

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENERJİ VERİMLİLİĞİ BAKIMINDAN BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS
BİNALARININ ENERJİ ETÜDÜ

Ali ELHUYEYDİ

AĞUSTOS 2020

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENERJİ VERİMLİLİĞİ BAKIMINDAN BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS
BİNALARININ ENERJİ ETÜDÜ

Hazırlayan
Ali ELHUYEYDİ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Rasim BEHÇET
Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Caner ACAR

AĞUSTOS 2020

ONAY

Ali ELHUYEYDİ tarafından hazırlanan “**Enerji Verimliliği Bakımından Bitlis Eren Üniversitesi Kampüs Binalarının Enerji Etüdü**”adlı tez çalışması 06/08/2020 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Rasim BEHÇET

(Başkan)

Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL

(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Caner ACAR

(Üye)

İmza

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../..... gün ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN

Enstitü Müdürü

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Enerji Verimliliği Bakımından Bitlis Eren Üniversitesi Kampüs Binalarının Enerji Etüdü**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 06/08/2020

Ali ELHUYEYDİ

ÖZET

ENERJİ VERİMLİLİĞİ BAKIMINDAN BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS BİNALARININ ENERJİ ETÜDÜ

Ali ELHUYEYDİ

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL

Ağustos 2020, 94 sayfa

Tüm dünyada enerjiye olan ihtiyacın gittikçe artması ve kullanımında artan çevre sağlığı problemleri, enerjinin etkin ve verimli kullanımını önemli hale getirmiştir. Bu tez çalışmasında; kışları soğuk ve kar yağışlı geçtiği Bitlis İli Rahva yerleşkesinde kurulan Bitlis Eren Üniversitesi kampüs alanında bulunan binaların ısıtma maliyeti ve enerji verimliliği araştırılmıştır. Bu amaç ile kampüs alanında bulunan Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Fen Edebiyat Fakültesi ve İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi binaları ile R3 blok numaralı personel lojmanı enerji etüdü için örnek saha olarak seçilmiştir. Binalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin uygunluğunu, ısı kayıplarının meydana geldiği yapı bileşenlerinin tespiti için termal kamera, mekânların iç ortam sıcaklıkları ile aydınlatma şiddetlerinin belirlenmesi için çok fonksiyonlu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yöntem olarak belirtilen binaların yıllık ısı enerjisi ihtiyacı ve bu ihtiyaca karşılayacak yakıt miktarı teorik olarak hesaplanarak gerçekte harcanan yakıt miktarları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; binalarda yapı bileşenleri arasında en fazla ısı kaybının pencerelerde olduğu, birim başına düşen yıllık ısı enerjisi ihtiyacının en düşük değeri İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi binasında meydana geldiği (İİBF), İİBF de uygulanmış olan ısı yalıtımının diğer eğitim binalarına göre en uygun düzeyde olduğu, merkezi ısıtma sistemlerinde en fazla yakıt tüketiminin yakıt türü olarak kömürlü sistemde meydana geldiği, mevcut binaların yıllık gerçek yakıt tüketim miktarlarının teorik yakıt tüketim değerlerinden yaklaşık %11-25 oranları arasında fazla çıktığı tespit edilmiştir. Sonuçta mevcut binaların ısıtılmasında en ekonomik, en verimli ve en çevreci yakıt türünün doğalgaz olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Enerji verimliliği, Isı kaybı, Yalıtım, Bina, Bitlis.

ABSTRACT

IN TERMS OF ENERGY EFFICIENCY ENERGY AUDIT FOR CAMPUS BUILDINGS OF BİTLİS EREN UNIVERSITY

Ali ELHUYEYDİ

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate Education Institute

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Dr. Faruk ORAL

August 2020, 94 pages

The increasing need for energy all over the world and the increasing environmental health problems in its use have made it vital to use energy effectively and efficiently. In this thesis study; the heating cost and energy efficiency of the buildings in the campus area of Bitlis Eren University, which was established in the Rahva campus of Bitlis Province, where winters were cold and snowy, were investigated. For this purpose, the Faculty of Engineering and Architecture, Faculty of Arts and Sciences and Faculty of Economics and Administrative Sciences located in the campus area and personnel block numbered R3 block have been selected as a sample area for energy study. A thermal camera was used to determine the suitability of the insulation materials used in the buildings, the building components where heat losses occur and a multifunctional measuring device was used to determine the indoor ambient temperatures and luminosity of the spaces. As a method, the annual heat energy requirement of the specified buildings and the amount of fuel that will meet this need are theoretically calculated and compared with the amount of fuel actually spent. As a result, the highest heat loss among the building components in the buildings is through the windows, the lowest value of the annual heat energy requirement per unit occurs in the building of the Faculty of Economics and Administrative Sciences (FEAS) and the thermal insulation applied in the FEAS is at the most appropriate level compared to other educational buildings. It has been determined that the highest fuel consumption in central heating systems occurs in the coal system as the fuel type and the actual annual fuel consumption of the existing buildings exceeds the theoretical fuel consumption values by approximately 11-25%. As a result, it was concluded that natural gas is the most economical, efficient and eco-friendly fuel type for heating in the buildings.

Keywords: Energy efficiency, Heat loss, Insulation, Building, Bitlis.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL'a şükranlarımı sunarım. Bunu yanında çalışmam ilgili olarak verdikleri bilgiler için Yapı İşlemleri ve Teknik Daire Başkanlığı ile İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı personellerine teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Öğr. Gör. Şafak SARI, Öğr. Gör. Emin EL, Mak. Müh. Evren EVİRGEN, Mak. Müh. Ersin PINAR ve arkadaşım Emrah YÜREKLİ'ye şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmasında büyük emekleri olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖNSÖZ

Enerji tüm dünyayı ve insanları etkileyen bir kavramdır. Aynı zamanda ülkeler için ekonomik ve sosyal faaliyetlerin geliştirilmesinin vazgeçilmez bir unsurudur. Dünyadaki artan enerji talebinin karşılamak için mevcut fosil enerji kaynaklarının yanında yeni kaynaklara olan ihtiyaç giderek artmıştır. Günümüzde ülkelerin en büyük problemlerinden birisi artan enerji ihtiyacını ekonomik olarak karşılamaktır. Ayrıca fosil enerji kaynaklarının çevre sağlığını olumsuz tehdit etmesinden tüm dünyada önemli bir problem hale gelmiştir. Bu nedenle enerji üretirken ve tüketirken de çevreye dost şartları sağlamak gerekir. En büyük enerji kaynağı enerjiyi tasarruflu kullanmaktır. Yapılan araştırmalar enerjinin tasarruflu kullanılması halinde ülkelerin önemli bir miktar enerji tüketim değerlerinin azaldığını ifade etmektedir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Literatürdeki Bazı Çalışmalar	3
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	7
1.4. Enerji ve Verimliliği	9
1.4.1. Enerji	9
1.4.2. Enerji Verimliliği	10
1.4.3. Türkiye'nin Genel Enerji Durumu	11
1.4.4. Binalarda Enerji Verimliliği ve Tasarrufu	21
1.4.4.1. Isı Yalıtımı Enerji Verimliliğine Etkisi	21
1.4.4.2. Isıtma Sistemlerinde Verimlilik ve Tasarruf	25
1.4.4.3. Aydınlatma Sistemlerinde Verimlilik ve Tasarruf	31
1.5. Binalarda Isıtma Sistemleri ve Hesabı	33
1.5.1. Isı Aktarımı ve Çeşitleri	33
1.5.1.1. İletim Yoluyla Isı Aktarımı	33
1.5.1.2. Taşınım Yoluyla Isı Aktarımı	35
1.5.1.3. Işınım Yoluyla Isı Aktarımı	36
1.5.2. Binalarda Uygulanan Isıtma Sistemleri	37
1.5.2.1. Yerel Isıtma	37
1.5.2.2. Tekil Isıtma	38
1.5.2.3. Merkezi Isıtma	38
1.5.2.4. Bölgesel Isıtma	38
1.5.3. Hesap Metotları	40

1.5.3.1. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Standardının Tanımı ve Amacı	40
1.5.3.2. Isıl Geçirgenlik Direncinin (R) Hesaplanması	41
1.5.3.3. Toplam Isıl Geçirgenlik Direncinin (1/U) Hesaplanması	41
1.5.3.4. Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısının (U) Hesaplanması.....	41
1.5.3.5. Binanın Özgül Isı Kaybının Hesabı.....	42
1.5.3.6. Binanın Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacının Hesaplanması	43
1.5.3.7. Binanın Yıllık Yakıt Tüketimi ve Maliyet Hesabı	44
1.5.3.8. Yakıtın Yanmasından Oluşan Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu Hesaplanması.....	45
2. MATERYAL VE YÖNTEM	46
2.1. Materyal	46
2.2. Yöntem.....	48
2.3. Binalarının Özellikleri	49
2.4. Binalarındaki Isıtma Sisteminin İşletme Biçimleri.....	50
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
3.1. Binaların Isı Kaybı ve Isıtma Enerjisi Hesaplama Sonuçları	52
3.2. Teorik ve Gerçek Yıllık Yakıt Tüketimi, Maliyeti ve CO ₂ Emisyon Miktarları	54
3.3. Termal Kamera Görüntülerinin İncelenmesi	61
3.4. Mekân Aydınlatma Şiddetlerinin İncelenmesi	66
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	68
5. KAYNAKLAR	70
6. EKLER	75
ÖZGEŞMİŞ.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

1.1. Türkiye enerji tüketim-üretim-ithalat ve ihracatının gelişimi (Bin TEP).....	14
1.2. Türkiye'nin 2000 yılında birincil enerji üretimi ve tüketimi (Bin TEP)	15
1.3. Türkiye'nin 2018 yılında birincil enerji üretimi ve tüketimi (Bin TEP)	16
1.4. Türkiye'de yıllara göre birincil enerji kaynakları üretimi	17
1.5. Türkiye'de yıllara göre birincil enerji kaynakları tüketimi (Bin TEP).....	18
1.6. Türkiye'de 2018 yılı için genel enerji dengesi	19
1.7. 2000-2018 döneminde Türkiye'nin sektörlere göre enerji tüketimi (MTEP)	20
1.8. İç ortam sıcaklığı ile duvar sıcaklığına göre konfor durumu	25
1.9. 300 K sıcaklıkta bazı malzemelerin yayma katsayısı.....	37
1.10. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri	43
1.11. Yakıtların alt ısı değeri, kazan verimi ve yakıt birim fiyatı (KDV dâhil)	44
1.12. Yakıt türlerinin DK (CO ₂) dönüşüm katsayıları.....	45
2.1. Termal kamera cihazının genel teknik özellikleri (Fluke Ti110).....	47
2.2. Çok fonksiyonlu ölçüm cihazının (Testo 435) genel teknik özellikleri	48
2.3. Tez çalışmasındaki binaların detayları	49
2.4. Binaların dış duvar bileşenleri ve pencerelerin özellikleri.....	50
3.1. Binaların özgül ısı kaybı ihtiyacı.....	53
3.2. Binaların yıllık ısıtma enerjisinin ihtiyacı ve birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi	54
3.3. Binaların kullanım süresince olan ısıtma enerjisi ihtiyacı.....	54
3.4. 2017-2019 Yılları için ısıtma sezonu süresince teorik ve gerçek yıllık yakıt tüketimi	55
3.5. 2017-2019 Yılları için ısıtma sezonu süresince yıllık yakıt tüketim maliyet miktarları	57
3.6. 2017-2019 Yılları için yakıt tüketimine bağlı oluşan CO ₂ emisyon miktarları.....	58
3.7. Bina içindeki seçilen yerlerin iç ortam sıcaklıkları	59
3.8. Bazı mekânlar için gerçek ve standart ortalama aydınlık şiddeti değerleri.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
1.1. Bitlis Eren Üniversitesinin kampüs binaları genel görünümü.....	8
1.2. Türkiye'nin 2000-2018 döneminde genel enerji gelişimi	14
1.3. 2000 ve 2018 Yıllarındaki yakıta göre birincil enerji tüketim eğilimi	16
1.4. 2000 ve 2018 Yıllarındaki yakıta göre birincil enerji üretim eğilimi.....	16
1.5. Türkiye'de 2018 yılında birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı.....	18
1.6. 2018 yılında Sektörlerinin birincil (a) ve nihai (b) enerji tüketiminin oranları	20
1.7. Duvarın yalıtım malzemesinin uygulaması	23
1.8. İç ortamın ısı konforunun sınırları.....	24
1.9. Radyatörün vanası manuel olarak ayarlanması	27
1.10. Radyatörün vanası elektronik olarak ayarlanması.....	27
1.11. İç ortamında hava akımı ve sıcaklık dağıtımı.....	28
1.12. Ampullerin tiplerine göre enerji tasarrufu	33
1.13. Kalınlığı Δx ve alanı A olan geniş bir düzlem duvarda ısı iletimi	34
1.14. Kaynamış bir yumurtanın zorlanmış ve doğal taşınım ile soğutulması.....	36
2.1. MMO ısı yalıtım programının ana sayfası.....	47
2.2. Termal kamera ile görüntü elde edilmesi	47
2.3. Testo 435 cihazı ile IAQ probu	48
2.4. Testo 435 cihazı ile Luxprobu	48
3.1. Binaların yapı bileşenlerinin özgül ısı kaybının oransal dağılımı	53
3.2. 2017-2018 Yılı için binaların teorik ve gerçek yıllık yakıt tüketimi.....	55
3.3. 2018-2019 Yılı için binaların teorik ve gerçek yıllık yakıt tüketimi.....	56
3.4. Binaların teorik yıllık yakıt tüketim maliyeti (TL).....	57
3.5. Yakıt tüketimine bağlı oluşan CO ₂ emisyon miktarları (kg).....	58
3.6. İç ortam sıcaklıkları ile standart sıcaklığına karşılaştırması	61
3.7. FEF binası ön ve sol dış cephelerinin termal görüntüleri	62
3.8. FEF binası arka dış cephesinin termal görüntüleri	63
3.9. FEF binası sağ dış cephesinin ve içteki sıcak su boruların termal görüntüleri.....	63
3.10. MMF binası ön dış cephenin termal görüntüleri	64
3.11. MMF binası sol, arka ve sağ dış cephelerinin termal görüntüleri	64
3.12. İİBF binası ön dış cephenin termal görüntüleri	65
3.13. İİBF binası sol ve sağ dış cephelerinin termal görüntüleri	65

3.14. İİBF binası arka dış cephenin termal görüntüleri	66
3.15. Bazı mekânlar için gerçek ve standart aydınlatma şiddeti değerlerinin grafiği	67



SİMGELER DİZİNİ

$\dot{Q}_{\text{iletim}}$	İletim yoluyla meydana gelen ısı geçiş hızı (W)
A	Yüzey alanı (m ²)
T ₁	Duvarın iç yüzey sıcaklığı (°C)
T ₂	Duvarın dış yüzey sıcaklığı (°C)
$\dot{Q}_{\text{taşınım}}$	Taşınım yoluyla meydana gelen ısı geçiş hızı (W)
h	Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
A _s	Taşınımın meydana geldiği yüzeyin alanı (m ²)
T _s	Yüzey sıcaklığı (K)
T _∞	Yüzeyden yeteri kadar uzaklıktaki akışkan sıcaklığı (K)
T _{çevre}	Çevre sıcaklığı (K)
$\dot{Q}_{\text{ışınım}}$	İşınım hızı (W)
$\dot{Q}_{\text{yayılan, maks}}$	En yüksek ışıınım hızı (W)
σ	Stefan-Boltzmann sabit katsayısı (W/m ² K ⁴)
ε	Yüzeyin yayma katsayısını (birimsiz)
R	Isıl geçirgenlik direnci (m ² K/W)
L	Yapı bileşeninin kalınlığı (m)
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
R _{si}	İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım ve ışıınım direnci (m ² K/W)
R _{se}	Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım ve ışıınım direnci (m ² K/W)
U	Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)
H	Bir hacmin toplam ısı kaybı (W/K)
H _t	Yapı bileşeninden olan artırımı ısı kaybı (W/K)
H _v	Hava sızıntısı ısı kaybı (W/K)
U _D	Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)
U _P	Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)
U _k	Dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)
U _T	Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)
U _t	Zemine oturan tabanın /döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)
U _d	Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)

U_{ds}	Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
A_D	Dış duvarın alanı (m^2)
A_P	Pencerenin alanı (m^2)
A_k	Dış kapının alanı (m^2)
A_T	Tavan alanı (m^2)
A_t	Zemine oturan taban/döşeme alanı (m^2)
A_d	Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı (m^2)
A_{ds}	Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı (m^2)
ρ	Havanın birim hacim kütlesi (kg/m^3)
c	Havanın özgül ısısı (J/kgK)
V'	Hacimce hava değişim debisi (m^3/h)
n_h	Hava değişim oranı (h^{-1})
V_h	Havalandırılan hacim (m^3)
$V_{brüt}$	Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3)
$Q_{yıl}$	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule)
Q_{ay}	Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule)
H	Binanın özgül ısı kaybı (W/K)
θ_i	Aylık ortalama iç sıcaklık ($^{\circ}C$)
θ_e	Aylık ortalama dış sıcaklık ($^{\circ}C$)
η_{ay}	Kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörü (birimsiz)
$\phi_{i,ay}$	Aylık ortalama iç kazançlar (sabit alınabilir) (W)
$\phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)
t	Zaman (s)
B_y	Yıllık tüketilen yakıt miktarı (kg veya m^3)
H_u	Kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg veya kJ/m^3)
η_k	Kazanın verimi (%)
M_y	Yıllık yakıt giderleri (TL)
C_{fyak}	Yakıtın birim fiyatı (TL/Birim)
EM_y	Yıllık CO_2 salınım miktarı (kg eşd. $CO_2/yıl$)
DK	Yakıt cinsine göre CO_2 salınımı için dönüşüm katsayısı (kg eşd. CO_2/kWh)
β	İşletme katsayısı (birimsiz)

KISALTMALAR DİZİNİ

BEÜ	Bitlis Eren Üniversitesi
BEPY	Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği
DK	Yakıt cinsine göre CO ₂ salınımı için dönüşüm katsayısı
EPS	Expanded polistren köpük
FEF	Fen Edebiyat Fakültesi
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
İİBF	İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
MMF	Mühendislik Mimarlık Fakültesi
MMO	Makine Mühendisleri Odası
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
TEP	Ton eşdeğer petrol
TRV	Termostatik radyatör vanasıdır
XPS	Ekstrüde polistren köpük

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Eğitim alanında önemli rol üslenen üniversite yerleşke binaları, gelecekle ilgili planları olan gençlere ve akademik çalışma yapmak isteyen insanlara fırsat sunan; idari, akademik ve teknik personeli barındıran kurumlardır. Üniversitelerde farklı disiplinlerde akademik eğitim ve öğretim faaliyetlerinin yürütülmesi, bu amaç ile kullanılan binaların hem çeşitliliğinin hem de kullanılan materyal bakımından işlerliğinin artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda üniversite kampüsünde bulunan binaların enerji tüketiminin ve satın alınan malzeme çeşitliliğinin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu binalarda yürütülen faaliyetler sonucu ortaya çıkan kimyasal ve kimyasal olmayan atıkların miktar bakımından fazla olmasına neden olmaktadır. Ancak kullanılabilir kaynakların sınırlı, atık depolama ve atıkların imha edilmesi konusunda ilgili personelin eğitimlerinin dar kapsamlı olması sonucu insana hizmet veren birçok binada olduğu gibi üniversite yerleşkelerinde de “çevreci bina” kavramını gündeme getirmiştir [1]. Çevreci bina ilk defa 1972 yılında Birleşmiş Milletlerin İsveç/Stockholm’de gerçekleştirilen İnsan ve Çevre Konferansında ortaya çıkan “Sürdürülebilir Kalkınma” kavramı ile kullanılmaya başlanmıştır. Sürdürülebilir üniversite ise kendi faaliyetlerini gerçekleştirirken çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan ortaya çıkan olumsuz etkileri en aza indirmek için çalışan ve topluma sürdürülebilir bir yaşam biçimi konusunda öncülük eden yükseköğrenim kurumu olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilir üniversite, yeşil üniversite veya yeşil yerleşke olarak da isimlendirilmektedir [2,3].

