



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİ'NDEKİ ALTERNATİFLERİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELİF TAŞTAN

**DANIŞMAN: DOÇ. DR. HALİL ATALAY
ORTAK DANIŞMAN: PROF.DR. NURDAN YILDIRIM**

**YALOVA
OCAK 2024**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASININ ENERJİ
VERİMLİLİĞİ'NDEKİ ALTERNATİFLERİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELİF TAŞTAN
205121010

DANIŞMAN: DOÇ. DR. HALİL ATALAY
ORTAK DANIŞMAN: PROF. DR. NURDAN YILDIRIM

YALOVA
OCAK 2024

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “**YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ’NDEKİ ALTERNATİFLERİN ARAŞTIRILMASI**” başlıklı bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

Elif TAŞTAN



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocalarım Halil ATALAY ve Nurdan YILDIRIM' a ayrıca eski danışmanım sayın hocam Ümit ÜNVER' e de tüm destekleri ve öğrettiği bilgiler için teşekkür ederim. Her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için aileme teşekkür ederim.

Ocak– 2024

Elif TAŞTAN





İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
ABSTRACT	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Dünyadaki ve Türkiye’deki Enerji Tüketimi.....	1
1.2. Dünya’daki Enerji Verimliliği Çalışmaları	2
1.3. Türkiye’deki Enerji Verimliliği Çalışmaları ve Tezin Amacı.....	5
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	9
2.1. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binası	9
2.2. Yalova İline Ait Sıcaklık Veriler.....	15
2.2.1. Yalova iline ait saatlik sıcaklık ortalaması	15
2.2.2. Yalova iline ait günlük sıcaklık ortalaması.....	18
2.3. Daikin Isı Pompası	21
2.4. Termostatik Vana	22
2.5. Isı Yalıtım Malzemeleri.....	23
2.5.1. Taş yünü ısı yalıtım malzemesi	24
2.5.2. Karbonlu genleştirilmiş polistiren köpüklü levha (EPS)	25
2.5.3. Ekstrüde polistiren levha (XPS)	26
2.6. Isıcam Modelleri.....	26
2.6.1. Standart ısıcam (C)	27
2.6.2. Sinerji ısıcam (S)	27
2.6.3. Konfor ısıcam (K).....	28
2.7. Isı Kaybı Hesabı	29
2.7.1. İletimle ısı kaybı	29
2.7.2. Hava sızıntısı ısı kaybı.....	32
2.8. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesabı	33
2.9. Yıllık Yakıt Miktarı Hesabı.....	35
2.10. Isı Pompası Hesabı	35
2.11. Isıtma Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesaplaması.....	36



3. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
3.1. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binası Isı Kayıpları	39
3.1.1. TS825 standartlarına göre aylık ısı kayıpları	39
3.1.2. Çatı yalıtımı	41
3.2. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı	44
3.2.1. Çatı yalıtımının yıllık ısıtma enerjisine etkisi	44
3.2.2. Yalıtım camının yıllık ısıtma enerjisine etkisi	46
3.2.3. Çatı ve pencere yalıtımının yıllık ısıtma enerjisine etkisi	49
3.3 Yıllık Yakıt Miktarı	52
3.3.1. Yıllık yakıt tüketimi: çatı yalıtımının etkisi	52
3.3.2. Yıllık yakıt tüketimi: ısıcam değişimi etkisi	54
3.3.3. Yıllık yakıt tüketimi: ısıcam ve çatı yalıtımı etkisi	56
3.4. Termostatik Vananın Yalıtıma Etkisi	60
3.5. Isı Pompasının Yalıtıma Etkisi	62
3.6. Yalıtım Malzemelerinin Optimum Yalıtım Kalınlıkları	66
3.7. Ekonomik Analiz	68
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	85



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

a	: Birim aralık sızdırganlığı (m^3/mh)
A	: Alan (m^2)
A_D	: Dış duvar alanı (m^2)
A_i	: İ yönündeki toplam pencere alanı (m^2)
A_K	: Dış kapı alanı (m^2)
A_n	: Bina kullanım alanı (m^2)
A_p	: Pencere alanı (m^2)
A_T	: Çatı alanı (m^2)
A_t	: Toprak temaslı taban alanı (m^2)
B_y	: Yıllık yakıt miktarı ($m^3/yıl$)
C_f	: Doğalgaz m^3 maliyeti (\$)
C_{ins}	: Yalıtım malzemesinin maliyeti (\$)
$C_{t,ins}$	: Yalıtımın toplam maliyeti (\$)
COP_{ISITMA}	: Etkinlik Katsayısı
D	: Birleşik ortalama ısı geçirme katsayısı (W/m^2K)
F_w	: Camlar için düzeltme faktörü
g	: Enflasyon oranı (%)
$g_{\perp}$	: Güneş enerjisi geçirme faktörü
$g_{i,ay}$	: İ yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü
h_1	: Akışkanın kompresör girişindeki entalpi (kJ/kg)
h_2	: Akışkanın kompresör girişindeki entalpi (kJ/kg)
h_d	: Dış taşınım katsayısı (W/m^2K)
h_i	: İç taşınım katsayısı (W/m^2K)
H	: Binanın özgül ısı kaybı (W/K)/ Yapının ısı özelliği (Wh/m^3K)
H_h	: Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (W/K)
H_i	: Binanın ısı kaybeden yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı (W/K)
H_u	: Yakacağın alt ısı değeri (kJ/m^3)
$I_{i,ay}$ (W/m^2)	: İ yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıınımı şiddeti
i	: Faiz oranı (%)
k	: İletim katsayısı (W/mK)
KKO_{ay}	: Kazanç / kayıp oranı
l	: Sızıntı aralık çevre uzunluğu (m)
LT	: Yalıtım malzemesi ömrü (yıl)
$\dot{m}$	: Sistemde dolaşan soğutucu akışkan debisi (kg/h)
n_h	: Hava değişim sayısı (h^{-1})
PV	: Şimdiki değer faktörü
Q_{ay}	: Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (J)
$\dot{Q}_H$	: Binanın pik yükü (kW)
$\dot{Q}_i$	: Yapı bileşenlerinden olan artırımlı ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_o$	: Yapı bileşenlerinden olan artırısız ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_s$	: Hava sızıntısı ısı kaybı (W)
$Q_{yıl}$	: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (J)
r	: Gerçek faiz oranı (%)
$r_{i,ay}$	: İ yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörü

R	: Oda özelliği
t	: Zaman (s)
T_d, ay	: Aylık ortalama dış sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_i, ay	: Aylık ortalama iç sıcaklık ($^{\circ}C$)
ΔT	: Sıcaklık farkı (K) veya ($^{\circ}C$)
U	: Toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
U_D	: Dış duvarın toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
U_K	: Dış kapının toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
U_p	: Pencerenin toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
U_t	: Toprak temaslı tabanın toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
U_T	: Tavanın toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
V_h	: Havalandırılan hacim (m^3)
$\dot{W}_{KOMP}$	: Harcanılan kompresör gücü (kW)
x_{opt}	: Optimum yalıtım kalınlığı (m)
Z_D	: Birleştirilmiş artırım katsayısı
Z_e	: Köşe artırım katsayısı
Z_H	: Yön artırımı
Z_w	: Yüksek kat artırımı
$\phi g, ay$	: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)
$\phi i, ay$	: Aylık ortalama iç ısı kazancı (W)
η_{ay}	: Aylık ortalama kullanım faktörü
η_k	: Kazan verimi

KISALTMALAR

EPS	: Ekspande Polistiren Levha
Isıcam C	: Düz Isıcam
Isıcam K	: Konfor Isıcam
Isıcam S	: Sinerji Isıcam
TRV	: Termostatik Vana
VRV	: Değişken Soğutucu Akışkan Debisi
XPS	: Ekstrüde Polistiren Levha



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Projedeki binanın kat yükseklikleri (m).....	15
Tablo 2.2. 2022 yılı maksimum ve minimum saatlik dış hava sıcaklık ortalamaları (°C)	17
Tablo 2.3. 2022 yılı maksimum ve minimum günlük dış sıcaklık ortalaması (°C)	20
Tablo 2.4. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları (W/mK)	24
Tablo 2.5. Yalıtım malzemelerinin yangına tepki sınıfları	24
Tablo 2.6. İki cam arasında %90 argon gazı ve %100 hava bulunan ısıcamların U değerleri (W/m ² K).....	27
Tablo 2.7. 2. Bölgeye göre TS2164'ten tavsiye edilen U değerleri	29
Tablo 2.8. Birleştirilmiş artırım katsayısı (Z _D) [Kaynak TS2164].....	30
Tablo 2.9. Yön artırım katsayısı (Z _H) [Kaynak TS2164]	31
Tablo 2.10. Kat yükseklik artırımları (Z _w). [Kaynak TS2164].....	31
Tablo 2.11. Kaliteli ve normal boyutlu kapı ve pencereler için m uzunluk başına (m ³ /h) olarak aralıkların a sızdırganlık değerleri [Kaynak TS2164] .	32
Tablo 2.12. Kanat sayıları, aralık boyları normal büyüklükteki kapı ve pencereli odalar için R oda özelliği değerleri [Kaynak TS2164].....	32
Tablo 2.13. Yapı ısı özelliği H (Wh/m ³ K) [Kaynak TS2164]	33
Tablo 3.1. 2. Bölge için belirlenen aylara göre dış sıcaklık verileri [Kaynak TS2164].....	39
Tablo 3.2. Çatı yalıtımı sonucunda oluşan ısı kayıpları (kW)	44
Tablo 3.3. Çatıya yalıtım uygulanması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	46
Tablo 3.4. Binaya ısıcamların takılması durumunda yıllık yakıt tüketimi ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı	49
Tablo 3.5. Çatı ve pencere(%100 hava) yalıtımının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına etkisi	51
Tablo 3.6. Çatı ve pencere(%90 argon) yalıtımının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına etkisi	52
Tablo 3.7. Çatıya yalıtım uygulanması durumunda yıllık yakıt tüketimi (m ³ /yıl)	54
Tablo 3.8. Bina yalıtımıyla (mevcut) gerçekleşen aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (MJ) ve aylık yakıt tüketimi(m ³).....	61
Tablo 3.9. Çatıya yalıtım uygulaması ve radyatörlere termostatik vana takılması durumunda aylık ve yıllık yakıt tüketimi(m ³).....	61
Tablo 3.10. Aylık ısıtma derece gün değerleri (°C.gün)	66
Tablo 3.11. Mali değerler (Güncel veriler Merkez bankasından alınır.) ve malzemelerin optimum yalıtım kalınlıkları.....	67
Tablo 3.12. 2022 yılına ait doğalgaz tüketim bedelleri.....	68



Tablo 3.13. Bazı sistemler için tüketilen yakıt maliyeti (\$)	69
Tablo 3.14. Projede ısıcamların kullanılması durumunda yıllık tüketilen yakıt maliyeti (\$)	69
Tablo 3.15. Çatıya ve pencerelere yalıtım uygulanması durumunda tüketilen yakıt maliyeti (\$)	70
Tablo 3.16. Çatıya yalıtım uygulanması durumunda normal vana ve termostatik vana ile tüketilen yakıt maliyetleri (\$)	71
Tablo 3.17. 2022 yılına ait doğalgaz tüketim bedelleri ile ısı pompası kullanılması durumdaki elektrik maliyeti	72
Tablo 3.18. Yalıtım malzemelerinin 1m ² maliyetleri KDV dahil(\$)	72
Tablo 3.19. Yalıtım malzemelerinin çatıya uygulanması durumundaki ilk yatırım maliyeti(\$)	73
Tablo 3.20. Isıcamların 1m ² maliyetleri KDV dahil(\$).....	73
Tablo 3.21. Isıcamların uygulanması durumundaki maliyetleri KDV dahil(\$)	74
Tablo 3.22. Çatıya uygulanan yalıtım sonucunda yalıtım malzemelerinin geri ödeme süreleri (yıl)	74
Tablo 3.23. İki cam arasında %90 argon gazı ve %100 hava bulunan ısıcamların tamamen değiştirilmesi halinde oluşabilecek geri ödeme süreleri (yıl)	75



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ikinci bodrum kat kalorifer tesisat planı	9
Şekil 2.2.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi birinci bodrum kat planı	11
Şekil 2.3.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi zemin kat kalorifer tesisat planı	12
Şekil 2.4.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ikinci kat kalorifer tesisat planı	13
Şekil 2.5.Yalova Üniversitesi binasının güneydoğu yönü	14
Şekil 2.6.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve çevresinin uydu görüntüsü.....	14
Şekil 2.7.Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanları (m ²).....	15
Şekil 2.8.Yalova ili 2022 yılı saatlik dış sıcaklık ortalamaları (°C).....	17
Şekil 2.9. Yalova ili 2022 yılı günlük dış sıcaklık ortalamaları (°C)	19
Şekil 2.10.Yalova ili 2022 yılı aylık dış sıcaklık ortalaması (°C).....	20
Şekil 2.11. Daikin ısı pompası modeli (Daikin ısı pompası kataloğu 2022).....	22
Şekil 2.12. Danfoss termostatik radyatör vanası modeli	23
Şekil 2.13.Taş yünü ısı yalıtım levhası	25
Şekil 2.14.Karbonlu EPS ısı yalıtım levhası	25
Şekil 2.15. Ekstrüde polistiren ısı yalıtım levhası.....	26
Şekil 2.16.Standart ısıcam C serisi.....	27
Şekil 2.17.Sinerji ısıcam serisi	28
Şekil 2.18.Konfor ısıcam serisi	28
Şekil 3.1. İkinci bölge için tavsiye edilen U değerleri kullanarak hesaplanan ısı kayıpları.....	40
Şekil 3.2. Bina yalıtımıyla hesaplanan ısı kayıpları (kW).....	41
Şekil 3.3.Mühendislik Fakültesinin çatısına taş yünü yalıtım malzemesini farklı kalınlıktaki uygulaması sonucunda oluşabilecek aylık ısı kayıpları	42
Şekil 3.4.Mühendislik Fakültesinin çatısına karbonlu EPS yalıtım malzemesini farklı kalınlıktaki uygulaması sonucunda oluşabilecek aylık ısı kayıpları.....	42
Şekil 3.5.Mühendislik Fakültesinin çatısına XPS yalıtım malzemesini farklı kalınlıktaki uygulaması sonucunda oluşabilecek aylık ısı kayıpları	43
Şekil 3.6. Çatıya yalıtım uygulanması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (MJ)	45
Şekil 3.7. Projedeki pencerelerin yerine ısıcamların takılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (MJ).....	47
Şekil 3.8.Projeye ısıcam takılması (ısıcamlar arası boşluk %100 hava) ve çatıya farklı kalınlıklarda yalıtım yapılması sonucunda Q _{yıl} (MJ).....	50



Şekil 3.9.Projeye ısıcam takılması (ısıcamlar arası boşluk %90 argon) ve çatıya farklı kalınlıklarda yalıtım yapılması sonucunda $Q_{yıl}$ (MJ).....	51
Şekil 3.10. Çatıya yalıtım uygulanması durumundaki yıllık yakıt tüketimi ($m^3/yıl$).....	53
Şekil 3.11. Projedeki pencerelerin yerine ısıcamların takılması durumunda yıllık yakıt miktarı ($m^3/yıl$).....	55
Şekil 3.12. Projeye ısıcam takılması (ısıcamlar arası boşluk %100 hava) ve çatıya farklı kalınlıklarda yalıtım yapılması sonucunda B_y ($m^3/yıl$)	57
Şekil 3.13. Projeye ısıcam takılması (ısıcamlar arası boşluk %90 argon) ve çatıya farklı kalınlıklarda yalıtım yapılması sonucunda B_y ($m^3/yıl$)	60
Şekil 3.14.Binada 2022 ocak ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW	62
Şekil 3.15.Binada 2022 şubat ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW	63
Şekil 3.16.Binada 2022 mart ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW	63
Şekil 3.17.Binada 2022 ekim ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW	64
Şekil 3.18.Binada 2022 kasım ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW	65
Şekil 3.19.Binada 2022 aralık ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW	65



YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ'NDEKİ ALTERNATİFLERİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Günümüz dünyasında enerji, sadece bir kaynak değil aynı zamanda ekonomik kalkınma, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal refah için temel bir taşıyıcıdır. Enerji, endüstriyel üretimden evsel kullanıma kadar her sektörde yaşamsal bir rol oynamaktadır. Ancak enerji kaynaklarının sınırlı olduğu ve çevresel etkilerin arttığı bir dönemde enerjinin akıllıca kullanılması ve enerji verimliliğinin artırılması önemli bir sorumluluk haline gelmektedir.

Bu tez çalışması, Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasında uygulanabilecek enerji verimliliği önlemlerini incelemeyi amaçlamaktadır. İncelemeler, aşağıdaki başlıklar altında gerçekleştirilmiştir:

Birincisi, binada en yüksek ısı kaybının yaşandığı bölgelerin tespiti üzerine odaklanılmıştır. İkinci olarak, radyatör vanalarının yerine tasarruf sağlayabilecek termostatik vanaların kullanımının değerlendirilmesi üzerine bir analiz yapılmıştır. Üçüncü olarak, çatının enerji verimliliğini artırmak amacıyla çeşitli yalıtım malzemelerinin en uygun kalınlığının kullanılması üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda, taş yünü, karbonlu EPS ve XPS malzemelerinin optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi üzerine çalışılmıştır. Ayrıca pencerelerde ısı kaybını minimize eden Isıcam uygulamalarının gözden geçirilmesiyle ilgili bir değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda en çok enerji verimliliği %40 ile çatının karbonlu EPS ile yalıtılması durumunda elde edilmiştir. Ayrıca çatıya yalıtım uygulanması ve binadaki radyatörlere termostatik vana takılması binayı %55 oranında daha verimli hale getirmiştir.

Son olarak doğalgaz kullanımı yerine ısıtma için ısı pompası kullanılması durumunda ekonomik analiz hesaplanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Binalar, Isı kaybı, Yalıtım, Ekonomik analiz



INVESTIGATION OF ALTERNATIVES IN ENERGY EFFICIENCY OF YALOVA UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING BUILDING

ABSTRACT

In today's world, energy is not only a resource but also a fundamental carrier for economic development, environmental sustainability, and societal well-being. Energy plays a vital role in every sector, from industrial production to household use. However, in a time when energy resources are limited and environmental impacts are increasing, the wise use of energy and the enhancement of energy efficiency have become significant responsibilities.

This thesis aims to examine energy efficiency measures that can be implemented in the Yalova University Faculty of Engineering building. The investigations were carried out under the following headings:

Firstly, the focus was on identifying the areas in the building where the highest heat loss occurs. Secondly, an analysis was conducted on the use of thermostatic valves as a means to provide savings instead of radiator valves. Thirdly, attention was given to determining the optimal thickness of various insulation materials to enhance the energy efficiency of the roof. In this context, efforts were made to determine the optimum insulation thickness for stone wool, carbon EPS, and XPS materials. Additionally, an evaluation was conducted regarding the implementation of Low-E glass applications to minimize heat loss in windows. As a result of the evaluations, the highest energy efficiency with 40% was obtained when the roof was insulated with carbon EPS. In addition, applying insulation to the roof and installing thermostatic valves to the radiators in the building made the building 55% more efficient. Finally, an economic analysis is calculated for the case of using heat pumps for heating instead of natural gas consumption.

Keywords: Energy efficiency, Buildings, Heat loss, Thermal insulation, Economic analysis



1. GİRİŞ

Genel anlamıyla enerji, bir sistemin iş yapabilme kapasitesidir. Günlük hayatımızda, enerji mekanik, ısı, ışık, elektrik ve manyetik çeşitleri kullanılır veya bu enerji çeşitleri birbirine dönüştürülür.

Yaşayan tüm canlıların enerjiye ihtiyacı vardır. Enerji, ekonomik ve sosyal açıdan insanların yaşam standartlarını yükselten ve ülkelerin gelişimine katkı sağlayan temel bir faktördür. Sanayideki ilerlemeler ve değişikliklerin yanı sıra, dünya nüfusundaki artış enerji talebini artırmaktadır. Geçmişte, fosil kaynaklar (kömür, petrol vb.) kullanılırken, günümüzde ise daha çok yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr, güneş, hidrolik vb.) tercih edilmektedir. Bu, enerji alanındaki evrimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının giderek daha fazla önem kazandığını göstermektedir (Yağlı ve diğ., 2016).

Binalarda enerji verimliliğini hesaplamak için öncelikle binaların ısıtma ve soğutma yüklerini hesaplamak gerekir. Isıtma ve soğutma yükleri çeşitli yollarla bulunabilir. Chou ve Bui (2014) çalışmalarında SPSS Clementine programını kullanmış, ısıtma yükü ve soğutma yükü için destek vektör regresyonu ve yapay sinir ağlarının birlikte kullanıldığı topluluk çıkarım modelini önermiştir.

1.1.Dünyadaki ve Türkiye'deki Enerji Tüketimi

Dünya genelinde enerji tüketimi ekonomik büyüme, endüstriyel faaliyetler, ulaşım, konutlar ve diğer birçok sektörün enerjiye olan ihtiyacıyla doğrudan ilişkilidir. Önemli olan noktalardan biri, enerji tüketimindeki büyümenin çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik konularıdır.

Dünya genelinde enerji tüketimi, büyük ölçüde gelişmiş ülkelerin endüstriyel faaliyetlerine ve hızla gelişen ülkelerin enerji talebindeki artışa bağlı olarak artmaktadır. Fosil yakıtlar, özellikle kömür, petrol ve doğalgaz, enerji üretiminde hâlâ büyük bir paya sahiptir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen enerji payı da giderek artmaktadır.

Enerji verimliliğini artırmaya yönelik yöntemler tarih boyunca çeşitli geleneksel uygulamalarla şekillenmiştir. Ancak 1973 enerji krizi bu alanda bilimsel araştırmaların sistemli bir metodolojinin uygulanmaya başlamasına öncülük etmiştir (Soğukoğlu ve Vatan, 2014).

Binalarda enerji verimliliği, gelişmiş ülkelerde uygulanan politikaların temelini oluşturan kilit unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Avrupa Birliği'nde bina sektörünün toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını temsil etmesi, binalarda enerji verimliliği önlemlerinin öncelikli hale gelmesine neden olmuştur. Binalarda enerjinin %80'i ısıtma soğutma amaçlı

olarak kullanılmaktadır (Ünver ve diğ., 2020). Bu durum, ısı yalıtımının bina sektöründeki stratejik önemini vurgulamaktadır. Yapılaşmada enerji tüketiminin önemli bir bölümü, yapı malzemesiyle ilgili aşamalarda oluşmaktadır. Yapılan çalışmada, örnek olarak incelenen bir yapının yaşam döngüsü boyunca enerji harcamasının yaklaşık %20'sinin yapı malzemelerinden kaynaklandığı görülmektedir (Adalbert,1997). Bu oran yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin enerji verimliliğine bağlı olarak değişmektedir. Avrupa'da iklim şartlarına uygun olarak tasarlanan bir yapının ısıtılması için tüketilen enerjinin diğer yapılarla kıyaslanmasında tüketilen enerjinin 10 kat daha az olduğu tespit edilmektedir (Spagnolo ve Dear 2003). Ülkemizde de benzer bir durum söz konusudur. Bina sektörünün enerji tüketiminde belirgin bir paya sahip olması, enerji verimliliği konusuna öncelik verilmesini zorunlu kılmaktadır (Oral ve Manioğlu, 2010). Bu bağlamda, bina sektöründe gerçekleştirilecek enerji verimliliği çalışmaları, sadece ulusal düzeyde değil aynı zamanda küresel çapta da sürdürülebilir enerji politikalarının bir parçasıdır (Jiang ve diğ., 2024).

Türkiye'nin enerji tüketimi de benzer trendlere sahiptir. Türkiye, enerji ihtiyacını karşılamak için hem yerel kaynaklara (örneğin kömür, doğalgaz) hem de ithal enerji kaynaklarına (örneğin petrol, doğalgaz) bağımlıdır. Ülke, enerji tüketimini çeşitlendirmeye ve daha sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmeye çalışmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye'nin enerji portföyünde giderek daha büyük bir rol oynamaktadır.

1.2.Dünya'daki Enerji Verimliliği Çalışmaları

Hwang ve diğerleri (2019), enerji yönetimi ve enerji tasarrufu önlemlerini yansıtan enerji performansını, farklı sistemlere sahip hastane binalarına odaklanarak incelemiştir. Çalışma, hastane binalarının enerji tasarrufu potansiyelini belirlemeyi ve bu potansiyeli ortaya çıkarmayı hedeflemiştir. Sonuç olarak, hastane binalarında enerji tasarrufu sağlamak için, tesisin enerji değerlendirme standardının belirlenmesi ve akıllı enerji analizi gibi tıbbi tesislerin özelliklerine göre işletme faktörlerinin dikkate alınması gerektiği ortaya konmuştur.

Kamara ve diğ., (2019), enerji verimliliği uygulamalarının önemine dikkat çekmek ve yüksek elektrik talebinin nasıl karşılanabileceğine bir çözüm getirmek amacıyla bir enerji denetim süreci önermişlerdir. Araştırma sonuçları, enerji verimliliği önlemlerinin enerji güvenliğini sağlayabileceğini ve ekonomik büyümeyi destekleyebileceğini ortaya koymuştur. İyi planlanmış bir enerji denetim sürecinin, binalardaki elektrik tüketimini olumlu yönde etkileyebileceği belirtilmiştir. Bu sürecin, elektrik enerjisi tüketimini ve maliyetini azaltmada etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Güney İtalya'daki bir endüstriyel binanın enerji iyileştirmesi için özel bir yaklaşım incelenmiştir. Detaylı bir enerji incelemesinin ardından, bina Design Builder ve Energy Plus ortamlarında modellemiş ve simüle edilmiştir. Pencere değişiklikleri, güneş perdeleri, ısı geri kazanımı, HVAC optimizasyonu ve fotovoltaik paneller gibi çeşitli iyileştirme önlemleri incelenmiştir. Energy Plus ve MATLAB arasındaki bağlantı ile kapsamlı bir araştırma yapılmış ve çeşitli çözüm alanları keşfedilmiştir. Araştırma, farklı kamu teşvik senaryoları için bina iyileştirmesinin çok amaçlı optimizasyonunu sağlamıştır. Bu çözümler, mevcut konfor seviyelerini korurken %81'e kadar enerji ve %45'e kadar maliyet tasarrufu sağlayabilir. Sonuç olarak, tesisin birincil enerji tüketimi yıllık ortalama 40,1 kWh'a kadar azaltılabilir olduğu tespit edilmiştir (Ascione ve diğerleri, 2020).

Krarti ve diğerleri (2020), Suudi Arabistan için bir konut stoğu modeli geliştirerek enerji verimliliği programlarının etkisini değerlendirmiştir. Sonuç olarak optimal güçlendirme programlarının tam ve hedeflenen bir şekilde uygulanmasıyla, Suudi konut sektörünün yıllık elektrik tüketimini %50 azaltılabileceği ve benzer şekilde karbon emisyonlarını ve elektrik üretim kapasitelerini azaltılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca güçlendirme programının etkili olması için enerji verimliliği önlemlerinin konut tipine, yaşına ve konumuna uygun olması gerektiği tespit edilmiştir.

Szul ve Kokoszka (2020) çalışmalarında enerji yenilemesi yapılan binaların termal enerji tüketimini tahmin etmek için Kaba Küme Teorisine dayalı bir modelin kullanılabilirliğini test etmişlerdir. Öncelikle çalışmada incelenen binaların karakterize özellikleri belirlenmiştir ve enerji tüketimini tahmin etmekte kullanılmıştır. Sonuç olarak bu teoriyle binaların enerji tüketiminin yaklaşık %14 ile %15 arasında tahminlerin doğruluğunu tespit etmişlerdir.

Nijerya'da yapılan bir çalışmada binalarda enerji talebine bina yöneliminin etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda binaların Kuzey-Güney yönlerine kıyasla Doğu-Batı yönleri enerji talebinde 7,96 kW/m², 7,29 kW/m² ve 4,29 kW/m² artış elde edilmiştir. Böylelikle yönlerin enerji talebinde etkisi olduğu tespit edilmiştir (Odunfa ve diğ., 2015).

