle SDG değerleri yüksek bölgeler için, bu tip pencerelerinin kullanımı oldukça önemlidir. Benzer şekilde güneş kırıcı olarak 1 m panjur kullanımı %27.16 enerji tasarrufu sağlayabilir.

YSA modeli sadece önceki ölçümlere dayanarak enerji tüketimini tahmin etmektedir. Bu nedenle, enerji tüketimini azaltmaya yönelik yeni stratejilerin değerlendirilmesi ancak uygulandıktan sonra değerlendirilebilir. Bununla birlikte, uygun bir kalibrasyondan sonra, hem detaylı model hem de YSA modeli, bina enerji taleplerini tahmin etmek için yararlı araçlar haline gelecektir. Bu bir ön çalışmadır ve enerji tüketimi profilini daha iyi tahmin edebilmek için klimalı binalarda enerji tüketimini değerlendirmek için metodolojileri iyileştirmek amacıyla bir kaç tane daha geliştirilmelidir.

Bu bulgular bina tasarımları sırasında enerji verimliliği ve tasarruf açısından optimum tasarruf stratejilerini etkili bir şekilde yönetme konusunda yol gösterebilir. Türk standartlarında uygun enerji tasarruf stratejilerinin uygulanmasının benimsenmesi tavsiye edilmektedir. Bu çalışma pasif bina tasarımı için ön çalışmalardan biridir. Gelecekteki çalışmalarda, diğer bina türleri, farklı coğrafi konumları, iklim bölgeleri, pencere-duvar oranları ve yönelimleri, gün ışığı, hareketli gölgeleme cihazlarıyla karşılaştırmalar dikkate alınarak, enerji etkin tasarruf yöntemlerinin standart hale getirilmesi sağlanabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] R. F. Rupp, N. G. Vásquez, and R. Lamberts, “A review of human thermal comfort in the built environment,” *Energy Build.*, vol. 105, pp. 178-205, 2015.
- [2] R. Maiti, “PMV model is insufficient to capture subjective thermal response from Indians,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 44, pp. 249-361, 2014.
- [3] N. Fransson, D. Västfjäll, and J. Skoog, “In search of the comfortable indoor environment: A comparison of the utility of objective and subjective indicators of indoor comfort,” *Build. Environ.*, vol. 42, pp. 1886-1890, 2007.
- [4] L. J. Schoen *et al.*, “Thermal environmental conditions for human occupancy,” *ASHRAE Stand.*, vol. 2013, no. 55, 2013.
- [5] W. Yang, N. H. Wong, and G. Zhang, “A comparative analysis of human thermal conditions in outdoor urban spaces in the summer season in Singapore and Changsha, China,” *Int. J. Biometeorol.*, vol. 57, no. 6, pp. 895–907, 2013.
- [6] N. Djongyang, R. Tchinda, and D. Njomo, “Thermal comfort: A review paper,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, pp. 2626-2640, 2010.
- [7] P. Ole Fanger and J. Toftum, “Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates,” in *Energy Build.*, vol. 34, pp. 533-536, 2002.
- [8] P. Code, “Ergonomics of The Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of The Pmv And Ppd Indices And Local Thermal, Údarás um Chaighdeáin Náisiúnta na hÉireann Price Code,” Management, 2006.
- [9] T. Halsey, Environment Design, CIBSE Guide A, 2010.
- [10] A. Boerstra, “The Adaptive Thermal Comfort Annex in 15251,” Boerstra Binnenmilieu Advies, Epb directive 2002/91/EC Art. 1 2007.
- [11] L. Perez-Lombard, J. Ortiz, and I. R. Maestre, “The map of energy flow in HVAC systems,” *Appl. Energy*, vol. 88, pp. 5020-5031, 2011.
- [12] “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı enerji raporu,” 2019.
- [13] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” *Energy Build.*, vol. 40, pp. 394-398, 2008.
- [14] J. Xiong, Z. Lian, X. Zhou, J. You, and Y. Lin, “Effects of temperature steps on human health and thermal comfort,” *Build. Environ.*, vol. 94, pp. 144-154, 2015.