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), global enerji tüketiminin önümüzdeki on yıl içinde %53 oranında artacağını öngörmektedir. IEA, bunun nedeni olarak, son zamanlardaki yoğun ülke gelişimlerini ve hızlı nüfus artışına bağlı endüstriyel ve kentsel hareketliliğin ciddi miktarda artışını göstermektedir. Enerji talebindeki yükselişin bir sonucu olarak çevresel sorunlar da daha belirgin hale gelmektedir. Çevre kirleticisine bir örnek olan karbondioksit emisyonu, genellikle insan sağlığı için tehlikeli bir içerik olarak bilinmektedir [4]. Isıtma sistemlerinde yakıt yanmasından kaynaklanan baca gazı emisyonları özellikle ısıtma ihtiyacını karşılamak için daha fazla yakıt tüketimi gerektiren soğuk mahallerde, çevre sağlığını olumsuz yönde etkiler. Böylece daha fazla zararlı gaz emisyonuna neden olur. Dolayısıyla binalarda enerji verimliliği kullanarak sera gazı emisyonlarını özellikle çevreye zararlı olan karbondioksit emisyonunu azaltmak mümkündür. Enerjiyi verimliliği uygulamaları zincir etkisiyle doğal kaynak kullanımının ve tüketiminin azalmasını sağlar. Bunun sonucu olarak sera gazı salınımı da azalmış olur [4].

Birçok ülkenin en önemli problemlerinden biri de tüketim için gerekli enerjinin yeterli olmaması ve enerji tüketiminin sebebiyet verdiği çevre kirliliğinin azaltılmasında, enerji tasarrufunu zorunlu kılmaktadır. Yapılarda enerji sarfiyatını düşürmek enerji tasarrufuna, enerjinin etkin ve verimli kullanılmasına yardımcı olur. Bir ısıtma sisteminin tasarımında; yapının yönünü güneşten en üst düzeyde faydalanacak hale getirmek, dış duvarların kapladığı alan, taşıyıcı sistemin (çelik, beton vb.) türü, uygun yalıtım malzemesi seçimi gibi birçok faktör, enerji verimliliğini ve tasarrufunu sağlamak için önemlidir. Bu değerlendirmelerdeki maksat verimlilik, çevre kirliliğini azaltmak, tasarruflu bir ısıtma sistemi ve binada bulunan insanların konforudur [5].

Ülkemizde son yıllarda çeşitli sebeplerden dolayı artan enerji talebi ve buna paralel olarak yeterli gelmeyen enerji kaynaklarından dolayı, enerjinin verimli kullanımına ilişkin çalışmalar yapmak gerekli hale gelmiştir [2]. Bina yerleşkeleri, özelinde düşünüldüğünde kampüs binalarının ısı ve ışık ile ilgili enerji tasarrufunu en az masrafla maksimum düzeye getirmek, çevreye kirliliğine mahal vermeden ülke ekonomisine daha az petrol rezervi vs. ürün ithal ettirerek önemli bir oranda ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Müteakip çalışmalarda, binalarda kullanılan enerjin verimliliğinin artırılmasına yardımcı olacak mühendislik çözümleri geliştirilerek, müteahhitlik alanında hali hazırda ileri düzeyde olan ülke ihracatını daha ileriye taşıyacaktır.

Yapılan araştırmalar, binalarda tüketilen enerjinin yaklaşık olarak %82'sinin ısıtma amacıyla kullanıldığını göstermektedir. Binalarda ve ısıtma sistemlerinde uygulanacak çeşitli teknikler ile önemli oranda enerji tasarrufunun sağlanması mümkündür. Bu nedenle konutlarda kullanılan ısıtma sistemlerinin tasarımı, kullanılacak yakıtın türü ve maliyetleri, kullanıcılar ve enerjinin verimli kullanılması açısından son derece önemlidir. Yüksek enerji tüketimi olan üniversite kampüsleri enerjinin verimli kullanılması bakımından önemli hale gelmiştir [1,2].

Ülkemizde, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının tarafından sunulan istatistiklere göre, bina sektöründe %30, sanayi sektöründe %20 ve ulaşım sektöründe %15 olmak üzere önemli düzeyde enerji tasarruf potansiyeli olduğu tespit edilmiştir [6]. Ayrıca, enerjiden tasarruf edilmesi ülkelerin ekonomik büyümesine de önemli ölçüde katkıda bulunur. Bu tez çalışmasında asıl olarak, bahsi geçen %30'luk kısımdaki bina sektörünün enerji tasarruf yöntemlerine odaklanmaktadır.

Fosil yakıtların yanmasından dolayı çıkan karbon salınımının sebep olduğu küresel ısınma ile bundan dolayı oluşan iklim farklılaşmasını engellemenin iki esas yöntemi vardır: Birincisi; karbon içerikli yakıtların yerine çevre kirliliğine neden olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimidir. İkincisi ise; üretilen enerjiyi maksimum verimle tüketmek ve enerjiden tasarruf etmektir [7]. Binalarda enerji tasarrufu bakımından yapılan uygulamaların en başında ısı yalıtımı gelmektedir. Binalarda kış aylarında ısı kayıplarını, yaz aylarında ise ısı

geçirimini azaltmak için en etkili yol ısı yalıtımıdır. Bilindiği gibi yalıtımın kalınlığının artması yazın ısı geçirimini ve kışın ısı kayıplarını önemli ölçüde azaltırken ancak yalıtım maliyetinde artışa neden olmaktadır. Fakat bu artış maliyeti, ısınma ve soğutma maliyetlerindeki düşüş yanında çok cüzi miktarlardadır. İkinci aşama, ısıtma sisteminin ekonomik kalitesini ve çevre dostluğunu sağlamak için kullanılabilir yakıt tipi seçimine göre işletim sistemini belirlemektir. Bu parametreler yapılan çalışmaya temel olarak kullanılmıştır.

1.2. Literatürdeki Bazı Çalışmalar

Tez konusu ile ilgili olarak ülkemizde son zamanlarda araştırmacılar tarafından bazı çalışmalar yapılmıştır.

Özel ve Pıhtılı [8], yaptıkları çalışmada; binalarda ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerini kullanarak, optimum izolasyon kalınlığının belirlenmesini incelemişlerdir. Çalışma için farklı şehirler (Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir) seçilerek yapılmıştır. Dış duvarların İzolasyon malzemesi olarak Ekstrüde polistren köpük (XPS) seçilmiştir. Çalışma sonucunda, incelenen illere göre optimum izolasyon kalınlığının 0,04-0,084 m arasında değiştiği belirlenmiştir. Yine aynı şahıslar duvar yalıtım kalınlığının pencere alanı ile ilişkisi üzerine çalışma yapmışlardır [9].

İşbilir [10], 1. Derece-gün bölgesinde bulunan İzmir ilindeki seçilen konut ve işyeri binalarının ısı yalıtım uygulamalarını incelemiştir. Çalışmada bulunan konut ve işyeri binalarının ısı yalıtımlı ve yalıtımsız olması durumunda, ısıtma enerjisi ihtiyaçları hesaplanmıştır. Binalarda XPS ve Expanded polistren köpük (EPS) ısı yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda, ısı yalıtım malzemeleri uygulanarak binalarda, yaklaşık %60'a varan enerji tasarrufu tespit edilmiştir.

Öztuna ve Dereli [11], 2. İklim bölgesine ait Edirne ilinde bulunan bir binanın ısıtma sistemi için derece-gün değerlerini kullanarak duvarlarda optimum izolasyon kalınlığının belirlenmesini incelemişlerdir. Çalışmada ısıtma amaçlı kullanılabilir 6 farklı yakıt türü (yerli ve ithal kömür, doğalgaz, LPG, elektrik, fueloil) için 5 farklı duvar modeli kullanılmıştır. İzolasyon malzemeleri olarak EPS ve taş yünü seçilmiştir. Araştırma sonucunda en iyi sonuç olarak; yerli kömürün yakıt, EPS izolasyon malzemesinin uygulanması durumunda; optimum yalıtım kalınlığı 2,8-3,9 cm, geri ödeme süreleri 2,1-4,2 yıl, elde edilen enerji tasarrufu %24-%47 olduğu belirlenmiştir.

Coşkun ve Oktay [12], 2. Derece-gün bölgesinde olan Balıkesir İli, Balıkesir Üniversitesi Kampüsünün içerisinde yer alan Mühendislik Mimarlık Fakültesi ana binasının enerji taramasını

yapmışlardır. Binanın enerjisini, mevcut durumuna göre ve gerekli iyileştirmelerin (Isı yalıtımı uygulaması, daha verimli bir kazan kullanılması, aydınlatmanın iyileştirilmesi vb.) yapılması sonucunda enerji tasarrufu bakımından incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldıktan sonra, binada alınabilecek önlemlerle %32'ye varan enerji tasarrufu sağlanabileceği tespit etmişlerdir.

Yılmaz [13], 3. ve 4. iklim bölgelerinde bulunan Konya ve Erzincan illerinden 10 farklı apartmanın ısı yalıtım analizini yapmıştır. Binalarda ısı yalıtım malzemesi olarak XPS ve EPS kullanılmıştır. Seçilen binaların ısı yalıtımı yapıldıktan sonra tasarruf oranının %62 civarı olduğunu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan hesaplamalarda ısı yalıtım malzeme kalınlığının minimum 6 cm olması gerekirken uygulanan izolasyon kalınlığının 2 veya 3 cm olduğu görülmüştür.

Özel ve Şengür [14], 1. İklim bölgesinde bulunan Antalya ili ve 5. İklim bölgesinde bulunan Kars ili için seçilen örnek binanın üç farklı yakıt türü ve üç farklı yalıtım malzemeleri kullanarak enerji tasarrufu bakımından, optimum ısı yalıtım kalınlığını incelemişlerdir. Yakıt olarak kömür, fueloil ve doğalgaz kullanılmıştır. İzolasyon malzemesi olarak da taş yünü, Foamboard ve İzopor plus seçilmiştir. Enerji tasarrufu bakımından optimum yalıtım kalınlıklarını, taş yünü izolasyon malzemesi ve doğalgaz yakıtının kullanılması durumunda Antalya ili için 0,032 m ve Kars ili için 0,068 m olacak şekilde tespit etmişlerdir.

Selbaş vd. [15], 2. derece-gün bölgesinde buluna Bursa ili devlet hastanesinin enerji etüdünü araştırmışlardır. Enerjinin etkin kullanılmasını sağlamak için dikkatsizce veya aşırı derecede tüketilen enerjinin tasarruf noktaları belirlenmişlerdir. Çalışmada, enerji verimliliği bakımından gerekli iyileştirme ve öneriler (ısı yalıtımı uygulaması, yüksek verimli aydınlatma kullanılması vb.) sunulmuştur. Sonuç olarak, bina için gerekli iyileştirme önlemleri alındıktan sonra, nihai enerji tasarruf miktarının ve sera gazı emisyon miktarının (CO₂) %12,6 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

Oğuz ve Kırmacı [16], ikinci iklim bölgesinde bulunan Bartın ilinde kullanılan ısıtma sistemlerinin ekonomik ve çevresel etkilerini incelemişlerdir. Çalışma için 4 farklı binayı örnek olarak ele almışlardır. Isıtma sistemi ise kömürlü merkezi, fueloil merkezi, doğalgazlı bireysel, doğalgazlı merkezi olmak üzere dört farklı ısıtma sistemi analizi yapmışlardır. Binalar için ısı kaybı ihtiyaçları ayrı ayrı hesaplanmış, kullanılan ısıtma sistemini türüne bağlı olarak yıllık yakıt tüketimi ve CO₂ emisyon miktarını hesaplamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda en çevreci, en verimli ve en ekonomik ısıtma sisteminin, doğalgazlı merkezi ısıtma sistemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kallioğlu vd. [17], 2. İklim bölgesinde bulunan Diyarbakır ilindeki seçilen binanın enerji

tasarrufu bakımından optimum ısı yalıtım kalınlığının çevresel ve ekonomik analizi yapmışlardır. Binanın ısıtma sistemi için kömür (Soma) ve doğalgaz yakıt olarak kullanılmıştır. İzolasyon malzemesi olarak da XPS ve EPS seçilmiştir. Bu çalışmada, ısı kaybının sadece dış duvarlarda gerçekleştiği varsayımıyla optimum yalıtım kalınlığının hesabı yapılmıştır. Araştırma sonucunda XPS kullanıldığında, ortalama optimum kalınlık 0,0675 m, yıllık enerji tasarrufu %62,165, geri ödeme süresi 1,83 yıl ve CO₂ ve SO₂ emisyonları %76 daha az olmuştur. Genleşmiş EPS kullanıldığında, ortalama optimum kalınlık 0,0825 m, enerji tasarrufu %73,06, geri ödeme süresi 1,245 yıl ve CO₂ ve SO₂ emisyonları gibi parametreler %85 oranında düşüş tespit etmiştir.

Kaya vd. [18], Erzincan ilindeki binalarda ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisini incelemişlerdir. Yalıtımsız binalarda 4, 5 ve 8 cm kalınlıklarında yalıtımın olması durumunda, enerji tasarrufunun verilen değerlere göre sırasıyla, %56,20, %58,51 ve %61,19 değerinde gerçekleştiğini hesaplamışlardır.

Aktemur [19], Kocaeli ilindeki bulunan İzmit ilçesinde bir örnek binayı incelemiştir. Derece-Gün Yöntemi Kullanılarak, binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını ve doğalgaz tüketimini, farklı cam türleri, cam alanı yüzdesi ve bazı diğer koşulları göz önüne alarak hesaplamıştır. Sonucunda, konutlarda tek cam yerine üçlü cam kullanılması durumunda yıllık yakıt tüketiminde yaklaşık %40 tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir. Diğer bir parametre olarak, binanın camlı yüzey alan değerini göstermiştir. Bu değer %20'den %50'ye yükseltilmesi durumunda yakıt tüketiminde yaklaşık iki kat artışın görüldüğünü belirtmiştir. Bunlara ek olarak, örnek binanın mimari özellikleri de enerji talebini önemli ölçüde etkilediğini ifade etmiştir. En iyi koşullarda, Kocaeli'deki örnek bina modelinin tüketimi 0,27 bcm (milyar m³) aralığında değişirken, bu değer en kötü durumda yaklaşık 2,85 bcm'dir.

Rüşen vd. [20], Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesinin enerji açısından mevcut durumu ve enerji verimlilik potansiyelini incelemişlerdir. 2016 yılı için %18'e varan enerji tasarruf potansiyelinin olduğunu tespit etmişlerdir.