Hongting ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada VRV klima sistemini kullanılmışlardır. VRV sistemin enerji tasarruf oranı C sınıfı (8 katlı) binada %39 ve D sınıfı (12 katlı ve 3 kat yer altı) binada %41 olarak hesaplanmıştır. Binalarda enerji tasarruf oranını %40 olarak bulmuşlardır. Ayrıca aydınlatma yoğunluğunu azaltmak için enerji verimli lambalar kullanılmış. Binalar aydınlatma yoğunluğunu azaltırsa ortalama enerji tasarruf oranı %18 olarak bulunmuştur.

Binalarda enerji verimliliğini hesaplarırken binanın çevresinde olan yapı ya da bitkilerde enerji verimliliğinde etkili olmaktadır (Aksu ve diğerleri, 2020). Donovan ve Butry, (2009) çalışmalarında binaların güney ve batı kısımlarındaki ağaçların yaz aylarında enerji tüketimini %5,2, kuzey tarafındaki ağaçların ise tüketimi %1,5 oranında azalttığı bulmuşlardır. Başka bir çalışmada da rüzgârı kesecek şekilde yerleştirilen ağaçların kış aylarında binanın ısıtılmasında daha az enerji harcanması sağlandığı tespit edilmiştir (Huang ve ark., 1990).

Karlsson ve Moshfegh (2006) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada iki katlı bir bina için enerji tüketimini etkileyen faktörler ESP-r simülasyon programı ile incelenilmiştir. Sonuç olarak yalıtım kalınlığının artırılması ve cam ısıl geçirgenlik değerinin düşürülmesinin, ısıtma enerjisi tüketimini azalttığı gösterilmiştir.

Pan ve diğ., (2008) bir ofis binasının birkaç farklı enerji modelinin Energy Plus programını kullanarak karşılaştırılmasını incelemiştir. Bu çalışmada önerilen tasarımın enerji performansı Çin yönetmeliğine göre yıllık maliyeti %27 daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir.

Birçok çalışmada hava koşullarının binalardaki yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarına etkisi araştırılmaktadır (Xin ve diğ., 2012). Singapur’da hava koşullarının binalar (29 tane kaliteli otel) üzerinde elektrik tüketimine etkisi araştırılmıştır ve yıllık ortalama tüketilen enerji yoğunluğunu 427 kWh/m² olarak bulunmuştur (Priyadarsini ve diğ., 2009).

Bojić ve diğ., (2007) örnek bir binada farklı duvar tiplerini inceleyerek bulunduğu iklim şartlarına en uygun duvar yapısını oluşturmayı araştırmışlardır. Hesaplamalarında HTB2 simülasyon programını kullanmışlardır.

Binaların şeklinin de ısıtma talebine etkisi önemlidir (Brophy ve Lewis, 2012). Polonya da yapılmış bir çalışma da aynı özelliklere sahip binanın (bina yüksekliği, yüzeyi, ısıl özellikleri, konumu vb.) farklı şekillerde olmasının ısıtma talebine etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda kare şeklindeki binaların L, U ve C şeklindeki binalara göre yıllık ısıtma enerjisi tüketimi daha az olmaktadır (Mokrzecka, 2018).

Bina formunun, şeklinin ve yönünün iklime göre ayarlanmasının yanı sıra camların boyutunun, yönünün ve gölgelendirilmesinin planlanması veya yapı malzemelerinin seçilmesi enerji tüketimini %60'a kadar etkileyebilir olduğu görülmüştür (Lechner, 2014).

1.3. Türkiye'deki Enerji Verimliliği Çalışmaları ve Tezin Amacı

Dünyada rüzgâr, güneş, dalga, jeotermal, gelgit, akıntı gibi birçok enerji kaynakları bulunmaktadır. Ülkemizde enerji çok fazla alanda kullanılmaktadır. En çok ulaşım, sanayi ve bina sektöründe kullanılmaktadır (Al-Homoud, 2001). Her geçen gün enerji ile ilgili verimlilik çalışmaları artmaktadır.

Türkiye'nin enerji politikaları, enerji verimliliği artırma, yerli enerji kaynaklarına dayalı üretimi artırma ve çevresel etkileri azaltma gibi hedeflere odaklanmaktadır. Bu çerçevede rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerji gibi yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi teşvik edilmektedir. Bu önlemlerle, Türkiye'nin enerji sektörü daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir yapıya doğru evrilmektedir.

2017 yılı TÜİK verilerine göre, Türkiye'de 9,1 milyon adet bina bulunmaktadır ve bu binaların yaklaşık %87'si konut niteliğindedir. Hane sayısı 22 milyon üzerindedir. Yılda 100.000'den fazla yeni bina inşa edilmekte olup, bu sayede enerji verimliliği sağlanması mümkündür. Türkiye, enerji verimliliğini artırmak ve enerji kaynaklarını daha etkin kullanmak adına belirlenen hedefler doğrultusunda çeşitli faaliyetler gerçekleştirmektedir.

İklim Değişikliği Eylem Planı (2011-2023) çerçevesinde, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranlarını artırmaya yönelik hedefler belirlenmiştir. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde, binaların enerji taleplerini azaltmak ve sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmak amacıyla "Binalara azami enerji ihtiyacı ve emisyon sınırlaması getirilmesi" ve "karbon salım miktarları asgari değerlerin üzerinde olanlara idari yaptırım uygulanması" gibi eylemler yer almaktadır.

Onuncu Kalkınma Planı Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı Eylem Planı kapsamında, bina ve hizmetler sektöründe enerji verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli eylemler planlanmıştır. Bu eylemler arasında daha önce yapılmış ve yapılacak olan binalarda verim sınıflarını geliştirmek, yerinde üretime ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yaygınlık kazandırmak, kapsamlı bina envanteri hazırlamak gibi önemli adımlar yer almaktadır(Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı).

5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'na göre, kamusal binalar için enerji yöneticisi görevlendirme sorumluluğuna sahip olanların (yıllık toplam enerji tüketimi 250 TEP ve üzerinde ya da toplam inşaat alanı 10.000 m² ve üzerinde olan) 2023 yılı sonuna kadar %15 enerji tasarrufu hedeflenmektedir, bu da enerji verimliliği alanında önemli bir kilometre taşıdır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022).

Onuncu Kalkınma Planı Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı Eylem Planı çerçevesinde, "Binalarda Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi" başlığı altında, binaların enerji verimliliğini artırmak amacıyla mali mekanizmaların ve mevzuatın geliştirilmesine yönelik eylemler belirlenmiştir. Yeni yapılmış binalar için Enerji Performansı Yönetmeliği uyarınca en az C sınıfı Enerji Kimlik Belgesi zorunludur.

Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik kapsamında, kamusal binalarda enerji verimliliği ile ilgili etütler yaptırılarak belirlenen potansiyelin uygulanmasına yönelik faaliyetler sürdürülmektedir. Bu çerçevede, ihale süreçlerine takılmadan, mevcut binaların enerji performansının artırılmasına yönelik önlemler hayata geçirilmekte ve enerji verimliliğiyle ilgili düzenlemelerin etkin bir şekilde uygulanması için çalışmalar yürütülmektedir (Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, 2017).

Ülkemiz kullandığı enerjinin %70'e yakın bir bölümünü ithal etmekte ve enerjinin yaklaşık %30'u, toplam elektrik tüketiminin ise yaklaşık %43'ü konutlarda kullanılmaktadır. Konut sektörü, enerji tüketiminde sanayi sektöründen sonra ikinci sırada yer almaktadır (Aydın, 2019).

Mıhlayanlar ve Meral (2023) çalışmasının ana amacı mevcut binaların enerji verimli yenilenmesinin önemi, aşamaları ve uygulamalarıdır. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği kapsamında geliştirilen BEP-TR2 hesap yöntemi kullanılarak mevcut iki katlı bir konut örneğinde uygulanacak farklı yenileme (renovasyon) senaryoları sonuçlarının yıllık enerji tüketimleri, sera gazı emisyonları ve enerji sınıfları açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak farklı iyileştirme seçeneklerinde yıllık enerji tüketiminde, sera gazı emisyonunda ve kg eşd CO₂/m²yıl miktarında değişen oranlarda düşüş görülmüştür. Bu düşüş aynı zamanda binanın enerji performans sınıfının iyileşmesini sağlamıştır.

"Binalarda enerji verimliliği" çalışmasında binalarda yıllık tüketilen enerji hesaplanılmış Avrupa Birliği enerji verimliliği için kabul edilen sınır değerle kıyaslatılmış ve 2-3 katı üstünde olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Merter Ek Hizmet Binası'nın enerji etüt çalışmaları ve sonuçları aktarılmıştır. Etüt sonuçlarına göre enerji tüketen sistemler belirtilmiş, sonrasında sistemlerin enerji verimliliklerinin arttırılması için gerekli renovasyonları ve enerji verimliliği arttırıcı projeleri (VAP) verilerek elde edilebilecek tasarruf miktarları verilmiştir (Topal, 2009).

Bir başka doktora tez çalışmasında gün geçtikçe önem kazanan sürdürülebilirlik kavramının kontrol parametresini aramak, yani sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğinin maliyeti ile bina

teknğinde kullanılan enerji verimliliğini artırmaya yönelik unsurlar araştırılmıştır (Yılmaz 2009).

Yumurtacı ve Dönmez (2013) yılında yazdığı makalede standart ürünler kullanılmakta olan bir binada öncelikle elektrik tüketimi ve maliyeti hesaplanmış daha sonrasında bu ürünler yerine enerji verimliliği yüksek ürünler kullanılması durumundaki elektrik tüketimi ve maliyeti hesaplanmıştır. Hesaplamaların sonucunda standart ürünler yerine enerji verimliliği yüksek ürünler kullanıldığında ay boyunca tüketilen elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık % 35 azaldığını tespit etmişlerdir.

Dış sıcaklık verilerinin bina ısıtma enerjisi ihtiyacına etkisi ve standartta verilen derece gün bölgelerinin geçerliliğinin dış sıcaklık verilerine göre tartışılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak bazı derece gün bölgeler arası geçişlerde farklı derece gün bölgelerinde yer alan illerin $Q_{yıl}$ değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu; hatta bazı illerin kıyaslamalı $Q_{yıl}$ değerlerinin, bulundukları derece gün bölgelerinin verileri ile çeliştiğini göstermektedir. Bunun yanında, standardın önerilen versiyonunda yeni oluşturulan derece gün bölgeler, kıyaslamalı sonuçlar ile daha iyi örtüşmektedir. Bunlara ek olarak, ısıtma eşiği sıcaklığı seçimi hesaplamalara kısıtlı etki yaparken, analizlerde kullanılacak dış sıcaklık verisinin güncelliğinin binanın ısıtma enerjisi hesabını önemli oranda etkilediği görülmüştür (Altun ve diğerleri, 2020).

Yüksek ve Sıvacılar (2017) çalışmalarında yapıların enerji etkin özelliklere sahip olması amacıyla, yapı elemanlarının sahip olması gereken ısı geçirgenlik değerini elde edebilmek için, Türkiye koşullarında uygun malzeme seçimi ve yapı elemanı tasarımı konularını tartışmışlardır. Bu doğrultuda 3. derece gün bölgesinde betonarme iskelet bir yapı örnek alınmıştır. Örnek yapının düşey yapı elemanlarında farklı yapı bileşenleri kullanılarak, yeterli ısı iletkenlik değerleri için TS 825 kapsamında uygun kalınlıkların tespiti ve yoğunlaşma tahkikleri yapılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları ile zararlı yoğunlaşmaya neden olmayan ve gerekli ısı geçirgenlik katsayısını sağlayan kesitler tespit edilmiştir.

Bektaş ve diğerleri (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışma, ısı yalıtım malzemelerinin önemi ve özellikleri, özellikle yalıtım kalınlığı ile yangına tepki sınıfları hakkında detaylı bir inceleme sunmaktadır. Yapılan analizler sonucunda, yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte maliyetin de arttığı ancak optimum yalıtım kalınlığının, yalıtım performansını artırdığı gözlemlenmiştir.

Ülgüner ve diğerleri (2021) çalışmasında TS 825 standardına uygun olarak Yalova Bölgesi için farklı duvar tipi tercihlerine ve farklı dış koşullara bağlı olarak binalara yetebilecek kapasitede ve koşullarda ayrı ayrı analizler gerçekleştirmiştir. Elde edilen verilere göre, Yalova'da son 40

yıllık kritik dış ortam sıcaklıkları muhafaza edilmeden yapılan analizde, sıcaklık aralığının 45 cm'ye kadar çıkabileceği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, enerji maliyetlerinin sarfiyatlarının ısı dağılımının ile orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Anbarcı ve diğerleri (2012), inşaat sektöründeki enerji kaybını tetikleyen faktörleri ve enerji kaybının sonuçlarına yol açan unsurları ele alarak, binaların sertifikalandırma süreçlerini karşılaştırmıştır. Ekolojik binaların oluşturulmasında tasarım aşamasında atmosferik şartlara göre yapı yönlendirmesi, ekolojik özelliklerin projelendirme sürecinde dikkate alınması, cephelerdeki dolu-boş hacimler, bağımsız bölümlerin sınırlarının tasarımı, kullanılan malzemelerin ve işçiliğin sürdürülebilir enerji anlayışına uygunluğu, ısı-su yalıtım sistemleri ve ulaşım özellikleri gibi unsurlar önemli adımları oluşturmaktadır. Çalışmada, bina tasarımının güneşten en verimli şekilde yararlanabilecek konumunun belirlenmesi örneği verilmiştir.

Çiftçi ve Balyemez (2019) ise yüksek binaların zemin ve yüzey alanı oranından enerji verimliliğinde problem olduğunu belirtmiş ve çözüm olarak mimari yapısını daha geliştirilmesi gerektiğine ulaşmıştır.

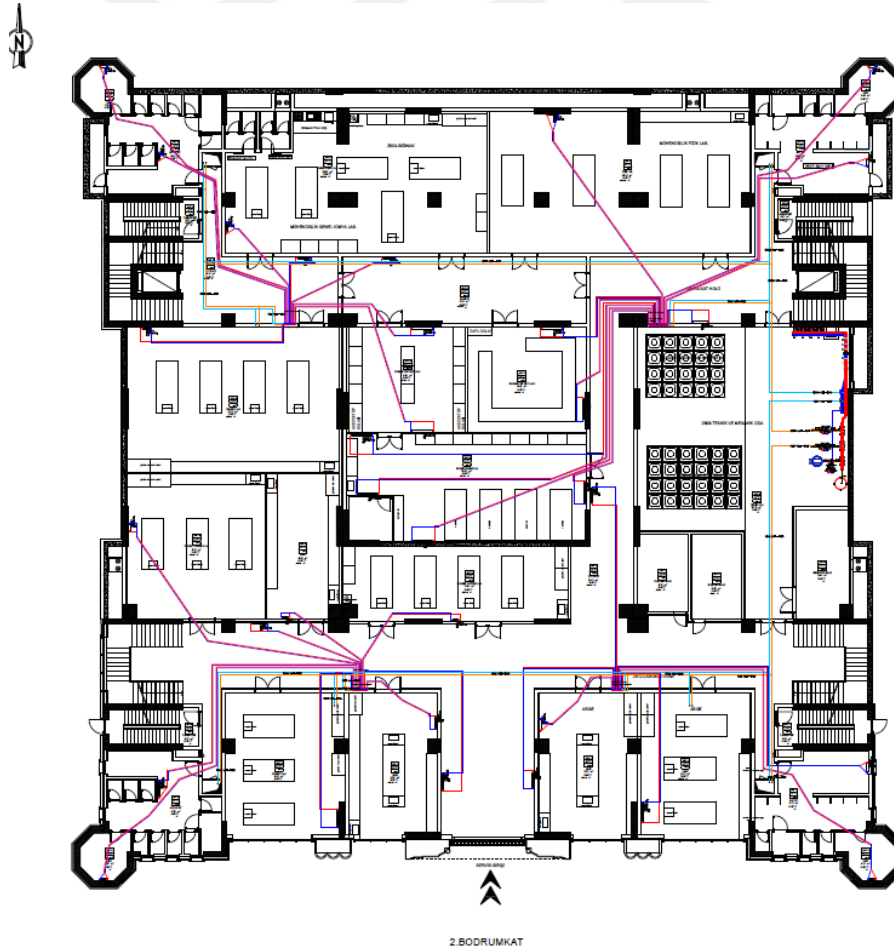
Başka bir çalışmada ise farklı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları ve pencere ile dış denizliklerin ısı yalıtımına olan etkileri incelenerek çözüm önerileri sunulmuştur. Sonuçlarda ısı yalıtımının yalnızca dış duvarlara değil, aynı zamanda çatı ve zemin gibi alanlara da önem verilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Bayraktar ve Bayraktar, 2016).

Yukarıdaki çalışmalarda enerji verimliliği farklı açılardan ele alınmıştır. Bu çalışmada ise çeşitli enerji verimliliği yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında binaya ekstra yalıtım yapılması, çatının yalıtım malzemeleriyle kaplanması ve mevcut camların daha iyi yalıtımlı ısıcamlara dönüştürülmesi yer almaktadır. Ayrıca binada termostatik vana takılması ve ısıtma kaynağı olarak ısı pompası kullanılması gibi farklı çözümlerle binada elde edilebilecek enerji verimliliği ve buna bağlı ekonomik analizler yapılmıştır. Sonuç olarak bu tez çalışmasında mevcut bir sistem incelenip kamu binalarında enerji verimliliği kapsamında iyileştirilmesi ele alınmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

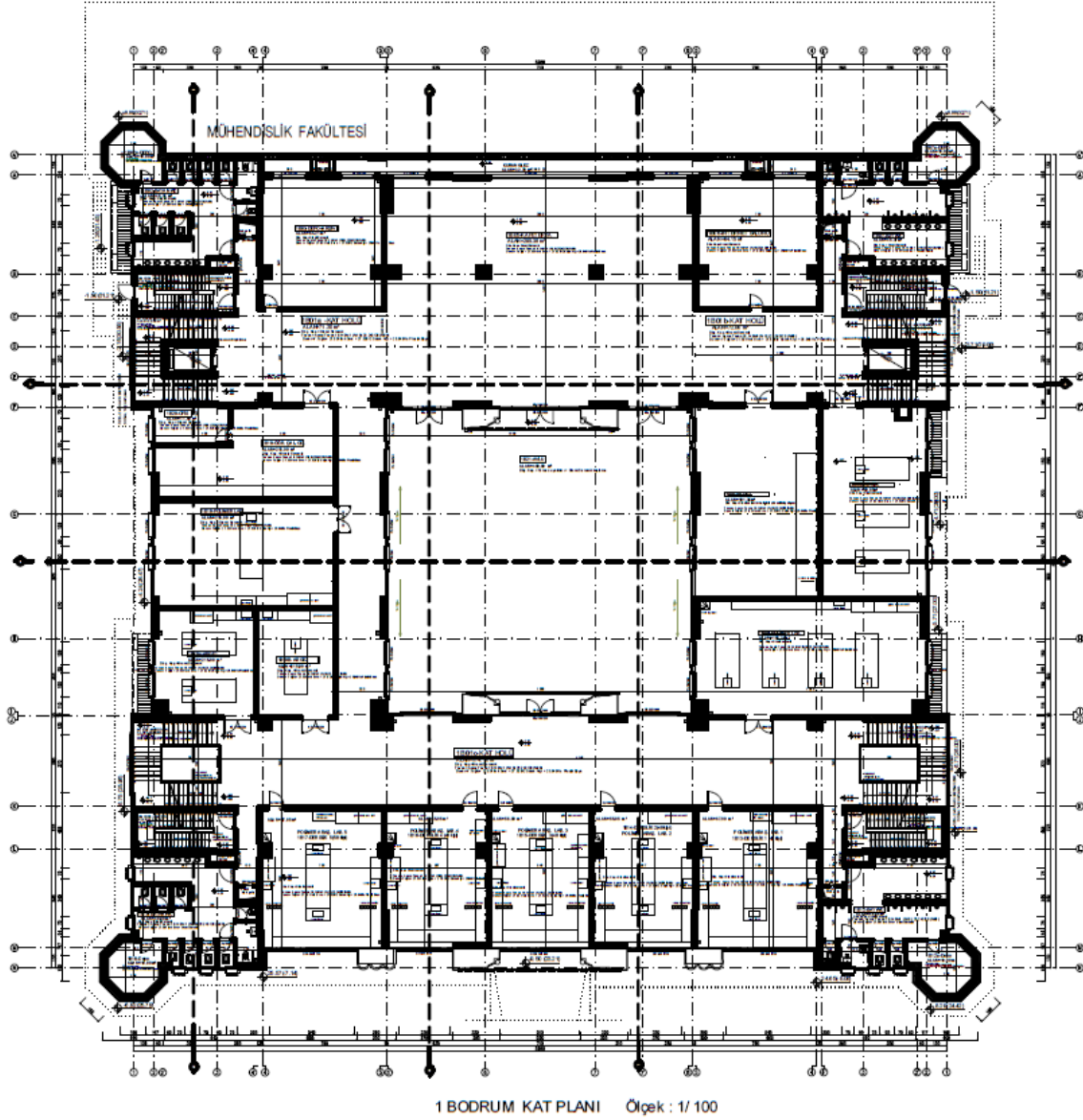
2.1. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binası

Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Türkiye'nin Yalova ilinde bulunmaktadır. Fakülte, mühendislik alanında lisans eğitimi sunmakta olup çeşitli disiplinlerde akademik programlar sunmaktadır. Yalova Üniversitesi, 2008 yılında kurulmuş bir devlet üniversitesidir. Mühendislik Fakültesi 2016 yılında yapılmıştır. Üniversitenin, mühendislik fakültesi 40.65° kuzey enlemi ile 29.22° doğu boylamı arasında ve 2. Bölge konumundadır. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, öğrencilere geniş bir mühendislik yelpazesinde eğitim imkânı sunmaktadır. Bu alanlar arasında İnşaat Mühendisliği, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Makine Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Polimer Malzeme Mühendisliği, Ulaştırma Mühendisliği ve Kimya Mühendisliği gibi disiplinler yer almaktadır. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi toplam 5 kattan (2.bodrum kat, 1.bodrum kat, zemin kat, 1.kat ve 2. kat) oluşmaktadır.



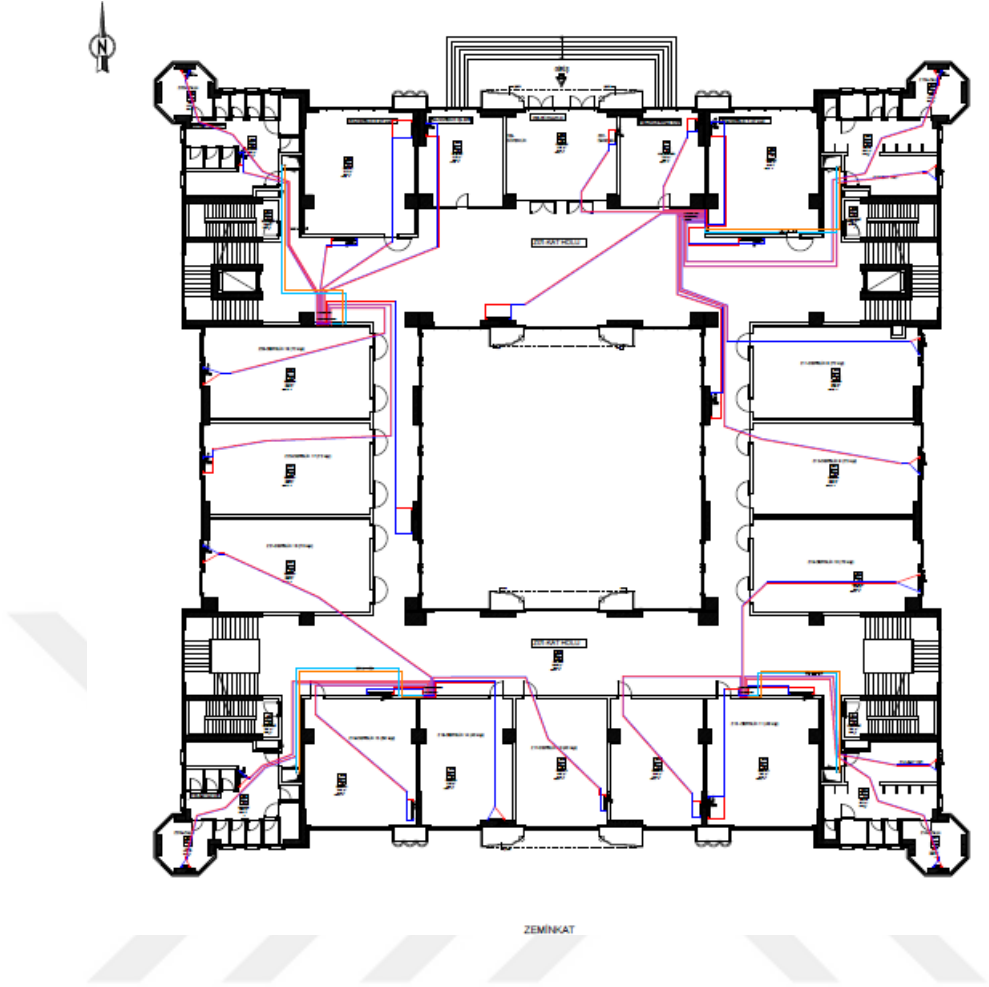
Şekil 2.1.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ikinci bodrum kat kalorifer tesisat planı

Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin ikinci bodrum kat kalorifer tesisatı planı Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Bu katta ısıtılan 21 toplamda ise 33 tane mahal bulunmaktadır. İkinci bodrum katta, toplamda 4 adet ARGE (Araştırma ve Geliştirme) odası, 8 adet laboratuvar, her biri dörder adet tuvalet, depo, yangın merdiveni, merdiven, ayrıca birer adet jeneratör, elektrik odası ve zayıf akım odası bulunmaktadır. Bu katta yer alan bazı bölümler iç kısımda konumlandığı için dış hava ile doğrudan temas içermemektedir. Ayrıca kot farkından ötürü binanın ikinci bodrum katının kuzey, doğu ve batı yönleri toprakla temas halindedir. İkinci bodrum katın güney yönünde servis girişi bulunmaktadır. Mühendislik fakültesi binasının birinci bodrum kat planı Şekil 2.2’de verilmektedir. Bu katın ortasında 20×20 m² bir avlu bulunmaktadır. Binanın kuzey ve güney yönünde avluya açılan iki tane kapı vardır. Bu katta toplamda ısıtılan 25 tane mahal bulunmaktadır. Bu katta dört tane ARGE, derslik, laboratuvar, tuvalet, merdiven, yangın merdiveni ve depo bulunmaktadır.



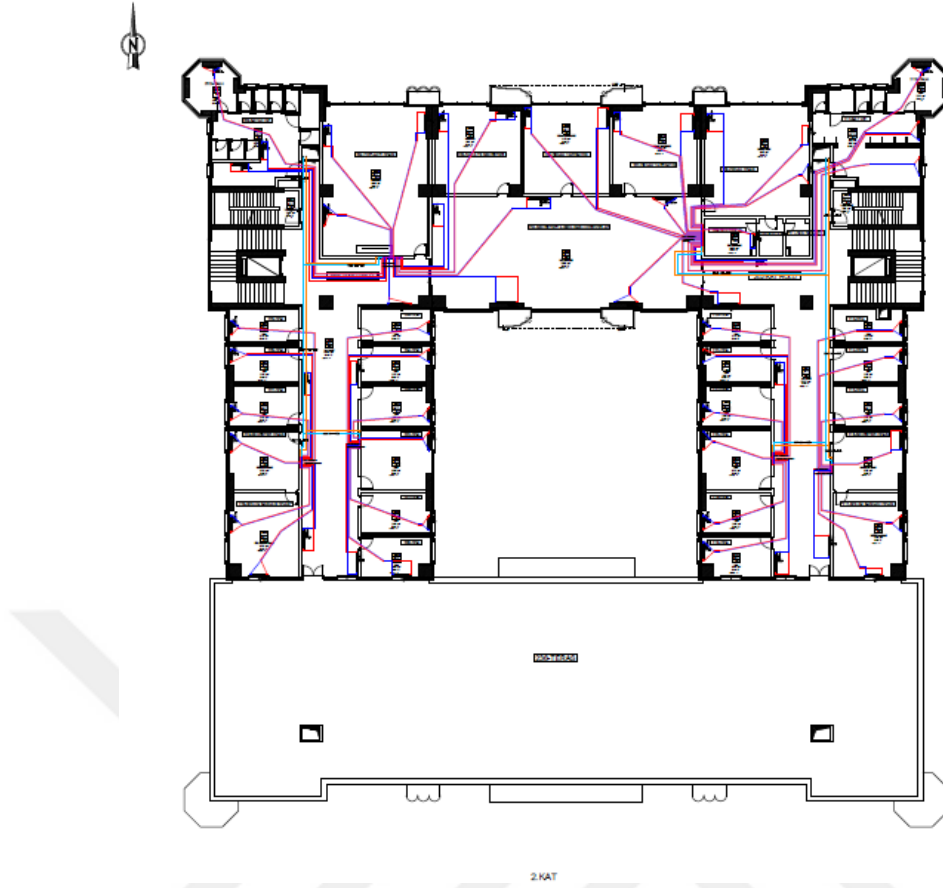
Şekil 2.2.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi birinci bodrum kat planı

Şekil 2.3 de zemin katın kalorifer tesisat projesi verilmektedir ve projede binanın girişi kuzey yönüne bakmaktadır. Bu katta derslikler, depo, tuvalet, asansör ve merdiven bulunmaktadır. Zemin katta tüm mahaller ısıtılmaktadır. Koridorlar hariç her mahalde birer tane radyatör bulunmaktadır.