- [15] O. Kon and I. Caner, "The life cycle assessment related to insulation thickness of external walls of the airport," *Int. J. Sustain. Aviat.*, vol. 5, no. 2, p. 158, 2019.
- [16] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, J. F. Coronel, and I. R. Maestre, "A review of HVAC systems requirements in building energy regulations," *Energy Build.*, vol. 43, no. 2–3, pp. 255–268, 2011.
- [17] K. E. Loum Janani, Kanwezi Henry, "International Journal of Research and Review," *Int. J. Res. Rev.*, vol. 2, no. 6, pp. 343–347, 2015.
- [18] V. G. Demir, H. Yuksel, H. Koten, M. Z. Gul, and H. S. Soyhan, Microwave-assisted pilot-scale biodiesel production and engine tests, *Proc. of the Inst. of Civil Eng. - Energy*, vol. 172, no.1, pp. 1-11, 2019.
- [19] M. Atmaca and Z. Yılmaz, "A Study on Energy and Cost Efficiency for Existing Hotel Buildings in Turkey," *E3S Web Conf.*, vol. 111, no. 2019, p. 03037, 2019.
- [20] C. T. Akın and S. Kaplan, "Enerji Kimlik Belgelerinin Enerji Etkin Mimari Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi," *DÜMF Mühendislik Derg.*, vol. 10, no. 1, pp. 373–384, Mar. 2019.
- [21] V. Vakıloroaya, B. Samali, A. Fakhar, and K. Pishghadam, "A review of different strategies for HVAC energy saving," *Energy Convers. Manag.*, vol. 77, pp. 738-754, 2014.
- [22] S. A. Özçiftçi, "Ekolojik binalarda enerjinin etkin kullanılmasının irdelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniv., İzmir, 2010.
- [23] K. Öngel and H. Mergen, "Isıl konfor parametrelerinin insan vücudundaki etkilerine yönelik," *SDÜ Tıp Fakültesi Derg.*, vol. 16, no. 1, pp. 21–25, Jun. 2009.
- [24] A. U. Göksü and G. Z. Gedik, PV Sistemin Çatı Yüzeyinde Ve Cephe Gölgeleme Elemanı Olarak Kullanımının Bir Ofis Binasının Enerji Performansına Etkisinin Değerlendirilmesi, *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Nisan 2017, s. 2032-2042.
- [25] H. Taleb and D. Taleb, "Enhancing the thermal comfort on urban level in a desert area: Case study of Dubai, United Arab Emirates," *Urban For. Urban Green.*, vol. 13, no. 2, pp. 253–260, 2014.
- [26] V. De Giuli, R. Zecchin, L. Salmaso, L. Corain, and M. De Carli, "Measured and perceived indoor environmental quality: Padua Hospital case study," *Build. Environ.*, vol. 59, pp. 211–226, 2013.

- [27] M. Santamouris, K. Pavlou, A. Synnefa, K. Niachou, and D. Kolokotsa, "Recent progress on passive cooling techniques. Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households," *Energy Build.*, vol. 3, pp. 859-866, 2007.
- [28] Y. Jiang, X. Liu, L. Zhang, and T. Zhang, "High temperature cooling and low temperature heating in buildings of EBC Annex 59," *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 2433–2438, 2015.
- [29] N. Daouas, "A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads," *Appl. Energy*, vol. 88, pp. 156-164, 2011.
- [30] I. El-Darwish and M. Gomaa, "Retrofitting strategy for building envelopes to achieve energy efficiency," *Alexandria Eng. J.*, vol. 56, pp. 579-589, 2017.
- [31] A. N. Sadeghifam, S. M. Zahraee, M. M. Meynagh, and I. Kiani, "Combined use of design of experiment and dynamic building simulation in assessment of energy efficiency in tropical residential buildings," *Energy Build.*, vol. 86, pp. 525-533, 2015.
- [32] M. N. Shaharon and J. Jalaludin, "Thermal comfort assessment-a study toward workers' satisfaction in a low energy office building," *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 7, pp. 1037–1045, 2012.
- [33] F. M. Elaiab, "Thermal comfort investigation of multi-storey residential buildings in Mediterranean climate with reference to Darnah , Libya," Ph. D. dissertation, University of Nottingham, UK, 2014.
- [34] F. Reda and A. Laitinen, "Different strategies for long term performance of SAGSHP to match residential energy requirements in a cold climate," *Energy Build.*, vol. 86, pp. 557-572, 2015.
- [35] S. Attia, J. L. M. Hensen, L. Beltrán, and A. De Herde, "Selection criteria for building performance simulation tools: Contrasting architects' and engineers' needs," *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 5, no. 3, pp. 155–169, 2012.
- [36] M. Santamouris et al., "Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece," *Energy*, vol. 32, pp. 1781-1788, 2007.
- [37] M. M. E. Van Esch, R. H. J. Looman, and G. J. De Bruin-Hordijk, "The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies," *Energy Build.*, vol. 48, pp. 146-