Bademlioglu vd. [21], 2. İklim bölgesinde bulunan Bursa ilindeki seçilen binanın en uygun yalıtım kalınlığının belirlenmesini incelemişlerdir. Binanın dış duvarlarına uygulanacak optimum yalıtım kalınlığı, farklı maliyet yaklaşımları için ısıtma derecesi gün yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. İzolasyon malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Bu durumda artan yalıtım kalınlığına ve ömür maliyet analizine göre optimum yalıtım kalınlığı, tasarruf miktarı ve geri ödeme süresini hesaplamışlardır. Enflasyon ve faiz oranları dikkate alındığında, basit geri ödeme analizi yöntemi ile hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı 0,0558 m olarak belirlenmiş ve optimum yalıtım kalınlığında geri ödeme süresi 9,23 yıl olarak hesaplamışlardır. Ama enflasyon ve faiz oranları dikkate alınması durumunda, optimum yalıtım kalınlığı 0,0689 m olarak belirlenmiş ve

optimum yalıtım kalınlığında geri ödeme süresi 7,09 yıl olarak hesaplamışlardır. Uygulanan optimum yalıtım kalınlığında, farklı maliyet yaklaşımlarına göre tasarruf miktarı 20,35 USD/m² ile 35,58 USD/m² arasında değiştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Başaran vd. [22], akıllı kontrol sistemlerinin kullanım alanlarının yaygınlaştırılması ve bu sistemlerin yararlarının arttırılması için çoklu modül destekli bir akıllı kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen sistem kullanıcıya aynı anda ayrı ayrı alanların aydınlatma, havalandırma ve sıcaklık kontrolü ve belirli olumsuz sağlık koşullarında devreye girerek erken uyarı imkânı sağlamaktadır. Ayrıca, kullanıcının geliştirilen grafik ara yüzünü kullanarak tüm modüllere hâkim olması ve verileri kontrol edebilmesi de sağlanmıştır. Bu veriler doğrultusunda sistemin kullanılmasıyla 126 m³ hacimli ve günde ortalama 456,89 W/h enerji tüketilen bir çalışma ortamında konfor değerleri içinde enerjiden günde yaklaşık %35,81 avantaj sağladığı belirlenmiştir.

Fertelli ve Balta [23], Cumhuriyet Üniversitesindeki kampüs binalarının aydınlatma sisteminin yenilenmesinde enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini incelemişlerdir. Enerji verimliliği bakımından üç alternatif aydınlatma sistemini kabul etmişlerdir. Ayrıca, CO₂, SO₂, NO_x, CO emisyon miktarları hesaplanarak enerji tasarrufunun çevresel etkilerini belirlemişlerdir. Ömür maliyet analizini kullanarak enerji maliyetlerini ve geri ödeme sürelerini belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda Üniversite kampüsündeki binaların mevcut aydınlatma sisteminin etkin aydınlatma sistemleri ile değiştirilmesi durumunda, elektrik tüketiminde %16,5 ile %40,5 arasında önemli bir düşüşe yol açacağını ve bu alternatif aydınlatma sistemlerinin geri ödeme sürelerinin 1,9 ile 5 yıl arasında değiştiği sonucuna varmışlardır.

Oz ve Sogut [24], Bursa ilindeki otellerin enerji yönetim sistemlerine uygulamak için geliştirilen enerji tüketim süreçlerinin analitik bir değerlendirme yöntemini sunmuşlardır. Bu yöntem doğrudan pratik bir yaklaşıma dayanmakta, enerji ve ekserji analizlerini kullanarak ilkel enerji denetim ile çevresel analizleri incelemektedir. Otelin enerji verimliliği performansı yalıtılmamış ve yalıtımlı koşullar için kabul edilmişlerdir. Analiz sonuçları, enerji tüketimindeki kayıpların sadece binaların yapısal özellikleri ile değil aynı zamanda otellerin işlemsel süreçler yönetimi ile de ilişkili olduğunu göstermektedir. Yalıtımlı ve yalıtılmamış koşullar için enerji verimliliği sırasıyla %27,31 ve %16,26 olarak bulmuşlardır. Otelin enerji işlemsel süreçler yönetimi yapılarındaki problemler dışında, ısıtma amacıyla yalıtılmamış ve yalıtılmış şartlar arasında %43,08 oranında iyileşme olduğunu tespit etmişlerdir.

Ünal ve Bayram [25], kendi araştırma makalelerinde, ısı kayıpları incelemesi için, örnek olarak Ankara ilinde 12 katlı bir binayı seçmişlerdir. Binanın ısı yalıtımı etkinliğinin belirlenmesi ve binanın ısı kayıplarının olduğu alanların tespiti için, termal kamera cihazı kullanmışlardır. Bu

uygulamada, termal kameradaki kızıl ötesi görüntüler incelenerek binadaki yalıtım uygulamalarının performansı değerlendirilmiştir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bilindiği gibi, soğuk bölgelerde olup düşük sıcaklıklara sahip şehirler ısıtma amacıyla yüksek enerji tüketimine sahiptir. Ayrıca, buna ek olarak iç ortamın ısısı, ısıtma sistemindeki tasarım hatalarına bağlı olarak ısı konfor için gerekli olan standart değerin üzerine çıkması durumunda enerji tüketimi normal tüketimden daha da fazla olmaktadır. Bu aşırı enerji tüketimi, finansal harcamaların artmasına ve çevreye zararlı olan özellikle karbondioksit emisyonlarının artmasına neden olur. Dolayısıyla, insanların ısı konfor standartlarını, aynı performansı ve iş kalitesini sağlamak için aşırı enerji tüketimini optimum seviyeye düşürme zorunluluğu oluşmaktadır. Öncelikle binalardaki enerji verimliliğini detaylıca incelenmesi düşünüldü. Bu yüzden yukarıdaki açıklamalara dayanarak, bu tezin çalışması için Bitlis ilindeki en soğuk yerlerden olan Rahva Yerleşkesinde bulunan Bitlis Eren Üniversitesi (BEÜ) kampüs binaları incelenmiştir.

Bitlis ili kışın çok soğuk bir şehirdir. Bu şehirde binaların ısıtma süresi yaklaşık yedi ay sürmektedir. Bu nedenle, binaların ısıtılmasını sağlamak için büyük miktarda maliyet oluşmaktadır. Aynı zamanda, ısıtma sisteminden çevreye çok miktarda, zararlı olan karbondioksit emisyonu oluşmaktadır. Bu nedenle ısıtma amacıyla tüketilen enerjinin verimli kullanılması önem kazanmaktadır.

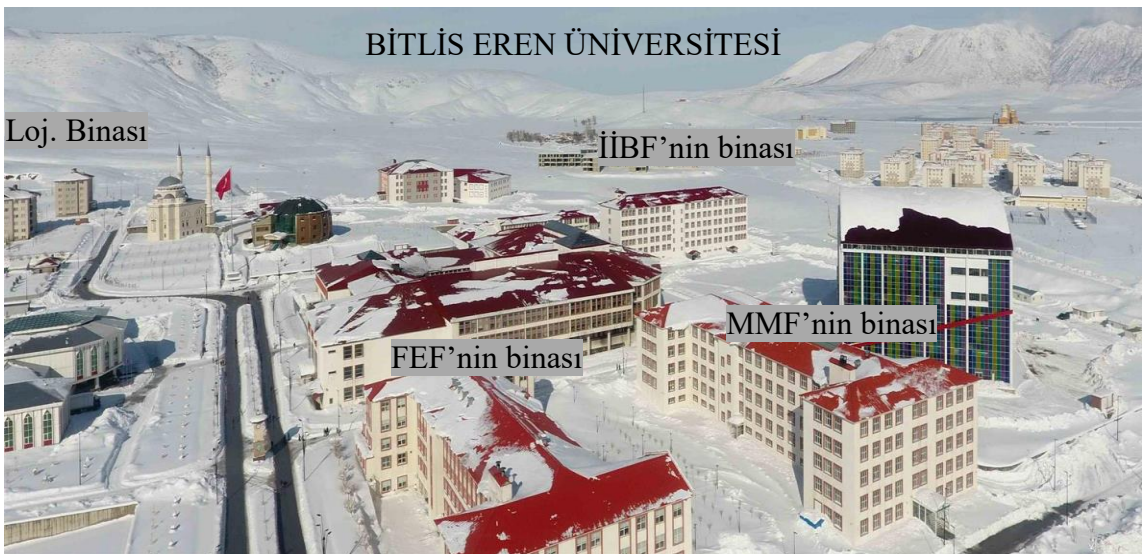
BEÜ Kampüsünün içinde bulunduğu Bitlis-Rahva yerleşkesi; Doğu Anadolu Bölgesinin güney bölümünde 38° 40' kuzey enlemi ile 42° 11' doğu boylamında yer almaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından, Bitlis şehrinde 1959-2018 yılları arasında meteorologların yaptığı ölçümlerden, yıllık sıcaklık ortalamasının 9,4°C, en soğuk ay olan Ocak ayı ortalamasının -6,6°C ve en sıcak ay olan Ağustos ayı ortalamasının da 30,7°C olduğu görülmektedir. Yüzölçümü 8855 km² olup il merkezinin deniz seviyesinden yaklaşık 1800 metre yüksekliktedir ve karasal iklimin hüküm sürdüğü kış aylarında Türkiye ortalamasının çok üzerinde kar yağışı almaktadır. Özellikle kış aylarının uzun ve soğuk geçmesi ısınma amaçlı enerji tüketimini arttırmaktadır [26,27].

Daha önce BEÜ kampüsü yerleşkesinde enerji etüdü ve verimliliği konularında herhangi bir çalışma yapılmadığından dolayı bu araştırma ve inceleme, üniversitemiz ve bölgemiz bakımından önem arz etmektedir. BEÜ kampüs binalarının enerji etüdü için üniversitesindeki bulunan tüm fakültelerin; Mühendislik Mimarlık Fakültesi (MMF), Fen Edebiyat Fakültesi (FEF) ve İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi (İİBF) binaları ile üniversitenin kampüs lojmanların biri

olan R3 blok numaralı bina bu çalışmada örnek olarak seçilmiştir. Bu binalarının genel görünümü Şekil 1.1’de verilmiştir.

Bu çalışmada, üniversitenin en fazla enerji tüketen sistemleri ve bileşenleri kontrol edilmiş ve tanımlanmıştır. Yöntem olarak ise; BEÜ kampüsünde bahsi geçen binaların 2017-2019 yılları arasındaki enerji tüketim değerleri dikkate alınarak, bu binaların enerji tüketimi açısından durumu incelenerek, temel tüketim noktalarında ölçümler alınarak, binaların enerji verimlilik potansiyeli ortaya çıkarılmıştır. 2017-2018 döneminde üniversitenin eğitim binalarının ısıtma sisteminde kömür kullanılırken aynı dönemde lojman binasının ısıtma sisteminde ise fueloil kullanılmıştır. 2018-2019 döneminde ise bütün binalarda doğalgazlı ısıtma sistemine geçilmiştir. Böylece, aynı binada kullanılan farklı ısıtma sistemleri, yakıt tüketimleri bakımından ve ekonomik bakımdan karşılaştırılarak verim ve enerji tasarrufu elde edilip edilmediği incelenmiştir.

Çalışmamızda, enerji tüketim değerlerinin fazla olduğu binalar için verimlilik artırıcı çözümler önerilmiştir. Yerleşkedeki bu binaların enerji tüketim noktalarının tasarruf potansiyellerinin incelenmesi için imkânlar dâhilinde çeşitli ölçüm cihazları (termal kamera cihazı, iç ortam sıcaklığı ve aydınlatma şiddeti ölçüm cihazı) kullanılmıştır. Çalışmada, BEÜ’nin kampüsündeki belirtilen binalar için ısı yalıtımı kullanımının ekonomik fizibilite üzerindeki etkisini incelemenin yanı sıra, üniversitenin merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan yakıtların çeşitleri ve yıllık işletme maliyetlerinin durumu da incelenmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise, BEÜ’nde araştırmaya tabi tutulan binaların farklı ısıtma sistemlerindeki yakıt bakımından maliyetleri ortaya çıkarılmıştır. Bu sonuçlar karşılaştırılarak binaların merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılması gereken en ekonomik yakıt türü belirlenmiştir.



Şekil 1.1. Bitlis Eren Üniversitesinin kampüs binaları genel görünümü [28].

1.4. Enerji ve Verimliliği

1.4.1. Enerji

Enerji, insan yaşamının tüm alanlarında ihtiyaç duyulan temel bir kaynaktır olup ekonomik ve sosyal kalkınmayı etkileyen önemli bir unsurdur. Bir enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar (fueloil, doğalgaz, kömür vb.) birincil enerji kaynağı olarak kullanılmakta ve dünyanın enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamaya devam etmektedir [6].

Enerji kullanımı sosyal ve ekonomik anlamda kalkınmanın kilit anahtarıdır. Bundan dolayı; enerji, zamanında, yeterli kalitede, ekonomik, olarak sanayinin ve sosyal yaşamının hizmetine sunulmak suretiyle refahın yükseltilmesini sağlayan ve toplum yaşamını kaliteli ve daha yaşanılabilir hale getirmeye yarayan, iş yapabilme özelliğine sahip bir güçtür [29].

Enerji, genel anlamda iş yapabilme, bir nesne sisteminin kendisi ya da diğer nesne veya sistem üzerinde etki oluşturabilme yeteneğini ve kapasitesini ifade eder. Aslında, bilim insanları ve mühendisler için enerji, iş yapmanın ölçülebilir bir kabiliyetidir. Modern anlamda enerji kavramı ilk olarak 1599 yılında filozoflar tarafından kullanılmış ve 1807 yılında da İngiliz fizikçi Thomas Young tarafından fizik teorisine adapte edilip günümüze kadar gelişim göstererek gelmiştir. Enerji kavramı ekonomik anlamda, ilk olarak 1910 yılında Emanuele Sella tarafından ele alınmış olup, enerji bilimi olan termodinamik ile üretim süreci arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Sella, evrendeki toplam enerji kapasitesinin sabit olduğunu ve ekonomik süreçte enerjinin hal değişimiyle refah artışı sağladığını öne sürmüştür. Enerji kavramı, sanayi devrimine kadar insan ve hayvanın iş yapabilme kapasitesi olarak ele alınmıştır. Sanayi devrimi, buharlı makinenin kullanımı ve demir üretmek için yakıt olarak odun yerine daha yüksek kaloriye sahip kömürün kullanılmaya başlaması gibi önemli gelişmelere yol açmıştır. Bu gelişmelerle devamında insan gücünün yerini makineler almış ve enerji, daha çok makinelere ve cansız varlıklara atfedilmeye başlanmıştır. Birinci Dünya Savaşından sonra, insan ve hayvanın yerlerini yüksek enerjili petrol, doğalgaz ve en sonunda da elektrik gibi temel cansız varlıklar almışlardır. 18. Yüzyıla kadar tüm ekonomiler organik kaynaklarından çıkan yenilenemeyen enerjiyi (kömür, petrol vb.) kullanırken, son 200 yıldır enerji kaynaklarının organikten inorganiğe (yakıtlar, metal cevherleri, doğada bulunan çeşitli kimyasallar vb.) dönüştüğü görülmektedir. Bu durum aslında enerjinin üretim sürecine girebilmesi için dönüşüme uğraması gerektiğini yani enerji dönüşüm faaliyetlerinin yapılması gerektiğini gösteriyor. Bu faaliyetler, doğal enerji kaynaklarını işlenmemiş halinden alıp, kullanılabilir enerji şekline dönüştüren yani ekonomide mal ve hizmet üretiminde kullanılabilen enerji istihdamı yaratan faaliyetlerdir. Doğal olarak üretim sürecini faal hale getiren

enerji kaynaklarına ulaşmak için yapılan çalışmalar, ekonomik anlamda enerji birikimini artırmakta ve bu birikimin mal ve hizmet üretiminin sürecinde etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır [30].

Ekonomik büyüme için, mevcut kaynakların etkin ve maksimum verimle kullanılması gerekmektedir. Bu kaynakların en önemlilerinden biri olan enerji, tüm ekonomik faaliyetleri harekete geçiren başlıca güç olması, iş gücü ve sermayenin verimliliğini artırması gibi nedenlerle ekonomik büyümede merkezi bir konuma sahiptir. Günümüzde genel üretim faktörlerinden biri olarak kabul edilen enerji, geçmişten günümüze kadar birçok iktisatçı tarafından incelenmiş ve kullanım alanlarına göre çeşitli şekillerde ele alınmıştır. Yaklaşık 40-45 yıldır iktisatçılar tarafından enerjinin, hem maddenin hal değiştirmesi ve hareket ettirilmesini kapsayan üretim sürecine katılan bir üretim etkeni olduğu hem de ticarete konu olan tüketim malı niteliği taşıdığı kabul edilir. Enerji birikimi, mevcut rezervlerin işlenmesi ve yurt dışına ithal ile ulaşmakta ve ekonomik analiz açısından enerjinin sürdürülebilirliği, verimliliği, tasarrufu, yoğunluğu ve güvenirliliği gibi kavramları ön plana çıkarmaktadır [30].

1.4.2. Enerji Verimliliği

Genel olarak enerji verimliliğinin tanımı, binalarda çevresel koşulları, yaşam standardımızı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının, düşüşüne yol açmadan, birim hizmet ya da ürün miktarı başına düşen enerji tüketiminin azaltılmasıdır [31,32].

Enerji verimliliği birçok kavramı kapsamaktadır. Bu kavramları kısaca şöyle özetleyebiliriz. Enerjinin elde edildiği kaynaklara enerji kaynakları denir. Bunlar; yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgâr, güneş gibi ve yenilenemez enerji kaynakları doğalgaz, kömür gibi kaynaklardır. Bir işin kalitesi ve niteliğinden feragat etmeden, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, daha az enerji harcanarak aynı işi elde etmek enerji verimliliğidir. Enerjinin etkin ve verimli kullanılması amacıyla üretimin tüm aşamalarında üretim kapasitesini ve kalitesini düşürmeden harcanan enerji miktarındaki azalma enerji tasarrufudur. Enerji tasarrufu, enerji tasarruf potansiyellerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılan çalışmaların tümüdür. Bu çalışmalar; bilgi edinme, ölçme, değerlendirme/hesaplama ve raporlama işlemleri olup aynı zamanda enerji etüdü olarak da isimlendirilir. Enerji kaynaklarının etkili ve verimli biçimde kullanılması için uygulanan yönteme enerji yönetimi denir. Enerjiyi verimli bir şekilde kullanabilmek için enerji verimliliği kavramlarının iyice anlaşılması gerekmektedir [33].