Şekil 2.3.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi zemin kat kalorifer tesisat planı

Birinci katta toplamda ısıtılan 59 tane mahal bulunmaktadır. Bu katta toplamda 50 tane ofis, dörder tane toplantı odası, tuvalet, merdiven, yangın merdiveni ve depo bulunmaktadır. Toplantı odaları, tuvalet ve koridorlar haricinde her mahalde birer tane radyatör bulunmaktadır. Şekil 2.4 de toplamda 35 tane ısıtılan mahal bulunmaktadır. İkinci katta güney cephesinde bir teras bulunmaktadır. Bina iç hava konfor sıcaklığı 22°C olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 2.4.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ikinci kat kalorifer tesisat planı

Yalova Üniversitesi binasının güneydoğu yönü Şekil 2.5 de gösterilmektedir. Bina Yalova ilinde ve 2.derece gün bölgesinde bulunmaktadır. Binada yalıtım malzemesi olarak duvarlarda 10 cm taş yünü ve toprak temaslı tabanda 20 cm dolgu (kum, çakıl, taş) malzemesi kullanılmaktadır. Binada toplam 212 adet ısıtılan mahal bulunmaktadır. Bina işletme saatleri sabah 07:00 ile akşam 17:00 saatleri arasında yer almaktadır. Ayrıca binada iç sıcaklık olarak 22 °C tutulmaktadır.



Şekil 2.5.Yalova Üniversitesi binasının güneydoğu yönü

Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve çevresinin uydu görüntüsü Şekil 2.6 da bulunmaktadır. Yalova Üniversitesi binasının doğu yönü ormanlık alana bakmaktadır. Güney ve batı yönünde ise Sanat ve Tasarım fakültesi ve İktisadi ve idari bilimler fakültesi bulunmaktadır. İktisadi ve idari bilimleri fakültesi ile mühendislik fakültesi arasında avlu, Sanat ve tasarım fakültesiyle Mühendislik fakültesi arasında yol vardır. Bu sebeple güneşin mühendislik fakültesine girişini engellemez.



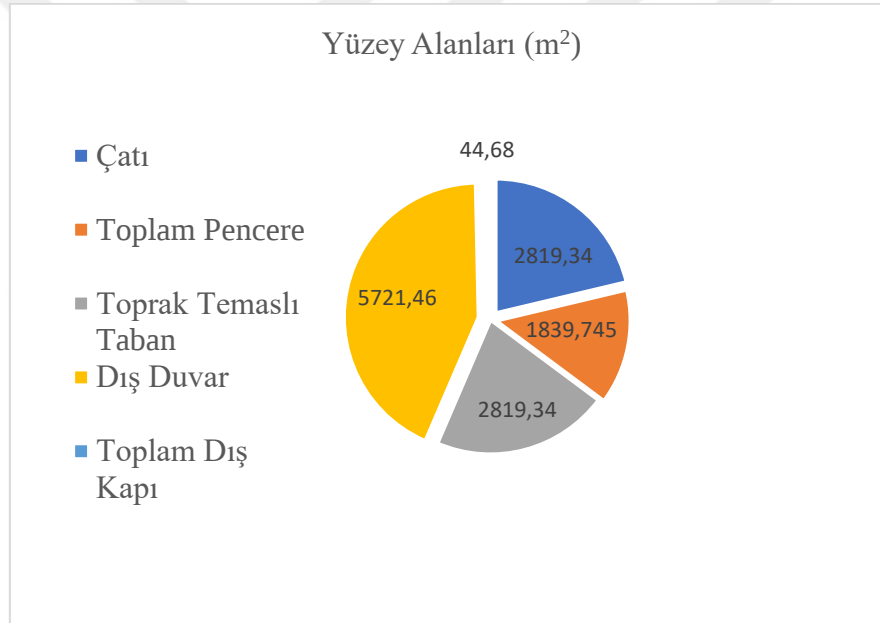
Şekil 2.6.Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve çevresinin uydu görüntüsü

Bina kat yükseklikleri Tablo (2.1)'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1.Projedeki binanın kat yükseklikleri (m)

2.Bodrum kat	1.Bodrum kat	Zemin kat	1.Kat	2.Kat
4,2	3,5	3,5	3,5	3,7

Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanları Şekil (2.7)' de verilmektedir. Binada en fazla yüzey alanı sırasıyla dış duvar, çatı, toprak temaslı taban, pencere ve en az yüzey alanı dış kapıya aittir.



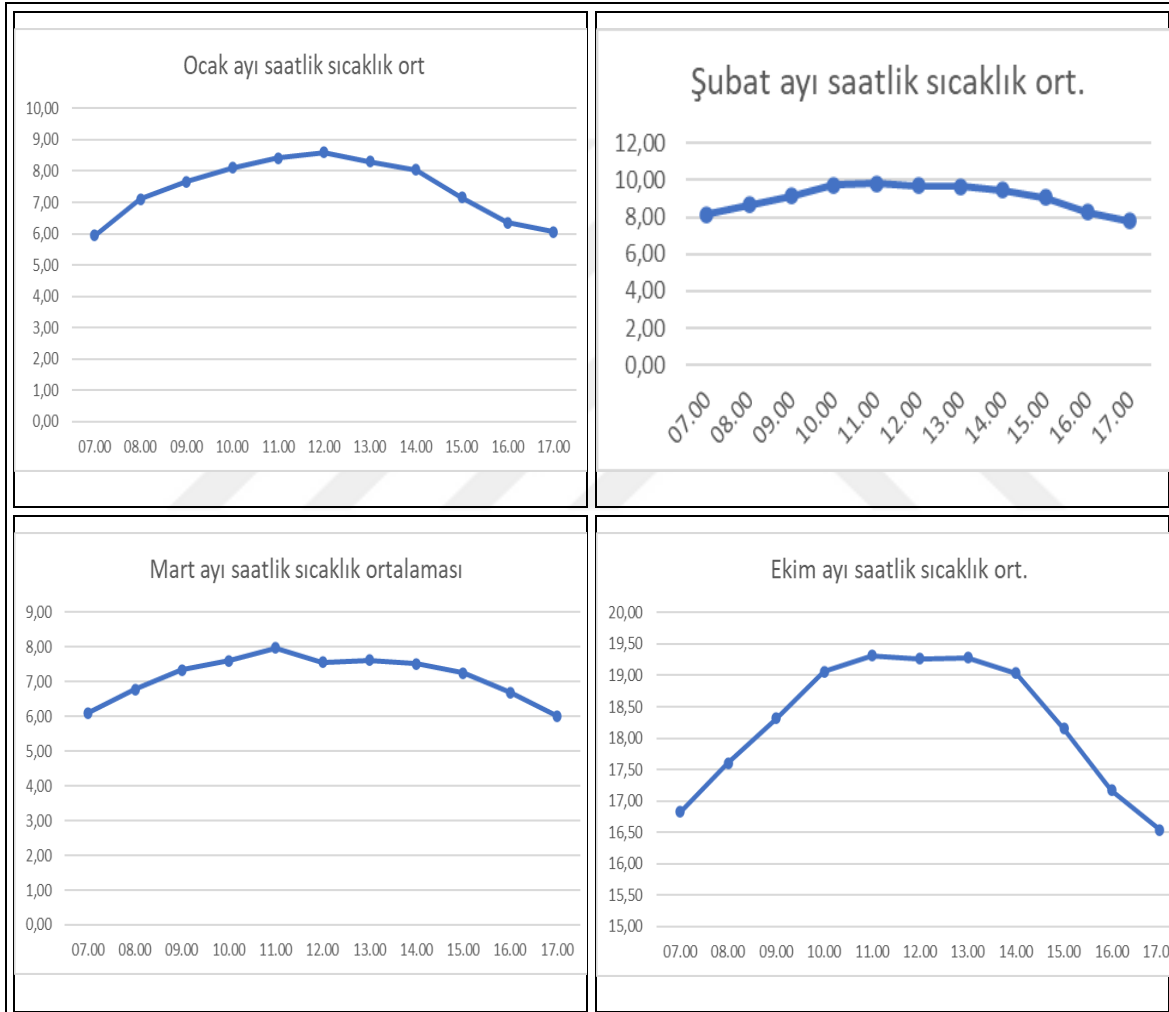
Şekil 2.7.Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanları (m²)

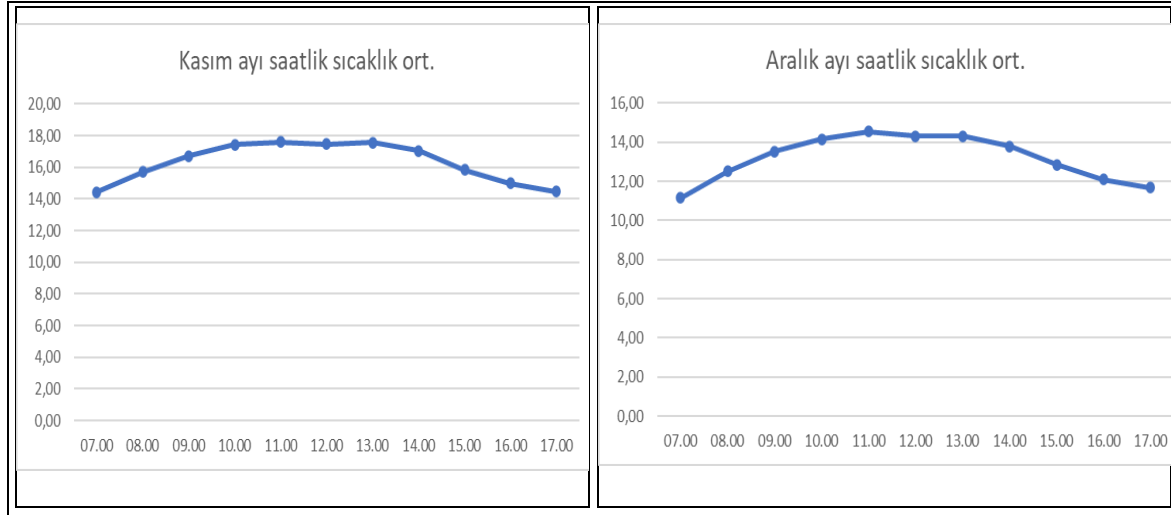
2.2. Yalova İline Ait Sıcaklık Veriler

2.2.1. Yalova iline ait saatlik sıcaklık ortalaması

Yalova ili 2022 yılı ısıtma yapılan günler için saatlik dış sıcaklık ortalaması Şekil 2.8'daki grafiklerde gösterilmektedir. Yalova iline ait 2022 yılı sıcaklık verileri T.C. Yalova Valiliği Meteoroloji Müdürlüğünden alınmıştır. Ocak ayında saatlik sıcaklık ortalaması incelendiğinde 11:00 ile 13:00 saatleri arasında dış sıcaklık ortalamasının yüksek olduğu ve

akşam saatlerine doğru düştüğü görülmektedir. Şubat ayında ise saatlik sıcaklık değişimleri arasında çok fazla bir fark bulunmamaktadır. Genel olarak 8 derece ve 10 derece arasında değişmektedir. Mart ayı sıcaklık ortalamaları şubat ayına göre daha düşük sıcaklıklar gördüğü tespit edilmiştir. Ekim ayında sonbahar başlangıcı ve yazın bitişi olması sebebiyle incelenen aylara göre daha yüksek sıcaklık ortalaması görülmektedir. Kasım ayında sabah 10:00 ile 14:00 saatleri arasında sıcaklık değişimi genel olarak 17 °C civarında görülmektedir. Aralık ayı sıcaklık ortalaması da sabah 10:00 ile 13:00 arasında 14 °C olarak bulunmaktadır.





Şekil 2.8.Yalova ili 2022 yılı saatlik dış sıcaklık ortalamaları (°C)

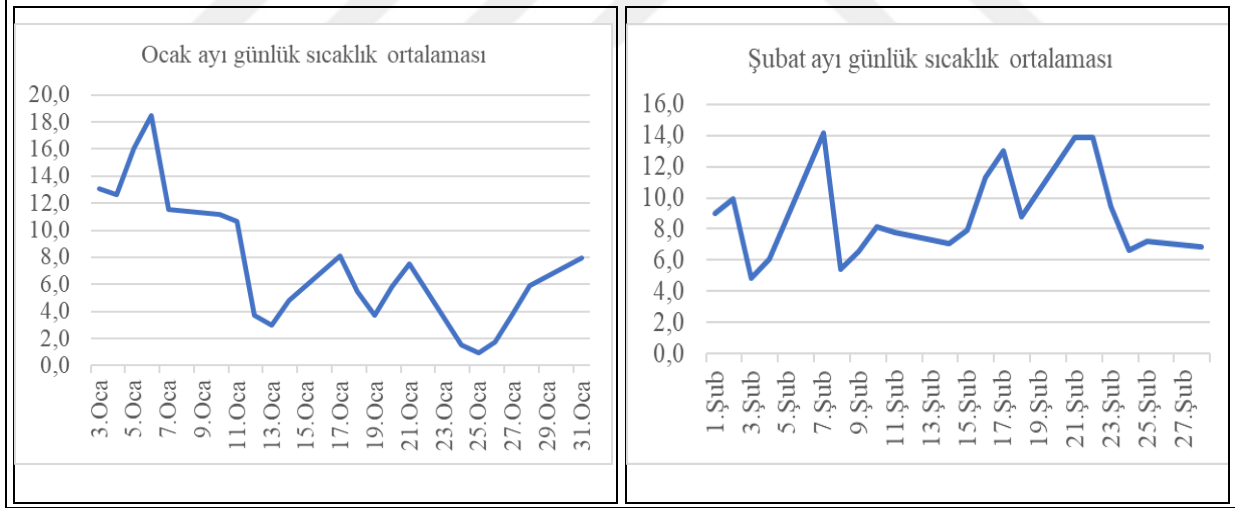
Ocak, şubat, mart, ekim, kasım ve aralık aylarında saatlik en yüksek ve en düşük dış sıcaklık ortalamaları Tablo 2.2 de gösterilmektedir. En yüksek ve en düşük dış sıcaklık ortalamaları Tablo 2.3 de gösterilmektedir. Buradaki veriler göz önünde bulundurulduğunda ocak ayında sıcaklık değişiminin gün içinde 2,6 °C, şubat ayında 2 °C, kasım ayında ise 2.8 °C olduğu bulunmuştur. Ayrıca gün içinde en fazla sıcaklık değişiminin 3,4 °C ile aralık ayında olduğunu en az sıcaklık değişiminin de mart ayında 1,9 °C olduğu tespit edilmiştir. En düşük sıcaklık değerleri ocak ayında sabah saat 07:00’de, şubat ayında akşam saat 17:00’de, mart ayında akşam saat 17:00’de, ekim ayında akşam saat 17:00’de, kasım ayında sabah saat 07:00’de ve aralık ayında sabah saat 07:00’de ölçülmüştür.

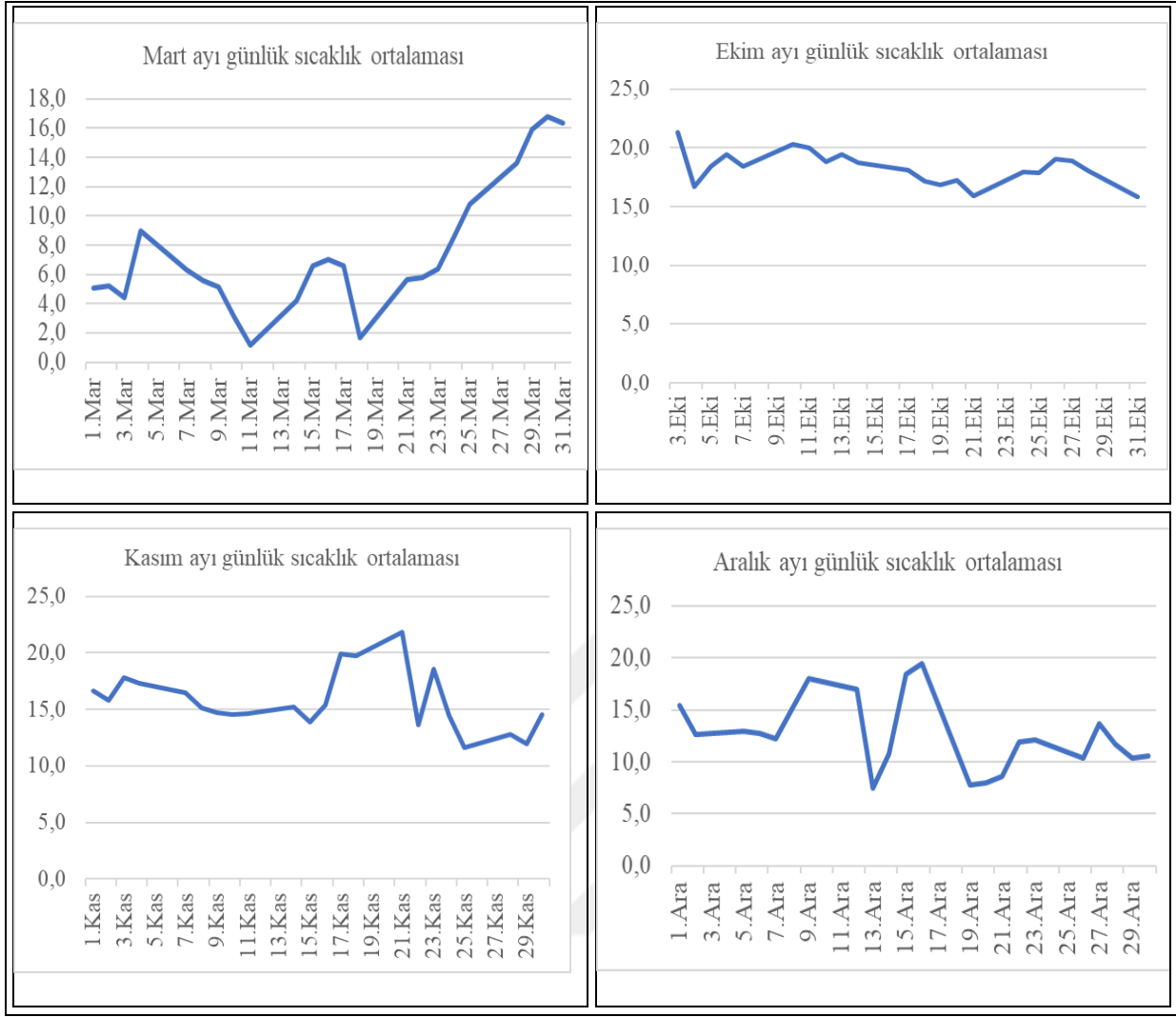
Tablo 2.2. 2022 yılı maksimum ve minimum saatlik dış hava sıcaklık ortalamaları (°C)

Aylar	Maksimum (°C)	Minimum (°C)
Ocak	8,6	6
Şubat	9,7	7,7
Mart	7,9	6
Ekim	19,3	16,5
Kasım	17,5	14,4
Aralık	14,5	11,1

2.2.2. Yalova iline ait günlük sıcaklık ortalaması

Binada ısıtma ocak, şubat, mart, ekim, kasım ve aralık aylarında yapılmaktadır. Şekil 2.9'da 2022 yılında günlük dış sıcaklık ortalamaları gösterilmektedir. Ocak ayının ilk haftasında sıcaklık 18°C'ye kadar yükselmiştir, ancak 11 Ocak itibarıyla sıcaklık 1°C ile 8°C arasında değişmiştir. Şubat ayında, sıcaklık 23 Şubat'a kadar 5°C ile 14°C arasında değişmiştir. 23 Ocak itibarıyla ise sıcaklık yaklaşık 7°C civarında kalmıştır. Genel olarak mart ayı dış sıcaklıkları 2 °C ile 10 °C arasında değişmektedir. Bununla birlikte 25 Marttan sonra Nisan ayına geçişte sıcaklığın önemli ölçüde yükseldiği görülmektedir. Ekim ayında günler arasında çok büyük sıcaklık farkları gözlenmemekte; sıcaklık yaklaşık olarak 16°C ile 21°C arasında sabit seyretmektedir. Kasım ayının ortasına kadar sıcaklık 13,9 ile 17,8 derece arasında değişmektedir. 15 Kasım'dan sonra sıcaklık artmaya devam ederek 21 Kasım'a kadar yükselmiştir. 21 Kasım'dan sonra ise sıcaklık 11°C ile 18°C arasında değişmiştir. Aralık ayı 15°C sıcaklıkla başlamıştır ve ilk haftasında 12°C'ye düşmüştür. Daha sonra, 19 Aralık'a kadar yaklaşık olarak 7°C ile 19°C arasında değişmiştir. Aralık ayının son haftasında ise sıcaklık 10°C ile 13°C arasında değişmiştir.





Şekil 2.9. Yalova ili 2022 yılı günlük dış sıcaklık ortalamaları (°C)

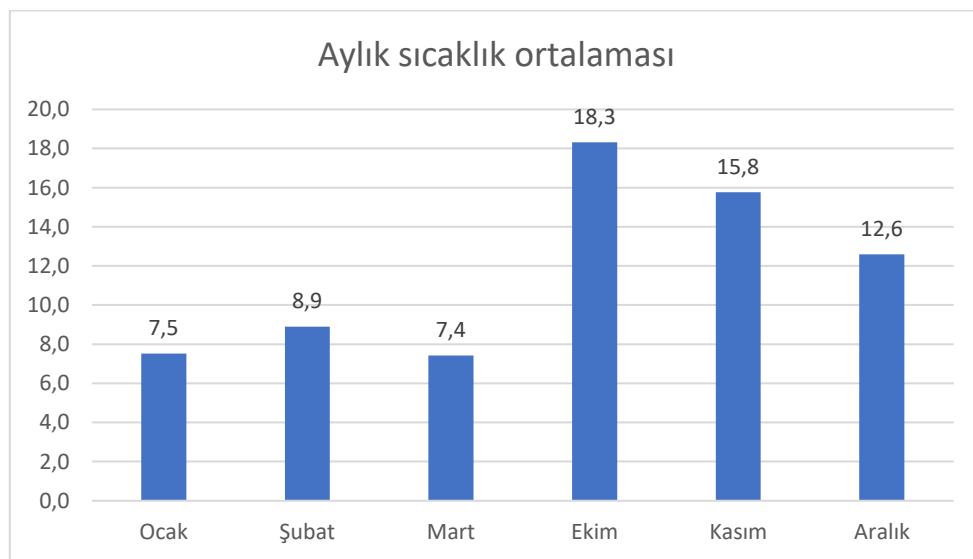
Tablo 2.3'te günlük sıcaklık ortalamaları incelenerek ocak, şubat, mart, ekim, kasım ve aralık aylarında görülen maksimum ve minimum sıcaklık değişimleri gösterilmektedir. Değerler incelendiğinde, en düşük sıcaklık ortalamasının ocak ayında olduğu ve daha sonra sırasıyla mart, şubat, aralık, kasım ve ekim ayında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ocak ayında en düşük sıcaklık ortalamasının 25 Ocak'ta, en yüksek sıcaklık ortalamasının ise 6 Ocak'ta olduğu, şubat ayında en düşük sıcaklık ortalamasının 3 Şubat'ta, en yüksek sıcaklık ortalamasının ise 7 Şubat'ta olduğu, mart ayında en düşük sıcaklık ortalamasının 11 Mart'ta, en yüksek sıcaklık ortalamasının ise 29 Mart'ta olduğu görülmektedir. Ekim ayında en düşük sıcaklık ortalamasının 31 Ekim'de, en yüksek sıcaklık ortalamasının ise 3 Ekim'de olduğu, kasım ayında en düşük sıcaklık ortalamasının 25 Kasım'da, en yüksek sıcaklık ortalamasının ise 21 Kasım'da

olduğu, aralık ayının en düşük sıcaklık ortalamasının ise 13 Aralık'ta, en yüksek sıcaklık ortalamasının ise 16 Aralık'ta olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2.3. 2022 yılı maksimum ve minimum günlük dış sıcaklık ortalaması (°C)

Aylar	Maksimum (°C)	Minimum (°C)
Ocak	18,5	0,9
Şubat	14,1	4,9
Mart	16,8	1,2
Ekim	21,3	15,8
Kasım	21,9	11,6
Aralık	19,4	7,4

2022 yılında ocak, şubat, mart ve aralık ayları için sıcaklık ortalamasının düşük olduğu Şekil 2.10'da görülmektedir. Şekil 2.10'da gösterilen sıcaklık ortalamaları binanın işletme saatleri ve günleri için alınmaktadır. 2022 yılının en soğuk ayı mart ayı 7,4°C, ardından 7,5 ile ocak ayı daha sonrasında 8,9°C ile şubat ayı, 12.6 ile aralık ayı, 15.8 ile kasım ayı ve son olarak 18.3 ile ekim ayı gelmektedir.



Şekil 2.10.Yalova ili 2022 yılı aylık dış sıcaklık ortalaması (°C)

2.3. Daikin Isı Pompası

Isı pompaları, bir ortamdan ısıyı çekip başka bir ortama transfer ederek ısıtma veya soğutma amacıyla kullanılan cihazlardır. Bu sistemler, çevresel enerjiyi etkili bir şekilde kullanarak enerji verimliliğini artırır. Isı pompaları, termodinamik prensiplere dayanarak çalışırlar. Çoğu ısı pompası, bir evaporatör, bir kompresör, bir kondansatör ve bir genişleme valfi içerir. Bu dört ana bileşen, sıvıdan gaz fazına, gazdan sıvı fazına, basınç artışı ve düşüşü ile ısıнын bir ortamdan diğerine taşınmasını sağlar. Kaynak çeşidine göre birçok türde ısı pompası vardır. Binaya ısıtma için önerilen ısı pompası Şekil 2.11 de gösterilmektedir. Seçtiğimiz ısı pompasının sezonsal COP değeri 2,96 olarak seçilmiştir(Daikin ısı pompası kataloğu 2022).