- 154, 2012.
- [38] J. Persson and S. Grönkvist, “Drivers for and barriers to low-energy buildings in Sweden,” *J. Clean. Prod.*, vol. 109, pp. 296-304, 2015.
- [39] J. Chen, X. Wang, and K. Steemers, “A statistical analysis of a residential energy consumption survey study in Hangzhou, China,” *Energy Build.*, vol. 66, pp. 193-202, 2013.
- [40] C. Huang et al., “Measurements of indoor thermal environment and energy analysis in a large space building in typical seasons,” *Build. Environ.*, vol. 42, pp. 1869-1877, 2007.
- [41] A. Sakka, A. Wagner, and M. Santamouris, “Thermal comfort and occupant satisfaction in residential buildings-results of field study in residential buildings in Athens during the summer period,” *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, UK*, April 2010, p.9-11.
- [42] A. Synnefa, M. Santamouris, and K. Apostolakis, “On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment,” *Sol. Energy*, vol. 81, pp. 488-497, 2007.
- [43] O. T. Masoso and L. J. Grobler, “The dark side of occupants’ behaviour on building energy use,” *Energy Build.*, vol. 42, pp. 173-177, 2010.
- [44] D. Teli, M. F. Jentsch, P. A. B. James, and A. B. S. Bahaj, “Field study on thermal comfort in a UK primary school,” *Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK*, April, , pp. 12-15, 2012.
- [45] C. Buratti and P. Ricciardi, “Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models,” *Build. Environ.*, vol. 44, pp. 674-687, 2009.
- [46] E. Z. E. Conceição, J. M. M. Gomes, N. H. Antão, and M. M. J. R. Lúcio, “Application of a developed adaptive model in the evaluation of thermal comfort in ventilated kindergarten occupied spaces,” *Build. Environ.*, vol. 50, pp. 190–201, 2012.
- [47] K. Fabbri, “Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire,” *Build. Environ.*, vol. 68, pp. 202-214, 2013.
- [48] H. Yun, I. Nam, J. Kim, J. Yang, K. Lee, and J. Sohn, “A field study of thermal comfort for kindergarten children in korea: An assessment of existing models and preferences of children,” *Build. Environ.*, vol. 75, pp. 182-189, 2014.

- [49] Z. Wang, A. Li, J. Ren, and Y. He, “Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin,” *Energy Build.*, vol. 77, pp. 192–196, 2014.
- [50] C. Deb and A. Ramachandraiah, “Evaluation of thermal comfort in a rail terminal location in India,” *Build. Environ.*, vol. 45, pp. 2571–2580, 2010.
- [51] M. J. Cheng, R. L. Hwang, and T. P. Lin, “Field experiments on thermal comfort requirements for campus dormitories in Taiwan,” *Indoor Built Environ.*, vol. 17, no. 3, pp. 191–202, 2008.
- [52] R. L. Hwang, T. P. Lin, M. J. Cheng, and J. H. Chien, “Patient thermal comfort requirement for hospital environments in Taiwan,” *Build. Environ.*, vol. 42, no. 8, pp. 2980–2987, 2007.
- [53] A. Mendes *et al.*, “Indoor air quality and thermal comfort in elderly care centers,” *Urban Clim.*, vol. 14, pp. 486–501, 2015.
- [54] A. Geva, H. Saaroni, and J. Morris, “Measurements and simulations of thermal comfort: a synagogue in Tel Aviv, Israel,” *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 7, no. 3, pp. 233–250, 2014.
- [55] F. R. D’Ambrosio Alfano, B. W. Olesen, B. I. Palella, and G. Riccio, “Thermal comfort: Design and assessment for energy saving,” *Energy Build.*, vol. 81, no. 2014, pp. 326–336, 2014.
- [56] F. Azizpour, S. Moghimi, E. Salleh, S. Mat, C. H. Lim, and K. Sopian, “Thermal comfort assessment of large-scale hospitals in tropical climates: A case study of University Kebangsaan Malaysia Medical Centre (UKMMC),” *Energy Build.*, vol. 64, pp. 317–322, 2013.
- [57] F. Azizpour, S. Moghimi, C. H. Lim, S. Mat, E. Salleh, and K. Sopian, “A thermal comfort investigation of a facility department of a hospital in hot-humid climate: Correlation between objective and subjective measurements,” *Indoor Built Environ.*, vol. 22, no. 5, pp. 836–845, 2013.
- [58] Y. H. Yau and B. T. Chew, “Adaptive thermal comfort model for air-conditioned hospitals in Malaysia,” *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 35, no. 2, pp. 117–138, 2014.
- [59] Y. H. Yau and B. T. Chew, “Thermal comfort study of hospital workers in Malaysia,” *Indoor Air*, vol. 19, no. 6, pp. 500–510, 2009.