Günümüzde teknolojik ilerleme ile birlikte ihtiyaç duyulan enerji miktarı artmakta aynı zamanda bu enerjinin büyük bir kısmı yenilenemeyen fosil enerji kaynaklarından sağlanmaktadır.

Ancak çevre sağlığını olumsuz biçimde etkileyen fosil enerji kaynaklarının rezervlerinin ilerleyen yıllarda ihtiyacı karşılayamayacak kadar azalacağı düşünülmektedir. İhtiyaç duyulan enerjinin fosil yakıtlardan elde edilmesi sonucu atmosfere salınan emisyon gazı miktarı artmaktadır ve bu gaz küresel ısınmaya neden olarak dünyamızın iklimini değiştirmektedir. Bu noktada enerjiyi verimli ve tasarruflu kullanmak büyük önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda enerjinin verimli bir şekilde kullanılması sonucu atmosfere daha az miktarda emisyon gazı salınacak ve de bu gazların neden olduğu çevresel kirlilik azalacaktır [34].

Yaşantımızın hemen her anında, enerjiyi verimli kullanmaya yönelik büyük bir potansiyel bulunmaktadır. Günlük hayatımızda enerjiyi kullandığımız alanlarda ufak değişiklikler yaparak enerjiyi daha verimli kullanabilir ve de dolayısıyla çevre kirliliğinin önüne geçebiliriz. Örneğin akkor lambaları yerine daha az enerji tüketen led lambalarını kullanarak harcadığımız elektrik enerjisi miktarını azaltabiliriz. Enerji verimliliği için yapacağımız değişiklikler sadece çevreye fayda sağlamaz aynı zamanda daha konforlu bir yaşam sürmemize de yardımcı olur. Örnek olarak A+ enerji sınıfı bir buzdolabı daha az enerji kullanma ile birlikte daha az gürültü ve daha az buzlanma yaparak çalışır. Enerjiyi verimli bir şekilde kullanarak enerjisini ithal eden bir ülke dışa bağımlılığını azaltabilir [32].

Enerji verimliliği ile ilgili uygulanan politikalar bir ülkenin ekonomisine katkısının yanı sıra, atmosfere salınan toplam sera gazı miktarıyla da alakalı olduğu için bu konunun dikkatle üzerinde durulması gerekmektedir. Bu doğrultuda ülkemizde uygulanan ilk enerji verimliliği eylem planı olan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023) 02/01/2018 tarihinde yürürlüğe koyulmuştur. 6 farklı sektörde bulunan 55 adet eylemin hayata geçirilmesiyle 2023 yılına kadar 10,9 milyar ABD doları yatırım ile kümülatif olarak 23,9 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) enerji tasarrufu sağlanması beklenmektedir. Bu da 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminde %14 oranında bir azalmaya denk gelmektedir. 2033 yılına kadar sağlanması beklenen tasarruf karşılığı ise 30,2 milyar dolardır [35].

1.4.3. Türkiye'nin Genel Enerji Durumu

Neredeyse tüm dünyada, sanayi alanındaki büyük gelişmeler ve değişimler ile birlikte aynı zamanda, hızlı nüfus artışı ve insanların günlük yaşamlarında yoğun enerji kullanımı, enerjiye olan talebin hızla artmasına sebep olmaktadır. Ancak, yenilenemeyen enerji arzı sınırlı ve tükenebilirdir. Enerji, üretim sektörünün olmazsa olmazlarından olup, bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma durumunu yansıtmakta olan en temel göstergelerden biridir. Enerjinin özellikle sanayi sektöründeki tüketimiyle o ülkenin sosyal kalkınması arasında doğrusal bir ilişki olup,

ekonomik gelişme ve toplumsal refah artışıyla enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir. Enerji talebi artarken, arz ve talep arasındaki ilişki de büyür, dolayısıyla tüm sektörlerin, enerji tüketiminin artmasından dolayı daha fazla enerji kullanmak için, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme gereksinimi ortaya çıkar [36,37]. Bunun yanı sıra, enerji kaynaklarının daha uzun süre sürdürülebilir gelişimi ve kullanılması için erişilebilir enerji arzı önemlidir.

Ülkemiz geçtiğimiz yıllarda dünyadaki ilk on ekonomi arasına girebilmek hedefiyle, gün geçtikçe daha önemli ve daha güçlü bir bölgesel oyuncu haline gelmiştir. Bu hedefler doğrultusunda Türkiye, 2002-2018 yılları arasındaki % 5,5'lik yıllık büyüme oranı ile 2018 sonu itibariyle dünyadaki ülkeler arasında 13. büyük ekonomi haline gelmiştir [38].

Gelişmekte olan ülkelerdeki, enerji istatistik verilerinin analizinde ve derlenmesinde önemli ilerleme kaydedilmiştir. Bu analiz ve sınıflamanın amacı, ülkelerin ekonomik gelişiminin oranını belirlemek için her bir yakıt türü ve toplam enerji kapasitesi için sunulan temel özelliklerle ilgili olarak aylık veya yıllık olarak yayınlanan veri ve parametreleri derlemektir. Enerji istatistiklerinin en önemli parametrelerinden biri olan üretim, ihracat miktarını ve ülkedeki tüm sektörlerin yıllık enerji tüketimini belirlemektir.

Sektörlere göre enerji tüketimindeki değişen eğilim, enerji tüketiminin azaltılması sonucundaki gelişmeleri ve nihai kullanıcı olan çeşitli sektörlerin (ulaşım, sanayi, hizmet sektörü, konutlar vs.) ilgili çevresel etkilerini gösterir. Bunlara ek olarak, enerji tüketimi ve enerji verimini etkilemeye çalışan politikaların başarısının takip edilmesine yardımcı olmak için de kullanılır [39].

Toplam birincil enerji tüketimi ya da ülke içi brüt enerji tüketimi, incelenen bölgenin iç tüketimini karşılamak için gerekli olan enerji miktarını temsil eder. Bu, katı yakıtlar, petrol, doğalgaz, nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan ülke içi brüt enerji tüketiminin toplamı olarak hesaplanır [40]. Nihai enerji tüketimi ise, tüketiciye nihai biçimde ulaştırılan enerji olup tüm enerji sektörlerinde kullanılır. Tüm sektörlerdeki tüketilen nihai enerjinin toplanmasıyla hesaplanmaktadır. Bunlar, sanayi, konut ile hizmet sektörü, tarım ile hayvancılık sektörü, ulaştırma sektörü ve enerji dışı tüketimi kapsamaktadır. Sektöre göre nihai enerji tüketimindeki eğilim, enerji tüketiminin azaltılması sonucu elde edilen gelişmeyi ve nihai kullanıcı olan farklı sektörlerin (sanayi, ulaşım, konut ve hizmet sektörü) ilgili çevresel etkilerini gösterir. Ayrıca, enerji tüketimi ve enerji verimine etki eden politikaların başarısını gözlemlemek için de kullanılır. Nihai enerji tüketimiyle ilgili ortaya konulan veriler, enerji kullanımının çevresel etkilerini hesaplamaya yardımcı olur. Çevre üzerindeki enerjiyle ilişkili baskıların şekli ve boyutu hem enerji kaynaklarına hem de toplamda tüketilen enerji miktarına bağlıdır. Çevre üzerindeki enerjiyle ilişkili baskıları en aza indirmenin bir yolu, sonuç olarak daha az enerji kullanmaktır. Bu, enerji ilişkili faaliyetler (örneğin sıcaklık, kişisel hareketlilik ya da yük taşımacılığı ve nakliye) için

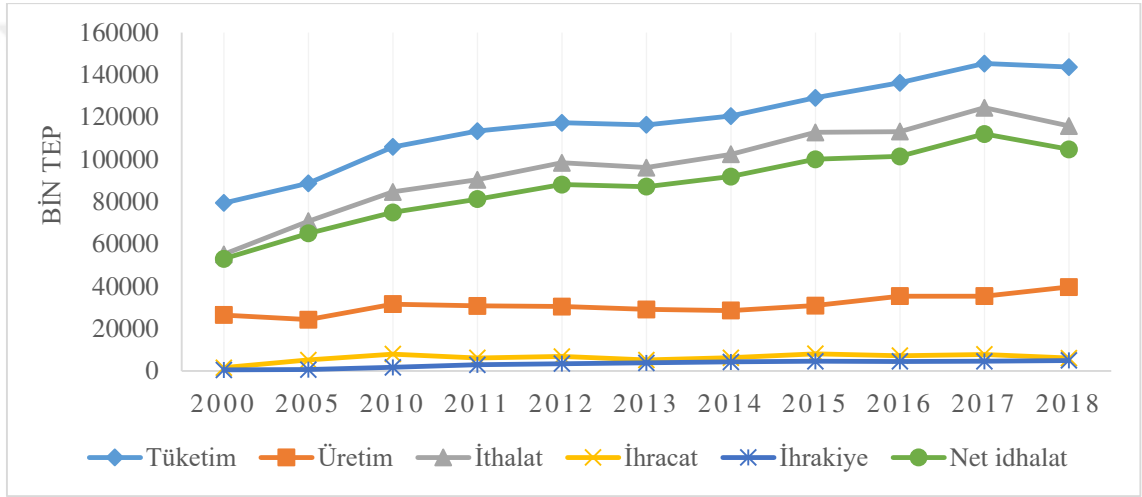
harcanan enerji tüketimini azaltma ile ya da enerjiyi daha verimli ve etkin bir şekilde kullanma ile (talep edilen birim başına daha az enerji kullanma) ya da bunların birleşmesiyle gerçekleşebilir [41].

Ülkemizde toplam enerji tüketimindeki büyük artışlar, ekonominin büyümesi ile ilişkilendirilebilir. Ancak gelişme olarak nitelendirilebilmesi için enerji yoğunluğunun da düşmesi gerekmekte olup, enerji verimliliği ile beraber ele almak gereklidir. Örneğin AB-28 ülkelerinde, verimlilik artışına bağlı olarak, 2016 yılı verilerine göre son 10 yılda toplam enerji tüketimi %6,6 oranında azalma göstermiştir [41]. Bu konuda, 2000-2018 yılları arasında Türkiye'nin enerji talebi, üretimi, ithalatı ve ihracatı olarak, hem yakıtlara, hem de sektörlerle göre incelenecektir.

Çizelge 1.1'de Türkiye'nin enerji tüketim, üretim, ithalat ve ihracatının 2000-2018 dönemindeki gelişimi verilmiştir. Çizelgedeki değerlerinin incelendiğinde; 2000-2018 yılları arasındaki on sekiz yılda toplam birincil enerji tüketimi %80,88 oranında artarak, 79,428 MTEP'ten 143,666 MTEP düzeyine yükselmiştir. Aynı şekilde bu dönemdeki toplam enerji üretimi ise 26,456 MTEP'ten 39,675 MTEP düzeyine yükselerek %49,97 artmıştır. 2018 yılında toplam birincil enerji tüketimi 2005 yılına göre %62,02, 2010 yılına göre %35,68 oranında artmış ve 2017 yılına göre ise %1,13 oranında azalmıştır. Bu bağlamda; 2018 yılı için enerji tüketiminde 2017 yılına göre bir düşüş meydana gelmiştir. Enerji üretiminde ise son yıllara göre hafif bir artış görülmüştür. 2018 yılının için 2017 yılına göre enerji üretiminde %12,21 bir artış olduğunu görülmüştür. Yine aynı çizelgede 2000 yılında, yerli enerji üretimin yerli tüketimle karşılanma oranı %33,3 iken, 2018 yılında genel enerji üretimin tüketimi karşılama oranı %27,6'ya düşmüştür. Sonuç olarak yıllar geçtikçe dışa bağımlılık oranında artma görülmüştür. Bu artma oranları Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Özet olarak, ülkemizdeki enerji üretiminde genelde önemli bir artış olmamakla beraber, enerji tüketimi yıllar bazında sürekli olarak artış göstermiştir. Dolayısıyla yıllar geçtikçe farklı sektörlerdeki tüketiciler için ihtiyaç duyulan enerjiyi güvenceye almak için baskıların olduğunu göstermektedir. Bu baskıların azaltılmasına katkıda bulunan en önemli etkenlerden biri enerji tüketiminin rasyonel kullanımıdır.

Çizelge 1.1. Türkiye enerji tüketim-üretim-ithalat ve ihracatının gelişimi (Bin TEP) [40,42]

Yıllar	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tüketim	79428	88672	105888	113371	117312	116314	120505	129139	136229	145305	143666
Üretim	26456	24235	31558	30771	30445	29106	28591	30936	35374	35357	39675
İthalat	55081	70813	84606	90344	98399	96145	102384	112798	113117	124425	115792
İhracat	1584	5171	7991	6205	6875	5212	6246	8119	7250	7853	6067
İhrakiye	467	628	1695	2946	3453	3813	4262	4599	4478	4575	4978
Net ithalat	53030	65014	74920	81193	88071	87120	91876	100080	101389	111997	104747
Üretimin tüketimi karşılama oranı (%)	33,3	27,3	29,8	27,1	26,0	25,0	23,7	24,0	26,0	24,3	27,6



Şekil 1.2. Türkiye'nin 2000-2018 döneminde genel enerji gelişimi [40,42]

Belli bir yakıtın bağıl katkısı, o yakıttan kaynaklanan enerji tüketimi ve bir yıl içerisinde hesaplanan toplam ülke içi brüt enerji tüketimi arasındaki oran ile ölçülmektedir. Yakıt türüne göre ayrılan toplam öncelikli enerji tüketimi, enerji kaynaklarının gelişimi ve ilgili tüketim düzeylerini belirleyen itici bir güç göstergesidir. Ayrı ayrı her yakıtın çevresel etkisi kendine göre değişkenlik gösterir. Fosil yakıtların tüketimi (taş kömürü, linyit, ham petrol, petrol ürünleri, doğal ve türetilmiş gazlar) kaynak tüketiminin, CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarının ve hava kirliliği seviyelerinin (SO₂ ve NO_x) göstergesidir. Çevresel etkilerin derecesi, farklı fosil yakıtlarının göreceli paylarına ve kirliliği azaltmaya yönelik olarak alınan önlemlerin hangi boyutta kullanıldığına bağlıdır. Örneğin doğalgaz, aşağı-yukarı kömürden %40 ve petrolden %25 daha az karbon içeriğine sahip olup, sadece yüksek miktarda kükürt içermektedir [40].

Çizelge 1.2 ve 1.3'te, Türkiye'nin 2000 ve 2018 yıllarına ait, yakıt türlerine göre enerji üretimi ve tüketiminde bir karşılaştırma yapılmıştır. Türkiye'nin 2018 yılında birincil enerji

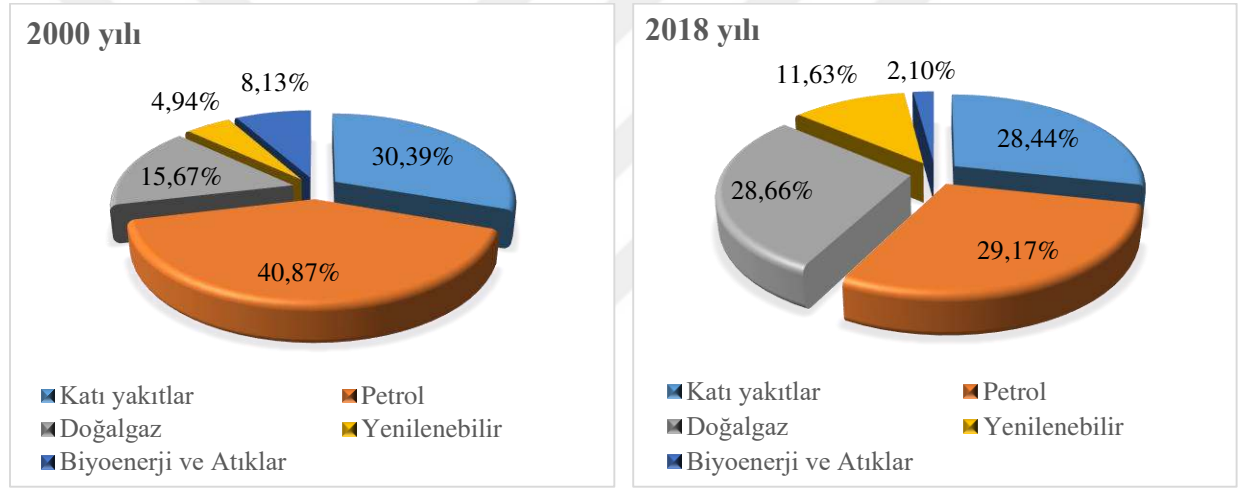
tüketiminde katı yakıtlar, petrol ve doğalgaz kaynakları ön plana çıkmaktadır. Bu üç kaynağın toplam birincil enerji tüketimindeki payı % 86,27 olmuştur. Katı yakıtlar ve petrol yakıtların toplam birincil enerji tüketim içerisindeki payları 2000 yılına göre 2018 yılında azalma göstermiş olup, söz konusu azalmanın yerini doğalgaz almıştır. Doğalgaz yakıtın toplam birincil enerji tüketimi içerisindeki payı 2000 yılında %15,67 iken 2018 yılında bu oran %28,66'a kadar büyük bir artış göstererek yükselmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr vb.) ise toplam arz içerisindeki payı 2000 yılında %4,94 iken 2018 yılında bu oran %11,63 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 1.3'te tüketim payların eğilimi gösterildiği gibi, 2000 ve 2018 yıllarındaki enerji tüketimini yakıtlara göre karşılaştırarak, yıllar geçtikçe doğalgaz tüketiminin oranı diğer yakıtların (katı yakıtlar ve petrol) tüketimlerinin oranlarına göre büyük bir artış gösterdiği görülmektedir. Bu durum tüketicilerin doğalgaz yakıtın hem ekonomik hem de çevresel olarak diğer yakıtlardan ayıran özellikleri nedeniyle daha fazla kullanma eğiliminde olduklarını göstermektedir. Türkiye'de enerji üretimine gelince, Şekil 1.4'te gösterildiği gibi, 2018 yılında yenilenebilir enerji üretiminin payı 2000 yılına göre büyük bir artış göstererek sektör içerisindeki payı %42,25 oranına yükselmiştir. Fakat diğer yakıtların üretim paylarında bir düşüş saptanmaktadır.