Daikin Altherma 2 HT ERSQ

Mevcut radyatörlerle birlikte kullanılabilen **yalnız ısıtma** yer tipi havadan suya ısı pompası

- Havadan suya sıvı pompası teknolojisine dayanan, enerji verimliliği yüksek ısıtma sistemi
- 16 kW'ya kadar monofaze yer tipi iç ünite
- 16 kW'ya kadar trifaze yer tipi iç ünite
- Yüksek sıcaklığı uygulama: elektrikli ısıtıcı 80°C'ye kadar
- ısıtma boruları değiştirilmeden mevcut boyfınr kolayca değiştirilbilmesi
- Yüksek sıcaklığı radyatörler ile birlikte kullanılabilme
- Düşük elektrik faturaları ve düşük CO₂ emisyonları
- Inverter kontrollü scroll kompresör



on-films → 251



A+



80°C



R-410A

Verimlilik Değerleri			EKHBRD + ERRO/ERSQ		01ADY17 + ERSQ01AY1	01ADY17 + ERSQ01AY1	016ADY17 + ERSQ06AY1	01ADY17 + ERSQ01AY1	01ADY17 + ERSQ01AY1	016ADY17 + ERSQ06AY1	
İstima kapasitesi	İstima	Nom.	kW		11,3 (1) / 11,0 (2) / 11,2 (3)	14,5 (1) / 14,0 (2) / 14,4 (3)	16,0 (1) / 16,0 (2) / 16,0 (3)	11,3 (1) / 11,0 (2) / 11,2 (3)	14,5 (1) / 14,0 (2) / 14,4 (3)	16,0 (1) / 16,0 (2) / 16,0 (3)	
Çekilen güç	İstima	Nom.	kW		3,80 (1) / 4,40 (3) / 3,87 (1) / 4,40 (3) / 2,67 (1) / 2,67 (1) / 2,67 (1)	5,02 (1) / 5,65 (3) / 5,06 (1) / 5,65 (3) / 2,81 (1) / 2,81 (1) / 2,81 (1)	5,86 (1) / 6,63 (3) / 5,86 (1) / 6,63 (3) / 2,67 (1) / 2,67 (1) / 2,67 (1)	3,80 (1) / 4,40 (3) / 3,87 (1) / 4,40 (3) / 2,67 (1) / 2,67 (1) / 2,67 (1)	5,02 (1) / 5,65 (3) / 5,06 (1) / 5,65 (3) / 2,81 (1) / 2,81 (1) / 2,81 (1)	5,86 (1) / 6,63 (3) / 5,86 (1) / 6,63 (3) / 2,67 (1) / 2,67 (1) / 2,67 (1)	
COP					2,97 (1) / 2,50 (1) / 2,50 (1) / 2,42 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1)	2,89 (1) / 2,48 (1) / 2,48 (1) / 2,48 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1)	2,81 (1) / 2,40 (1) / 2,40 (1) / 2,40 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1)	2,97 (1) / 2,50 (1) / 2,50 (1) / 2,42 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1)	2,89 (1) / 2,48 (1) / 2,48 (1) / 2,48 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1)	2,81 (1) / 2,40 (1) / 2,40 (1) / 2,40 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1) / 2,07 (1)	
	Alan ısıtma	Ortalama İklim su çıkışı 55°C	Genel	SCOP	2,96	2,98	3,01	2,96	2,98	3,01	
				%	115	116	117	115	116	117	
	Ortalama İklim su çıkışı 35°C	Genel	SCOP	2,70	2,81	2,88	2,70	2,81	2,88		
			%	105	110	112	105	110	112		
				Sezon aln ısıtma verimliliği	A+						
			Sezon aln ısıtma verimliliği	C	B		C	B			
İç Ünite				EKHBRD	01ADY17	01ADY17	016ADY17	01ADY17	01ADY17	016ADY17	
Gövde		Rank									
		Malzeme									
Boyutlar		Birim	Yükseklik x Genişlik x Derinlik	mm							
Ağırlık		Birim		kg	144		705 x 600 x 695		147		
Çalışma sıcaklık aralığı		İstima	Ortan sıcaklığı Min.–Maks.	°C			-20,0 / 0,00 ~ -20				
		Su tarafı	Min.–Maks.	°C			25–80,0				
		Kullanım sıcak suyu	Ortan sıcaklığı Min.–Maks.	°C KT			-20,0 ~ -35,0				
Soğutucu akışkan		Tipi	Su tarafı	Min.–Maks.	°C		25–80				
		Şarj		kg			R-134a				
		TCOeq					2,78				
Ses basıncı seviyesi		Nom.	dBA	63,0 / 46,0 / 0,00 / 0,00	45,0 / 46,0 / 0,00 / 0,00	63,0 / 46,0 / 0,00 / 0,00	45,0 / 46,0 / 0,00 / 0,00	63,0 / 46,0 / 0,00 / 0,00	45,0 / 46,0 / 0,00 / 0,00	63,0 / 46,0 / 0,00 / 0,00	
		Gara sesiz modu Seviye 1	dBA	40,0 / 0,00 / 0,00	43,0 / 0,00 / 0,00	43,0 / 0,00 / 0,00	40,0 / 0,00 / 0,00	43,0 / 0,00 / 0,00	43,0 / 0,00 / 0,00	43,0 / 0,00 / 0,00	43,0 / 0,00 / 0,00
Diş Ünite				ERSQ-01AY1	ERSQ-01AY1	ERSQ-01AY1	ERSQ-01AY1	ERSQ-01AY1	ERSQ-01AY1	ERSQ-01AY1	
Boyutlar		Birim	Yükseklik x Genişlik x Derinlik	mm			1.345 x 900 x 300				
Ağırlık		Birim		kg			120				
Kompresör		Marka					1				
Çalışma sıcaklık aralığı		İstima	Min.–Maks.	°C VT			-20–20				
		Kullanım sıcak suyu	Min.–Maks.	°C KT			-20–35				
		Tipi					R-410A				
Soğutucu akışkan		GWP					2.087,5				
		Şarj		kg			4,5				
		TCOeq					9,4				
		Kumanda			Genişleme vanası (elektronik)						
Ses gücü seviyesi	İstima	Nom.	dBA	68	69	71	68	69	71		
Ses basıncı seviyesi	İstima	Nom.	dBA	52	53	55	52	53	55		
Güç beslemesi	Adı/Fazı/Frekansı/Gerilimi		Hz/V	V110–50/220-440			V110–50/380-415				
Akım	Önerilen sigortalar		A	25			16				

(g) EW 55°C; LW 60°C; Di 10°C; ortam sıcaklığı: 7°C. KI/6°C.YT | (g) EW 70°C; LW 80°C; Di 10°C; ortam sıcaklığı: 7°C. KI/6°C.YT | (g) EW 30°C; LW 35°C; Di 5°C; ortam sıcaklığı: 7°C. KI/6°C.YT |
Florku yeni çarları içerir.

Şekil 2.11. Daikin ısı pompası modeli (Daikin ısı pompası kataloğu 2022)

2.4. Termostatik Vana

Termostatik radyatör vanası, istenilen sıcaklık seviyesini belirleme, koruma altına alma ve gerektiğinde yeniden düzenleme imkânı sunar. TRV, içerisindeki mekanizma sayesinde radyatöre akan su miktarını otomatik olarak kontrol eder, böylece istenilen oda sıcaklığını sabit tutmak için su akışını düzenler (azaltır veya artırır). Bu özellik sayesinde TRV, istediğiniz konfor seviyesinde oda sıcaklığına ulaşmanıza olanak tanır. Ayrıca TRV, çeşitli harici (örneğin

güneş ışığı) ve içsel (oda içindeki insanlar, çalışan elektrikli cihazlar vb.) ısı kaynaklarından gelen etkileri algılar. Bu sayede gereksiz sıcaklık dalgalanmalarını önler ve enerji tasarrufu sağlar, bu da %30'a kadar enerji verimliliği elde edilmesini sağlar. Termostatik Radyatör Vanası (TRV) iki parçadan oluşur. Vana gövdesi ve Algılayıcı (Sensör) Şekil 2.12 de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Danfoss termostatik radyatör vanası modeli

2.5. Isı Yalıtım Malzemeleri

Isı yalıtımı, bir yapıdaki ısı transferini kontrol etmek ve enerji tasarrufu sağlamak için kullanılan bir yöntemdir. İyi bir ısı yalıtımı, iç mekânın sıcaklığını koruyarak daha konforlu bir yaşam ortamı oluşturur ve enerji maliyetlerini düşürür. Ayrıca, çevresel etkileri azaltarak karbon ayak izini azaltabilir. Isı yalıtımı yapılması için en önemli nedenler çevresel etkilerin azaltılması, konfor ve enerji tasarrufunun sağlanmasıdır. Bu çalışmada bina için üç tip yalıtım malzemesi araştırıldı.

Taş yünü, karbonlu EPS ve XPS yalıtım malzemeleri çatı ve dış duvar yalıtımında en kaliteli malzemelerdendir. Bu malzemelerin ısı iletim katsayıları Tablo 2.4'te ve yangına tepki sınıfları Tablo 2.5'te sunulmaktadır.

Tablo 2.4. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları (W/mK)

Yalıtım malzemeleri	Isı iletim katsayısı
Taş yünü	0,039
EPS	0,034
XPS	0,035

Tablo 2.5 incelendiğinde taş yünü yalıtım malzemesinin yangına direncinin diğer yalıtım malzemelerine göre daha kaliteli olduğu görülmektedir.

Tablo 2.5. Yalıtım malzemelerinin yangına tepki sınıfları

Isı yalıtım malzemeleri	Taş yünü	Karbonlu EPS	XPS
Yangına tepki sınıfı	A1	E	E

2.5.1. Taş yünü ısı yalıtım malzemesi

Taş yünü ısı yalıtım malzemesi Şekil 2.13 de gösterilmektedir. Taş yünü, genellikle binaların dış cephelerinde veya iç duvarlarda kullanılan etkili bir ısı yalıtım malzemesidir. Bu malzeme, doğal kayalardan, genellikle bazalt gibi kayalardan elde edilen liflerden oluşur. Üretim sürecinde, kayalar belirli sıcaklıklarda eritilir, ardından elde edilen erimiş malzeme özel spinner tekerlekleri üzerinde çekilerek ince liflere dönüştürülür. Bu lifler daha sonra levha, rulo veya gevşek dolgu formunda kullanılabilir.

Taş yünü, düşük ısı iletim katsayısına sahip olmasıyla bilinir, bu özelliğiyle etkili bir ısı yalıtım malzemesidir. Ayrıca, ses yalıtım özellikleri de içerir. Hafif olması, yangına karşı direnci, kimyasal dayanıklılığı ve çevre dostu olma özellikleri, taş yünü çeşitli uygulamalarda tercih edilen bir malzeme haline getirir. Binaların dış cephelerinde, iç duvarlarda, çatı ve zemin yalıtımında yaygın olarak kullanılır. Doğal kaynaklardan elde edilen taş yünü, geri dönüşümlü olabilir ve bu da çevre dostu bir seçenek sunar. Ancak, kullanım öncesinde spesifik uygulama gereksinimleri ve üretici önerileri dikkate alınmalıdır. Taş yünü, enerji tasarrufu ve konfor artışı sağlamak için binalarda etkili bir yalıtım çözümü sunar.



Şekil 2.13.Taş yünü ısı yalıtım levhası

2.5.2. Karbonlu genleştirilmiş polistiren köpüklü levha (EPS)

Karbonlu EPS (Genleştirilmiş Polistiren), yapıların ısı yalıtımında sıklıkla kullanılan bir malzemedir. Bu malzeme, genleştirilmiş polistiren içermesi sayesinde yüksek ısı yalıtım performansına sahiptir, bu da enerji tasarrufunu teşvik eder. Hafif yapısı, malzemenin kolay taşınmasını ve uygulanmasını sağlar. Aynı zamanda mükemmel mekanik dayanıma sahiptir, bu da dayanıklılığını artırarak uzun ömürlü bir ısı yalıtım çözümü sunar.

Genleştirilmiş polistiren malzemeler genellikle çevre dostu kabul edilir. Su ve enerji tasarrufunu sağlamak adına üretim aşamalarında çevre dostu yaklaşımlar benimsenebilir ve malzemenin geri dönüşümü mümkündür. Karbonlu EPS, levha veya panel şeklinde bulunabilir (Şekil 2.14), bu da uygulama kolaylığı sağlar.



Şekil 2.14.Karbonlu EPS ısı yalıtım levhası

2.5.3. Ekstrüde polistiren levha (XPS)

Ekstrüde polistiren ısı yalıtım levhaları, binaların dış cephelerinde ve çatılarında kullanılan etkili yalıtım malzemelerindendir. Bu malzeme, genellikle XPS olarak kısaltılan ekstrüde polistiren köpüğünden üretilir. Ekstrüzyon süreci, genleştirilmiş polistiren malzemeyi bir kalıp içinden geçirerek sıkıştırma ve ısıtma yoluyla oluşturulur.

Ekstrüde polistiren levhalar, yüksek yoğunluğa sahiptir ve bu da dayanıklılıklarını artırır. Bu özellik, levhaların uzun ömürlü ve dayanıklı bir ısı yalıtım çözümü sağlamasına yardımcı olur.

Isı iletim katsayısı düşük olan ekstrüde polistiren, yüksek ısı yalıtım performansı sunar ve binalarda enerji verimliliğini artırarak ısı kayıplarını minimize etmeye yardımcı olur.

Ekstrüde polistiren levhalar, su emilimine karşı dirençlidir. Bu özellik, malzemenin suyla doymadığı sürece ısı yalıtım performansını korumasını sağlar.

Ekstrüde polistiren levhalar (Şekil 2.15.), hafif yapılarıyla taşıma ve montaj süreçlerini kolaylaştırır. Bu özellik, inşaat projelerinde uygulama kolaylığı sağlar.



Şekil 2.15. Ekstrüde polistiren ısı yalıtım levhası

2.6. Isıcam Modelleri

Isıcam, iki veya daha fazla cam tabakasının arasına özel bir hava veya gaz dolumu eklenerek oluşturulan bir pencere sistemidir. Isıcam, binalarda ısı yalıtımını artırmak, enerji verimliliğini sağlamak ve dış gürültüyü azaltmak amacıyla kullanılır. Isıcam serileri, bilgileri Isıcam resmî web sitesinden alınmıştır. Isıcam serilerinin ısı geçiş katsayıları Tablo 2.6’da verilmektedir.

Tablo 2.6. İki cam arasında %90 argon gazı ve %100 hava bulunan ısıcamların U değerleri (W/m²K)

	İki cam arası boşluk (mm)	C Serisi	S Low-E kaplamalı	K Solar Low-E kaplamalı
%90 Argon	12	2,7	1,3	1,3
	16	2,6	1,1	1,1
%100 Hava	12	2,9	1,6	1,6
	16	2,7	1,4	1,4

2.6.1. Standart ısıcam (C)

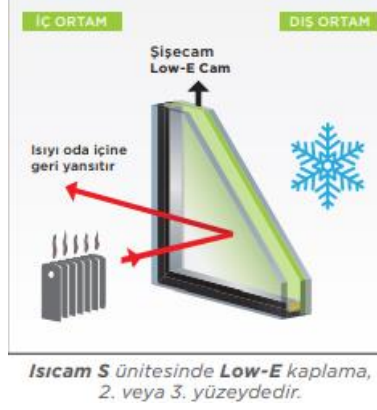
Standart düzeyde yalıtım ve tasarruf sağlayarak içerideki ısının dışarıya kaçmasını önler ve örnek resim Şekil 2.16 de gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Standart ısıcam C serisi

2.6.2. Sinerji ısıcam (S)

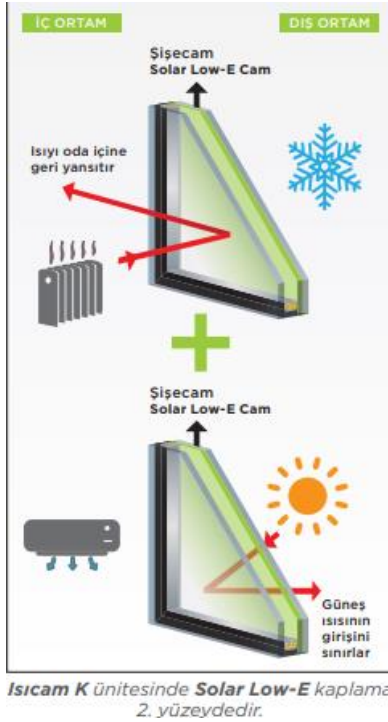
Yüksek nitelikli ısı kontrol kaplamalı Şişecam Low-E Cam'lar ile üretilen Isıcam S, çeşitli avantajları beraberinde getirir. Isıcam S (Şekil 2.17), %50'ye kadar ısı kaybını azaltarak etkin bir ısı yalıtımı sağlar. Bu özelliği sayesinde, yakıt masraflarını önemli ölçüde düşürür ve enerji tasarrufu sağlar. Ayrıca, bu camlar buğulanmayı geciktirirken, iç mekânda doğal gün ışığından ödün vermez.



Şekil 2.17.Sinerji ısıcam serisi

2.6.3. Konfor ısıcam (K)

Şekil 2.18 de bu camlar, %50'ye kadar ısı kaybını azaltarak etkin bir ısı yalıtımı sağlarken aynı zamanda güneş ısı girişi %40 oranında düşürerek güneş kontrolü sunar. Bu özellikleri ile Isıcam K hem enerji tasarrufu sağlar hem de iç mekânın sıcaklık kontrolünü etkili bir şekilde yönetir. Konfor ısıcam kış aylarında yakıt, yaz aylarında ise klima masraflarını düşürerek kullanıcıya ekonomik avantaj sağlar.



Şekil 2.18.Konfor ısıcam serisi

2.7. Isı Kaybı Hesabı

2.7.1. İletimle ısı kaybı

Yapı bileşenlerinden olan artırısız ısı kaybı Denklem (2.1) den hesaplanır.

$$\dot{Q}_o = U \times A \times \Delta T \quad (2.1)$$

Buradaki toplam tarafa ısı geçiş katsayısı Denklem (2.2) den hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h_d} \quad (2.2)$$

Hesabı yapılan yapı kamu binası olduğu için toplam tarafa ısı geçiş katsayısı Tablo 2.7'deki değerler kullanılır.

Tablo 2.7. 2. Bölgeye göre TS2164'ten tavsiye edilen U değerleri

Tablo değerleri	(W/m ² K)
U _{DUVAR}	0,6
U _{KAPI}	2
U _{PENCERE}	2,4
U _{TAVAN}	0,4
U _{DÖŞEME}	0,6

Birleştirilmiş artırım katsayısı, soğuk dış yüzey ısı kaybı artırımı (ZA) kesintili ısıtma rejimi artırımı (ZU) toplamına eşittir. (ZA) artırımı, ısıtılan hacimde soğuk dış yüzeylere ışınlama olan ısı kaybının olumsuz etkilerini karşılamak için kabul edilen bir artırım katsayısıdır. Hacmi çevreleyen dış yüzey oranına bağlıdır.

Kesintili ısıtma rejimi artırımı, ısıtma rejiminin azaltılmasından veya işleyme bir süre ara verilmesinden sonra, soğuyan yapı bileşenlerinin ve ısıtma sisteminin elemanlarının kısa zamanda tekrar eski sıcaklıklarına getirilmesi için göz önüne alınan ısı kapasitesi artırımıdır. Yapı ve ısıtma sistemi ne kadar ağırsa ve ne kadar çok kesintili çalışıyorsa bu artırım o kadar büyük olmalıdır. (ZD) artırımını D birleşik ortalama ısı geçirme katsayısı ve işletme durumunu belirler. Birleştirilmiş artırım katsayısı Tablo 2.8'deki değerlere göre hesaplanır.

Tablo 2.8. Birleştirilmiş artırım katsayısı (Z_D) [Kaynak TS2164]

İşletme durumu	İşletme biçimi	D değeri ($W/m^2 K$)			
		0,11-0,34	0,35-0,80	0,81-1,73	$\geq 1,74$
SÜREKLİ İŞLETME: Konut, hastane vb.	I	7	7	7	7
10 SAAT KESİNTİLİ İŞLETME: Okul, büro, işyeri vb.	II	20	15	15	15
14 SAAT KESİNTİLİ İŞLETME: Cami, spor salonu vb.	III	30	25	20	15

Kuzey yarım kürede bulunan yapıların güneye bakan hacimleri, güneş ışınlamı etkisiyle bir miktar ısınırken, kuzeye bakan hacimleri daha fazla soğur. Bu nedenle bir hacmin iletim ve taşınım ile olan ısı kaybına dış duvarlarının baktığı yöne göre kuzeye bakan cephelerde (ZH) yön artırımı, güneye bakan cephelerde azaltması uygulanırken, doğu ve batıya bakan cephelerde ise bir artım değeri uygulanmaz. Ayrıca iç hacimlerde yön artırımı alınmaz.

ZH yön artırımı seçiminde, yalnız bir dış duvarı olan odalar için dış duvarın baktığı yön; köşe odalar için iki dış duvarın köşegeninin yönü esas alınır. (Penceresi bulunan dış duvarın yönü de esas yön alınabilir). Dış duvarı ikiden fazla olan odalar için en yüksek yön artırımı seçilir. Yön artırım katsayısını Tablo 2.9'daki verilere göre hesaplanır. Birimsizdir.

Tablo 2.9. Yön artırım katsayısı (Z_H) [Kaynak TS2164]

Yön	Artırım miktarı
Güney	-5
Güney batı	-5
Batı	0
Kuzey batı	5
Kuzey	5
Kuzey doğu	5
Doğu	0
Güney doğu	-5

Yapı bileşenlerinin U (W/m^2K) toplam ısı geçiş katsayılarının hesaplanmasında önemli terimlerden biri bina dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayısıdır. Bilindiği gibi hesaplarda ısı taşınım katsayısı değeri $h_d=25 W/m^2K$ olarak alır. Bu değer dış yüzeyde belirli bir dış rüzgâr için geçerlidir. Yapının konumu ne olursa olsun, birkaç kattan daha yukarıdaki katlarda rüzgâr hızı artmaktadır. Bu nedenle, yapının yüksek katlarında dış yüzeydeki ısı taşınım katsayısının değeri $25 W/m^2K$ dan daha büyük olacaktır.

Ayrıca kazan dairesinden çıkan kolonlardaki suyun sıcaklığı, yüksek katlara çıkıncaya kadar kolonlarda ısı yalıtımı yapılmadığı için bir miktar soğuyacaktır. Bu sebeple yapı bileşenlerinden olan $\dot{Q}_o$ ısı kayıplarına kat yükseklik artırımları eklenir. Kat yükseklik artırımları (Z_W) için Tablo 2.10'a göre bakılır.

Tablo 2.10. Kat yükseklik artırımları (Z_W). [Kaynak TS2164]

Bina kat numarası	$Z_W\%$
1., 2., 3.	0
4.	5
5.	10

Her hacim için uygulanması gerekmeyen yüksek kat, kat yüksekliği ve asılan radyatörler için artırımlar, söz konusu edilmezse, yapı bileşenlerinden olan artırımlı ısı kaybı Denklem (2.3) den çözülür.

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_o \times (1 + \%Z_D + \%Z_H) \quad (2.3)$$

2.7.2. Hava sızıntısı ısı kaybı

Çoğu zaman kapatılmış durumda olan pencere ve kapıların açılan kanatları, kasaları ile tam oturmamakta ve arada bir boşluk kalmaktadır. Dış hava ile hacmin iç havası arasındaki basınç farkı nedeniyle bu aralıktan içeriye soğuk olan dış hava sızar. Odaya sızan bu dış hava, aynı miktarda ve sıcak olan iç havanın da dışarıya sızmasına neden olur. Bu durumda, odaya sızan soğuk dış havanın oda sıcaklığına kadar ısıtılması gerekmektedir. Bu soğuk sızıntı havasını ısıtmak için gereken ısı miktarına hava sızıntısı (enfiltasyon) ısı kaybı denir. Hava sızıntısından kaynaklanan ısı kaybı Denklem (2.4) ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_s = \sum(al)_{dış} \times R \times H \times \Delta T \times Z_e \quad (2.4)$$

Sızdırganlık değeri pencerelerin ve kapıların boyutuna ve kalitesine göre Tablo 2.11'den hesaplanır. L ise açılıp kapanan pencere ve kapıların uzunluğudur. Mimari kat planından bulunup hesaplamaaya eklenir.

Tablo 2.11. Kaliteli ve normal boyutlu kapı ve pencereler için m uzunluk başına (m³/h) olarak aralıkların sızdırganlık değerleri [Kaynak TS2164]

Sızdırmazlığı garantilenmiş tek ve çift camlı pencere	Sızdırganlık değeri (a) (m ³ /h)
Ağaç ve plastik çerçeveli pencere	2
Metal çerçeveli pencere	1,2

R katsayısı Tablo 2.12'den veya Denklem (2.5) den bulunur.

Tablo 2.12. Kanat sayıları, aralık boyları normal büyüklükteki kapı ve pencereli odalar için R oda özelliği değerleri [Kaynak TS2164]

Pencere cinsi	İç kapı	A _d /A _i	R oda özelliği
Metal çerçeveli pencere	Sızdırmaz	<2,5	0,9

$$R = \frac{1}{\frac{\sum(al)_{dış}}{\sum(al)_{iç}} + 1} \quad (2.5)$$

Isıtılması istenen yapının durumunu, bölgesini ve yapı biçimini belirten değer Tablo 2.13'ten bulunur. ΔT sıcaklık değişimi odanın iç sıcaklığından dış havanın sıcaklığını çıkarmayla bulunur. Ze köşe artırım katsayısıdır. Her iki dış duvarında kapı veya pencere olan odalar için 1,2, diğer hacimler için 1 alınır. E katsayısı bina yüksekliğine bağlı olarak değişir ve yapı ısı özelliğini etkiler. E katsayısı 10m yüksekliğe kadar 1, 11m ile 15m arasında 1,2, 16m ile 20m arasında 1,4 ve 21m ile 25m arasında 1,5 kadar artırır birimsizdir.

Tablo 2.13. Yapı ısı özelliği H (Wh/m³K) [Kaynak TS2164]

Bölge	Durum	Yapı tipi	Yapı ısı özelliği (H) (Wh/m ³ K)
Rüzgârlı bölge	Korunmuş durum*	Sıra ev*	0,48

*Normal genişlikteki cadde ve sokaklarla ayrılmış ve toplu halde inşa edilmiş, yüksekliği diğerlerine göre fazla olmayan yerdeki binalar

*Birden çok katlı üst üste ya da dilatasyonla ayrılmış birden çok katlı yapılar.

2.8. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı Hesabı

Binalarda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı Denklem (2.6) ile hesaplanır. Bu hesaplama da sadece ısıtma yapılan aylar ve çalışma saatlerinin sıcaklık ortalaması kullanılır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (2.6)$$

Binalarda aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı Denklem (2.7) ile hesaplanır (Yeşildal ve Geliş, 2020) .

$$Q_{ay} = [H \times (T_{i, ay} - T_{d, ay}) - \eta_{ay} \times (\phi_{i, ay} + \phi_{g, ay})] \times t \quad (2.7)$$

Binanın özgül ısı kaybı, binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının toplanmasıyla Eşitlik (2.8)'den bulunur.

$$H = H_i + H_h \quad (2.8)$$

Yapı kabuğundan gerçekleşen ısı kaybı yapı elemanlarının dış yüzeylerinden olan ısı kaybına eşittir. Çatı döşemesi doğrudan dış havayla temas etmiyorsa U_T 'nin önündeki kat sayısı 0,8 olarak

alınır. Binanın dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı Eşitlik (2.9)' dan hesaplanır (Usta, 2009).

$$H_i = U_D \times A_D + U_p \times A_p + U_K \times A_K + U_T \times A_T + 0,5 \times U_t \times A_t \quad (2.9)$$

Binanın havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, Eşitlik (2.10)'dan bulunur. Eşitlik (2.10)'daki 0,33 değeri, havanın yoğunluğu ve havanın özgül ısısının çarpımıyla elde edilir. Havalandırılan hacim (V_h), brüt hacmin 0,8 ile çarpılmasıyla bulunur.

$$H_h = 0,33 \times n_h \times V_h \quad (2.10)$$

İç kazançlar aşağıda verilenleri kapsar.

- İnsanlardan kaynaklanan metabolik ısı kazançları,
- Sıcak su sisteminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Yemek pişirme işleminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Aydınlatma sisteminden kaynaklanan ısı kazançları,
- Binalarda kullanılan muhtelif elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları.