- [60] R. L. Hwang, T. P. Lin, M. J. Cheng, and J. H. Chien, "Patient thermal comfort requirement for hospital environments in Taiwan," *Build. Environ.*, vol. 42, pp. 2980-2987, 2007.
- [61] N. Fransson, D. Västfjäll, and J. Skoog, "In search of the comfortable indoor environment: A comparison of the utility of objective and subjective indicators of indoor comfort," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 5, pp. 1886–1890, 2007.
- [62] A. Pourshaghaghay and M. Omidvari, "Examination of thermal comfort in a hospital using PMV-PPD model," *Appl. Ergon.*, vol. 43, no. 6, pp. 1089–1095, 2012.
- [63] R. Van Gaever, V. A. Jacobs, M. Diltoer, L. Peeters, and S. Vanlanduit, "Thermal comfort of the surgical staff in the operating room," *Build. Environ.*, vol. 81, pp. 37-41, 2014.
- [64] C. A. Short, K. J. Lomas, R. Giridharan, and A. J. Fair, "Building resilience to overheating into 1960's UK hospital buildings within the constraint of the national carbon reduction target: Adaptive strategies," *Build. Environ.*, vol. 55, pp. 73–95, 2012.
- [65] European Commission and the European Free Trade Association, "EN 15251 CEN/TC 156 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics," CEN/TC 156, 2006.
- [66] F. Nicol and M. Wilson, "An overview of the european standard en 15251," *Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, UK, April, 2010*, p. 9-11.
- [67] Z. Lin and S. Deng, "A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics-Developing a thermal comfort model for sleeping environments," *Build. Environ.*, vol. 43, pp. 70-81, 2008.
- [68] Z. Lin and S. Deng, "A questionnaire survey on sleeping thermal environment and bedroom air conditioning in high-rise residences in Hong Kong," *Energy Build.*, vol. 38, pp. 1302-1307, 2006.
- [69] A. Teke and O. Timur, "Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 224-235, 2014.
- [70] X. He, Z. Zhang, and A. Kusiak, "Performance optimization of HVAC systems with computational intelligence algorithms," *Energy Build.*, vol. 81, pp. 371-380, 2014.
- [71] I. Petri, H. Li, Y. Rezgui, C. Yang, B. Yuce, and B. Jayan, "A modular optimisation

- model for reducing energy consumption in large scale building facilities,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 38, pp. 990–1002, 2014.
- [72] J. Cho, J. Kim, S. Lee, and J. Koo, “A bi-directional systematic design approach to energy optimization for energy-efficient buildings,” *Energy Build.*, vol. 120, pp. 135–144, 2016.
- [73] V. Čongradac, B. Prebiračević, N. Jorgovanović, and D. Stanišić, “Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals,” *Energy Build.*, vol. 48, pp. 146–154, 2012.
- [74] F. Ascione, N. Bianco, C. De Stasio, G. M. Mauro, and G. P. Vanoli, “Simulation-based model predictive control by the multi-objective optimization of building energy performance and thermal comfort,” *Energy Build.*, vol. 111, pp. 131–144, 2016.
- [75] F. Ascione, N. Bianco, R. F. De Masi, and G. P. Vanoli, “Rehabilitation of the building envelope of hospitals: Achievable energy savings and microclimatic control on varying the HVAC systems in Mediterranean climates,” *Energy Build.*, vol. 60, pp. 125–138, 2013.
- [76] M. Wetter, “Generic Optimization Program User Manual,” Environmental Energy Technologies Division Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, U.S., 2004.
- [77] G. G. Emel and Ç. Taşkın, “Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları,” *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi*, vol. 21, no. 1, pp. 129–152, 2002.
- [78] S. Sinha and S. S. Chandel, “Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic-wind based hybrid energy systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 755–769, 2015.
- [79] M. Palonen, A. Hasan, and K. Siren, “A genetic algorithm for optimization of building envelope and hvac system parameters,” *IBPSA 2009 - Int. Build. Perform. Simul. Assoc. 2009*, no. December 2015, pp. 159–166, 2009.
- [80] S. Carlucci, G. Cattarin, F. Causone, and L. Pagliano, “Multi-objective optimization of a nearly zero-energy building based on thermal and visual discomfort minimization using a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II),” *Energy Build.*, vol. 104, no. 2015, pp. 378–394, 2015.
- [81] S. Carlucci and L. Pagliano, “An optimization procedure based on thermal discomfort minimization to support the design of comfortable net zero energy buildings,” *13th Conference of Int. Build. Performance Sim. Assoc., Chambéry, France, August*, pp. 3690–3697, 2013.

- [82] V. Machairas, A. Tsangrassoulis, and K. Axarli, "Algorithms for optimization of building design: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 31, no. 1364, pp. 101–112, 2014.
- [83] N. Nassif, "Modeling and optimization of HVAC systems using artificial neural network and genetic algorithm," *Build. Simul.*, vol. 7, no. 3, pp. 237–245, 2014.
- [84] R. M. Hanafy, "Energy Efficient Management and Optimization Strategies in Office Buildings optimization control," Master Thesis, University of Kassel and Cairo University, p. 84, 2012.
- [85] A. T. Nguyen, S. Reiter, and P. Rigo, "A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis," *Appl. Energy.*, vol. 113, pp. 1043-1058, 2014.
- [86] A. T. Nguyen and S. Reiter, "Passive designs and strategies for low-cost housing using simulation-based optimization and different thermal comfort criteria," *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 7, no. 1, pp. 68–81, 2014.
- [87] N. Delgarm, B. Sajadi, F. Kowsary, and S. Delgarm, "Multi-objective optimization of the building energy performance: A simulation-based approach by means of particle swarm optimization (PSO)," *Appl. Energy*, vol. 170, pp. 293-303, 2016.
- [88] Y. Wang, J. Kuckelkorn, F. Y. Zhao, D. Liu, A. Kirschbaum, and J. L. Zhang, "Evaluation on classroom thermal comfort and energy performance of passive school building by optimizing HVAC control systems," *Build. Environ.*, vol. 89, pp. 86-106, 2015.
- [89] M. Hamdy, A. T. Nguyen, and J. L. M. Hensen, "A performance comparison of multi-objective optimization algorithms for solving nearly-zero-energy-building design problems," *Energy Build.*, vol. 121, pp. 57–71, 2016.
- [90] A. E. Ruano et al., "The IMBPC HVAC system: A complete MBPC solution for existing HVAC systems," *Energy Build.*, vol. 120, pp. 145-158, 2016.
- [91] W. Yang, N. H. Wong, and G. Zhang, "A comparative analysis of human thermal conditions in outdoor urban spaces in the summer season in Singapore and Changsha, China," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 57, no. 6, pp. 895–907, 2013.
- [92] X. Wei, A. Kusiak, M. Li, F. Tang, and Y. Zeng, "Multi-objective optimization of the HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) system performance," *Energy*, vol. 83, pp. 294-306, 2015.