Çizelge 1.2. Türkiye'nin 2000 yılında birincil enerji üretimi ve tüketimi (Bin TEP) [42]

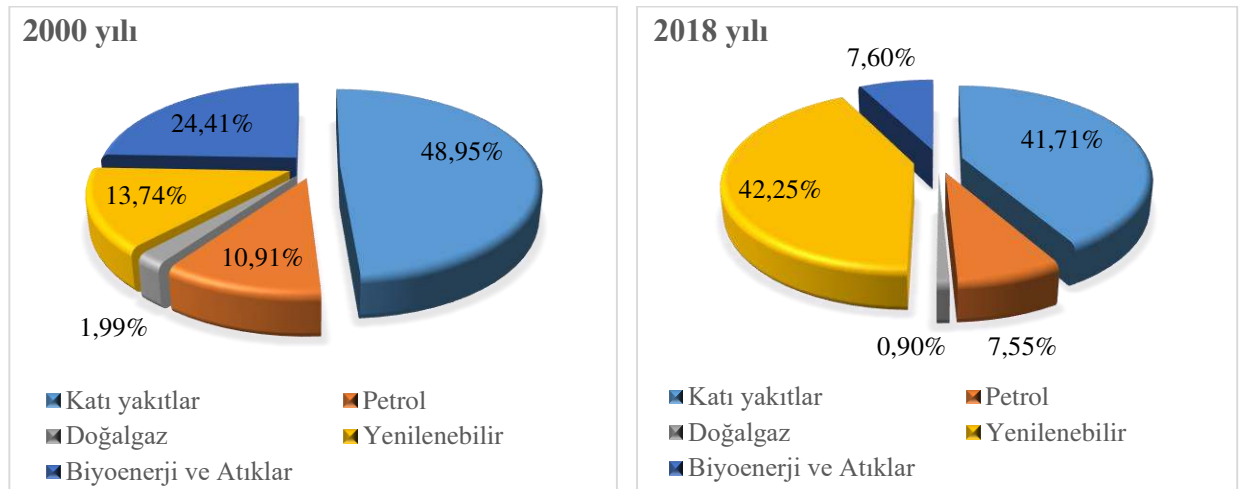
Kaynaklar	Katı Yakıtlar	Petrol	Doğalgaz	Yenilenebilir	Biyoenerji ve Atıklar	Toplam
Birincil enerji üretimi	12952	2887	527	3634	6457	26456
Üretim içindeki payı (%)	48,96	10,91	1,99	13,74	24,41	100,00
Birincil enerji tüketimi	24140	32463	12446	3922	6457	79428
Tüketim içindeki payı (%)	30,39	40,87	15,67	4,94	8,13	100,00
Üretimin talebi karşılama oranı (%)	53,65	8,89	4,23	100,00	100,00	33,31

Çizelge 1.3. Türkiye'nin 2018 yılında birincil enerji üretimi ve tüketimi (Bin TEP) [42]

Kaynaklar	Katı Yakıtlar	Petrol	Doğalgaz	Yenilenebilir	Biyoenerji ve Atıklar	Toplam
Birincil enerji üretimi	16547	2994	359	16761	3014	39675
Üretim içindeki payı (%)	41,71	7,55	0,90	42,25	7,60	100,00
Birincil enerji tüketimi	40861	41913	41171	16706	3014	143666
Tüketim içindeki payı (%)	28,44	29,17	28,66	11,63	2,10	100,00
Üretimin tüketim karşılama oranı (%)	40,50	7,14	0,87	100,00	100,00	27,62



Şekil 1.3. 2000 ve 2018 Yıllarındaki yakıta göre birincil enerji tüketim eğilimi [42]



Şekil 1.4. 2000 ve 2018 Yıllarındaki yakıta göre birincil enerji üretim eğilimi [42]

Çizelge 1.4’te yıllar içerisinde Türkiye’nin birincil enerji kaynakları üretim değerlerini göstermektedir. Çizelge 1.4 incelendiğinde; taş kömürü, petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarının yıllar içerisinde üretiminin hemen hemen hiç değişmediği, bazen azaldığı saptanmıştır. Ülkemizde linyit ve asfaltit üretiminin ise son yıllarda biraz artış olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte Biyoenerji ve atıklar üretiminde yıllara göre bir azalma saptanmıştır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından; güneş, rüzgâr, hidrolik + jeotermal ile jeotermal ısı enerjisi gibi enerji kaynaklarının üretiminde yıllar içerisinde bir artışın olduğu saptanmıştır.

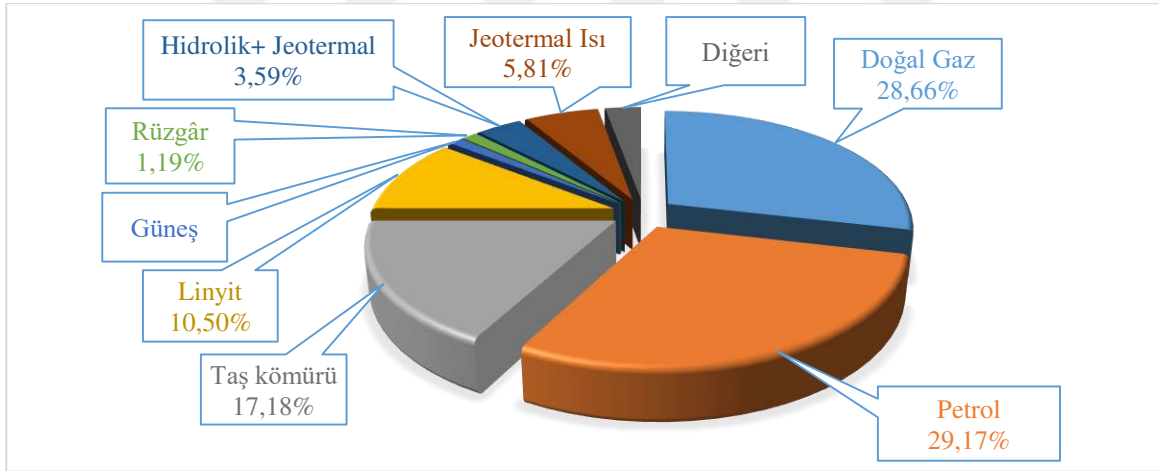
Çizelge 1.5’te yıllar içerisinde Türkiye’nin birincil enerji kaynakları tüketim değerleri gösterilmiştir. Çizelge değerleri incelendiğinde; yıllar içerisinde en yüksek tüketim artışının petrol ve doğalgazda gerçekleştiği görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları tüketiminde de geçmiş yıllar baz alındığında sürekli bir artış gerçekleşmiş olup, en yüksek tüketim artışının jeotermal ısı olduğu saptanmıştır. Genelde toplam birincil enerji kaynaklarının tüketiminin yıllar bazında devamlı olarak artışı görülmektedir. Ayrıca Çizelge 1.5’te 2018 yılı için tüm sektörlerde yakıt tipine göre toplam birincil enerji tüketiminde en yüksek pay %29,17 oranında petrol ve petrolden sonra en yüksek pay %28,66 oranında doğalgaz da gerçekleşmiştir. Diğer yakıt türleri ise %17,18 ile taş kömürü, %10,50 ile linyit, %5,81 ile jeotermal ısı, %3,59 ile hidrolik+jeotermal, %1,19 ile rüzgâr, %1,08 ile güneş ve %2,82 ile diğer yakıtlar şeklinde gerçekleşmiştir. Bu tüketimin payları, Şekil 1.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 1.4. Türkiye’de yıllara göre birincil enerji kaynakları üretimi [42]

Yıllar	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Taş kömürü (bin ton)	2392	2170	2592	2619	2292	1960	1820	1435	1313	1234	1102
Linyit (bin ton)	60854	57708	69698	71535	66933	57525	62573	56122	70239	71459	81084
Asfaltit (bin ton)	22	888	1177	900	1044	899	843	857	1452	1405	1751
Petrol (bin ton)	2749	2281	2496	2367	2338	2399	2456	2516	2573	2553	2851
Doğalgaz (10 ⁶ cm ³)	639	897	682	760	632	537	479	381	367	354	436
Güneş (Bin TEP)	262	385	432	630	768	795	803	828	917	1091	1547
Rüzgâr (GWh)	33	59	2916	4724	5861	7558	8520	11653	15517	17904	19949
Hidrolik+ Jeotermal (GWh)	30955	39655	52463	53033	58764	60784	40645	67146	67231	58218	59938
Jeotermal Isı (Bin TEP)	648	926	1391	1463	1463	1463	3524	4805	6034	7128	8343
Biyoenerji ve Atıklar (bin ton)	22919	18946	16266	12919	12648	12155	11874	10754	10319	9231	10441
Toplam (Bin TEP)	26456	24235	31558	30771	30445	29106	28591	30936	35374	35357	39675

Çizelge 1.5. Türkiye’de yıllara göre birincil enerji kaynakları tüketimi (Bin TEP) [42]

Kaynaklar	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Taş kömürü	10069	12514	15804	17285	19860	18290	20199	22428	23597	24707	24679
Linyit	12425	9227	14543	14804	13723	11504	12702	11446	13556	13791	15086
Asfaltit	11	317	505	418	419	370	372	499	778	555	697
Kok	1635	1975	2261	2391	3196	3269	3153	299	527	504	513
Kömür Katranı	0	0	0	0	0	0	0	-79	-101	-98	-114
Petrol	32463	32199	29794	30430	30618	32130	31625	39209	42204	44277	41913
Doğalgaz	12446	22416	31456	36861	37338	37628	40201	39651	38338	44319	41171
Güneş	262	385	432	630	768	795	803	828	917	1091	1547
Rüzgâr	3	5	251	406	504	650	733	1002	1334	1540	1716
Hidrolik+ Jeotermal	2721	3483	5028	5098	5749	6283	3495	5775	5782	5007	5155
Jeotermal Isı	648	926	1391	1463	1463	1463	3524	4805	6034	7128	8343
Elektrik	288	-100	-67	78	247	533	452	339	420	-49	-55
Biyoenerji ve Atıklar	6457	5325	4489	3508	3426	3399	3246	2938	2843	2531	3014
Toplam	79428	88672	105888	113371	117312	116314	120505	129139	136229	145305	143666



Şekil 1.5. Türkiye’de 2018 yılında birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı [42]

Çizelge 1.6’da 2018 yılı baz alınarak Türkiye’nin genel enerji dengesi değerleri verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde; 2018 yılı için sektörler toplamında kömür ürünleri tüketimi değeri 22948 Bin Ton olarak gerçekleşmiş ve konut ile hizmet sektörünün sektörler toplamı içerisindeki payı %30 oranında olduğu saptanmıştır. Doğalgaz yakıtın ise tüm sektörler için toplam tüketim değeri 29378.10^6 Sm^3 olarak saptanmıştır. Konut ve hizmet sektörünün tüm sektörler içerisindeki payı %57 oranında olduğu saptanmıştır.

Çizelge 1.7’de 2000-2018 döneminde Türkiye’nin sektörlere göre enerji tüketim değerleri

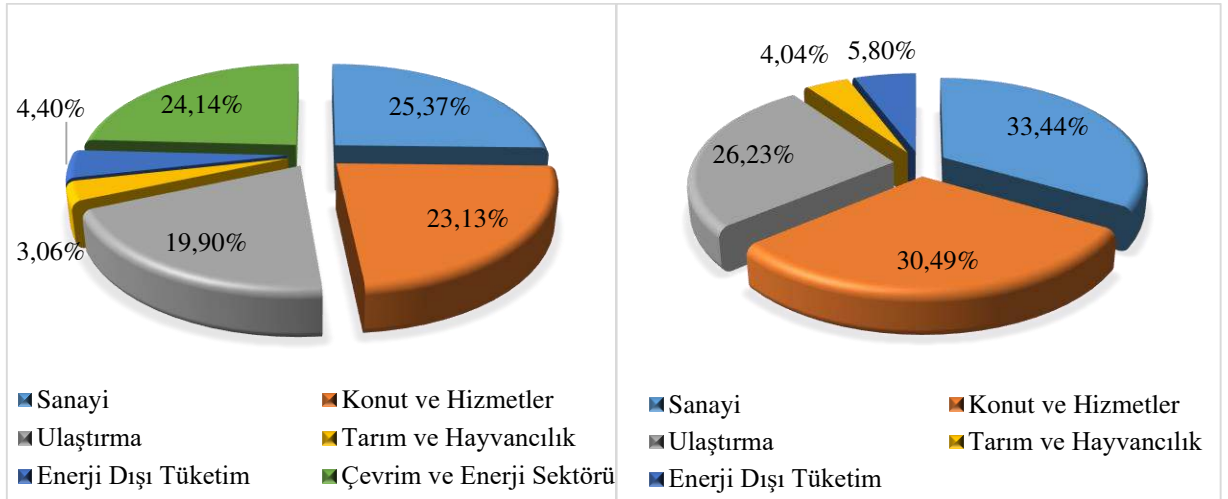
verilmiştir. Çizelge de verilen değerler incelendiğinde; Türkiye’de 2018 yılında tüm sektörlerin toplam nihai enerji tüketimi, 2000 yılına göre %79,03 oranında artarak 109,149 MTEP değerine ulaşmıştır. 2018 yılı için konut ve hizmet sektöründe enerji tüketimi 33,074 MTEP olarak gerçekleşmiş olup, toplam sektörlerin içerisindeki payı %30,49 oranında olduğu saptanmıştır. Diğer sektörler için, tüketim payları: %33,44 ile Sanayi sektörü, %26,23 ile ulaştırma, %5,80 ile enerji dışı ve %4,04 ile tarım ve hayvancılık sektörü takip etmektedir. Aynı zamanda 2018 yılında birincil enerji tüketiminde en fazla payı %25,37 ile sanayi sektörü alırken, bunu sırasıyla %24,14 ile enerji ve çevrim sektörü, %23,13 ile konut ve hizmetler sektörü, %19,90 ile ulaştırma sektörü, %3,06 ile tarım ve hayvancılık sektörü takip etmiştir. Kalan %4,40’lik pay ise enerji dışı kullanıma aittir. Bu payları Şekil 1.6’da özetlenmiştir.

Çizelge 1.6. Türkiye’de 2018 yılı için genel enerji dengesi [42]

Kaynaklar	Kömür Ürünleri (B. Ton)	Petrol ve Ürünleri (B. Ton)	Doğalgaz (10 ⁶ Sm ³)	Biyoenerji ve Atıklar (B. Ton)	Hidrolik (GWh)	Rüzgâr (GWh)	Elektrik (B. Ton)	Jeotermal ve Diğer Isı (Bin TEP)	Güneş (Bin TEP)
Yerli üretimi	83937	2851	436	10441	59938	19949	0	8343	1547
İthalat	39143	48594	50361	0	0	0	2477	0	0
İhracat	204	4996	673	0	0	0	3112	0	0
Birincil enerji arzu	122694	41132	49904	10441	59938	19949	-635	8343	1547
Çevirim ve enerji sektörü	-99332	118	-20526	-2023	-59938	-19949	253750	-4011	-671
Toplam nihai enerji tüketimi	23363	41249	29378	8418	0	0	253115	4332	877
Sektörler toplamı	22948	40786	29378	8418	0	0	253115	4332	877
Sanayi tüketimi	15986	4746	11435	2456	0	0	117386	2343	307
Konut ve hizmetler	6962	927	16621	5777	0	0	134405	1989	570
Ulaştırma	0	26474	430	185	0	0	1323	0	0
Tarım ve hayvancılık	0	2881	211	0	0	0	6962	627	0
Enerji dışı tüketimi	0	5760	680	0	0	0	0	0	0

Çizelge 1.7. 2000-2018 döneminde Türkiye'nin sektörlere göre enerji tüketimi (MTEP) [41,42]

Yıllar	Birincil Enerji Ürünleri Arzı	Çevrim ve Enerji Sektörü	Nihai Enerji Tüketimi	Sanayi	Konut ve Hizmetler	Ulaştırma	Tarım ve Hayvancılık	Enerji Dışı Tüketim
2000	79,428	17,834	60,967	22,876	19,556	12,007	3,073	3,455
2001	73,850	18,250	55,482	19,652	17,691	11,999	2,964	3,176
2002	77,075	17,590	58,831	23,022	18,000	11,404	3,030	3,375
2003	82,720	18,128	64,302	26,162	19,178	12,394	3,086	3,482
2004	85,665	17,426	67,966	26,927	20,391	13,775	3,314	3,559
2005	88,672	18,347	69,991	26,410	22,284	13,849	3,359	4,089
2006	96,165	21,342	75,745	29,641	22,355	14,980	3,610	5,159
2007	104,067	24,283	80,737	31,116	23,172	17,264	3,945	5,240
2008	102,825	25,063	78,098	24,766	27,145	15,981	5,174	5,032
2009	100,739	22,375	78,563	23,185	28,470	15,886	5,074	5,948
2010	105,888	26,048	79,203	26,077	27,762	16,314	3,736	5,314
2011	113,371	28,459	84,824	27,138	30,230	18,455	3,796	5,205
2012	117,312	28,470	88,626	29,923	30,259	19,485	3,793	5,166
2013	116,314	28,239	87,677	27,725	30,348	20,734	3,757	5,113
2014	120,505	31,256	89,347	28,689	30,418	21,940	3,887	4,413
2015	129,139	29,672	99,006	32,157	32,329	24,936	3,932	5,652
2016	136,229	31,655	104,333	33,254	33,222	26,812	4,056	6,989
2017	145,305	33,522	111,412	35,329	36,013	28,425	4,273	7,372
2018	143,666	34,517	109,149	36,277	33,074	28,452	4,381	6,296



Şekil 1.6. 2018 yılında Sektörlerinin birincil (a) ve nihai (b) enerji tüketiminin oranları [41,42]

1.4.4. Binalarda Enerji Verimliliği ve Tasarrufu

Enerjiye olan talebin artmasıyla beraber enerji tüketiminde verim önemli bir rol almıştır. Binalarda mevcut şartları koruyarak enerji sarfiyatını minimum seviyeye indirebilmek için yalıtım malzemeleri, merkezi ısıtma sistemleri, termostatik vana kullanımı ve dış ortam geçişlerini asgari değerlere indirmek gibi donanımsal uygulamalar kullanılmalıdır [22]. Bunlara ek olarak, binalarda aydınlatma sisteminin etkili ve verimli şekilde kullanılması sağlanmalıdır.