Aylık ortalama iç kazanç, konutlar, okullar ve normal donanımlı binalarda Eşitlik (2.11)'e göre alınır.

$$\phi_{i, ay} \leq 5 \times A_n \quad (2.11)$$

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları pencerelerden alınan doğrudan güneş ışıınımını ifade eder ve Denklem (2.12)'den hesaplanır. Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgeleme faktörünü TMMOB Makine mühendisleri odası Kalorifer Tesisatı kitabından alındı.

$$\phi_{g, ay} = \sum r_{i, ay} \times g_{i, ay} \times I_{i, ay} \times A_i \quad (2.12)$$

Güneş enerjisi geçirme faktörü, Denklem (2.13)'den hesaplanır. Camlar için düzeltme faktörü (F_w) 0,8 olarak alınır.

$$g_{i, ay} = F_w \times g_{\perp} \quad (2.13)$$

İç kazançlar ve güneş enerjisi kazançlarının toplamının, ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması açısından faydalı enerji olarak kabul edilmesi her zaman uygun olmaz. Çünkü ısı kazançlarının yüksek olduğu sürelerde, kazançlar anlık kayıplardan fazla olabilir veya kazançlar ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç ortam sıcaklık kontrol sistemi mükemmel değildir ve yapı elemanlarının bünyesinde bir miktar ısı depolanır. Bu nedenle iç kazançlar ve güneş enerjisi kazançları bir yararlanma faktörü ile azaltılır; bu faktörün büyüklüğü, kazançların ve kayıpların

bağıl büyüklüğüne ve binanın ısı kütlesine bağlıdır. Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü (η_{ay}) Eşitlik (2.14)'den bulunur.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{\left(-\frac{1}{KKO_{ay}}\right)} \quad (2.14)$$

Kazanç/ Kayıp Oranı (KKO_{ay}) Denklem (2.15)'den hesaplanır. KKO_{ay} 2,5 ve üzerinde olduğunda o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir (Yazıcı, 2011).

$$KKO_{ay} = \frac{\phi_{i, ay} + \phi_{g, ay}}{H \times (T_{i, ay} - T_{d, ay})} \quad (2.15)$$

2.9. Yıllık Yakıt Miktarı Hesabı

İşletme maliyeti hesapları için yıllık yakıt sarfiyatı hesabında, dış ortalama sıcaklığın mevsim boyunca değişimi göz önüne alınmalıdır. Bina ısı kaybı iç ve dış sıcaklık farkına bağlıdır. Bu fark değiştikçe yakıt tüketimi de değişir. Yıllık yakıt tüketimini daha hassas olarak dış iklim etkisini göz önüne alan TS825 Binalarda ısı yalıtım kurallarına göre hesaplanabilir. Yıllık yakıt tüketimi Denklem (2.16)' dan bulunur.

$$B_y = \frac{Q_{yıl}}{H_u \times \eta_k} \quad (2.16)$$

2.10. Isı Pompası Hesabı

Isı pompası kompresör gücü Denklem (2.17)'den hesaplanır.

$$\dot{W}_{KOMP} = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \quad (2.17)$$

Binanın pik yükü Eşitlik (2.18)'den bulunur.

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_i + \dot{Q}_s \quad (2.18)$$

COP, bir ısı pompasının birim enerji girişi başına ürettiği ısı miktarını gösteren bir ölçüdür. Isı pompası COP değeri Denklem (2.19)'den hesaplanır.

$$COP_{ISITMA} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{KOMP}} \quad (2.19)$$

2.11. Isıtma Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesaplaması

77 il merkezi için derece-gün değerleri hesaplanırken, temel alınan veriler 1981-1998 yılları arasında en az 14 yıl boyunca ölçülen uzun vadeli sıcaklık değerleridir. Derece-gün değerleri, genellikle belirlenen denge noktası sıcaklığına dayanmaktadır. Bu denge noktası sıcaklığı, bir binanın ısıtma veya soğutmaya ihtiyaç duymadığı durumdaki dış ortam sıcaklığı olarak tanımlanabilir. Bu sıcaklık, bina tipine, ısı özelliklerine ve kullanım şekline bağlı olarak farklılık gösterebilir. Geleneksel olarak, ısıtma derece-gün sayıları 18 °C denge sıcaklığında hesaplanırken, soğutma derece-gün sayıları 22 °C denge noktası sıcaklığında hesaplanmaktadır (Büyükalaca, Bulut, Yılmaz, 2001). Derece gün hesabı Denklem (2.20)'den hesaplanır.

$$DG = \sum_{i=1}^N (T_i - T_o) \quad T_o \leq T_b \quad (2.20)$$

Günlük ortalama sıcaklık gün içindeki ölçülen maksimum ve minimum sıcaklıkların ortalaması alınarak bulunur. Bu günlük ortalama sıcaklık Denklem (2.21)'de gösterilmektedir.

$$T_o = \frac{T_{o,min} + T_{o,max}}{2} \quad (2.21)$$

Optimum yalıtım kalınlığını hesaplayabilmek için ısıtmanın yıllık maliyetini hesaplamak gerekir. Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti Denklem (2.22)'de gösterilmektedir.

$$C_A = \frac{86400 \times DG \times C_f}{\left(R_{t,w} + \frac{x}{k}\right) \times H_u \times \eta_k} \quad (2.22)$$

Optimum yalıtım kalınlığını hesaplarken ömür maliyet analizini kullanarak hesaplama yapılmıştır. Gerçek faiz oranını Denklem (2.23)'den hesaplanır.

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (2.23)$$

Günümüzdeki değer faktörü Denklem (2.24)'den hesaplanır:

$$PV = \frac{(1 + r)^{LT} - 1}{r \times (1 + r)^{LT}} \quad (2.24)$$

Toplam yalıtım maliyeti Eşitlik (2.25)'den bulunur.

$$C_{t,ins} = C_{ins} \times x \quad (2.25)$$

Sonuç olarak ısıtma gideri Denklem (2.26)'dan bulunur.

$$C_t = \frac{86400 \times DG \times C_f \times PV}{\left(R_{t,w} + \frac{x}{k}\right) x H_u x \eta_k} \quad (2.26)$$

Toplam ısıtma maliyeti minimuma indirildiğinde yani Denklem (2.26) x'e göre türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde optimum yalıtım hesabını verir. Optimum yalıtım kalınlığı Denklem (2.27)'den bulunur (Kürekçi ve diğ., 2012)

$$x_{opt} = 293,94 \times \frac{(DG \times C_f \times k \times PV)^{\frac{1}{2}}}{(H_u \times C_{ins} \times \eta_k)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.27)$$



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binası Isı Kayıpları

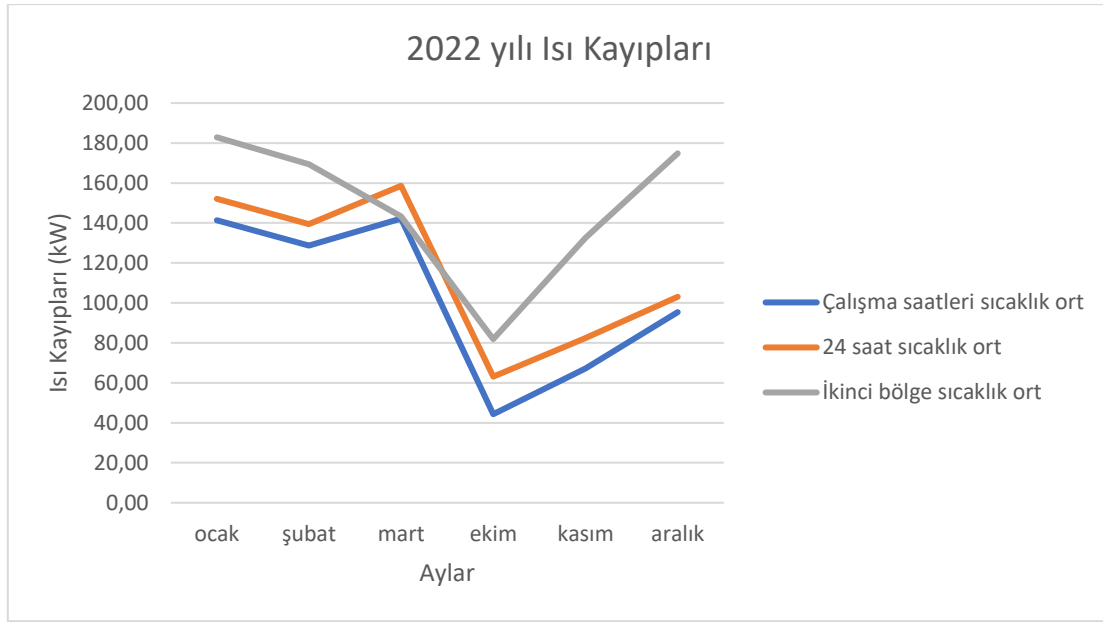
3.1.1. TS825 standartlarına göre aylık ısı kayıpları

TS825 standardına göre, Yalova bölgesinde yerleşik bir bina da tavsiye edilen U değerleri Tablo 2.7 de verilmektedir. TS 825 2.Bölge aylara göre ortalama dış sıcaklıklar Tablo 3.1 de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. 2. Bölge için belirlenen aylara göre dış sıcaklık verileri [Kaynak TS2164]

Aylar	Dış sıcaklık (°C)
Ocak	2,9
Şubat	4,4
Mart	7,3
Ekim	14,1
Kasım	8,5
Aralık	3,8

Tablo 2.7 de verilen U değerleriyle Yalova Meteoroloji İl Müdürlüğünden alınan dış sıcaklık verilerine, çalışma saatlerindeki sıcaklık ortalaması ve son olarak Tablo 3.1'deki sıcaklık ortalamasına göre hesaplanan ısı kayıpları Şekil 3.1 de bulunmaktadır. Çalışma saatlerindeki sıcaklık ortalamaları, ocak, şubat, mart, ekim, kasım ve aralık aylarında sırasıyla 7,52°C, 8,90°C, 7,43°C, 18,31°C, 15,76°C ve 12,6°C olarak ölçülmüştür. 24 saatlik sıcaklık ortalamaları ise aynı aylarda sırasıyla 6,32°C, 7,73°C, 5,6°C, 16,21°C, 14,05°C ve 11,75°C olarak belirlenmiştir (T.C. Meteoroloji Müdürlüğü). Bu sıcaklık verileri Şekil 3.1 de kullanılmaktadır.

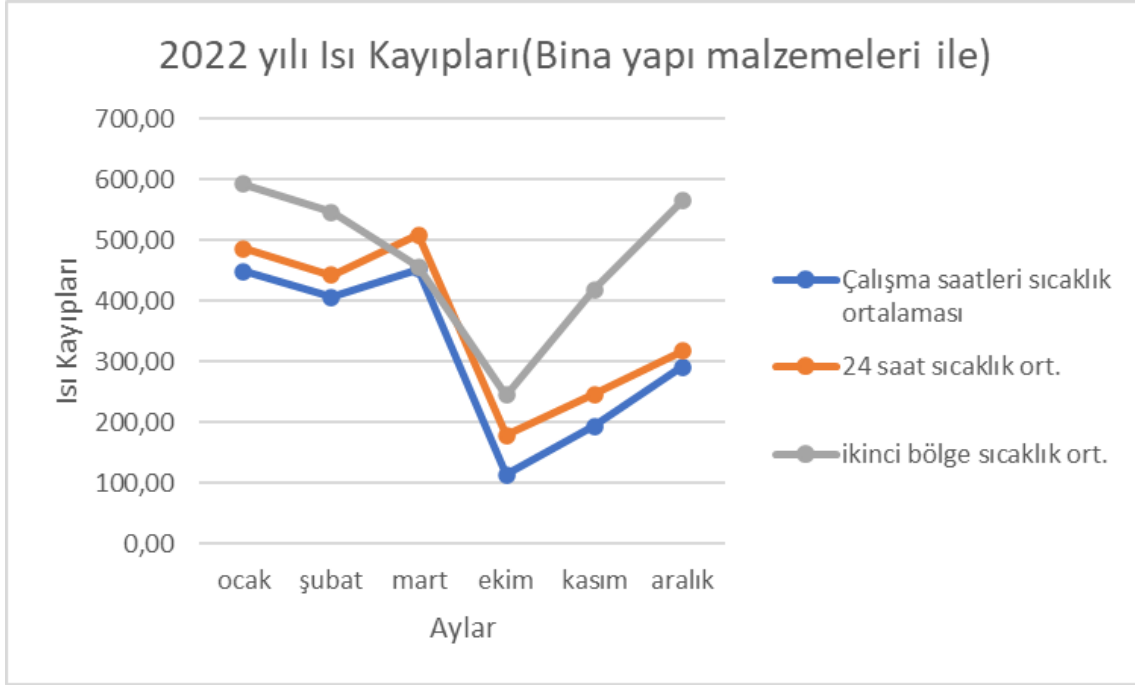


Şekil 3.1. İkinci bölge için tavsiye edilen U değerleri kullanarak hesaplanan ısı kayıpları

Şekil 3.1 her ay için ayrı ayrı incelenildiğinde çalışma saatlerindeki dış sıcaklık verileri kullanıldığı zaman oluşan ısı kayıplarının daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi çalışma saatlerindeki dış sıcaklık ile binada istenilen iç sıcaklığın birbirine yakın değerler olmasıdır. 2022 yılı aylık sıcaklık ortalamalarıyla hesaplanan (kırmızı ve mavi çizgi) ısı kayıpları arasında da çok fazla fark bulunmamaktadır. Çalışma saatlerindeki dış sıcaklık ortalaması verileri, 24 saatlik sıcaklık ortalaması verileri ve Ts825 de ikinci bölgede tavsiye edilen dış sıcaklık ortalaması verileri ile hesaplanan ısı kayıplarında en düşük ısı kaybının ekim ayında olduğu, çalışma saatlerindeki dış sıcaklık ortalaması verileri ve 24 saatlik sıcaklık ortalaması verileri ile hesaplanan ısı kayıplarının en yüksek ısı kaybının mart ayında olduğu son olarak ise Ts825 de ikinci bölgede tavsiye edilen dış sıcaklık ortalaması ile hesaplanan ısı kayıplarında en yüksek ocak ayında olduğu tespit edilmiştir. En düşük ısı kaybı (mavi çizgi) 44,31 kW, (turuncu çizgi) 63,10 kW ve (gri çizgi) 81,87 kW olarak ölçülmüştür. En yüksek ısı kaybı ısı kaybı (mavi çizgi) 143,35 kW, (turuncu çizgi) 158,60 kW ve (gri çizgi) 182,87 kW olarak ölçülmüştür.

Bina (mevcut) yalıtımıyla hesaplanan binanın ısı kayıpları Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Bina yalıtımıyla (U değerleri ile) hesaplanan ısı kayıpları çalışma saatlerinde (mavi çizgi) 450kW ile 114kW arasında değiştiği, 24 saat sıcaklık ortalaması olarak hesaplanan ısı kaybının (kırmızı çizgi) yaklaşık 500 kW ile 200 kW arasında değiştiği ve son olarak standartta verilen sıcaklık

değerleri ile hesaplanan ısı kaybının da yaklaşık 600 kW ile 250 kW arasında değiştiği tespit edilmiştir.

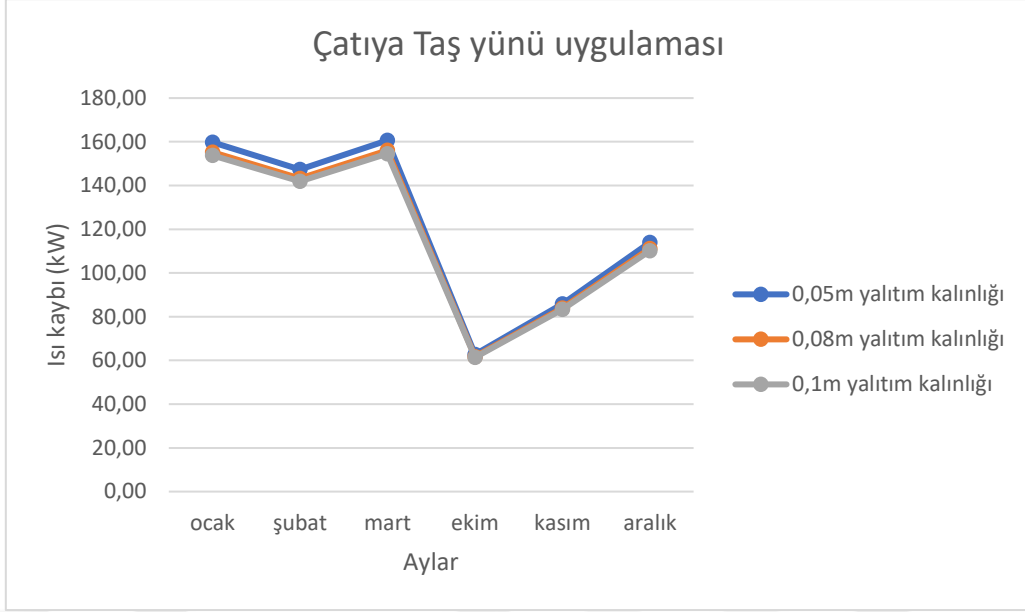


Şekil 3.2. Bina yalıtımıyla hesaplanan ısı kayıpları (kW)

3.1.2. Çatı yalıtımı

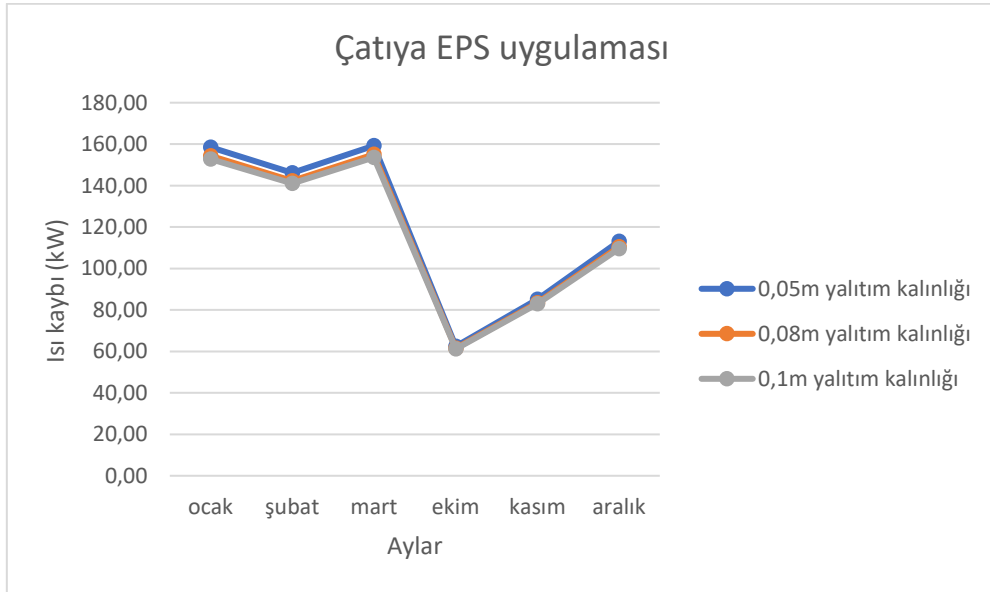
Çatıya uygulanan ısı yalıtımının, iş saatlerindeki dış sıcaklık ortalamasıyla hesaplanmış olan ısı kayıplarını içeren grafikler aşağıda sunulmuştur. Şekil 3.3 de çatıya taş yünü ısı yalıtım malzemesinin üç farklı yalıtım kalınlığı uygulanması sonucundaki ısı kaybı değerleri gösterilmektedir.

Grafik incelendiğinde yalıtım kalınlığının artırılmasının ısı kaybını azalttığı görülmektedir. 2022 yılındaki sıcaklık verilerine de bakarak çatıya taş yünü yalıtımı uygulandığında en düşük ısı kaybı ekim ayında 0,1 m yalıtım kalınlığında 61,39 kW ve en yüksek ısı kaybı mart ayında 0,05m yalıtım kalınlığında 160,64 kW olarak bulunmuştur.



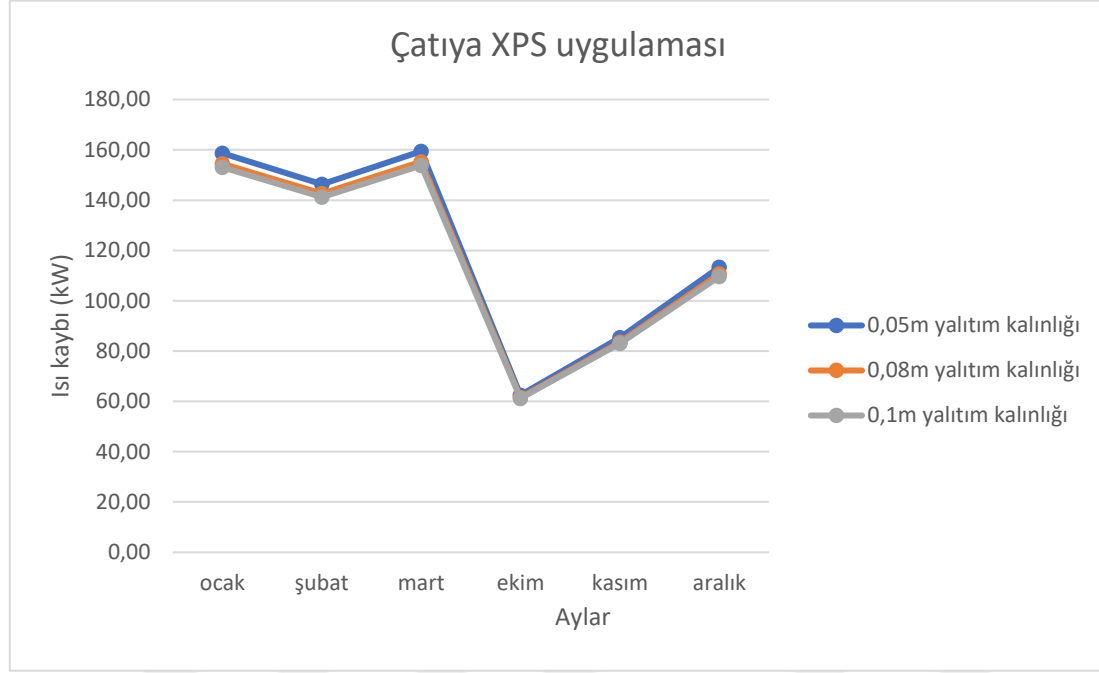
Şekil 3.3.Mühendislik Fakültesinin çatısına taş yünü yalıtım malzemesini farklı kalınlıktaki uygulaması sonucunda oluşabilecek aylık ısı kayıpları

Şekil 3.4 de çatıya karbonlu EPS yalıtım malzemesinin farklı kalınlıklarda uygulanması durumundaki ısı kayıpları bulunmuştur. Burada da yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kaybı azaldığı görülüyor. En düşük ısı kaybı ekim ayında ve en yüksek ısı kaybı ocak ve mart aylarında görülmektedir.



Şekil 3.4.Mühendislik Fakültesinin çatısına karbonlu EPS yalıtım malzemesini farklı kalınlıktaki uygulaması sonucunda oluşabilecek aylık ısı kayıpları

Şekil 3.5 de çatıya XPS yalıtım malzemesinin farklı kalınlıklarda uygulanması durumundaki ısı kayıpları hesaplanmıştır.



Şekil 3.5.Mühendislik Fakültesinin çatısına XPS yalıtım malzemesini farklı kalınlıktaki uygulaması sonucunda oluşabilecek aylık ısı kayıpları

Grafiklerin incelenmesi sonucunda Tablo 3.2'deki değerler elde edilmiştir. Tablo 3.2' ye göre her malzemenin farklı kalınlıkları için ısı kayıpları farklı olduğu ve yalıtım kalınlığının artmasıyla ısı kayıplarının azaldığı görülmektedir. Örneğin, taş yünü, karbonlu EPS ve XPS için 0,05 m kalınlıkta ısı kayıpları daha yüksektir ve 0,1 m kalınlıkta ise daha düşüktür.

Karşılaştırma yapmak için farklı malzemelerin aynı kalınlıkları için ısı kayıpları incelenebilir. Ayrıca taş yünü, karbonlu EPS ve XPS için 0,1 m kalınlıkta taş yününün en düşük ısı kaybına sahip olduğu görülmektedir.

Aylara göre ısı kayıpları farklılık göstermektedir. Genellikle soğuk aylarda (ocak, şubat, mart, aralık) ısı kayıpları daha yüksektir, bu da yalıtımın önemini vurgulamaktadır.

Her malzeme için aylara göre ısı kayıplarında benzer bir sonuç bulunmuştur. Örneğin, ocak ve aralık aylarında ısı kayıpları genellikle diğer aylara göre daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 3.2’den daha kalın yalıtım malzemelerinin daha fazla enerji tasarrufu sağlayabileceği ve daha düşük ısı kayıplarına neden olabileceği anlaşılmaktadır.

Tablo 3.2. Çatı yalıtımı sonucunda oluşan ısı kayıpları (kW)

	Yalıtım kalınlığı (m)	Ocak	Şubat	Mart	Ekim	Kasım	Aralık
Taş yünü	0,05	159,8	147,4	160,6	62,7	85,8	114,0
	0,08	155,3	143,3	156,1	61,7	83,9	111,2
	0,1	153,8	141,9	154,6	61,4	83,3	110,2
Karbonlu EPS	0,05	158,4	146,1	159,2	62,4	85,2	113,1
	0,08	154,3	142,4	155,1	61,5	83,5	110,5
	0,1	152,8	141,1	153,6	61,2	82,9	109,6
XPS	0,05	158,7	146,3	159,5	62,5	85,3	113,3
	0,08	154,5	142,6	155,3	61,6	83,6	110,7
	0,1	153,0	141,2	153,8	61,2	83,0	109,7

3.2. Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

3.2.1. Çatı yalıtımının yıllık ısıtma enerjisine etkisi

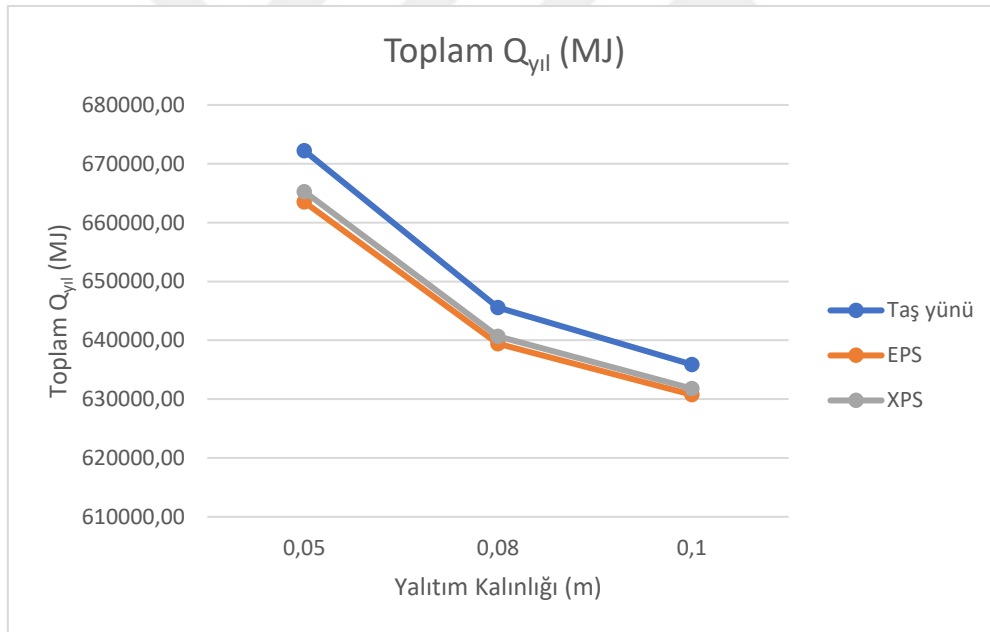
Binada yalıtım malzemesi olarak sadece dış duvarlarda 10 cm kalınlığında taş yünü kullanılmaktadır. Binanın bu durumdaki yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 1.068.142,53 MJ olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda ts825 standartlarına göre ikinci bölgede yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı yüksek olduğu görülmektedir.

Önerilen iyileştirme yöntemi ise çatıya ve dış duvarlara ayrı ayrı olmak üzere taş yünü, EPS ve XPS gibi yalıtım malzemelerinin kullanılmasıdır. Bu yeni konfigürasyonun sonucunda oluşacak yıllık ısıtma enerji ihtiyacı Şekil 3.6 da verilmektedir. Genel olarak, yangına dayanıklı olduğu için yalıtım malzemesi taş yünü tercih edilmektedir. Ancak, Tablo 3.3’e göre EPS’nin yıllık ısıtma enerji ihtiyacının daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 3.6’ya bakıldığında taş yünü yalıtım malzemesinin karbonlu EPS’ye göre %1,31, XPS’e göre %1,05 oranında yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının yüksek olduğu görülmektedir.

Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları ne kadar düşük olursa, malzemenin ısı yalıtım performansı o kadar iyidir. Tablo 3.3'te taş yünü, karbonlu EPS ve XPS için farklı kalınlıklarda ısı iletim katsayıları verilmiştir. Karbonlu EPS, ısı iletim katsayısı bakımından en düşük değere sahipken, taş yünü ve XPS daha yüksek ısı iletim katsayılarına sahip olduğu gösterilmektedir.