- [93] M. Ferrara, J. Virgone, E. Fabrizio, F. Kuznik, and M. Filippi, “Modelling Zero Energy Buildings: Parametric study for the technical optimization,” *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 200–209, 2014.
- [94] P. Aparicio Ruiz, F. J. Sánchez De La Flor, J. L. Molina Felix, J. Salmerón Lissén, and J. Guadix Martín, “Applying the HVAC systems in an integrated optimization method for residential building’s design. A case study in Spain,” *Energy Build.*, vol. 119, pp. 74–84, 2016.
- [95] S. Stevanović, “Optimization of passive solar design strategies: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 177–196, 2013.
- [96] E. R. Van Teijlingen, A. M. Rennie, V. Hundley, and W. Graham, “The importance of conducting and reporting pilot studies: The example of the Scottish Births Survey,” *J. Adv. Nurs.*, vol. 34, no. 3, pp. 289–295, 2001.
- [97] Y. Yildiz, I. Caner, N. Ilten, and A. D. Karaoglan, “Field study to analyse luminous comfort in classrooms,” *Proc. Inst. Civ. Eng. Eng. Sustain.*, vol. 171, no. 3, pp. 151–165, 2018.
- [98] R. Yao, B. Li, and J. Liu, “A theoretical adaptive model of thermal comfort - Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV),” *Build. Environ.*, vol. 44, no. 10, pp. 2089–2096, 2009.
- [99] K. C. Parsons, “Parsons, K. C., Introduction to thermal comfort standards,” *Tek. Yazı*, pp. 19–30.
- [100] K. Nagano and T. Mochida, “Experiments on thermal environmental design of ceiling radiant cooling for supine human subjects,” *Build. Environ.*, vol. 39, no. 3, pp. 267–275, 2004.
- [101] N. Ramdani, Y. Candau, S. Dautin, S. Delille, N. Rahni, and P. Dalicieux, “How to improve building thermal simulation programs by use of spectral analysis,” *Energy Build.*, vol. 25, pp. 223-242, 1997.
- [102] Sousa J. Energy simulation software for buildings: review and comparison. In: Proceedings of the international workshop on information technology for energy applications, Lisbon, Portugal, 2012.
- [103] J. N. J. Neymark and R. J. Nrel, “Diagnostic Method for Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Equipment Models (HVAC BESTEST). Volume 1: Cases E100-E200,” no. January, 2002.
- [104] C. Waddell and S. Kaserekar, “Solar Gain and Cooling Load Comparison Using Energy Modeling Software,” *SimBuild 2010*, pp. 150–159, 150AD.

- [105] B. Li, "Use of Building Energy Simulation Software in Early-Stage of Design Process," p. 18, Stockholm, Sverige, 2017.
- [106] A. Al-janabi, M. Kavgic, A. Mohammadzadeh, and A. Azzouz, "Comparison of EnergyPlus and IES to model a complex university building using three scenarios: Free-floating, ideal air load system, and detailed," *J. Build. Eng.*, vol. 22, pp. 262-280, 2019.
- [107] A. S. An-Naggar, M. A. Ibrahim, and E. E. Khalil, "Energy Performance Simulation in Residential Buildings," in *Proc. Eng.*, vol. 205, pp. 4187-4194, 2017.
- [108] Dan Koenigshofer, HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics, *ASHRAE Technical Committee*, Atlanta, U.S., 2013.
- [109] M. Koçyiğit, "Üniversite Binalarında Enerji Tasarruf Potansiyelinin Araştırılması: Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, 2019.
- [110] D. Coakley, P. Raftery, and M. Keane, "A review of methods to match building energy simulation models to measured data," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 37, pp. 123-141, 2014.
- [111] B. W. Olesen, "International standards for the indoor environment," *Indoor Air, Suppl.*, vol. 14, no. SUPPL. 7, pp. 18–26, 2004.
- [112] R. J. De Dear and G. S. Brager, "Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55," *Energy Build.*, vol. 34, no. 6, pp. 549–561, 2002.
- [113] O. Kaynakli, "Economic thermal insulation thickness for pipes and ducts: A review study," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 184–194, 2014.
- [114] O. Kaynakli, "A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 415–425, 2012.
- [115] Ö. Kaynakli and R. Yamankaradeniz, "Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı," *VIII. Ulusal Tesis. Müh. Kongresi*, pp. 187–195, 2007.
- [116] I. Atmaca, O. Kaynakli, and A. Yigit, "Effects of radiant temperature on thermal comfort," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 9, pp. 3210–3220, 2007.
- [117] O. Kon, "Determination of optimum insulation thicknesses using economical analyse for exterior walls of buildings with different masses," *An Int. J. Optim. Control Theor. Appl.*, vol. 7, no. 2, p. 149, 2017.
- [118] O. Kon, "Binalarda Ekonomik Optimizasyon Kullanılarak Dış Duvar Ve Pencerelele Bağlı Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Hesabı," Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık

- Fakültesi Derg., vol. 33, no. 1, Mar. 2018.
- [119] O. KON and B. YÜKSEL, “Kamu Binalarının Isıtma Yüküne Göre Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları ve Enerji Tüketimleri,” *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 15, no. 1, pp. 30–47, Jun. 2013.
- [120] Ö. A. Dombayci, M. Gölcü, and Y. Pancar, “Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources,” *Appl. Energy*, vol. 83, pp. 921-928, 2006.
- [121] A. Bolattürk, “Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey,” *Build. Environ.*, vol. 43, pp. 1055-1064, 2008.
- [122] B. Bektas Ekici, A. Aytac Gulden, and U. T. Aksoy, “A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey,” *Appl. Energy*, 2012.
- [123] N. A. Kurekci, “Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey’s provincial centers,” *Energy Build.*, vol. 118, pp. 197-213, 2016.
- [124] O. Kaynakli and M. Kilic, “An investigation of thermal comfort inside an automobile during the heating period,” *Appl. Ergon.*, vol. 36, no. 3, pp. 301–312, 2005.
- [125] K. Çomakli and B. Yüksel, “Optimum insulation thickness of external walls for energy saving,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 23, pp. 473-479, 2003.
- [126] TS 825, “Turkish Standard,” *Türk Stand.*, no. 112, 2009.
- [127] A. Yildiz, G. Gürlek, M. Erkek and N. Özbalta, “Economical and Environmental Analyses of Thermal Insulation Thickness in Buildings,” *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, vol. 28, no. 2, pp. 25-34, 2008.
- [128] T. B. Asafa, N. Tabet, and S. A. M. Said, “Taguchi method-ANN integration for predictive model of intrinsic stress in hydrogenated amorphous silicon film deposited by plasma enhanced chemical vapour deposition,” *Neurocomputing*, vol. 106, pp. 86-94, 2013.
- [129] M. S. Sukumar, P. Venkata Ramaiah, and A. Nagarjuna, “Optimization and prediction of parameters in face milling of Al-6061 using taguchi and ANN approach,” in *Proc. Eng.*, vol. 97, pp. 365-371, 2014.
- [130] S. M. Attaran, R. Yusof, and H. Selamat, “A novel optimization algorithm based on epsilon constraint-RBF neural network for tuning PID controller in decoupled HVAC system,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 99, pp. 613–624, 2016.

- [131] P. Xue, C. M. Mak, and H. D. Cheung, "The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey," *Build. Environ.*, vol. 81, pp. 51-59, 2014.
- [132] A. Saba and F. Messina, "Attitudes towards organic foods and risk/benefit perception associated with pesticides," *Food Qual. Prefer.*, vol. 14, pp. 637-645, 2003.
- [133] J. D. Hundleby and J. Nunnally, "Psychometric Theory," *Am. Educ. Res. J.*, vol. 5, no. 3, p. 431, 1968.
- [134] D. Lai, D. Guo, Y. Hou, C. Lin, and Q. Chen, "Studies of outdoor thermal comfort in northern China," *Build. Environ.*, vol. 77, pp. 110–118, 2014.
- [135] C. C. Jung, P. C. Wu, C. H. Tseng, and H. J. Su, "Indoor air quality varies with ventilation types and working areas in hospitals," *Build. Environ.*, vol. 85, pp. 190–195, 2015.
- [136] R. F. Rupp and E. Ghisi, "What is the most adequate method to assess thermal comfort in hybrid commercial buildings located in hot-humid summer climate?," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29, pp. 449–462, 2014.
- [137] K. I. Chronopoulos, A. P. Kamoutsis, and A. S. Matsoukis, "Thermal comfort estimation in relation to different orientation in mountainous regions in Greece by using artificial neural networks," *Glob. Nest J.*, vol. 14, no. 4, pp. 532–539, 2012.
- [138] R. F. Rupp, N. G. Vásquez, and R. Lamberts, "A review of human thermal comfort in the built environment," *Energy Build.*, vol. 105, pp. 178–205, 2015.
- [139] Z. Yang, B. Becerik-Gerber, and L. Mino, "A study on student perceptions of higher education classrooms: Impact of classroom attributes on student satisfaction and performance," *Build. Environ.*, vol. 70, pp. 171–188, 2013.
- [140] D. G. Shendell, R. Prill, W. J. Fisk, M. G. Apte, D. Blake, and D. Faulkner, "Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho," *Indoor Air*, vol. 14, no. 5, pp. 333–341, 2004.
- [141] S. Del Ferraro, S. Iavicoli, S. Russo, and V. Molinaro, "A field study on thermal comfort in an Italian hospital considering differences in gender and age," *Appl. Ergon.*, vol. 50, pp. 177–184, 2015.
- [142] M. Sourbron and L. Helsén, "Evaluation of adaptive thermal comfort models in moderate climates and their impact on energy use in office buildings," *Energy Build.*, vol. 43, no. 2–3, pp. 423–432, 2011.