Binalardaki enerji verimliliği ve tasarruf potansiyeli, mevcut tüketimlerle kıyaslanacak olursa %50 oranlarına ulaşmaktadır. 05.12.2008 tarih ve 27075 sayılı “Binalarda Enerji Verimliliği Yönetmeliği” yürürlüğe girmiş ve söz konusu bu yönetmelikle birlikte binaların enerji tüketim sınıfını belirleyen enerji kimlik belgesinin alınması zorunlu hale getirilmiştir. 2017 yılı sonu itibarı ile 104.754’ü mevcut, 570.996’sı yeni olmak üzere toplam 675.750 adet binaya enerji kimlik belgesi düzenlenmiştir. Enerji kimlik belgesi düzenlenmiş olan bu binaların 19.745 tanesinde yenilenebilir enerji sistemi kullanılmaktadır. 14.04.2008 tarihinde yürürlüğe giren 26847 sayılı “Merkezi Isıtma ve Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına Yönelik Yönetmelik” kapsamında; merkezi ısıtma sistemine sahip tüm ve yeni yapılacak olan binalarda merkezi ısıtma sistemlerinde gider paylaşımı uygulaması yapma zorunluluğu getirilmiştir. Söz konusu bu uygulamalar kapsamında, merkezi ısıtma sistemli binalarda ölçüm ve gider paylaşım belgesi düzenlemek üzere yetkilendirilen ölçüm şirketlerinin sayısı 2017 yılı sonunda 95 olmuştur. Uygulama yapılan binalarda ısı konfor şartlarını değiştirmeden yakıt tüketimlerinin ortalama %30 civarlarında azaltılabilmesi hedeflenmektedir [43].

1.4.4.1. Isı Yalıtımı Enerji Verimliliğine Etkisi

Enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarındaki önemli artışlar, nüfus hızlı büyümesi ve yaşam standartlarının yükseltilmesi nedeniyle, enerji tasarrufunun günümüzün sürdürülebilir kalkınmasında önemli bir konu haline gelmesine neden olmuştur. Nüfusun hızla artması ve yaşam standartlarının yükselmesinden dolayı enerji tüketimi artmakta ve bunun sonucu çevreye salınan sera gazları da artmaktadır. Bu da sürdürülebilir enerjiyi ve enerji tasarrufunu üzerinde durulması gereken önemli bir konu haline getirmiştir. Özellikle, sürdürülebilir yapı ortamı bir kentin sürdürülebilir kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır, çünkü bina sektörü, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarına önemli bir katkı sağlamaktadır [44].

Bina (konut ve hizmet) sektöründe, enerjinin çoğu ısıtma enerjisi olarak tüketilmektedir. Isıtma enerjisinin tüketiminin azaltılması için en önemli yöntemlerinden biri olarak ısı yalıtımı

kullanılmaktadır. Binalara ısı yalıtımı uygulanması, ısıtma ve soğutma için enerji gereksinimini azaltır, böylece yakıt tasarrufu sağlanır [6].

Birçok ülke, 1970'lerden bu yana yeni binaların kodları ve standartları geliştirmiştir ve bu standartlar, sürekli gelişen ısı yalıtımın teknolojisi nedeniyle sürekli olarak yenilenmiştir. Türkiye'de TS 825 standardı olan "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", ülkedeki enerji tüketiminin önemli bir bölümünü temsil ettiği için binaların ısınmasında tüketilen enerji miktarını azaltarak enerji tasarrufu sağlaması amaçlamaktadır [6]. Ülkemizde bina ısıtması için harcanan enerji (yalıtım eksikliği nedeniyle) oldukça yüksek değerlerle ifade edilmektedir. Binaların ısı yalıtımı ile ilgili olarak çıkarılan yasa ile ısı yalıtımının sebep olduğu gereksiz enerji sarfiyatının önüne geçilmeye çalışılmıştır [29].

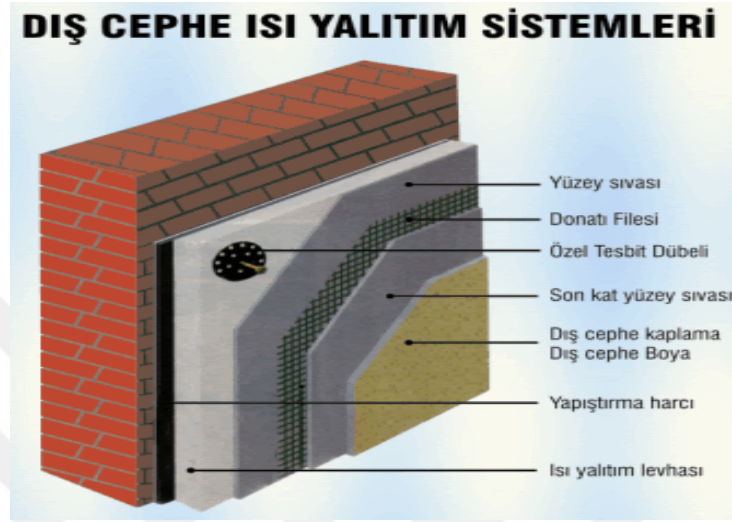
İstatistiklere göre, mevcut bina sektörü %30-40'a kadar küresel enerji talebinde önemli bir paya sahip olmaktadır. Bina sektörlerinde ısıtma ve soğutma yüklerinin yaklaşık %60-80'i dış cephelerinden kaynaklı ısı geçişinden kaynaklanmaktadır. Bu gerçek, binanın dış cephesinin ısıl performansının iyileştirilmesinin tüm binanın enerji verimliliğini büyük ölçüde artırabileceği anlamına gelmektedir. Pencere, duvarlar ve çatı dâhil olmak üzere bina dış cephesi, tamamen önemli bir termal enerji kaybı kaynağıdır. Binalarda yapı bileşenleri arasında duvar önemli bir elman olup ısı enerjisi kaybının yaklaşık %25-30'u burada meydana gelmektedir. Bu nedenle, enerji verimliliğini sağlamak için, dış cephelerinin ısıl performansını ısı yalıtımı kullanmasıyla geliştirmek acil bir ihtiyaçtır [44]. Fakat bu duvardaki ısı kaybı oranı her bina için aynı değildir, binanın hacmi, yüksekliği ve dış yüzey alanı ile ilgilidir. Bu parametreleri ne kadar büyük olursa duvardan ısı enerjisinin kaybının payı büyür. Binalarda pencerelerin yalıtımı uygulaması, ısı yalıtımının önemi için önemli ve tamamlayıcı bir unsur olarak kabul etmektedir. Bina için uygun yalıtım sağlayan içi özel gaz dolu boşlukları içeren bileşik cam kullanılması tercih edilmektedir. Havadan daha düşük ısı iletkenliğine sahip gaz doldurma, yalıtım amacıyla pencere panelleri arasındaki boşlukları kaplar. Yalıtımı sağlayan bu boşluk genellikle argon gazı ile doldurulur [4].

Bina yalıtımı, konut, eğitim ve endüstriyel sektöre uygulanabilen basit ama yüksek verimli bir teknik olarak kabul edilir. Isı yalıtkanı, ısı akış hızını azaltma yeteneğini sergileyen, yüksek ısı direnç özelliğine sahip bir malzeme veya bileşik malzemelerden oluşur. Sonuç olarak, bina yalıtımı, binanın içindeki ısıyı ve soğuğu koruyabilir ve etraftaki ısı akışını önleyebilir. Yalıtım malzemelerinin bir binanın duvarının geçici ısı akışı üzerindeki performansı, yalıtım malzemesinin yerleştirilmesinden etkilenebilir [4].

İzolasyon malzemesinin ısı direnci, ısı iletim katsayısı ile ters orantılıdır. Direnç ne kadar yüksek olursa, iletim katsayısının değeri o kadar düşük olur, böylece daha yüksek verimlilik ve ekonomik ısı yalıtımı elde edilir. Dolayısıyla kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısı değeri ne

kadar düşük olursa, binadan dış ortama olan ısı kaybı da o kadar düşük olacaktır.

En iyi performansı elde etmek için, yalıtım malzemesi ısı alışverişinin olduğu yere yakın yerleştirilmelidir. Bununla birlikte, yalıtım pratiklik için normal olarak duvar boşluklarının içine veya arasına monte edilir [4]. Bir duvarın yalıtım malzemesinin uygulaması Şekil 1.7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Duvarın yalıtım malzemesinin uygulaması [45]

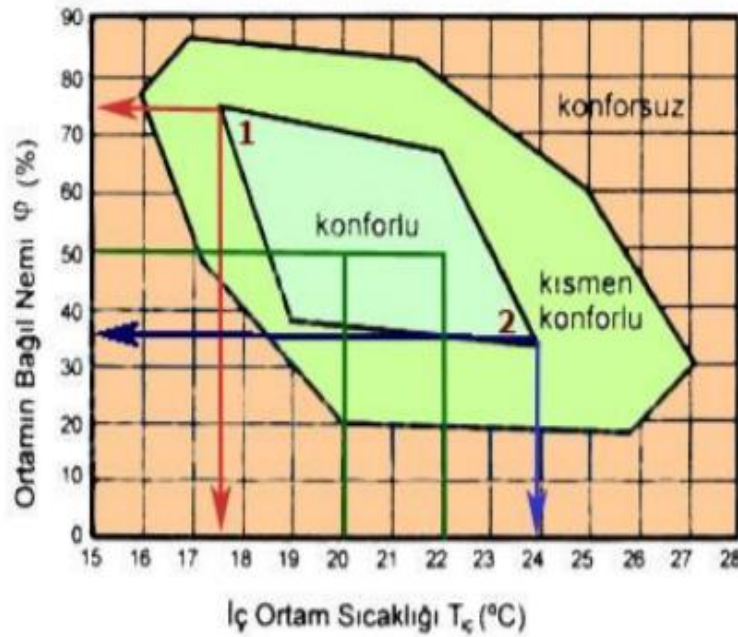
Isı yalıtımı ısı akışını azaltarak izole edilecek alan için sıcaklık değişiklerini koruyabilmektedir. Isı yalıtımının etkinliği, yalıtım amacıyla kullanılan malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Örnek olarak, malzemenin yoğunluğu; izolasyon malzemeleri genellikle iletim ile ısı transferini azaltan, çok sayıda sıkışmış hava boşlukları içerir. Bu küçük sıkışmış hava cepleri, ısı akışının önündeki engeller olarak işlev görür. Bu nedenle, yalıtım malzemelerin yoğunlaştırmak veya sıkıştırmak için yapılan herhangi bir girişim ısı direnci azaltır ve ondan dolayı etkinliğini de azaltacaktır [4]. Yalıtım malzemesinin kalınlığı da, ısı etkinliği üzerinde paralel bir etkiye sahiptir, malzeme ne kadar kalınsa etkinliği de o kadar yükselmektedir. Burada, ısı yalıtımının kalınlığı arttıkça, fiyatın arttığı ve bunun ekonomik verimliliği etkilediği unutulmamalıdır. Bu nedenle, binanın ısı yalıtımını uygulamadan önce, binanın ısı ve iktisadi verimliliğini sağlayan izolasyon maddesinin türünü seçmek ve optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak gerekmektedir. Toplam İzolasyon malzemesinin türü ve kalınlığı, binanın bulunduğu şehrin dış koşullarının niteliğine ve TS 825 ısı yalıtım standartlarına bağlı olarak seçilmektedir.

Cam yünü, köpük ve diğer malzemeler gibi çeşitli maddeler tipik olarak yalıtkan olarak kullanılır. Bina yalıtımının bir diğer büyük avantajı maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bu yapı yalıtımı, yalıtım malzemesinin kendisinin üretilmesi için gereken enerjiden daha büyük bir miktar

enerji yoluyla pozitif bir net enerji dengesine katkıda bulunduğundan, uygulanabilir [4].

Isı yalıtımı yapı malzemelerini dış hava dalgalanmalarından korunmasını da sağlar. Gün içerisindeki ve mevsimler arasındaki sıcaklıkta meydana gelen büyük farklılıklar, sürekli ısıtılmalara bu nedenle yalıtımsız binalarda yapı malzemelerinin içlerinde ve üzerinde çatlak ve yarılmaların oluşmasına yol açmaktadır. Ayrıca, binanın ısı yalıtımı uygulaması, karbondioksit ve azot oksitler gibi, çevreye zarar veren sera gazı emisyonlarını azaltarak çevrenin korunmasını sağlar. Çünkü yalıtım kullanımı, ısıtma ve iklimlendirme sistemlerini çalıştırmak için gereken yakıt tüketimini azaltmaktadır.

Isı yalıtımı, yıl boyunca iç ısıtmanın dengede tutulmasına katkıda bulunur, böylece bina içindeki ısı konforu artar. Binaların iç bölgelerinde sıcaklık ve nem olarak ısı konforu sağlayan alanların sınırları Şekil 1.8’de gösterilmektedir. Isı yalıtımı malzemeleri, binanın ısı giriş çıkışlarını sınırlar, dolayısıyla, iç hava sıcaklığı yalıtımsız binalara nispeten yaşanabilecek konfor derecesine yakın olup, ısıtma ve iklimlendirme sistemlerinin çalışma sürelerini azaltılmaktadır.



Şekil 1.8. İç ortamın ısı konforunun sınırları [46]

Kapalı ortamlardaki ısı koşulları, o ortamda yaşayan insanların konforunu ve sağlığını doğrudan etkiler. İnsanların çalışma verimlerini büyük oranda bulundukları ortamın konforu belirler. Aşırı sıcak ya da aşırı soğuk ortamların çalışma verimini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Bu durumun önüne geçebilmek için, kapalı ortamların ısı konforunu sağlamak gerekir [47]. Isı konforu sağlamak için ortam sıcaklığı ile duvar iç yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık

farkının düşürülmesi gerekmektedir. Bu fark ne kadar düşük olursa konfor da o oranda yükselecektir [48].

Çizelge 1.8’de gösterildiği gibi, Binalarda iç ortam konforu için, iç duvar yüzeyinin sıcaklığı ile ortam sıcaklığı farkı 2 ile 3°C’yi geçmemelidir. Fakat yalıtımı yeterli oranda yapılmamış binalarda bu fark çok daha büyüktür. Böylece içeride bir hava hareketi meydana gelmektedir. İç yüzey sıcaklıklarının yüksek olması durumunda ise ısının, ortam içinde soğuk yüzeyler olmadığından dolayı sıcak ortamdaki soğuk yüzeylere istenmeyen hava akımı oluşmayacaktır. Böylelikle iç ortamdaki konforu yükselteceğimizden yaşam alanında homojen sıcaklık dağılımı oluşarak konforlu ortam sağlanmış olacaktır [48,49].

Çizelge 1.8. İç ortam sıcaklığı ile duvar sıcaklığına göre konfor durumu [48]

Duvar İle Ortam Arasındaki Sıcaklık Farkı (°C)	Konfor Durumu
2	Çok Konforlu
3	Konforlu
4	Az Konforlu
6	Konforsuz
8.5	Soğuk
>8.5	Çok Soğuk

1.4.4.2. Isıtma Sistemlerinde Verimlilik ve Tasarruf

Türkiye’de konut ve hizmet sektörü, “Genel Enerji Durumu” bölümünde gösterildiği gibi ülkemizin toplam enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu tüketim oranı toplam nihai enerji tüketiminin %30,49’u kadardır.

Bina sektöründe tüketilen enerjinin yaklaşık olarak %82’si ısıtma amacıyla kullanılır [20, 50]. Dolayısıyla, ısıtma amacıyla olan kullanım payının toplam nihai enerji tüketimine olan oranı yaklaşık olarak %25’tir. Konut sektöründeki enerji tüketiminin azaltılması, gelişmiş ülkelerde ve Türkiye’de ısıtma sistemlerinde verimlilik ve tasarruf ilgili önceliklerden biridir. Bunu dikkate alarak, yeni binalar çoğu durumda zaten enerji tasarruflu olduğundan dolayı ana eylemler mevcut binalarda enerji tüketiminin azaltılmasına odaklanmaktadır. Yeni binalarda, ısıtma sistemlerinin kontrol stratejisi en azından hava koşullarına bağlı merkezi düzenlemeyi ve ısıtılmış bir odada iç hava sıcaklığını kontrol etmeyi sağlayan termostatik radyatör vanaları veya başka bir tür cihaz gibi

bir tür yerel düzenlemeyi kullanır. Daha gelişmiş bir kontrol çözümü, örneğin sadece enerji tasarrufuna değil, aynı zamanda enerji tepe azalmasına da katkıda bulunan model öngörülü kontrolü kullanabilir. Bununla birlikte, mevcut binalardaki enerji güçlendirme faaliyeti geniş çapta uygulanabilir olmalı ve yatırım maliyetleri düşük geri ödeme süresi sunmalıdır [51].