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q_{YIL}), bir binanın yıllık olarak ısıtma için gereken enerji miktarını temsil eder. Bu değer, yalıtım malzemesinin kalınlığına ve ısı iletim katsayısına bağlıdır. Daha düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemeler daha az enerji ihtiyacı gerektirir.

Tablodaki verilere göre, aynı kalınlıkta karşılaştırıldığında, karbonlu EPS genellikle diğer malzemelere göre daha düşük yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına sahiptir. Örneğin, 0,05 m kalınlığında, karbonlu EPS'nin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı taş yününden ve XPS'ten daha düşük olduğu bulunmaktadır. Yalıtım kalınlığı arttıkça, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı genellikle azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.6. Çatıya yalıtım uygulanması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (MJ)

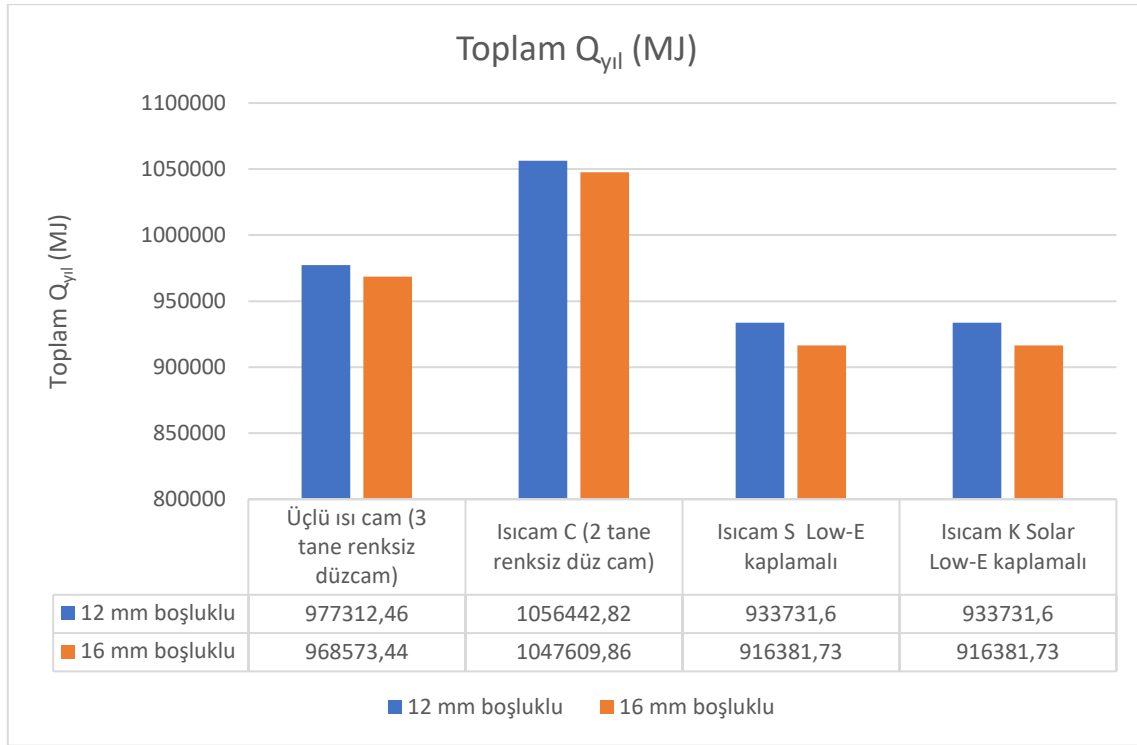
Tablo 3.3. Çatıya yalıtım uygulanması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Yalıtım malzemeleri	Isı iletim katsayısı	Toplam Q _{YIL} (MJ)
<i>Yalıtım kalınlığı: 0,05(m)</i>		
Taş yünü	0,64	672251,26
Karbonlu EPS	0,57	663515,74
XPS	0,59	665293,11
<i>Yalıtım kalınlığı: 0,08(m)</i>		
Taş yünü	0,43	645584,56
Karbonlu EPS	0,38	639421,89
XPS	0,39	640668,51
<i>Yalıtım kalınlığı: 0,1(m)</i>		
Taş yünü	0,35	635893,02
Karbonlu EPS	0,31	630751,69
XPS	0,32	631789,54

*Dış duvarda 10cm taş yünü kullanılıyor çatıya yalıtım ekleme halindeki sonuçlar.

3.2.2. Yalıtım camının yıllık ısıtma enerjisine etkisi

Üç farklı Isıcam tipi incelenmektedir: Isıcam C (düz cam), Isıcam S Low-E kaplamalı (Sinerji cam) ve Isıcam K Solar Low-E kaplamalı (Konfor cam). Bu camlar arasında hava veya argon gazı kullanılmaktadır. Tablo 3.4' de belirtildiği gibi, argon gazı kullanıldığında yalıtım daha etkilidir. Ayrıca, Isıcam S ve K'nın yıllık yakıt tüketimi aynıdır, ancak fiyatları farklıdır. Isıcam K serisi daha pahalıdır çünkü camların üzerindeki malzeme sadece kışın değil, aynı zamanda yazın da yalıtım sağlar. Bu, kışın ısıyı içeride tutarken yazın güneş ısını içeri almamasını sağlar ve hem yaz hem de kış aylarında tasarruf sağlar.



Şekil 3.7. Projedeki pencerelerin yerine ısıcamların takılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (MJ)

Isıcamların arasında iki türde mesafe ve gaz bulunmaktadır. Şekil 3.7’de bu kombinasyonların yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları görülmektedir. Üçlü ısıcam grubunun 12mm boşluklu kombinasyonunda toplam $Q_{yıl}$ 977312,46 MJ ve 16mm boşluklu kombinasyonunda 968573,44 MJ ve aralarındaki fark 8739,02 MJ olarak bulunmuştur. Standart ısıcam (C) 12mm boşluklu kombinasyonunda toplam $Q_{yıl}$ 1056442,82 MJ ve 16mm boşluklu kombinasyonunda 1047609,86 MJ ve aralarındaki fark 8832,96 MJ olarak hesaplanmıştır. Sinerji ısıcamın 12mm boşluklu kombinasyonunda toplam $Q_{yıl}$ 933731,6 MJ ve 16mm boşluklu kombinasyonunda 916381,73 MJ ve aralarında 17349,87MJ fark hesaplanmıştır. Konfor ısıcamın 12mm boşluklu kombinasyonunda toplam $Q_{yıl}$ 933731,6 MJ ve 16mm boşluklu kombinasyonunda 916381,73 MJ ve aralarında 17349,87MJ fark hesaplanmıştır. Isıcam türlerine bakarak ısıcamlar arasında 16mm boşluk olması ısıtma enerjisi ihtiyacının düşük olmasını sağladığı görülmektedir. En yüksek ısıtma enerjisi ihtiyacı Isıcam C sonrasında üçlü ısıcam grubu ve son olarak eşit miktarda sinerji ısıcam ve konfor ısıcam olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.7 de ısıcamların arasında argon gazı olması durumundaki hesaplamalar yapılmıştır.

Isıcamlar arasında hava olması durumundaki yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı Tablo 3.4 de ayrıntılı olarak verilmektedir. Tabloya bakılarak standart ısıcamlar arasındaki boşluk 12mm ve içinde

argon gazı olduğunda $Q_{yıl}$ 1.056.442,82 MJ ama boşluk mesafesi aynı içindeki gaz hava olduğunda oluşan $Q_{yıl}$ 1.074.137,63 MJ olarak değişmekte yani 17.694,81 MJ olarak artmaktadır. Standart ısıcamlar arasındaki boşluk 16mm ve içinde argon gazı olduğunda $Q_{yıl}$ 1.047.609,86 MJ ama boşluk mesafesi aynı içindeki gaz hava olduğunda oluşan $Q_{yıl}$ 1.056.442,82 MJ olarak değişmekte yani 8832,96 MJ olarak artmaktadır.

Sinerji ve konfor ısıcamlar arasındaki boşluk 12mm ve içinde argon gazı olduğunda $Q_{yıl}$ 933.731,60 MJ ama boşluk mesafesi aynı içindeki gaz hava olduğunda oluşan $Q_{yıl}$ 959.845,67 MJ olarak değişmekte yani 26114,07 MJ olarak artmaktadır. Standart ısıcamlar arasındaki boşluk 16mm ve içinde argon gazı olduğunda $Q_{yıl}$ 916.381,73 MJ ama boşluk mesafesi aynı içindeki gaz hava olduğunda oluşan $Q_{yıl}$ 942.424,57 MJ olarak değişmekte yani 26042,84 MJ olarak artmaktadır.

İncelemeler ilk olarak camların arasındaki boşluğun artmasının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını azalttığını göstermektedir. Daha sonrasında camlar arasında kullanılan gazında önemli olduğunu hava yerine argon kullanılmasının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını düşürdüğünü görülmektedir. Ayrıca sinerji ısıcam ve konfor ısıcamın yıllık ısıtma enerji ihtiyaçları aynı olduğunu tespit etmekteyiz.

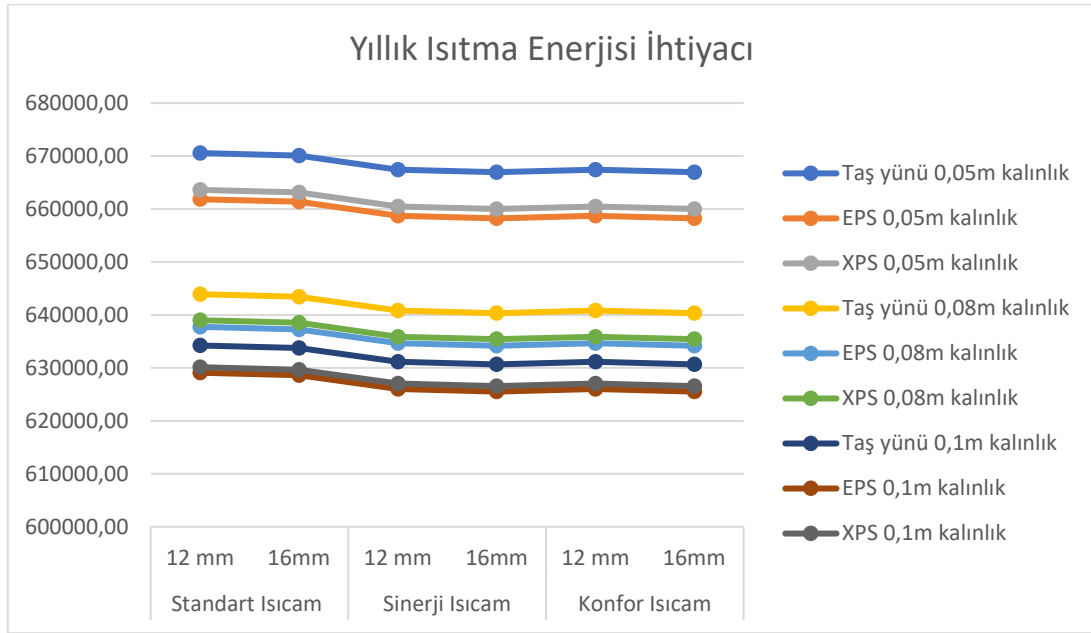
Tablo 3.4. Binaya ısıcamların takılması durumunda yıllık yakıt tüketimi ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı

Yalıtım malzemeleri	Isıcam C	Isıcam S	Isıcam K
	<i>İki cam arası boşluk :12(mm) ve iki cam arası boşluk %90 argon gazı olduğunda</i>		
Toplam Q _{YIL} (MJ)	1.056.442,82	933.731,60	933.731,60
B _Y (m3/yıl)	27.265,02	24.098,05	24.098,05
	<i>İki cam arası boşluk :12(mm) ve iki cam arası boşluk %100 hava olduğunda</i>		
Toplam Q _{YIL} (MJ)	1.074.137,63	959.845,67	959.845,67
B _Y (m3/yıl)	27.721,69	24.772,01	24.772,01
	<i>İki cam arası boşluk :16(mm) ve iki cam arası boşluk %90 argon gazı olduğunda</i>		
Toplam Q _{YIL} (MJ)	1.047.609,86	916.381,73	916.381,73
B _Y (m3/yıl)	27.037,05	23.650,28	23.650,28
	<i>İki cam arası boşluk :16(mm) ve iki cam arası boşluk %100 hava olduğunda</i>		
Toplam Q _{YIL} (MJ)	1.056.442,82	942.424,57	942.424,57
B _Y (m3/yıl)	27.265,02	24.322,40	24.322,40

*Binada kullanılan camların tamamen değiştirilmesi halindeki sonuçlar.

3.2.3. Çatı ve pencere yalıtımının yıllık ısıtma enerjisine etkisi

Şekil 3.8, projedeki camların ısıcamlar (12mm veya 16mm boşluk ve arası %100 hava) ile değiştirilmesi ve çatıya yalıtım uygulanması sonucunda ortaya çıkan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını göstermektedir. Bu bağlamda, yalıtım malzemelerinin üç farklı kalınlıkta ve üç farklı ısıcamla uygulanmasıyla elde edilen çeşitli senaryolar altında gereken yıllık ısıtma enerjisi değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.8.Projeye ısıcam takılması (ısıcamlar arası boşluk %100 hava) ve çatıya farklı kalınlıklarda yalıtım yapılması sonucunda $Q_{yıl}$ (MJ)

Şekil 3.9'daki veriler Tablo 3.5'te ayrıntılı bir şekilde verilmektedir. Tablonun ilk bölümü, 0,05 m kalınlığındaki taş yünü, EPS ve XPS uygulamalarının çatıya etkilerini göstermektedir. Bu durumda, standart, sinerji ve konfor ısıcam kullanıldığında belirli bir kalınlıkta taş yünü uygulamasının, diğer yalıtım malzemelerine kıyasla daha düşük yıllık ısıtma ihtiyaçlarına yol açtığı görülmektedir.

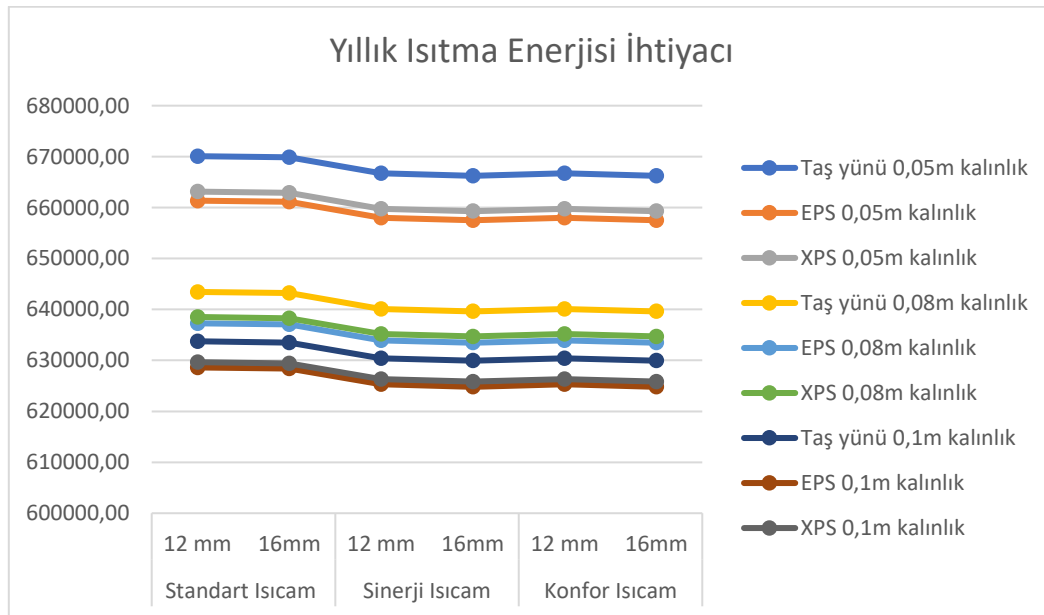
0,08 m kalınlığındaki yalıtım uygulamalarında ise benzer bir eğilim gözlemlenmektedir. Taş yünü, EPS ve XPS'in standart ısıcam ile kullanılması, yıllık ısıtma ihtiyacını azaltmada belirgin bir etki sağlamaktadır. Ancak, bu kez yalıtım kalınlığı arttıkça farklılıklar biraz azalmaktadır.

Son olarak, 0,1 m kalınlığındaki yalıtım uygulamalarında da benzer bir eğilim gözlemlenmektedir. Yalıtım malzemeleri ve kalınlıkları arttıkça, standart ısıcam kullanıldığında yıllık ısıtma ihtiyacının düştüğü görülmektedir.

Tablo 3.5. Çatı ve pencere(%100 hava) yalıtımının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına etkisi

	Yalıtım kalınlığı (m)	Standart Isıcam (12 mm)	Standart Isıcam (16 mm)	Sinerji Isıcam (12 mm)	Sinerji Isıcam (16 mm)	Konfor Isıcam (12 mm)	Konfor Isıcam (16 mm)
Taş yünü		670564,4	670082,6	667433,8	666952,4	667433,8	666952,4
Karbonlu EPS	0,05	661833,2	661352,6	658710,6	658230,5	658710,6	658230,5
XPS		663609,6	663128,8	660485,4	660005,0	660485,4	660005,0
Taş yünü		643911,1	643433,1	640805,5	640328,0	640805,5	640328,0
Karbonlu EPS	0,08	637751,6	637274,6	634652,1	634175,5	634652,1	634175,5
XPS		638997,6	638520,4	635896,8	635420,1	635896,8	635420,1
Taş yünü		634224,6	633748,1	631128,6	630652,5	631128,6	630652,5
Karbonlu EPS	0,1	629086,0	628610,3	625995,1	625519,8	625995,1	625519,8
XPS		630123,3	629647,4	627031,3	626555,9	627031,3	626555,9

Şekil 3.9 da çatıya yalıtım uygulanması (taş yünü, karbonlu EPS ve XPS) ve pencerelerin ısıcamlarla (12mm veya 16mm boşluk ve arası %90 argon) değiştirilmesi durumundaki yıllık ısıtma ihtiyaçları verilmektedir.



Şekil 3.9. Projeye ısıcam takılması (ısıcamlar arası boşluk %90 argon) ve çatıya farklı kalınlıklarda yalıtım yapılması sonucunda Q_{yıl} (MJ)

Şekil 3.9’da elde edilen değerler Tablo 3.6’da gösterilmektedir. Bu tablodaki eğilimler Tablo 3.5’teki eğilimlerle doğru orantılı ilerlemektedir. İki tabloda incelendiğinde Tablo 3.6’daki yıllık ısıtma ihtiyacının Tablo 3.5’teki değerlere göre daha az olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 3.6. Çatı ve pencere(%90 argon) yalıtımının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına etkisi

	Yalıtım kalınlığı (m)	Standart Isıcam (12 mm)	Standart Isıcam (16 mm)	Sinerji Isıcam (12 mm)	Sinerji Isıcam (16 mm)	Konfor Isıcam (12 mm)	Konfor Isıcam (16 mm)
Taş yünü		670082,6	669841,7	666711,7	666230,5	666711,7	666230,5
Karbonlu EPS	0,05	661352,6	661112,3	657990,4	657510,4	657990,4	657510,4
XPS		663128,8	662888,4	659764,9	659284,6	659764,9	659284,6
Taş yünü		643433,1	643194,2	640089,3	639611,9	640089,3	639611,9
Karbonlu EPS	0,08	637274,6	637036,1	633937,2	633460,8	633937,2	633460,8
XPS		638520,4	638281,8	635181,7	634705,0	635181,7	634705,0
Taş yünü		633748,1	633509,9	630414,5	629938,6	630414,5	629938,6
Karbonlu EPS	0,1	628610,3	628372,5	625282,2	624807,1	625282,2	624807,1
XPS		629647,4	629409,5	626318,2	625842,9	626318,2	625842,9

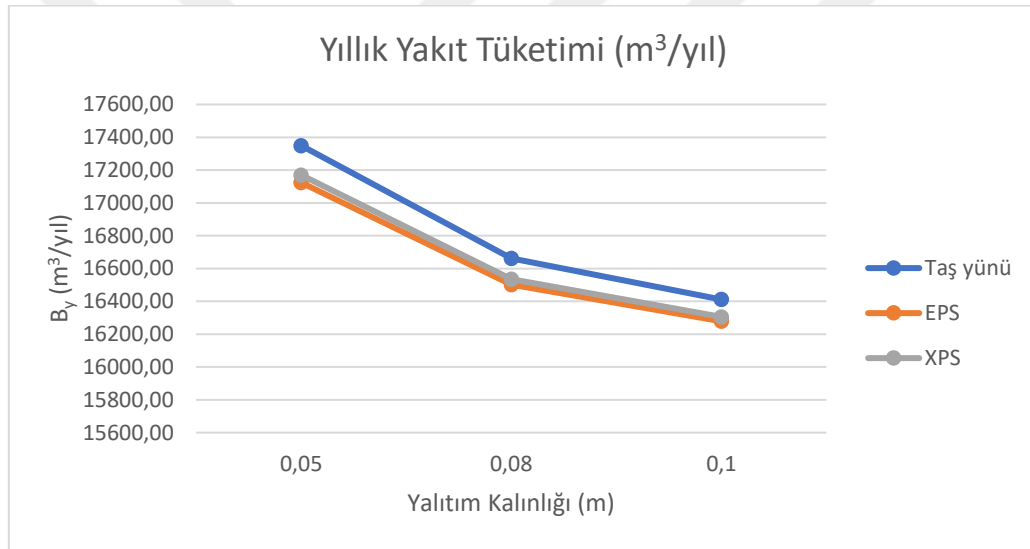
3.3 Yıllık Yakıt Miktarı

3.3.1. Yıllık yakıt tüketimi: çatı yalıtımının etkisi

Binanın mevcut durumunda yıllık tüketilen yakıt miktarı 27566,97 m³/yıl olarak belirlenmiştir. Sadece dış duvarlarda yalıtım olmasına karşın çatının yalıtımsız olması, yıllık yakıt tüketiminin yüksek olmasına yol açmaktadır. Çatıya yalıtım uygulanması durumundaki yıllık yakıt miktarları Şekil 3.10 da gösterilmektedir. Çatıya 0,05m kalınlığında; taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığında binanın yıllık yakıt tüketimi 17.349,68 m³ , XPS yalıtım malzemesi uygulandığında 17.170,10 m³ ve karbonlu EPS uygulandığında 17.124,23 m³ olarak hesaplanmaktadır. Taş yünü yerine 0,05 m kalınlığında XPS kullanılsaydı yıllık yakıt tüketimi 179,58 m³ daha az veya XPS yerine karbonlu EPS kullanılması durumunda ise 45,87 m³ daha da az yakıt tüketilecektir.

Çatıya 0,08m kalınlığında; taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığında binanın yıllık yakıt tüketimi 16.661,45 m³, XPS yalıtım malzemesi uygulandığında 16.534,58 m³ ve karbonlu EPS uygulandığında 16.502,41 m³ olarak hesaplanmaktadır. Taş yünü yerine 0,08 m kalınlığında XPS kullanılması durumunda yıllık yakıt tüketimi 126,87 m³ daha az veya XPS yerine karbonlu EPS kullanılması durumunda ise 32,17 m³ daha da az yakıt tüketilecektir.

Çatıya 0,1m kalınlığında; taş yünü yalıtım malzemesi uygulandığında binanın yıllık yakıt tüketimi 16.411,33 m³, XPS yalıtım malzemesi uygulandığında 16.305,43 m³ ve karbonlu EPS uygulandığında 16.278,64 m³ olarak hesaplanmaktadır. Taş yünü yerine 0,1 m kalınlığında XPS kullanılsaydı yıllık yakıt tüketimi 105,9 m³ daha az veya XPS yerine karbonlu EPS kullanılması durumunda ise 26,79 m³ daha da az yakıt tüketilecektir.



Şekil 3.10. Çatıya yalıtım uygulanması durumundaki yıllık yakıt tüketimi (m³/yıl)

Tablo 3.7 de yıllık yakıt tüketimleri ve yalıtım malzemelerinin çatıya uygulanması durumundaki ısı iletim katsayıları verilmektedir.

Tablo 3.7. Çatıya yalıtım uygulanması durumunda yıllık yakıt tüketimi (m³/yıl)

Yalıtım malzemeleri	Isı iletim katsayısı	B _y (m ³ /yıl)
<i>Yalıtım kalınlığı: 0,05(m)</i>		
Taş yünü	0,64	17349,68
Karbonlu EPS	0,57	17124,23
XPS	0,59	17170,1
<i>Yalıtım kalınlığı: 0,08(m)</i>		
Taş yünü	0,43	16661,45
Karbonlu EPS	0,38	16502,41
XPS	0,39	16534,58
<i>Yalıtım kalınlığı: 0,1(m)</i>		
Taş yünü	0,35	16411,33
Karbonlu EPS	0,31	16278,64
XPS	0,32	16305,43

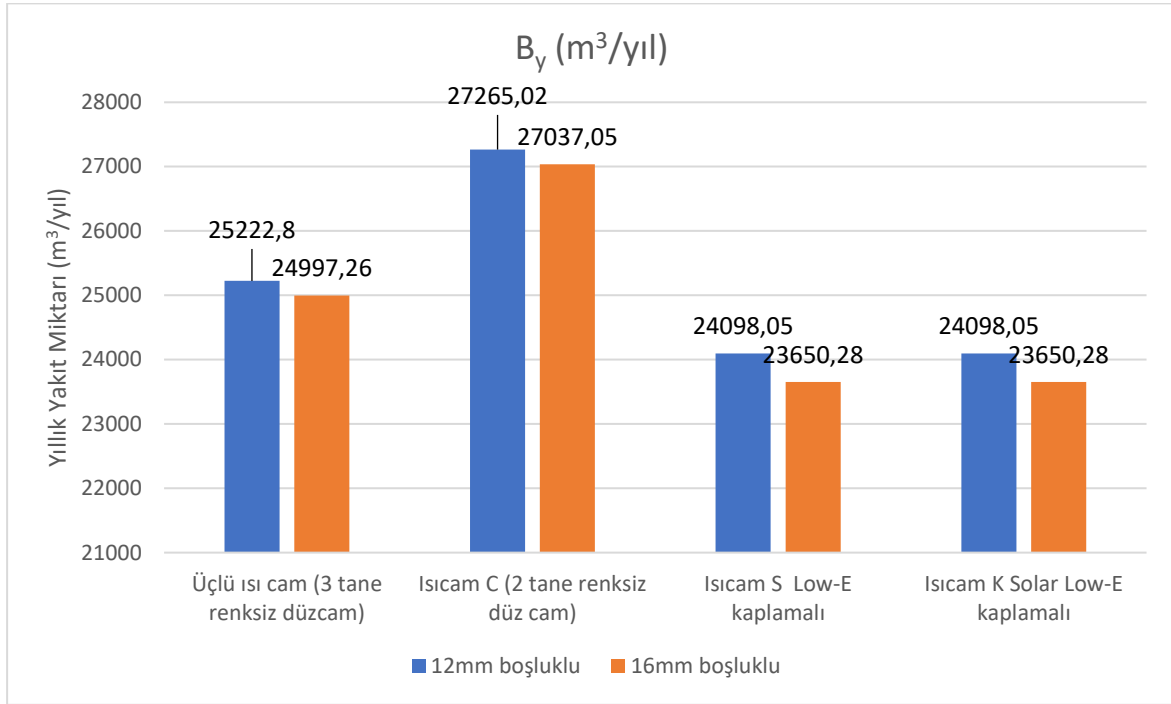
*Dış duvarda 10cm taş yünü kullanılıyor çatıya yalıtım ekleme halindeki sonuçlar.

3.3.2. Yıllık yakıt tüketimi: ısıcam değişimi etkisi

Şekil 3.11 de ısıcamların arasında 12mm ve 16mm boşluklu içinde de argon gazı olduğu kombinasyonlar için yıllık yakıt miktarı hesaplanmıştır.