EKLER

EK A: Hastane Ölçüm ve Anket Uygulaması için İzin Yazısı

Evrak Tarih ve Sayısı: 04/12/2015-E.47425



T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü

Sayı : 93559075-044-
Konu : Anketler

MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ DEKANLIĞINA

İlgi : 03/12/2015 tarihli ve 42593599/044/47169 sayılı yazınız.

Fakülteniz Makine Mühendisliği Bölümü doktora öğrencisi Arş. Gör. İsmail CANER' in tez çalışması kapsamında 01.12.2015- 05.06.2017 tarihleri arasında hasta odaları ve personel odalarında sıcaklık, nem, radyant sıcaklık, hava akım hızı, CO2, akustik ve ışık şiddeti ölçümleri ve bununla birlikte hasta, refakatçi ve personele, hasta ve kurum mağduriyeti doğmaması açısından hastanenin genel ve poliklinik işleyişini bozmayacak şekilde en az 1 gün öncesinden haber vererek ve ilgili Hastane Müdür Yardımcısı Mutlu TANRIKULU ile irtibata geçerek kendisine belirlenen saatler içerisinde teknik ölçümlerde teknik hizmetler biriminin gözetimi altında bir sayfalık anket uygulamasında herhangi bir sakınca yoktur.

Bilgilerinizi ve gereğini arz ederim.

e-İmzalıdır
Prof. Dr. Tunay KARLIDERE
Başhekim

Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi Çarşı Yerleşkesi
Tel: 6121010-1700
E-Posta: hastane@balikesir.edu.tr

Ayrıntılı bilgi için irtibat: Kıvanç Küçükergin
Faks: 0 (266) 612 10 23 - 612 12 94
Elektronik ağı: hastane.balikesir.edu.tr

Bu belge 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. Maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : İsmail CANER
Doğum tarihi ve yeri : 12.10.1989
e-posta : ismail@balikesir.edu.tr

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2014
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2011
Lise	Balıkesir / Rahmi Kula Anadolu Lisesi	2007

Yayın Listesi

Uluslararası Makaleler

- [1] Yıldız Y., **Caner İ.**, İlten N, Karaoğlan A. D., ‘The Field Study to Analyse Luminous Comfort in Classrooms’ Proc. of Civil Eng., Eng. Sust., vol. 171 issue 3, pp. 151-165, 2018.
- [2] Kon O., **Caner İ.**, The life cycle assessment related to insulation thickness of external walls of the airport International Journal Of Sustainable Aviation Volume: 5 Issue: 2 Pages: 158-173, 2019.
- [3] **Caner İ.**, İlten N., Evaluation of thermal comfort perception in a university hospital in Turkey, Proc. of Civil Eng., Eng. Sust., vol. 0 0:0, pp. 1-15, 2020. [**Tezden türetilmiştir**].

Ulusal Makaleler

- [1] Bulgurcu H., İlten N., **Caner İ.**, Kon O., Bir Endüstriyel Tesisteki PVC Kalıp Soğutma Sisteminin Enerji Analizi ve İyileştirilmesi, Soğutma Dünyası Dergisi, Sayfa 56-64 Sayı 62, Temmuz-Ağustos-Eylül 2013.
- [2] İlten, N., Selici, A. T., & Caner, İ., İç ortamlarda sıcaklık ve bağıl nem parametrelerinin sosyo-ekonomik yapı ile ilişkisi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2), 52-61, 2017.
- [3] İlten, N., Muslu, M., Caner, İ., “Isı pompası destekli ısı geri kazanım cihazında kullanılan parametrelerin hata analizleri”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (1), 53-62, 2019.