Yanlış kontrol ayarları veya tüketici hataları nedeniyle ısıtmadan dolayı tüketilen enerjinin önemli bir kısmının boşa harcanması muhtemeldir. Bu nedenle, ısıtma sistemlerinde uygulanabilecek çeşitli teknikler ile bu enerji kaybından kaçınılabilir. Isıtma sistemlerine uygulanabilecek bu tekniklerin en önemlilerinden biri kullanıcıların ısıl konforuna uyacak şekilde ısıtılması gereken ortam sıcaklığını kontrol eden elektronik veya dijital kontrol cihazlarının kullanılmasıdır.

Bir ısıtma tesisatının ölçülendirilmesinde, en soğuk hava durumundaki ısıtma ihtiyacının giderilmesi hedef alınır. Buna karşın sistem, kullanım süresinin büyük bir bölümünde daha az enerji tüketerek çalışır [52]. Günümüzde, teknolojinin ilerlemesine paralel olarak verimli enerji tüketimi, kontrol sistemlerinde kritik rol almaktadır. Akıllı kontrol sistemlerinin değerlendirilme alanları, hızlı ilerleyen teknolojiyle paralel olarak son yıllarda hızla artmaktadır [22].

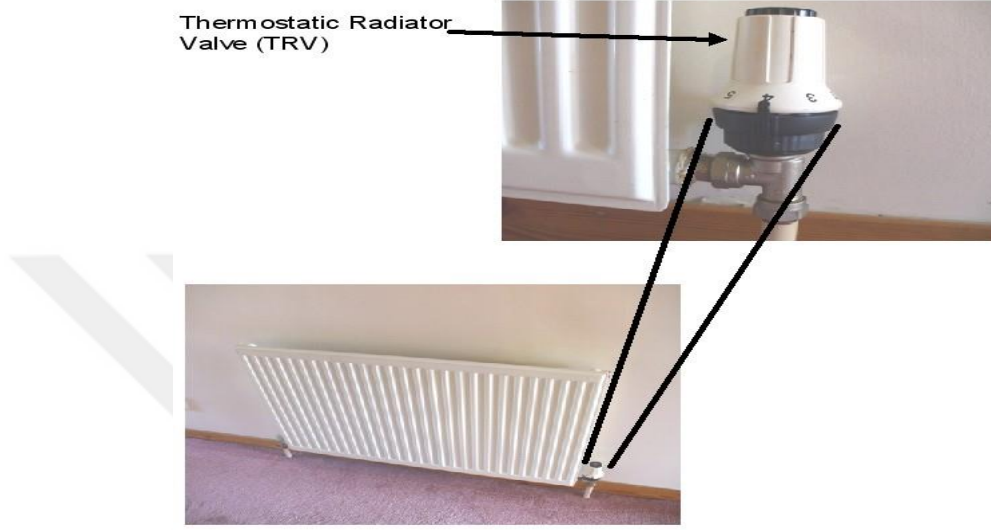
Sistemin genel verimi, ısıtma sezonu süresince sistemin gerçek ısı ihtiyacının, kazana gönderilen yakıtın ısı değerine olan oranıdır. Bir ısıtma sisteminin verimindeki en önemli unsur ise ondaki kontrol sisteminin uygulanma metodudur. Bu yöntemlerin en önemlilerinden olan otomatik kontrol sistemleri, basit otomatik sistemler ve karmaşık otomatik sistemler olarak farklı gruplara ayrılabilir [52]. Bir ısıtma sistemi ne kadar karmaşık olursa olsun, kazanlar ve radyatörler ile çalışan ısıtma sisteminin ürettiği ısı miktarını denetlemek için daima termal ajanın (genellikle su) sıcaklığı kontrol edilir. Burada, ısıtma sistemleri kontrol çeşitleri olarak; ısıtıcı kontrolü ve bunun için kritik öneme sahip radyatör yerleşimi, kazan kontrolü, genel sistem kontrolü ve bölgesel kontrolü incelenecektir.

Isıtıcı Kontrolünde Termostatik Radyatör Vanaları Kullanımı

Isıtıcı kontrolünde, bazı faktörler kritik önem taşır. Bunları, burada kısaca önemli noktalarına değineceğimiz radyatörlerin kontrolü ve onların yerleşim metodu olarak sıralayabiliriz. En sık kullanılan yerel ısıtma kontrol cihazı ön ayarlı termostatik radyatör vanasıdır (TRV). TRV'ler, ısıtma ortamının bir radyatöre akışını düzenleyerek ve ön ayarını kullanarak ısıtma tesisatının hidrolik dengelenmesi için iç hava sıcaklığını kontrol etmek için kullanılır [51].

Genellikle bireysel ve uzaktan kumandalı olmak üzere iki çeşit TRV kullanılır. Bireysel TRV'ler adından anlaşılacağı üzere Şekil 1.9'da gösterildiği gibi kişi tarafından istenilen oda

sıcaklığı için sürekli ayarlanmak zorundadır. Bireysel termostatik vanaların daha gelişmiş tipi, Şekil 1.10’da görüldüğü gibi, çevreleyen ortam için gerekli sıcaklığı bir defa ayarlayarak istediğimiz sıcaklıkta sabitleyeceğimiz, son derece hassas olan ve kullanıcılar için gerekli verimliliği ve ısıl konforu sağlayan bir elektronik kontrol cihazı tarafından kontrol edilen TRV’dir [52].



Şekil 1.9. Radyatörün vanası manuel olarak ayarlanması [53]



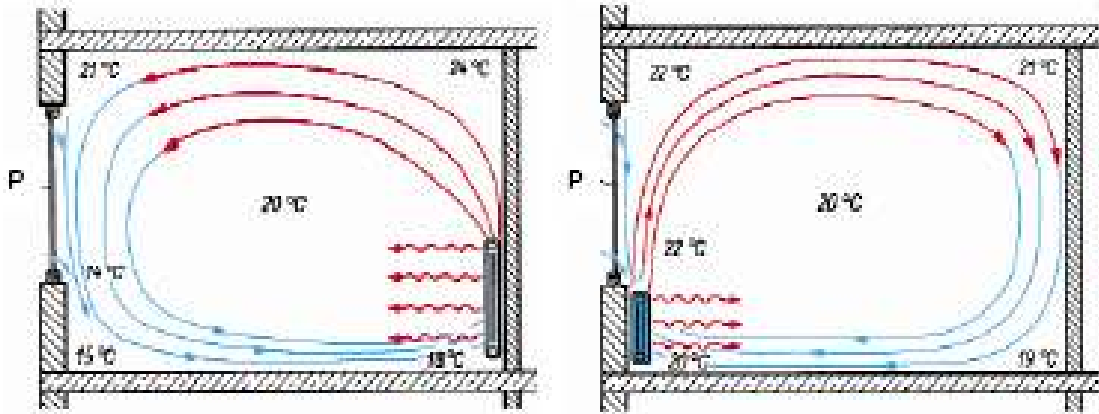
Şekil 1.10. Radyatörün vanası elektronik olarak ayarlanması [54]

Kumandalı termostatik vana olan radyatörden önce termostatik bir musluk bulunur. Oda sıcaklığı değişiminden kumanda (sensör vasıtasıyla) alan bir termostat ile bu musluk kontrol edilebilir. Genel olarak termostat musluğun başında bulunur. Odanın hava sıcaklık durumundan alınan sensör sinyali ile radyatöre giden su basıncı kumandadan ayarlanır ve bu durum radyatörün ısıtma gücünü de yapılan ayara göre değiştirir. Böylelikle odanın sıcaklığı belirtilen değerde sabit tutulur. Dolayısıyla termostatik radyatör vanalarında el ile vana açıp kapatmaya gerek yoktur.

Montaj yapılırken termostat musluğunun başı, duvardaki oyuk içinde kalmamalıdır. Vananın montajı yer ile paralel olacak şekilde yapılmalıdır [52].

Uzaktan kumandalı termostatik vanalar çoğunlukla villalarda, tek aileli evlerde ve küçük çaplı ısıtma sistemlerinde kullanılırlar. Ayrıca, büyük ölçekli ısıtma sistemlerinde bölge kontrolü için de kullanılırlar. Yapılarda değişik amaçlar ile kullanılan çeşitli hacimlerde zonlar vardır. Bundan dolayı, her farklı zon odasındaki radyatör girişine termostatik vana koyularak arzu edilen sıcaklık elde edilebilir [52].

Uzaktan kumandalı termostat kullanımının genel verime etkisinin yanı sıra radyatör yerleşim düzeni de verim ve ısıl konfora önemli derecede etki eder. Isıtıcı yüzeyler genellikle dış duvarlara monte edilmiş olmalıdır. Bu sayede soğuk yüzeylerin ısınması daha kolay olur ve bu durum konfor şartlarına ulaşımı da kolaylaştırır. Radyatörlerdeki ısının yaklaşık %75'i taşınım olarak aktarılır. Dolayısıyla radyatörler ısının çoğunu yüzeylerinden geçen havaya iletirler. Bu durum, radyatöre göre daha soğuk olan duvar boyunca aşağıdan yukarıya çıkan bir hava dolaşımına neden olur. Fakat radyatör iç duvara yerleştirilirse, bu hava dolaşımı dış duvardan daha sıcak olan iç duvarda daha yavaş olur ya da tamamen durur. Bundan dolayı radyatörler dış duvar boyunca ya da pencere boyunca monte edilmelidir. Çünkü sıcak hava yukarı doğru basınç yaptığı için soğuk hava yere doğru yönelir ve tüm odayı dolaşarak radyatöre gelir [52]. İç ortamında hava akımı ve sıcaklık dağıtımı Şekil 1.11'de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. İç ortamında hava akımı ve sıcaklık dağıtımı [55]

Kazan Kontrolü

Su ile olan ısıtma sisteminde, kontrolü gereken ana unsur kazan çıkışındaki suyun sıcaklığıdır. Bir kazan sıcaklık kontrol sisteminin görevleri, suyun sıcaklığını üst sınır sıcaklığının üstüne çıkarmamak ve farklı ısıtma ihtiyacına göre kazandan çıkan suyun sıcaklığını ayarlamaktır.

Gaz ve sıvı yakıt yakan kazanlar için, kazanın çıkışındaki suyun sıcaklık denetimi, kazan termostatu, oda termostatu ile kazan kontrolü ve dış hava termostatu ile kazan kontrolü olarak üç farklı şekilde yapılabilir [52].

Kazan Termostatu ile kazan kontrolü ise, bir kazandaki su sıcaklığını istenen bir sıcaklık değerinde sabit tutmak için kazan termostatu kullanılır. Kullanım amacına göre üç değişik termostat ile bu amaç sağlanabilir. Bunlar; iki kontaklı termostatlar, üç kontaklı termostatlar ve oransal termostatlardır. İki kontaklı termostatlar en basit çeşididir. Bu tipler genellikle temel kontrol unsuru olarak tek kademli brülörlerde açma kapatma kontrolünde kullanılabilirler. İsteğe göre değişmekle beraber açma kapatma durumları için sıcaklık farkı genel olarak 6°C seviyesinde ayarlanır. Buna ek olarak, bir sıcaklık limit termostatu kullanmak sistemin güvenliği için gereklidir. Ayrıca, bu sıcaklık limit termostatları, manuel olarak sıfırlanabilir şekilde olmalıdır. Üç kontaklı termostatlar çoğunlukla büyük çaplı yapılarda bulunan iki kademeli brülörler olan kazanlarda tercih edilir. Kontaklara bağlı olan 1. Brülör kademesi ile ve 2. Brülör kademesini ardışık olarak devreye alır ve çıkarır. Oransal termostatlar kullanılan kazanlarda her zaman kontrol vardır. Bu termostatlar, bünyesindeki sıcaklık sensöründen gelen sinyale göre elektrik motorlu vanalar aracılığıyla kazana gidecek hava-yakıt karışımının miktarını belirler. Suyun sıcaklığı istenen noktaya yaklaştıkça sisteme iletilen enerjinin azalması için yakıt ve hava oransal termostat tarafından kısılr. Kazanı oransal termostatlı bir kontrol sistemi, bu kazanı en fazla %30 kapasitenin altına düşmeyecek kadar kısımlıdır. Ayrıca, diğer kazan termostatları çeşitlerinde olduğu gibi oransal termostatlı kazan kontrol sistemlerinde de kesinlikle limit termostatu bulunmalıdır [52].

Oda termostatu ile kazan kontrolü ise, bir ısıtma sisteminin kontrolünün oda termostatu ile sağlandığı durumda termostatin sensörü hedef odaya yerleştirilir. Bu sensör vasıtasıyla odanın sıcaklığı istenen değerde sabit olacak şekilde kazan kontrolü sağlanır. Yıllık ısı verime olumsuz etkisinden dolayı kazan için oda termostatu kullanımı oldukça azalmıştır. Odadaki çok fazla sıcaklık iniş çıkışı, termostatin kullanım alanının tek bölge için olması, yakıt sarfiyatının çok olması ile istenen konforu sunamaması gibi olumsuzluklar bazı dezavantajları olarak sayılabilir [52].

Dış hava sıcaklığı kompanzasyonlu kazan su sıcaklığı kontrolünde termostat, kazan suyunun çıkış sıcaklığını ve dışarıdaki havanın sıcaklık durumunu algılar. Sistemde kullanılacak kontrol panelindeki mikro işlemciler sensörlerden gelen verileri okur ve önceden yazılan bir program ile bu verilere göre kazanın su sıcaklığını ayarlayabilmek için brülöre komut gönderir. Limit sensörü kazanın üst kısmında -diğer sistemlerde olduğu gibi- güvenlik amacıyla kesinlikle yer almalıdır [52].

Dış hava sıcaklığı kompanzasyonlu kazan kontrolü sisteminin birçok avantajı ve özelliği vardır. Açıklanan özelliklerine ek olarak, diğer bazı avantaj ve özellikleri aşağıdaki maddeler halinde belirtilebilir;

- Dışarıdaki hava sıcaklık derecesi, tüketicinin seçtiği sıcaklığın altına inmesi halinde ısıtma sistemi otomatik olarak çalışmaya başlar.
- Bu sistemde dış hava kompanzasyonu ile birlikte oda sıcaklık sensörü de oda sıcaklığını ayrıca denetler. Odanın anlık ısı yükü değişimlerinde kontrol paneli harekete geçer ve istenen sıcaklık düzeyine tekrar ulaşılır. Kışın kapı veya pencerelerin havalandırma maksatlı bir süreliğine açılması anlık ısı yükü değişimine örnek olarak verilebilir.
- Dış hava ve iç ortam sıcaklıklarını günlere göre sürekli kayıt ederek kazan için gereken ideal çalışma değerlerini bulup bunlara göre sistemin çalışmasını ayarlar.
- Sıvı ya da gaz yakıt tüketen sistemlerde %40'a varan oranlarda yakıt ekonomisi sağlayabilmesi gibi durumlar birçok avantajından bazılarıdır [52].

Genel Sistem Kontrolü

Isıtma sisteminde bulunan suyun sıcaklık değerini dışarıdaki havanın sıcaklık değişimine göre ayarlayabilmek daima istenilen bir husustur. Fakat bunun uygulanmadığı durumlarda dış hava sıcaklığına göre kontrol sistemi bulunmayan sabit basınçlı, ısıtıcı radyatörleri döküm ya da çelik maddeler olan ve 90/70 standardında çalışan kazanların çıkış sıcaklığının, dış sıcaklığa göre elle ayarlanmasına ait çizelgeler mevcuttur [56].

Dışarıdaki hava sıcaklığına göre kontrol edilen mikro ısıtma düzenleri gereken bütün kontrol imkânlarını sağlayabilirken makro sistemlerde kontrolün kalite ve verimliliğinin artırılması amacıyla, ısıtıcıların bölgesel ve ferdi denetimi de sistem kontrolü ile elektronik olarak uyumlu bir şekilde birleştirilebilir [56].

Dış hava sıcaklığından kontrol edilen kazanlarda kullanılan iki metottan biri kazan suyunun sıcaklığının değiştirilmesi ile sistem kontrolü, diğeri ise kazan su sıcaklığı sabit tutulurken, sisteme gönderilen suyun sıcaklığı değiştirilmesiyle sistem kontrolüdür. Birinci metotta, kullanma sıcak suyu kullanımının genel sistemin su sıcaklığında iniş çıkışlara sebep olması ve yüzey sıcaklıkları farkının fazla olması nedeniyle korozyona sebep olması gibi dezavantajları bulunur. Bundan dolayı üç yollu vanalar ile iç hava sıcaklığından veya dört yollu vanalar ile dış hava sıcaklığından ve gidiş suyu sıcaklığından kumanda alan sistem kontrolleri yapılabilir. İkinci metotta, kazandan çıkan su sıcaklığı sabittir ve su sıcaklığı, kızgın su veya buharla çalışan bir ısı değiştiricisi ile

yapılır. Dış hava sıcaklığına göre sistem kontrolü kızgın su yardımıyla yapılıyorsa üç yollu vana, buhar yardımıyla yapılıyorsa iki yollu vana kullanılır [56].

Bölge (Zon) Kontrolü

Isıtmanın sıcak suyla yapıldığı sistemlerde zon kontrolü sıklıkla uygulanır. Kullanımdaki ortamlardan oluşan gruplara bölge denir. Bölgelerdeki ısıtma denetimini, sabit bir değerde olan, sadece bir kontrol sistemi ile yapmak mümkündür. Bölge kontrolü genellikle çok bölgeli sistemler veya tek bölgeli (konutlar) sistemler olarak değerlendirilebilir [56].