Standart ısıcamların arasında 12mm boşluk ve argon gazı olduğunda yıllık tüketilen yakıt miktarı 27.265,02 m³ , üçlü ısıcamların arasında 12mm boşluk ve argon gazı olduğunda yıllık tüketilen yakıt miktarı 25.222,8 m³,sinerji ısıcam ve konfor ısıcamların 12mm boşluk ve argon gazı olduğunda yıllık tüketilen yakıt miktarı 24.098,05 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler incelendiğinde yıllık tüketilen yakıt miktarı en fazla ısıcam C, üçlü ısıcam ve son olarak aynı miktarda sinerji ısıcam ve konfor ısıcam olarak tespit edilmiştir.

Standart ısıcamların arasında 16mm boşluk ve argon gazı olduğunda yıllık tüketilen yakıt miktarı 27.037,05 m³ , üçlü ısıcamların arasında 16mm boşluk ve argon gazı olduğunda yıllık tüketilen yakıt miktarı 24.997,26 m³,sinerji ısıcam ve konfor ısıcamların 16mm boşluk ve argon gazı olduğunda yıllık tüketilen yakıt miktarı 23650,28 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu kombinasyondaki değerlere bakarak yıllık tüketilen yakıt miktarı en fazla ısıcam C, üçlü ısıcam ve son olarak aynı miktarda sinerji ısıcam ve konfor ısıcam olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.11. Projedeki pencerelerin yerine ısıcamların takılması durumunda yıllık yakıt miktarı (m³/yıl)

Tablo 3.5 de ısıcamların arasındaki boşlukların hava ile dolu olması durumundaki yıllık tüketilen yakıt miktarları gösterilmektedir.

Standart ısıcamlar arası boşluk 12mm ve hava olduğunda yıllık yakıt tüketimi 27.721,69 m³ olarak sinerji ve konfor ısıcam da ısıcamlar arası boşluk 12mm ve hava olduğunda 24.772,01 m³ olarak bulunmuştur.

Standart ısıcamlar arası boşluk 16mm ve hava olduğunda yıllık yakıt tüketimi 27.265,02 m³ olarak sinerji ve konfor ısıcam da ısıcamlar arası boşluk 16mm ve hava olduğunda 24.322,40 m³ olarak hesaplanmıştır.

Isıcamların 12mm boşluk ve arasında hava olduğunda yıllık yakıt tüketimi en az konfor ve sinerji ısıcam daha sonra da standart ısıcamda görülmektedir. Isıcamların 16 mm boşluk ve arasında hava olduğunda yıllık yakıt tüketimi aynı şekilde konfor ve sinerji ısıcam en düşük daha sonrasında standart ısıcamda görülmektedir.

Isıcamların arasındaki boşluğun 12mm veya 16 mm arasında ve argon gazı olması kombinasyonu ile yıllık tüketilen yakıt miktarları kıyaslandığında aralarındaki boşluğu artırmanın yıllık tüketilen yakıt miktarında etkili olduğu tespit edilmiştir.

Isıcamların boşlukları arasında hava veya argon bulunması kombinasyonları incelendiğinde argon gazı bulunanların yıllık tüketilen yakıt miktarları ısıcamlar arasında hava bulunanlara göre daha az olduğu görülmektedir.

3.3.3. Yıllık yakıt tüketimi: ısıcam ve çatı yalıtımı etkisi

Şekil 3.12 de binadaki camların yerine ısıcam takılması ve çatıya farklı kalınlıklarda yalıtım yapılması durumunda yıllık harcanan yakıt miktarları gösterilmektedir.

Çatıya 0,05 m kalınlığında taş yünü uygulaması yapıldığında ve pencere için standart ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarı 17293,71 m³ olduğu belirlenmiştir. Ancak, aynı şartlar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarı 17212,92 m³ olarak ölçülmüştür.

Çatıya 0,05 m kalınlığında EPS uygulaması yapıldığında ve pencere için standart ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarı 17068,40 m³ olarak tespit edilmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm hava boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık yakıt miktarı 16987,82 m³ olarak ölçülmüştür.

0,05 m kalınlığında XPS uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarı 17114,24 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm hava boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık yakıt miktarı 17033,62 m³ olarak ölçülmüştür.

0,08 m kalınlığında taş yünü uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarı 16605,93 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm hava boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık yakıt miktarı 16525,79 m³ olarak ölçülmüştür.

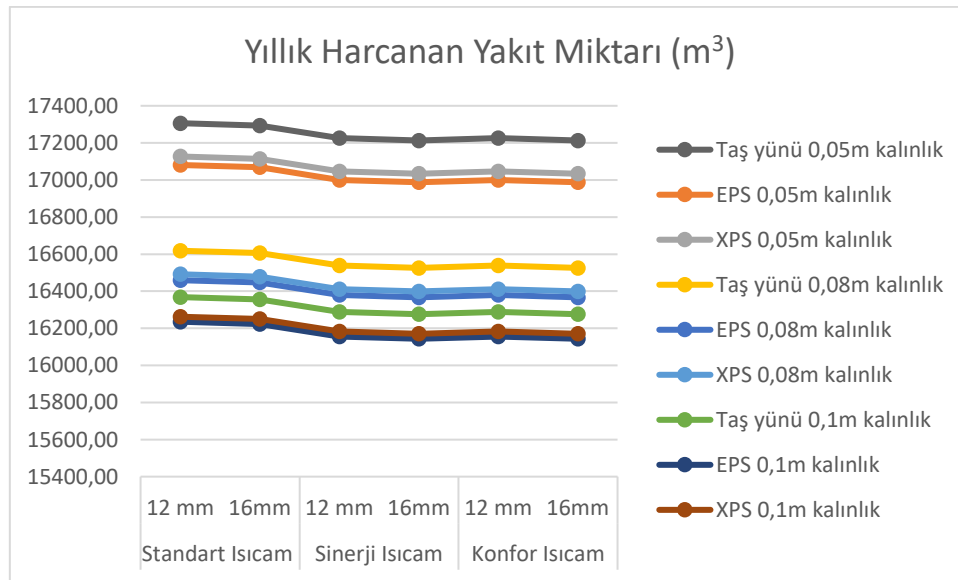
Çatıya 0,08 m kalınlığında karbonlu EPS uygulaması yapıldığında ve pencere için standart ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarının 16446,99 m³ olduğu belirlenmiştir. Ancak, aynı şartlar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarı 16367,01 m³ olarak ölçülmüştür.

Çatıya 0,08 m kalınlığında XPS uygulaması yapıldığında ve pencere için standart ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarının 16479,14 m³ olduğu belirlenmiştir. Ancak, aynı şartlar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarının 16399,13 m³ olarak ölçülmüştür.

0,1 m kalınlığında taş yünü uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarı 16355,98 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm hava boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık yakıt miktarı 16276,08 m³ olarak ölçülmüştür.

0,1 m kalınlığında karbonlu EPS uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarı 16223,38 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm hava boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık yakıt miktarı 16143,62 m³ olarak ölçülmüştür.

0,1 m kalınlığında XPS uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm hava boşluklu) kullanıldığında, yıllık yakıt miktarı 16250,14 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm hava boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık yakıt miktarı 16170,36 m³ olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.12. Projeye ısıcam takılması (ısıcamlar arası boşluk %100 hava) ve çatıya farklı kalınlıklarda yalıtım yapılması sonucunda By (m³/yıl)

Şekil 3.13 de çatıya yalıtım uygulanması (taş yünü, karbonlu EPS ve XPS) ve pencerelerin ısıcamlarla (12mm veya 16mm boşluk ve arası %90 argon) değiştirilmesi durumundaki harcanabilecek yıllık yakıt miktarları gösterilmektedir.

Çatıya 0,05 m kalınlığında taş yünü uygulaması yapıldığında ve pencere için standart ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarının 17287,49 m³ olduğu belirlenmiştir. Ancak, aynı şartlar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 17194,29 m³ olarak ölçülmüştür.

Çatıya 0,05 m kalınlığında karbonlu EPS uygulaması yapıldığında ve pencere için standart ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 17062,20 m³ olarak tespit edilmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm argon boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 16969,24 m³ olarak ölçülmüştür.

0,05 m kalınlığında XPS uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 17108,04 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm argon boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 17015,03 m³ olarak ölçülmüştür.

Çatıya 0,05 m XPS uygulanması ve standart ısıcamın kullanılması ile aynı kalınlıkta EPS uygulanması ve standart ısıcamın takılması arasındaki yıllık harcanabilecek yakıt miktarı farkı 45,84 m³ olarak belirlenmiştir. Aynı koşullarda, standart ısıcam yerine sinerji ısıcam ya da konfor ısıcam kullanılması durumunda, XPS ve karbonlu EPS arasındaki yıllık harcanabilecek yakıt miktarı farkı 45,79 m³ olarak ölçülmüştür.

0,08 m kalınlığında taş yünü uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 16599,76 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm argon boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 16507,31 m³ olarak ölçülmüştür.

Çatıya 0,08 m kalınlığında karbonlu EPS uygulaması yapıldığında ve pencere için standart ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarının 16440,83 m³ olduğu belirlenmiştir. Ancak, aynı şartlar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, bu miktar 16348,56 m³ olarak ölçülmüştür.

Çatıya 0,08 m kalınlığında XPS uygulaması yapıldığında ve pencere için standart ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarının 16472,98 m³ olduğu belirlenmiştir. Ancak, aynı şartlar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 16380,67 m³ olarak ölçülmüştür.

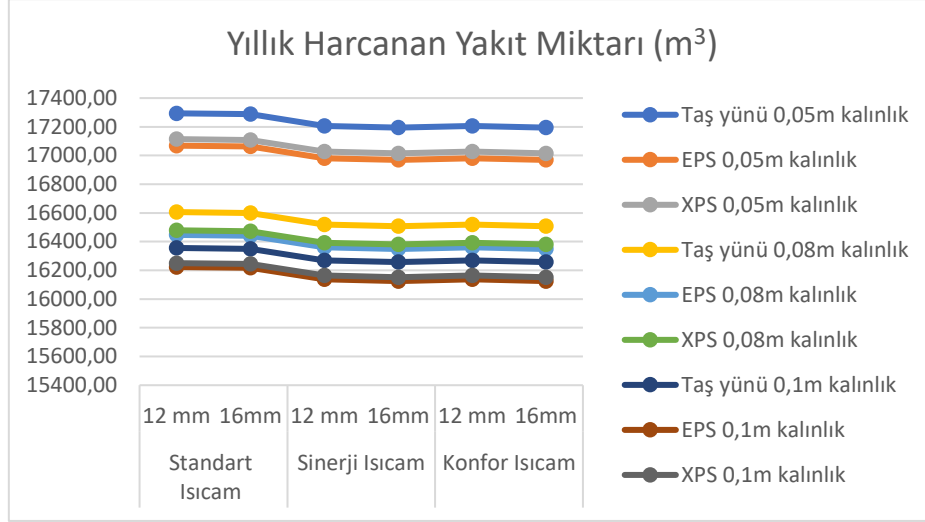
Çatıya 0,08 m XPS uygulanması ve standart ısıcamın kullanılması ile aynı kalınlıkta EPS uygulanması ve standart ısıcamın takılması arasındaki yıllık harcanabilecek yakıt miktarı farkı 32,15 m³ olarak belirlenmiştir. Aynı koşullarda, standart ısıcam yerine sinerji ısıcam ya da konfor ısıcam kullanılması durumunda, XPS ve karbonlu EPS arasındaki yıllık harcanabilecek yakıt miktarı farkı 32,11 m³ olarak ölçülmüştür.

0,1 m kalınlığında taş yünü uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 16349,83 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm argon boşluklu) tercih edildiğinde, bu miktar 16257,66 m³ olarak ölçülmüştür.

0,1 m kalınlığında karbonlu EPS uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 16217,24 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm argon boşluklu) tercih edildiğinde, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 16125,22 m³ olarak ölçülmüştür.

0,1 m kalınlığında XPS uygulaması yapıldığında çatıda ve pencere için standart ısıcam (16 mm argon boşluklu) kullanıldığında, yıllık harcanabilecek yakıt miktarı 16244,00 m³ olarak belirlenmiştir. Ancak, aynı koşullar altında pencere için sinerji ısıcam veya konfor ısıcam (16 mm argon boşluklu) tercih edildiğinde, bu miktar 16151,96 m³ olarak ölçülmüştür.

Çatıya 0,1 m XPS uygulanması ve standart ısıcamın kullanılması ile aynı kalınlıkta EPS uygulanması ve standart ısıcamın takılması arasındaki yıllık harcanabilecek yakıt miktarı farkı 26,76 m³ olarak belirlenmiştir. Aynı koşullarda, standart ısıcam yerine sinerji ısıcam ya da konfor ısıcam kullanılması durumunda, XPS ve karbonlu EPS arasındaki yıllık harcanabilecek yakıt miktarı farkı 26,73 m³ olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.13. Projeye ısıcam takılması (ısıcamlar arası boşluk %90 argon) ve çatıya farklı kalınlıklarda yalıtım yapılması sonucunda By (m³/yıl)

3.4. Termostatik Vananın Yalıtıma Etkisi

Bina yalıtımıyla (mevcut) gerçekleşen aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve aylık yakıt tüketimi Tablo 3.8 de verilmektedir. Bu değerler binada radyatörlerde normal vana takılı olduğu durumdaki sonuçları göstermektedir. Binada radyatörlerde normal vana yerine termostatik vanalar takılı olsaydı yıllık yakıt tüketiminden %30 daha tasarruf sağlanabileceği bilinmektedir (Danfoss 2022 kataloğu). Binada mevcut durumda yıllık yakıt tüketimi 27.566,97 m³ olarak hesaplanmıştır. Radyatörlere termostatik vana takılması halinde yıllık yakıt tüketimi 19.296,88 m³ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.8. Bina yalıtımıyla (mevcut) gerçekleşen aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (MJ) ve aylık yakıt tüketimi(m³)

Aylar	Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı	Aylık yakıt tüketimi
Ocak	275.551,38	7.111,52
Şubat	224.022,61	5.781,65
Mart	290.886,91	7.507,30
Ekim	31.924,07	823,91
Kasım	85.124,75	2.196,93
Aralık	160.632,80	4.145,66
2022 Yıllı	1.068.142,53	27.566,97

Binada radyatördeki vanaların termostatik vana ile değiştirilmesi ve çatıya yalıtım yapılması durumundaki sonuçları Tablo 3.9 da verilmektedir.

Tablo 3.9. Çatıya yalıtım uygulaması ve radyatörlere termostatik vana takılması durumunda aylık ve yıllık yakıt tüketimi(m³)

Aylar	Taş yünü			Karbonlu EPS			XPS		
	0,05m	0,08m	0,1m	0,05m	0,08m	0,1m	0,05m	0,08m	0,1m
Ocak	4.582	4.409	4.346	4.525	4.369	4.312	4.537	4.377	4.319
Şubat	3.662	3.518	3.466	3.615	3.485	3.438	3.624	3.491	3.444
Mart	4.775	4.589	4.522	4.714	4.546	4.486	4.726	4.555	4.493
Ekim	466	444	436	459	439	432	461	440	433
Kasım	1.302	1.244	1.223	1.283	1.231	1.212	1.287	1.234	1.215
Aralık	2.563	2.457	2.419	2.528	2.433	2.399	2.535	2.438	2.403
B _y (m ³ /yıl)	12.145	11.663	11.488	11.987	11.552	11.395	12.019	11.574	11.414

3.5. Isı Pompasının Yalıtıma Etkisi

Şekil 3.14 de sezonsal COP değerinin 2,96 olan 11 kW olan ısı pompasının 2022 yılında ocak ayında harcanan ortalama kompresör gücü değerleri verilmektedir. En çok kompresör gücü 25 ocakta ortalama 108,64 kW olarak ve en düşük kompresör gücü 6 ocakta 32,86 kW olarak harcamıştır.



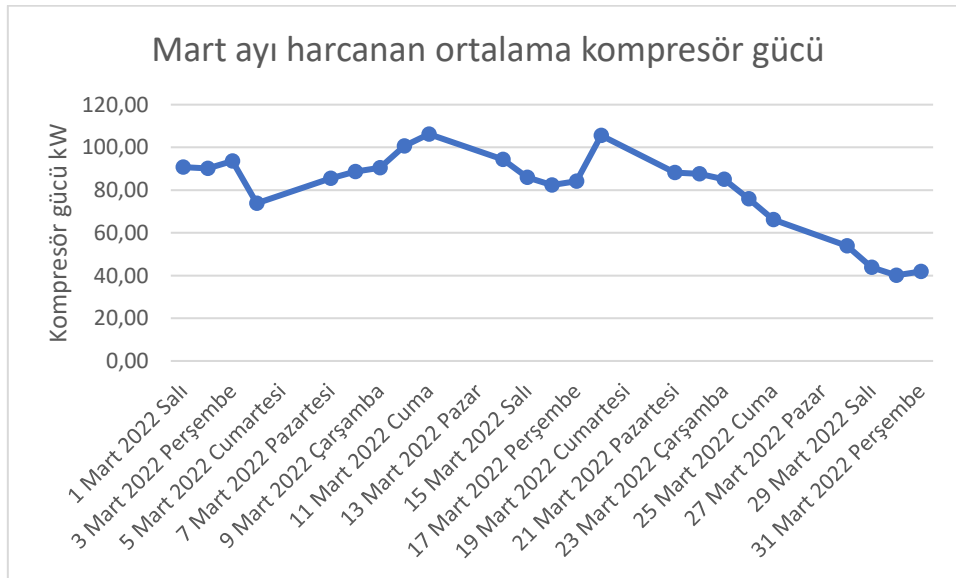
Şekil 3.14.Binada 2022 ocak ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW

Şekil 3.15 de ısı pompasının 2022 yılında şubat ayında harcanan ortalama kompresör gücü değerleri verilmektedir. En çok kompresör gücü 3 şubatta ortalama 91,63 kW olarak ve en düşük kompresör gücü 7 şubatta 51,64 kW olarak harcamıştır.



Şekil 3.15.Binada 2022 şubat ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW

Şekil 3.16 de ısı pompasının 2022 yılında mart ayında harcanan ortalama kompresör gücü değerleri verilmektedir. En çok kompresör gücü 18 martta ortalama 105,54 kW olarak ve en düşük kompresör gücü 30 martta 40,11 kW olarak harcamıştır.



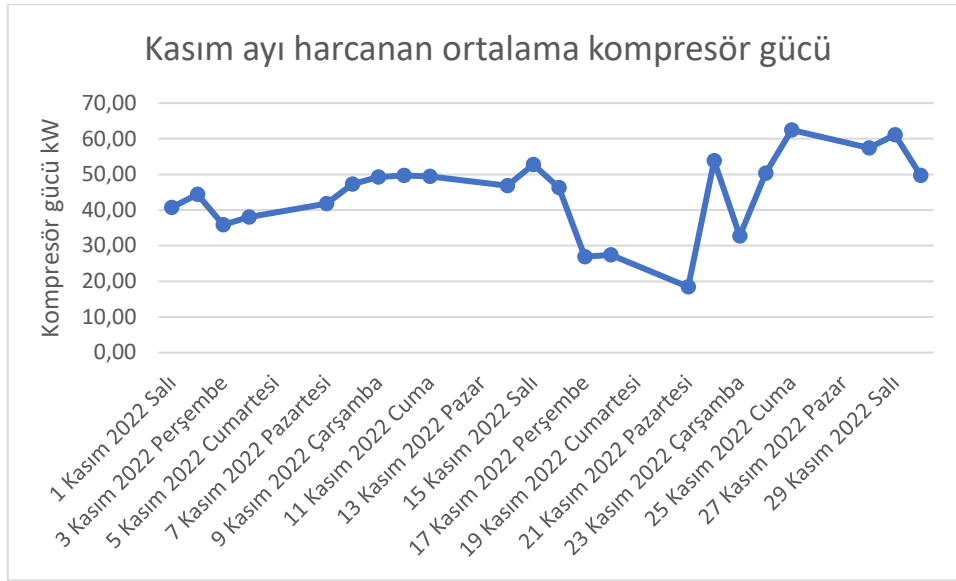
Şekil 3.16.Binada 2022 mart ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW

Şekil 3.17 de ısı pompasının 2022 yılında ekim ayında harcanan ortalama kompresör gücü değerleri verilmektedir. En çok kompresör gücü 31 ekimde ortalama 44,49 kW olarak ve en düşük kompresör gücü 3 ekimde 21,85 kW olarak harcamıştır.



Şekil 3.17.Binada 2022 ekim ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW

Şekil 3.18 de ısı pompasının 2022 yılında kasım ayında harcanan ortalama kompresör gücü değerleri verilmektedir. En çok kompresör gücü 25 kasımda ortalama 62,45 kW olarak ve en düşük kompresör gücü 21 kasımda 18,45 kW olarak harcamıştır.



Şekil 3.18.Binada 2022 kasım ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW

Şekil 3.19 da ısı pompasının 2022 yılında aralık ayında harcanan ortalama kompresör gücü değerleri verilmektedir. En çok kompresör gücü 13 aralıkta ortalama 80,53 kW olarak ve en düşük kompresör gücü 16 aralıkta 28,86 kW olarak harcamıştır.



Şekil 3.19.Binada 2022 aralık ayında ısı pompasından harcanan kompresör gücü kW

3.6. Yalıtım Malzemelerinin Optimum Yalıtım Kalınlıkları

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmadan önce binanın olduğu derece gün bölgesi belirlenmiştir. Derece gün hesabı Denklem (2.20)'den her ay için ayrı ayrı bulunarak Tablo 3.10'da gösterilmiştir. Günlük ortalama sıcaklık için binanın iç hava sıcaklığını 22°C ve dış hava sıcaklığını binanın çalışma saatlerinde (07:00-17:00) ve hafta içi maksimum ve minimum sıcaklık ortalaması alınarak belirlenmiştir. Ayrıca T_b (denge noktası sıcaklığı) 18°C olarak alınmıştır (Bulut ve diğ.,2007). 2022 yılına ait dış sıcaklık verilerine göre Yalova ili derece gün 1357,65 olarak belirlenmiştir ve bu değer Bulut ve diğ., (2007) verdiği bilgilere göre;

I. Bölge ≤ 1250

1251 $\leq$ II. Bölge ≤ 2250

2251 $\leq$ III. Bölge ≤ 3250

3251 $\leq$ IV. Bölge ≤ 4250

V. Bölge ≥ 4251

İkinci derece gün bölgesinde olduğu ve doğruluğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.10. Aylık ısıtma derece gün değerleri ($^{\circ}\text{C}.\text{gün}$)

Aylar	DG
Ocak	312,65
Şubat	263,25
Mart	335,6
Ekim	81,8
Kasım	145,45
Aralık	218,9
2022 yılı	1357,65

Aynı zamanda optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için şimdiki değer faktörünü bulmak gerekir. Şimdiki değer faktörünü bulmak için enflasyon oranı, faiz oranı ve gerçek faiz oranları değerleri Tablo 3.11 de gösterilmektedir. Enflasyon oranı ve faiz oranı Merkez bankasından alınmıştır. Tablo 3.11 de verilen yalıtım malzemelerinin ömür süresi taş yünü için 15 yıl,

karbonlu EPS ve XPS malzemeleri için 50 yıl olarak belirlenmiştir bu değerler malzemelerin tahmini kullanım ömürleridir.

Tablo 3.11. Mali değerler (Güncel veriler Merkez bankasından alınır.) ve malzemelerin optimum yalıtım kalınlıkları

Göstergeler	Taş yünü	Karbonlu EPS	XPS
Enflasyon oranı (g)	0,61	0,61	0,61
Faiz oranı (i)	0,35	0,35	0,35
Gerçek faiz oranı (r)	0,20	0,20	0,20
Doğalgaz (m ³) fiyatı (C _f)	0,5	0,5	0,5
Yalıtım malzemesi ömrü (LT)	15	50	50
Şimdiki değer (PV)	4,68	5	5
H _u (MJ/m ³)	34,485	34,485	34,485
Verim	0,89	0,89	0,89
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0,039	0,034	0,035
C _{t,ins}	15,33	11,05	6,54
C _{ins}	306,6	221	130,8
x _{opt} (m)	0,12	0,14	0,19

Aynı zamanda optimum yalıtım kalınlığı taş yünü, karbonlu EPS ve XPS malzemeleri için değerler Tablo 3.11 de belirtilmektedir. Optimum yalıtım kalınlığı bir yapı elemanının (genellikle duvar, çatı veya zemin) ısı yalıtımında en etkili performansı sağlamak için belirlenen ideal veya en uygun kalınlığı ifade eder. Bu, enerji tasarrufu ve ısıtma/soğutma maliyetlerini minimize etme amacı taşımaktadır. Projede taş yünü yalıtım kalınlığını 0,12 m, karbonlu EPS malzemesinin optimum yalıtım kalınlığını 0,14 m ve XPS malzemesinin optimum yalıtım kalınlığını da 0,19 m olarak hesaplanmıştır. Bu veriler Kaynaklı ve Yamankaradeniz (2007) makalesiyle tam olarak uyum içinde olmamaktadır çünkü 2007 yılında yapılan çalışmayla denge sıcaklığımız, dış hava sıcaklığımız, derece gün sayısı, yalıtım malzemelerimizin ısı iletim

katsayıları, yalıtım malzemelerimizin ömür süreleri ve doğalgazın alt ısı değeri gibi birçok faktör hepsi farklılık göstermektedir.

3.7. Ekonomik Analiz

Binanın yalıtımsız (mevcut) haliyle aylık tüketim maliyeti Tablo 3.12 de gösterilmektedir. Bu değerler Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasına 2022 yılında gelen doğalgaz faturalarından (Armagaz Arsan Marmara Doğalgaz Dağıtım Anonim Şirketi) alınmıştır. Ayrıca faturalardan doğalgaz m³ fiyatı \$0,50 olarak hesaplanmıştır. Hesaplarda kullanılan doğalgaz alt ısı değeri 34,485 MJ/m³ alınmıştır ve kazan ısı verimi 0,89 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.12. 2022 yılına ait doğalgaz tüketim bedelleri

2022 yılı Doğalgaz verileri	
Ocak	\$2479
Şubat	\$2647
Mart	\$2803
Ekim	\$544
Kasım	\$1465
Aralık	\$4970
Yıllık Harcanan Maliyet (\$)	\$14.908

Bazı sistemler için yıllık yakıt maliyeti Tablo 3.13 de verilmiştir.

Tablo 3.13. Bazı sistemler için tüketilen yakıt maliyeti (\$)

Malzeme	Yalıtım kalınlığı (m)	U (W/m ² K)	Tüketilen yakıt maliyeti (\$)
Taş yünü	0,05	0,64	\$8.670,54
	0,08	0,43	\$8.326,59
	0,1	0,35	\$8.201,60
EPS	0,05	0,57	\$8.557,87
	0,08	0,38	\$8.247,11
	0,1	0,31	\$8.135,28
XPS	0,05	0,59	\$8.580,79
	0,08	0,39	\$8.263,19
	0,1	0,32	\$8.148,67
Termostatik vana	-	-	\$9.648,44

Tablo 3.14. Projede ısıcamların kullanılması durumunda yıllık tüketilen yakıt maliyeti (\$)

	İki cam arası boşluk (mm)	C Serisi	S Low-E kaplamalı	K Solar Low-E kaplamalı
%90 Argon	12	\$13.625,75	\$12.043,05	\$12.043,05
	16	\$13.511,82	\$11.819,28	\$11.819,28
%100 Hava	12	\$13.853,97	\$12.379,86	\$12.379,86
	16	\$13.625,75	\$12.155,17	\$12.155,17

Binada çatıya ve pencerelere yalıtım uygulanması durumunda tüketilen yakıt maliyeti (\$) Tablo 3.13 ve Tablo 3.14'te verilmiştir. Tablo 3.13'te çatıya yalıtımı farklı kalınlıklarda uygulanmasının ve binadaki radyatörlere termostatik vana takılmasının tüketilen yakıt maliyeti değerleri verilmiştir. Tablo 3.14'te ısıcam sistemlerinin çeşitli kombinasyonlarında tüketilen yakıt maliyetleri gösterilmiştir.

Tablo 3.15’te çatıya ve pencerelere birlikte yalıtım uygulanmasında oluşabilecek tüketilen yakıt maliyetleri verilmiştir.