Uluslararası Bildiriler

- [1] Kon O., **Caner İ.**, “The Flue Gas Heat Recovery Potential of Buildings”, Proceedings of the 3rd World Congress on Momentum, Heat and Mass Transfer (MHMT'18), Budapest/Hungary, 12 – 14 April, 2018. (Oral Presentation)
- [2] Kon O., **Caner İ.**, “Application of New Used Aerogel Heat Insulation Materials in External Walls in Different Climate Zones in Turkey” 11th International Conference on “Advances in Engineering and Technology” (AET-18) May 1-2, 2018 Istanbul (Turkey) (Oral Presentation)
- [3] Kon. O., **Caner İ.**, “Investigation of Insulation Thickness for Buildings' External Walls According to Extreme Climate Conditions”, 22nd Congress on Thermal Science and Technology (ULIBTK 2019), 11- 14 September 2019, Kocaeli.
- [4] **Caner İ.**, İlten N. “Investigation of Energy Saving Potential of Balıkesir University Hospital Building for Cooling Season”, 22nd Congress on Thermal Science and Technology (ULIBTK 2019), 11- 14 September 2019, Kocaeli, [**Tezden türetilmiştir**].
- [5] **Caner İ.**, Nadir İLTEN, “ Determination of Thermal Comfort Conditions in Hospitals”, International Congress on S Mathematic, Engineering and Natural Sciences-III, April 21-22, 2018 Mardin, Turkey [**Tezden türetilmiştir**].
- [6] **Caner İ.**, Nadir İLTEN, “ Energy Consumption and Optimization Analyses for Cooling Period In Hospitals”, International Congress on S Mathematic, Engineering and Natural Sciences-III, April 21-22, 2018 Mardin, Turkey [**Tezden türetilmiştir**].
- [7] Yıldız, Y., **Caner, İ.** “Assessment of summertime thermal comfort in university classrooms”, SBE16 Istanbul Conference, 13-15 October 2016, Istanbul, s.199.

Ulusal Bildiriler

- [1] Bulgurcu H., İlten N., **Caner İ.**, Okan KON, ‘Bir Endüstriyel Tesisteki PVC Kalıp Soğutma Sisteminin Enerji Analizi ve İyileştirilmesi’, TESKON 2013, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Sayfa 831-841, 17-20 Nisan 2013, İZMİR.
- [2] Yıldız Y., **Caner İ.**, İlten N. “ Gelişmiş Bina Kabuğu Bir Literatür Taraması”, 20. Congress on Thermal Science and Technology (ULIBTK 2015), s. 1455-1461, Balıkesir 2015. (Poster Bildiri)
- [3] **Caner İ.**, İlten N., Bulgurcu H., Kaya S.,” Endüstriyel Soğutma Uygulamalarında Kuru Soğutucular ile Enerji Tasarrufu”, İKSES’14 2. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu Ve Sergisi, s.408-418.
- [4] **Caner İ.**, Yıldız, Y., İlten, N., Tekin M. “Bir Hastane Örneğinde Isıl Konfor Koşullarının Kullanıcılar Açısından İncelenmesi” 2. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, 4-6 Mayıs 2016, İstanbul, s. 23-36 [**Tezden türetilmiştir**].
- [5] **Caner İ.**, Yıldız, Y., İlten, N. “Hastanelerde Isıl Konfor Koşullarına İlişkin Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi” 2. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, 4-6 Mayıs 2016, İstanbul, s. 11-22 [**Tezden türetilmiştir**].

Uluslararası Kitaplar

- [1] Kon O., **Caner İ.**, Life Cycle Cost Analysis of the Buildings in Turkey Related to Energy Consumption Due to External Wall Insulation, Environmentally-Benign Energy Solutions, pp. 123-135, Springer, Cham, 2020.

Ulusal Kitaplar

- [1] ‘KLİMA TESİSATI’, Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/663, 2016 (Bölüm Yazarı).

Projeler

- [1] Nadir İLTEN, Yusuf YILDIZ, **İsmail CANER**, Hasta Odalarında Isıl Konfor Analizi (Thermal comfort analysis in patient rooms), Balıkesir University-BAP.2015.0034, (2015-2018).
- [2] Nadir İLTEN, **İsmail CANER**(Researcher), ‘Bir PVC Profil Üretim Tesisindeki Su Soğutma Sisteminin Enerji Analizi ve İyileştirilmesi’, Balıkesir University-BAP.2013.0051, (2013-2014).
- [3] Yusuf YILDIZ, **İsmail CANER**(Researcher), ‘Üniversite Sınıflarında Yaz Dönemi Isıl Konfor Koşullarının Değerlendirilmesi’, Balıkesir University-BAP.2015.0037, (2015-2016).
- [4] İsmail CANER, Nadir İLTEN, Hastanelerde Kullanılan Soğutma Sistemlerinin Konfor ve Enerji Tüketimi Açısından Optimizasyonu, Balıkesir University-BAP.2017.0043 (Devam Ediyor).

Hakemlikler

- [1] An Energy-Efficient Air Conditioning System Driven by Low-Grade Heat, Indoor and Built Environment, IBE-19-0515, 2020.