Tablo 3.15. Çatıya ve pencerelere yalıtım uygulanması durumunda tüketilen yakıt maliyeti (\$)

	Standart ısıcam		Sinerji ısıcam		Konfor ısıcam	
	12mm	16mm	12mm	16mm	12mm	16mm
Taş yünü	\$8.653,07	\$8.646,85	\$8.612,67	\$8.606,46	\$8.612,67	\$8.606,46
EPS	\$8.540,40	\$8.534,20	\$8.500,11	\$8.493,91	\$8.500,11	\$8.493,91
XPS	\$8.563,33	\$8.557,12	\$8.523,01	\$8.516,81	\$8.523,01	\$8.516,81
Taş yünü	\$8.309,13	\$8.302,96	\$8.269,06	\$8.262,90	\$8.269,06	\$8.262,90
EPS	\$8.229,65	\$8.223,49	\$8.189,65	\$8.183,50	\$8.189,65	\$8.183,50
XPS	\$8.245,73	\$8.239,57	\$8.205,72	\$8.199,56	\$8.205,72	\$8.199,56
Taş yünü	\$8.184,14	\$8.177,99	\$8.144,18	\$8.138,04	\$8.144,18	\$8.138,04
EPS	\$8.117,83	\$8.111,69	\$8.077,94	\$8.071,81	\$8.077,94	\$8.071,81
XPS	\$8.131,21	\$8.125,07	\$8.091,31	\$8.085,18	\$8.091,31	\$8.085,18
Taş yünü	\$8.646,85	\$8.643,74	\$8.603,36	\$8.597,15	\$8.603,36	\$8.597,15
EPS	\$8.534,20	\$8.531,10	\$8.490,81	\$8.484,62	\$8.490,81	\$8.484,62
XPS	\$8.557,12	\$8.554,02	\$8.513,71	\$8.507,51	\$8.513,71	\$8.507,51
Taş yünü	\$8.302,96	\$8.299,88	\$8.259,82	\$8.253,65	\$8.259,82	\$8.253,65
EPS	\$8.223,49	\$8.220,42	\$8.180,43	\$8.174,28	\$8.180,43	\$8.174,28
XPS	\$8.239,57	\$8.236,49	\$8.196,49	\$8.190,34	\$8.196,49	\$8.190,34
Taş yünü	\$8.177,99	\$8.174,91	\$8.134,97	\$8.128,83	\$8.134,97	\$8.128,83
EPS	\$8.111,69	\$8.108,62	\$8.068,74	\$8.062,61	\$8.068,74	\$8.062,61
XPS	\$8.125,07	\$8.122,00	\$8.082,11	\$8.075,98	\$8.082,11	\$8.075,98

Tablo 3.16'da binadaki radyatörlere termostatik vana takılması ve çatıya farklı kalınlıklarda ve çeşitli yalıtım malzemeleri kullanılarak yapılan yalıtım durumlarına göre tüketilen yakıt maliyetleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.16. Çatıya yalıtım uygulanması durumunda normal vana ve termostatik vana ile tüketilen yakıt maliyetleri (\$)

	Yalıtım kalınlığı (m)	Yıllık harcanan yakıt maliyeti (normal vana)	Yıllık harcanan yakıt maliyeti (termostatik vana)
Taş yünü	0,05m	\$8.674,84	\$6.072,39
	0,08m	\$8.330,73	\$5.831,51
	0,1m	\$8.205,67	\$5.743,97
EPS	0,05m	\$8.562,11	\$5.993,48
	0,08m	\$8.251,20	\$5.775,84
	0,1m	\$8.139,32	\$5.697,53
XPS	0,05m	\$8.585,05	\$6.009,53
	0,08m	\$8.267,29	\$5.787,10
	0,1m	\$8.152,71	\$5.706,90

Projenin 2022 yılına ait aylık doğalgaz tüketim fiyatları ve projede ısı pompası kullanılıyorsa harcanabilecek aylık elektrik fiyatları Tablo 3.17'de sunulmaktadır. Burada elektrik birim maliyeti \$0,11 olarak ve aylık ısı pompası elektrik maliyetleri hesaplanırken hafta içi çalışma saatlerindeki ısı kayıpları dikkate alınmıştır. Tablo incelendiğinde aylık olarak, Ekim ayı hariç tüm aylarda tüketim bedeli daha uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca aralık ayında doğalgaz maliyeti ile ısı pompasının elektrik maliyeti arasında neredeyse 1/3 oranında ciddi bir fark görülmektedir. Yıllık olarak maliyetler karşılaştırıldığında ise ısı pompasının yaklaşık \$5000 daha tasarruflu olduğu tespit edilmektedir.

Tablo 3.17. 2022 yılına ait doğalgaz tüketim bedelleri ile ısı pompası kullanılması durumdaki elektrik maliyeti

	2022 yılı Doğalgaz verileri	Isı pompası elektrik maliyetleri
Ocak	\$2479	\$2039
Şubat	\$2647	\$1795
Mart	\$2803	\$2244
Ekim	\$544	\$886
Kasım	\$1465	\$1189
Aralık	\$4970	\$1551
Yıllık Harcanan Maliyet (\$)	\$14.908	\$9.675

Yalıtım malzemelerinin 1 m² için fiyatları 2023 yılında taş yünü ve karbonlu EPS malzemelerinin fiyatları KDV dahil Dalmaçyalı firmasından ve XPS malzemesinin fiyatı KDV dahil IZOMET izolasyon firmasından alınmıştır. Tablo 3.18 de gösterilmektedir.

Tablo 3.18. Yalıtım malzemelerinin 1m² maliyetleri KDV dahil(\$)

Kalınlık (m)	0,05	0,08	0,1
Taş yünü	\$15,33	\$19,25	\$21,75
Karbonlu EPS	\$11,05	\$13,71	\$15,30
XPS	\$6,54	\$10,46	\$13,08

Yalıtım malzemelerinin çatıya uygulanması durumdaki yalıtım maliyetleri Tablo 3.19’da verilmiştir.

Tablo 3.19. Yalıtım malzemelerinin çatıya uygulanması durumundaki ilk yatırım maliyeti(\$)

Kalınlık (m)	0,05	0,08	0,1
Taş yünü	\$43.232,31	\$54.274,36	\$61.318,81
Karbonlu EPS	\$31.153,35	\$38.652,37	\$43.125,35
XPS	\$18.438,57	\$29.501,72	\$36.877,15

Isıcamların m² maliyetleri Tablo 3.20 de belirtilmiştir.

Tablo 3.20. Isıcamların 1m² maliyetleri KDV dahil(\$)

	Hava boşluklu	Argon boşluklu
4mm düz cam + 12hb veya 16hb + 4mm düz ısıcam	\$33,72	\$37,94
4mm düz cam + 12hb veya 16hb + 4mm sinerji ısıcam	\$35,30	\$39,52
4mm düz cam + 12hb veya 16hb + 4mm konfor ısıcam	\$37,41	\$41,63

Termostatik vananın birim maliyeti \$6,45 olarak Danfoss firmasından teklif alınmıştır. Binada toplamda 212 adet radyatör bulunmaktadır. Her radyatöre bir termostatik vana takılması durumunda, toplam termostatik vana maliyeti \$1367,40 olarak hesaplanmıştır.

Binaya ısıcamların takılması durumunda ısıcam maliyetleri Tablo 3.21 de verilmektedir.

Tablo 3.21. Isıcamların uygulanması durumundaki maliyetleri KDV dahil(\$)

	Hava boşluklu	Argon boşluklu
4mm düz cam + 12hb veya 16hb + 4mm düz ısıcam	\$62.040,56	\$69.795,63
4mm düz cam + 12hb veya 16hb + 4mm sinerji ısıcam	\$64.948,71	\$72.703,78
4mm düz cam + 12hb veya 16hb + 4mm konfor ısıcam	\$68.826,25	\$76.581,32

Projede çatıda yalıtım malzemesi olarak üç çeşit yalıtım malzemesi incelenmektedir. Taş Yünü, EPS ve XPS bu yalıtım malzemeleri ortalama üç kalınlık için 0,05 m, 0,08m ve 0,1m olarak değerlendirilmektedir. Bu incelemelerin yaklaşık geri ödeme süreleri Tablo 3.22’de verilmektedir. Tabloya bakıldığında geri ödeme süreleri 2,78 yıl ile 8,66 yıl arasında değişmektedir. Geri ödeme süresi en kısa yani maliyetini çok daha hızlı kapatan XPS malzemesi olduğu anlaşılmaktadır. Fakat Tablo 2.5’teki veriler incelendiğinde XPS yalıtım malzemesinin yangın için iyi bir seçenek olmadığı değerlendirilmektedir. Ayrıca XPS yalıtım malzemesi diğer malzemelere göre daha zor uygulanmakta ve işçilik maliyetleri daha yüksek olmaktadır.

Tablo 3.22. Çatıya uygulanan yalıtım sonucunda yalıtım malzemelerinin geri ödeme süreleri (yıl)

Yalıtım kalınlıkları (m)	Taş yünü	EPS	XPS
0,05	6,61	4,67	2,78
0,08	7,82	5,50	3,27
0,1	8,66	6,02	3,62

Projede pencereler için yalıtımda 3 çeşit ısıcam incelenmiştir. Projedeki camların bu ısıcamlarla değiştirilmesi durumunda oluşacak geri ödeme süreleri Tablo 3.23'te verilmektedir ve geri ödeme sürelerine bakılarak bu durumun ekonomik olarak uygun olmadığı tespit edilmektedir. Projede ısıcamlarla baştan değiştirilmesi geri ödeme sürelerine bakılarak maliyet açısından olumlu bir durum gibi gözükmemektedir.

Tablo 3.23. İki cam arasında %90 argon gazı ve %100 hava bulunan ısıcamların tamamen değiştirilmesi halinde oluşabilecek geri ödeme süreleri (yıl)

	İki cam arası boşluk (mm)	C Serisi	S Low-E kaplamalı	K Solar Low-E kaplamalı
%90 Argon	12	106,7	32,5	34,2
	16	90,8	29,5	31,1
%100 Hava	12	145,7	34,2	36,2
	16	94,8	30,6	32,4



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında Yalova Üniversitesi Mühendislik fakültesi binasının enerji verimliliğindeki alternatiflerin araştırılması yapılmıştır. Yalova Üniversitesi Mühendislik fakültesinin yapımında kullanılan bina yapı malzemeleri ve yalıtım malzemeleri öğrenilmiştir. Yıllık yakıt miktarını ve binadaki kazan verimliliğini hesaplamak için 2022 yılı doğalgaz faturaları incelenmiştir. Binadaki kazan ısı verimini binanın mevcut durumundaki yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, doğalgaz alt ısı değeri ve doğalgaz faturalarından aldığımız yıllık yakıt miktarındaki verileri kullanarak %89 olarak tespit edilmiştir. Proje binası konumu itibarıyla ts825 e göre 2. Derece gün bölgesindedir. Yalova ili kritik sıcaklık değerleri 24 Ocak'ta sabah 07:00 de -0,1 °C, 4 Şubat'ta akşam 17:00 da 3,20 °C, 11 Mart'ta sabah saat 08:00 da 0 °C, 21 Ekim'de akşam 17:00da 13,30 °C, 28 Kasım'da sabah 07:00 de 8,90 °C ve 21 Aralık'ta sabah saat 07:00 de 3,60 °C olarak ölçülmüştür.

Tezin sonuçları aşağıda verilmektedir.

Yalıtım standardı maksimum Q2.DG 40,86 kWh/m²yıl izin verirken proje binasının yıllık m² başına Q = 42,88 kW/h'dir. Bu nedenle bina yalıtımının uygun olmadığı görülmektedir.

Binanın ısı kaybeden yüzeylerinden gerçekleşen ısı kaybı oranı hesaplanmıştır. En fazla ısı kaybının sırasıyla çatı (%49), pencere (%25), toprak temaslı taban (%17), dış duvar (%8) ve %1 kapıdan gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Yalova Üniversitesi Mühendislik fakültesi binası 2022 yılında 600 kW ile 100 kW arasında ısı kaybettiği Şekil 3.2 de gösterilmektedir. Çalışma saatlerinde sıcaklığın yüksek olması sebebiyle en az ısı kaybı çalışma saatlerinde olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 3.1 de gösterildiği üzere bina ts825 standartlarına uygun inşa edilseydi aylık ısı kayıpları 40kW ile 140kW arasında gerçekleşmektedir. Şekil 3.2 de bina yalıtımıyla hesaplanan ısı kayıpları gösterilmektedir. Bina yalıtımında 2022 yılında aylık ısı kayıpları 450 kW ile 114 kW arasında değiştiği görülmektedir. Bina yalıtımıyla hesapladığımız ısı kaybı Ts825 standartlarına uygun bir şekilde tasarlansaydı neredeyse 3'te 1'i kadar daha az olarak hesaplanmaktadır. Bu sebeple binaya çeşitli enerji verimliliği uygulamaları önerilmiştir.

Çatıya yalıtım uygulaması ısı kaybı verileri;

Tablo 3.2'de ayrı ayrı yalıtım malzemeleri uygulamaları incelenmiştir. 0,05m kalınlığında çatıya taş yünü uygulaması yapıldığında 160 kW ile 62 kW arasında ısı kaybı değişmektedir. 0,08m kalınlığında yalıtım uygulandığında 156 kW ile 61 kW arasında değişmektedir. 0,1 m

kalınlığında yalıtım uygulanması durumunda 154 kW ile 61 kW arasında değişmektedir. Karbonlu EPS ve XPS uygulamaları yapılması durumunda neredeyse aynı sonuçlar çıkmaktadır.

Çatıya yalıtım uygulaması yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ;

Binanın mevcut durumda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 1.068.142,53 MJ olarak bulunmuştur.

Çatıya taş yünü, karbonlu EPS ve XPS uygulamaları sonucunda binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları Şekil 3.6 ve Tablo 3.3 de gösterilmiştir. Tablo ve grafikten elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Yalıtım malzemelerinin kalınlıklarını artırmanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını azaltmada etkili olduğu,
- İletim katsayılarını belirleyen yalıtım malzemelerinin yoğunluğunun yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını azaltmada etkili olduğu,
- Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarının önemli olduğu,
- Yalıtım malzemelerinin kalınlıkları arttıkça yalıtım malzemeleri arasında yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı farkının azaldığı görülmektedir.

Isıcamların kullanılması durumunda binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı Şekil 3.7 ve Tablo 3.4 de verilmektedir. Tablo ve grafikten elde edilen sonuçlara göre;

- Isıcamlar arasındaki boşluğun artırılması yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını azalttığı,
- İki den fazla ısıcam kullanmasının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının düşürdüğü,
- Isıcamlara uygulanan kaplamalarının hem ısıtma da hem de soğutma da etkili olduğu,
- Isıcamlar arasında hava yerine argon gazı tercih edilmesinin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında etkili olduğu görülmektedir.

Bu verilerde sırasıyla en etkili olan ısıcamın türü, ısıcamlar arasındaki gaz ve ısıcamlar arasındaki mesafe olduğu tespit edilmiştir.

Hem pencerelere hem de çatıya yalıtım yapılması durumundaki yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları Tablo 3.5 ve Tablo 3.6 da gösterilmektedir. Çatıya ve pencereye yalıtım uyguladığımızda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını en çok etkileyen faktörler sırasıyla;

- Çatıya uygulanan yalıtım malzemesinin kalınlığı
- Yalıtım malzemesinin cinsi

- Isıcam sistemi
- Isıcamın içinde bulunan gaz olarak tespit edilmiştir.

Çatıya yalıtım uygulanması durumundaki yıllık tüketilen yakıt miktarı;

Binanın mevcut durumundaki yıllık yakıt miktarı 27566,97 m³ olarak hesaplanmıştır. Çatıya yalıtım uygulanması durumundaki yıllık yakıt miktarları Şekil 3.10 ve Tablo 3.7 de gösterilmiştir. İncelemeler sonucunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ile doğru orantılı olarak yalıtım malzemelerinin kalınlıklarını artırmanın yıllık yakıt tüketimini azalttığı görülmektedir. Ayrıca yıllık yakıt tüketimlerini incelediğimizde en fazla taş yünü daha sonrasında XPS ve son olarak karbonlu EPS gelmektedir. Aynı kalınlıklarda farklı yalıtım malzemelerinin kalınlıkları arttıkça aralarındaki farkın azaldığı görülmektedir.

Pencerelerin yerine Isıcamların kullanılması durumunda yıllık yakıt miktarı Şekil 3.11 de verilmektedir. Tablo ve grafikten elde edilen yıllık yakıt miktarı sonuçlarına göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplandıktan sonra elde edilen sonuçlarla doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Çatıya ve pencerelere yalıtım uygulandığında yıllık yakıt miktarındaki değişim Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 de gösterilmiştir. Çatıya ve pencereye yalıtım uyguladığımızda yıllık yakıt miktarını en çok etkileyen faktörler sırasıyla;

- Çatıya uygulanan yalıtımın kalınlığını artırmanın,
- Yalıtım malzemesinin cinsinin,
- Isıcam sisteminin,
- Isıcamın içinde bulunan gazın etkili olduğu bulunmuştur.

Hem çatıya hem de pencerelere yalıtım uygulama yapılmasında çatıya yalıtım uygulamanın binanın yıllık harcanan yakıt miktarında pencerelere yalıtım uygulamaktan daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Binadaki radyatörlere termostatik vana takılması durumunda hesaplanan yıllık yakıt tüketimi 19.296,88 m³ olarak hesaplanmıştır. Çatıya yalıtım uygulanması ve radyatörlere termostatik vana takılması durumundaki yıllık yakıt tüketimleri Tablo 3.9 da gösterilmiştir. Bu uygulamalar sonucunda binanın mevcut yalıtımındaki yıllık yakıt tüketiminden en az %55 oranında tasarruf edilmiştir. Tablo 3.9 da verildiği üzere taş yünü, karbonlu EPS ve XPS malzemelerinin uygulamasında yıllık tüketilen yakıt miktarında çok fazla bir fark bulunmamaktadır.

Binada doğalgaz m3 fiyatı \$0,50 ve elektrik birim maliyeti \$0,11 olarak belirlenmiştir. Isıtmada doğalgaz kullanılmaktadır ve 2022 yılında harcanan doğalgaz tüketim bedeli \$14.908 olduğu görülmüştür. Binada ısıtmada ısı pompası kullanılması durumunda Yalova Üniversitesi binası için seçilmiş DAIKIN ısı pompasının toplam maliyeti 229.773,04 EUR olarak teklif alınmıştır. Doğalgaz yerine bu ısı pompası kullanılması durumunda yıllık \$5.233 kâr olmaktadır.

Öneriler;

Yalova Üniversitesi binası 2. derece gün bölgesinde bulunduğu için sıcaklık ortalaması düşük olmamaktadır. Bu sebeple aslında çok fazla bir yalıtım uygulanmasına gerek yoktur.

Penceredeki camların yeniden değiştirilip ısıcamların takılması maliyet açısından bakıldığında pek mümkün görünmemektedir. Low-E ve solar Low –E kaplamaları ısıcamların içindeki cama uygulandığı için binadaki pencerelere uygulanması pratikte mantıklı olmamaktadır. Bu sebeple binada çatıya yalıtım yapılması ve radyatördeki vanaların değiştirilmesi en ideal çözüm olarak görünmektedir.

KAYNAKLAR

- Adalbert, K. (1997). Energy use during the life cycle of single unit dwellings examples *Building and Environment* 32, pp.321–329.
- Aksu, A., Yılmaz, S., Ertem Mutlu, B., & Yılmaz, H. (2020). Ağaçların Bina ile Olan Mesafesinin Dış Mekân Termal Konfor Üzerine Etkisi: Erzurum Kenti Örneği. *Journal of the Institute of Science & Technology/Fen Bilimleri Estitüsü Dergisi*, 10(2).
- Al-Homoud, M. S. (2001). Computer-aided building energy analysis techniques. *Building and Environment*, 36(4), 421-433.
- Altun, M., Akçamete, A., & Akgül, Ç. M. (2020). Dış sıcaklık verisinin bina ısıtma enerji gereksinimine etkisinin ve TS 825 derece-gün bölge kümelenmesinin geçerliliğinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(6), 1062-1075.
- Anbarcı, M., Giran, Ö., & Demir, İ. H. (2012). Uluslararası yeşil bina sertifika sistemleri ile Türkiye'deki bina enerji verimliliği uygulaması. *Engineering Sciences*, 7(1), 368-383.
- Ascione, F., Bianco, N., Iovane, T., Mauro, G. M., Napolitano, D. F., Ruggiano, A., & Viscido, L. (2020). A real industrial building: Modeling, calibration and Pareto optimization of energy retrofit. *Journal of Building Engineering*, 29, 101186.
- Aydın Ö. (2019). Binalarda Enerji Verimliliği Kapsamında Yapılan Projelerin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. *Journal of Architecture and Life*, 4, 55-68.
- Bayraktar D., Bayraktar E. A. (2016). Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, 59-66.
- Bektaş, V., Çerçevik, A. E., Yerel Kandemir, S. (2017). Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 36-42.
- Bojić, M., Despotović, M., Malešević, J., & Soković, D. (2007). Evaluation of the impact of internal partitions on energy conservation for residential buildings in Serbia. *Building and Environment*, 42(4), 1644-1653.
- Brophy, V. ve Lewis, J. O. (2012). *A green vitruvius: principles and practice of sustainable architectural design*. Londra: Routledge.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T. (2001) Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, *Applied Energy* 69/4, 269-283.
- Chou, J. S., & Bui, D. K. (2014). Modeling heating and cooling loads by artificial intelligence for energy-efficient building design. *Energy and Buildings*, 82, 437-446.
- Çiftçi, E., Balyemez, S. (2020). Enerji Verimliliği Açısından Yüksek Yapılar ve Sürdürülebilirlik. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 58, 127-141.
- Donovan, G. H., & Butry, D. T. (2009). The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. *Energy and Buildings*, 41(6), 662-668.

Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programı Eylem Planı 2014-2018. (Kasım 2014). https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/1-10-Kalkinma_Plani-2014-2018.pdf

Genceli, O. F. ve C. Parmaksızoğlu. (2021). *Kalorifer Tesisatı*. Ankara: TMMOB makine mühendisleri odası.

Hongting, Ma., Na, Du., Shaojie, Yu., Wenqian, Lu., Zhang, Z., Deng, N., & Li, C. (2017). Analysis of typical public building energy consumption in northern China. *Energy and Buildings*, 136, 139-150.

Huang, Y. J., Akbari, H., & Taha, H. (1990). The wind-shielding and shading effects of trees on residential heating and cooling requirements. *ASHRAE proceedings*, 96(pt. 1).

Hwang, D. K., Cho, J., & Moon, J. (2019). Feasibility study on energy audit and data driven analysis procedure for building energy efficiency: bench-marking in Korean hospital buildings. *Energies*, 12(15), 3006.

Jiang, T., He, X., Su, B., Havea, P. H., Wei, K., Kundzewicz, Z. W., & Liu, D. (2024). COP 28: Challenge of coping with climate crisis. *The Innovation*, 5(1).

Kamara, B., Kamara, S., Sawyer, R., & Kallon, D. (2019, Ekim). *Need for Energy Efficiency and Energy Audit of Buildings in Freetown*. In 2019 Open Innovations (OI) (pp. 415-419). IEEE.

Karlsson, J. F., & Moshfegh, B. (2006). Energy demand and indoor climate in a low energy building—changed control strategies and boundary conditions. *Energy and Buildings*, 38(4), 315-326.

Kaynaklı, A. G. Ö., & Yamankaradeniz, R. (2007). *Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı*. VIII. Ulusal Tesis. Müh. Kongresi, 187-195

Krarti, M., Aldubyan, M., & Williams, E. (2020). Residential building stock model for evaluating energy retrofit programs in Saudi Arabia. *Energy*, 195, 116980.

Kürekçi, N., Bayrakçı, A. T., Çubuk, M., & Emanet, Ö. (2012). Türkiye'nin Tüm İlleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı. *Tesisat mühendisliği*, (131).

Lechner, N. (2014). *Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects*. John wiley & sons.

Mıhlayanlar, E., & Meral, S. (2023). Mevcut Binalarda Enerji Verimli Yenileme ve EKB Uygulaması. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 478-497.

Mokrzecka, M. (2018). *Influence of building shape and orientation on heating demand: simulations for student dormitories in temperate climate conditions*. In E3S Web of Conferences (Vol. 44, p. 00117). EDP Sciences.

Odunfa, K. M., Ojo, T. O., Odunfa, V. O. ve Ohunakin, O. S. (2015). Energy efficiency in building: case of buildings at the University of Ibadan, Nigeria. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 3(01), 18.

Oral, G. K., & Manioğlu, G. (2010). *Bina Cephelelerinde Enerji Etkinliği ve Isı Yalıtımı*. 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, DEÜ İzmir, 1(9).

Pan, Y., Yin, R., & Huang, Z. (2008). Energy modeling of two office buildings with data center for green building design. *Energy and buildings*, 40(7), 1145-1152.

Priyadarsini, R., Xuchao, W., & Eang, L. S. (2009). A study on energy performance of hotel buildings in Singapore. *Energy and buildings*, 41(12), 1319-1324.

Selçuk, U. (2009). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına Göre İkinci Bölgede Bulunan Bir Binanın Yalıtımsız ve Yalıtımlı Durumlarının Enerji Verimliliği Bakımından Karşılaştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), 1-24.

Soğukoğlu, M., & Vatan, M. (2014). Mevcut Betonarme Konut Binalarında Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Mimari Çözüm Önerileri. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 6(21), 13-22.

Spagnolo, j., Dear, R. (2003). “A Field Study of Thermal Comfort in Outdoor and Semi Outdoor Environments in Subtropical Sydney Australia”, *Building and Environment*, Vol.38 (5), pp. 721–738.

Szul, T., & Kokoszka, S. (2020). Application of Rough Set Theory (RST) to forecast energy consumption in buildings undergoing thermal modernization. *Energies*, 13(6), 1309.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (28 Kasım 2022). TCDD Enerji Yönetimi ve İklim Değişikliği Eylem Planı 2023-2025.

<https://static.tcdd.gov.tr/webfiles/userfiles/files/eylemplani/eylemplani.pdf>

Topal, O. (2009). *Binalarda enerji verimliliği* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023. (Kasım 2017). https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/2017-2023_Ulusal-Enerji-Verimliliği-Eylem-Planı.pdf

Ülgüner, H. C., Değirmenci, A., Üstüntürk, A., Keleşoğlu, A., & Ünver, Ü. (2021). Yalova İçin Binalarda Yalıtım Kalınlığının Simülasyonla Değerlendirilmesi. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 5(1), 114-122.

Ünver, Ü., Adıgüzel, E., Adıgüzel, E., Çivi, S., & Roshanaei, K. (2020). Türkiye'deki İklim Bölgelerine Göre Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 1 (2), 171-187.

Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., & Tandiroğlu, A. (2016). Parametric Optimization and Exergetic Analysis Comparison of Subcritical and Supercritical Organic Rankine Cycle (ORC) for Biogas Fuelled Combined Heat and Power (CHP) Engine Exhaust Gas Waste Heat. *Energy*, 111, 923-932.

Yazıcı, H. (2011). Denizli İlinde Bulunan Bir Binanın Ts 825 Hesap Yöntemine Göre Yıllık Isı İhtiyacının, Yakıt Maliyetinin ve Emisyon Miktarının Belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 1(2), 29-38.

Yeşildal, F., & Geliş, K. (2020). Gümüşhane İklim Şartlarında Farklı Malzemeler İçin Yalıtım Kalınlıklarının TS 825 Kapsamında Değerlendirmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 830-843.

Yılmaz, B. (2009). *Binalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik* [Yayımlanmış doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Yumurtacı, Z. ve Dönmez, A. H. (2013). Konutlarda enerji verimliliği. *Mühendis ve Makina*, 38-43.

Yüksek, İ., & Sıvacılar, S. (2017). Türkiye Şartlarında TS 825 Kapsamında Farklı Duvar Tiplerinin Isıl Etkinlikleri Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 291-302.

Xin, Y., Lu, S., Zhu, N., & Wu, W. (2012). Energy consumption quota of four and five star luxury hotel buildings in Hainan province, China. *Energy and Buildings*, 45, 250-256



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2015 yılında girdiği Bartın Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2020 yılında mezun oldu. 2021 yılından beri Yalova Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans yapmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

Taştan, E., Atalay, H. ve Yıldırım, N. (2023, Eylül). Eğitim Binasında Enerji Verimliliği: Yalova Üniversitesi Örneği, Uluslararası Katılımlı 24. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULIBTK’23), Ankara, Türkiye.