Birden fazla bölgeli sistemlerde her farklı bölgenin kontrolü elektronik panel ile üç farklı şekilde yapılabilir. İlk metotta, sıcak su besleme hattından gelen suyun bölgeye geçişini sağlayan bir adet üç yollu elektrik motorlu vana kullanılır. İkinci metotta, dönüş hattına monte edilen iki yollu elektrik motorlu vana dönüş yolunu ayarlar. Üçüncü metotta ise, vana yerine bir adet transfer pompası vardır. Transfer pompasının ON-OFF olmasıyla sistem kontrolü gerçekleştirilir. Üç yöntemin amacı da bölgelerin ısıtıcılarındaki suyun devir daimini kontrol etmektir [56].

Sonuç olarak; kontrol sistemlerinde, düzgün bir ısıtma ve sistemde yüksek verim elde etmek için, bölgelerin seçimi, ısıtıcı malzemelerin boyutlandırılması, termostat ve vana yerlerinin seçimi ve sistemdeki elemanların birbiriyle uyumu çok önemlidir.

1.4.4.3. Aydınlatma Sistemlerinde Verimlilik ve Tasarruf

Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimindeki hızlı artış ve elektrik enerjisi üretimindeki yavaş artış, elektriğin daha verimli kullanılması konusunu gündeme getirmiştir. Enerjinin verimli kullanımını artırmak, israfı önlemek, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünü hafifletmek ve çevreyi korumak için, Enerji Verimliliği Kanunu (5627 sayılı) 2 Mayıs 2007 tarihli Resmi Gazete'de yayımlandıktan sonra çıkarılmıştır. 2023 yılında Türkiye'nin elektrik talebinin 376.785 GWh olduğu tahmin edilmektedir. Doğru aydınlatma sistemi kullanılarak enerji tüketim maliyetleri azaltılabilir. Kamu kurumlarında aydınlatma amaçlı elektrik tüketimini azaltmak amacıyla, son yıllarda tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de enerji tasarruflu lambaların kullanımı artmıştır [23].

Elektrik tüketiminde aydınlatmanın payı büyüktür. Aydınlatma için kullanılan elektrik miktarı ısıtma ve havalandırma için kullanılan miktardan sonra gelir. Aydınlatmada, verimli ışık kaynakları ve armatürlerin kullanılması ile birlikte kayda değer enerji tasarrufu sağlanabilir [57].

Günümüzde konut ve hizmet sektöründe kullanılan elektrik enerjisi genel olarak tüketilen enerjinin %35'idir ve de bu elektrik enerjisinin de %21'i aydınlatma için kullanılır. Kullanım miktarlarından yola çıkarak aydınlatma için kullanılan enerjinin verimli bir şekilde kullanılması ülke ekonomisine de kayda değer katkı sağlayacaktır [58]. Ofisler ve sınıflar için aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi genel olarak tüketilen elektrik enerjisinin %20 ile %70 arasında olduğunu göz önünde bulundurursak bu alanlardaki aydınlatmada yapılacak olan iyileştirmenin kayda değer enerji tasarrufu sağlayacağı aşîkârdır. Bina otomasyon ve enerji yönetim sistemlerinin gelişmesinden önce, aydınlatma sistemleri sadece elle kontrol edilebiliyordu. Zamanla teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerjiyi verimli kullanan ve de kullanıcıya kolaylık sağlayan otomatik aydınlatma sistemleri gelişmeye başladı. Günümüzde kullanılan aydınlatma sistemlerinin başında harekete veya gün ışığına duyarlı ve de zaman ayarlı kontrol sistemleri mevcuttur. Ayrıca ağ tabanlı, ışık sensörlü ve loşlaştırmalı kontrol sistemleri gibi farklı çeşitleri de bulunmaktadır. En çok kullanılan sistemlerden birisi olan hareket/varlık algılayıcı sistemler, kullanıcı varlığını tespit ederek kullanıcı olmadığı durumlarda aydınlatmayı devre dışı bırakmayı amaçlamaktadır. Bu sistemlerin hepsi kullanımda enerji tasarrufu sağlarken diğer yandan da konforlu bir kullanım ortamı sağlamaktadır [59,60].

Aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımına paralel olarak, uygun aydınlatma kaynağının seçilmesinin binalardaki aydınlatma sistemlerinin verimliliği üzerinde büyük etkisi olduğunu da belirtmeliyiz. Bu da lamba tipine, lambanın etkinlik faktörüne, lamba ömrü vb. gibi birçok teknik ve ekonomik kriterlere bakılarak yapılır.

Aydınlatma açısından enerji tasarrufu için bir örnek olarak; bina ve hizmet sektöründe kullanılan enkandesen (akkor) flamanlı lambalarının aylık tüketimi 100 kWh iken bunun yerine aynı ışık akısını veren led lambaları kullandığında Şekil 1.12'de görüldüğü gibi 20 kWh bir tüketim olacaktır. Bu küçük değişiklikle genel tüketiminde %80 oranında bir tasarruf elde edilir. Bina ve hizmet sektöründe aydınlatma için kullanılan elektrik miktarının genel tüketime oranının %21 olduğu göz önüne alınırsa [58] akkor lamba yerine kullanılan led lambaları ile sağlanacak enerji tasarrufunun miktarının kayda değer olacağı görülecektir. Yapılacak olan bu değişiklikle bina ve hizmet sektöründe kullanılan elektrik enerjisinin tüketiminden %16,8 oranın tasarrufu elde edilecektir.

VERİMLİLİK	DÜŞÜK			YÜKSEK
AMPUL TİPİ				
LÜMEN (ışık birimi)	KLASİK	HALOJEN	TASARRUFLU	LED
450	40 W	29 W	9 W	8 W
800	60 W	43 W	14 W	13 W
1100	75 W	53 W	19 W	17 W
1600	100 W	72 W	23 W	20 W
ÖMÜR	1 yıl	1-3 yıl	6-10 yıl	15-25 yıl
TASARRUF	X	%30'a kadar	%75'e kadar	%80'e kadar

Şekil 1.12. Ampullerin tiplerine göre enerji tasarrufu [61]

1.5. Binalarda Isıtma Sistemleri ve Hesabı

1.5.1. Isı Aktarımı ve Çeşitleri

Isı, sıcaklık farkı neticesinde bir sistemden diğerine aktarılabilen bir enerji çeşididir. Termodinamik analiz, denge durumundaki herhangi bir sistemin diğer bir duruma geçerken gerçekleşen ısı aktarımını kapsar. Isı aktarımı şeklinde enerji akışı daima yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama doğru olur ve de sıcaklık farkı ortadan kalktığında ısı aktarımı da durur. Isı aktarımı; iletim, taşınım ve ışıyım olarak üç şekilde gerçekleşir. Bu üç ısı aktarımı şekli aşağıda kısaca açıklanmıştır [62].

1.5.1.1. İletim Yoluyla Isı Aktarımı

İletim şeklinde gerçekleşen ısı aktarımı, herhangi bir maddedeki enerjisi yüksek olan parçacıklardan sınırdaş oldukları enerjisi düşük olan parçacığa doğru gerçekleşen enerji geçişi olarak tanımlanır. İletim şeklinde ısı aktarımı; katı, sıvı ve gazlarda gerçekleşebilir.

Katı maddelerde meydana gelen ısı iletimi, maddeyi oluşturan moleküllerin titreşimleri ve de buna ek olarak serbest elektronlarla meydana gelen enerji transferi şeklindedir. Örneğin, sıcak bir ortama koyulan soğuk içi boş metal bir küre, ortamdan kürenin metal cidarından iletimle ısı aktarımı neticesinde kürenin sıcaklığı son durumda ortamın sıcaklığına eşit olacaktır. Maddenin

sıvı ve gaz halinde gerçekleşen iletimi ise, maddeyi oluşturan moleküllerin rastgele hareket etmeleri esnasında birbirlerine çarpmaları ve dağılmaları neticesinde meydana gelir.

Bir ortamda meydana gelen ısı iletim hızı; ortamdaki sıcaklık farkına, ortamın şekline, kalınlığına ve ortamı oluşturan malzemeye göre değişir. Binaların cam yünü ile yalıtım yapılması durumunda, binanın daha az ısı kaybedeceği bilinmektedir. Yalıtım kalınlığının ısı kaybıyla ters orantılı olduğu da bilinmektedir. Binanın bulunduğu ortamdaki sıcaklık azaltıldığında binadan dış ortama gerçekleşen ısı aktarım hızı da artacaktır. Dahası; binanın boyutu arttıkça ısı kaybı da artar.

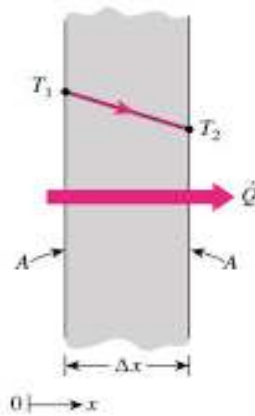
Şekil 1.13'te gösterildiği üzere $\Delta x=L$ kalınlığa ve de A alanına sahip olan bir duvarda sabit şartlarda meydana gelen ısı iletimini düşünelim. Duvar genelinde sıcaklık farkı $\Delta T=T_2-T_1$ 'dir. Deneyler sonucunda ısı geçiş hızı, ΔT sıcaklık farkını ya da ısı geçişine dik A alanını iki kat artırdığımızda iki kat artar; L duvar kalınlığı iki katına çıkarıldığında ise yarıya düşer. Sonuç olarak bir levhada meydana gelen ısı geçiş hızı, levhadaki sıcaklık farkı ve de levhadaki ısı geçiş alanıyla doğru; levhanın kalınlığıyla ters orantılıdır. İletim yoluyla meydana gelen ısı geçiş hızı;

$$\dot{Q}_{iletim} = kA \frac{T_1-T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1.1)$$

Eşitliğiyle ifade edilir [62]. Burada k; ısı iletim katsayısını ifade etmektedir. Yukarıda verilen denklem, $\Delta x \rightarrow 0$ limit durumunda,

$$\dot{Q}_{iletim} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1.2)$$

Şeklinde diferansiyel olarak da ifade edilebilir. Bu eşitlik aynı zamanda Fourier ısı iletim denklemi olarak ifade edilmektedir [62].



Şekil 1.13. Kalınlığı Δx ve alanı A olan geniş bir düzlem duvarda ısı iletimi [62]

1.5.1.2. Taşınım Yoluyla Isı Aktarımı

Taşınım ile ısı geçişi, katı bir yüzey ile temasta olan bir sıvı veya gaz arasında meydana gelen ısı aktarımı şeklidir; iletim ve de akışkanın hareketinin birleşik etkilerini içerir. Taşınma ile aktarılan ısı miktarı akışkanın hızı ile doğru orantılıdır. Akışkanın hareketinin durması durumunda katı yüzey ile bitişiğindeki akışkan arasında sadece iletim ile ısı geçişi olur. Akışkan hareketinin olması durumu katı yüzeyle akışkan arasında olan ısı geçişini artırır ancak ısı geçiş hızını hesaplamayı zorlaştırır. Örneğin fırından yeni çıkmış kurabiyeleri düşünelim. Kurabiyelerin sıcak dış yüzeylerinin soğuk hava ile teması esnasında ilk olarak yüzeylerden bitişiğinde olan hava tabakasına iletim ile ısı aktarımı olur sonrasında bu hava yüzeyden taşınım ile ısı aktarımı olarak bir süre sonra kurabiye sıcaklığı ortamın sıcaklığına eşit duruma gelerek denge sıcaklığına ulaşır.

Yüzey üzerinden fan gibi akışkanın hızını artıracak bir araçla akışkanın hızı artırılarak akması için zorlandığı durumda meydana gelen ısı iletimine zorlanmış taşınım denir. Diğer taraftan, taşıma ile ısı geçişi, herhangi bir zorlama olmaksızın sıcaklık farkından meydana gelen yoğunluk farkı sonucu gerçekleşirse bunu doğal taşınım olarak adlandırılır. Şekil 1.14'te gösterilmiştir.

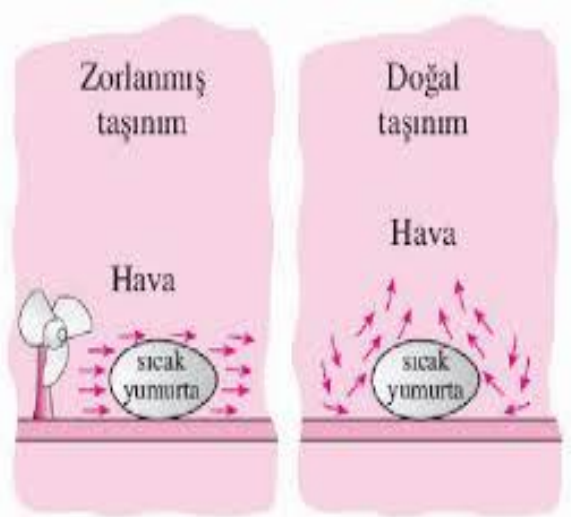
Herhangi bir akışkanda meydana gelen ve faz değişimini içeren ısı aktarımı işlemleri - kaynarken kabarcıkların yükselmesi ya da yoğunlaşırken su damlalarının yağması gibi- keza taşınım olarak düşünülür.

Taşınım ile ısı aktarımı karmaşık olmasına rağmen taşınım ile ısı aktarım hızının sıcaklık farkıyla orantılı olduğu gözlemlenebilir ve aşağıda verilen Newton soğutma kanununa uygun olarak;

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (1.3)$$

şeklinde ifade edilebilir [62]. Denklemden W/m^2K birimi ile h ısı taşınım katsayısı, A_s taşınımın meydana geldiği yüzeyin alanı, T_s yüzey sıcaklığı ve T_{∞} ise yüzeyden yeteri kadar uzaklıktaki akışkan sıcaklığıdır. Dikkat edecek olursak yüzeyde akışkan sıcaklığı katının yüzeyindeki sıcaklığına eşittir.

Taşınım katsayısı ' h ' akışkana ait bir özellik değildir ve deneyler sonucunda bulunur. Bu katsayının değeri ise yüzey şekline, akışkan hareketinin doğasına, akışkanın özelliklerine ve yığın hızına bağlı olan bir katsayıdır.



Şekil 1.14. Kaynamış bir yumurtanın zorlanmış ve doğal taşınım ile soğutulması [62]

1.5.1.3. Işınım Yoluyla Isı Aktarımı

Işınım şeklinde gerçekleşen ısı aktarımı, atom ve moleküllerin elektronik düzenlerinde meydana gelen değişimler neticesinde, maddeden fotonlar halinde yayılan enerji çeşididir. İletim ve taşınmayla ısı aktarımının aksine, ışınlama ısı aktarımında herhangi bir aracı ortama ihtiyaç duyulmaz. Diğer ısı aktarım şekillerine oranla, ışınlama ile ısı aktarımındaki ısı geçiş hızı daha yüksektir ve de boş ortamda hızı düşmez. Güneşin yeryüzünü ısıtma şekli de bu şekildedir.

Işınım hacimsel bir olaydır; bütün katılar, sıvılar ve gazlar, ışınlama muhtelif miktarlarda yayar, soğurur ya da geçirirler. T_s (K ya da R birimi şeklinde) yüzey sıcaklığına sahip olan bir cisimden yayılabilecek en yüksek ışınlama hızı Stefan-Boltzmann denklemiyle;

$$\dot{Q}_{yayılan, maks} = \sigma A_s T_s^4 \quad (1.4)$$

şeklinde ifade edilir [62].

Denklemden geçen $\sigma=5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ifadesi Stefan-Boltzmann sabit katsayısıdır. Bu, en yüksek hız ile ışınlama yapan ideal yüzeye kara cisim denmektedir ve de kara cisimden yayılan ışınlama kara cisim ışınlaması denir. Bütün cisimlerden yayılan ışınlama, aynı sıcaklıkta olan kara cisimden yayılan ışınlamadan daha azdır [62].

$$\dot{Q}_{yayılan} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (1.5)$$

Denklemden ϵ ; yüzeyin yayma katsayısını ifade eder ve Çizelge 1.9’da görüldüğü gibi 0 ile 1 arasında değer alır. (kara cismin ϵ değeri 1’dir)

Çizelge 1.9. 300 K sıcaklıkta bazı malzemelerin yayma katsayısı [62]

Malzeme	Yayıcılık	Malzeme	Yayıcılık
Alüminyum folyo	0.07	Asfalt döşeme	0.85-0.93
Anodize alüminyum	0.82	Kırmızı tuğla	0.93-0.96
Parlatılmış gümüş	0.02	Ağaç	0.82-0.92
Siyah boya	0.98	Toprak	0.93-0.96
Beyaz boya	0.90	Su	0.96
Beyaz kâğıt	0.92-0.97	Bitkiler	0.92-0.96

Yayıcılık katsayısı (ϵ), yüzey alanı A ve termodinamik sıcaklığı T_s olarak belirlenen bir yüzeyin, çevre termodinamik sıcaklığındaki çok geniş (ya da kara) bir yüzey ile büsbütün çevrelenmiş yüzeyleri arasında meydana gelen net ışıyım hızı, Denklem 1.6’da verilmiştir [62].

$$\dot{Q}_{ışıyım} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{çevre}^4) \quad (1.6)$$

1.5.2. Binalarda Uygulanan Isıtma Sistemleri

Binalarda uygulanan ısıtma sistemlerinin seçimi enerji verimliliği ve enerji tasarrufu bakımından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Binanın ihtiyacı olan enerji miktarı dikkate alınarak binaya uygun ısıtma sistemi seçilir. Kapasitesi ve yaygın kullanım çeşitleri bakımından ısıtma sistemleri dört grupta incelenir; yerel ısıtma (soba), tekil ısıtma (kat kaloriferi), merkezi ısıtma (bina ısıtması) ve bölgesel ısıtma (birden fazla binanın tek merkezden ısıtılması) [63].

1.5.2.1. Yerel Isıtma

Isıtılmak istenen ortamın içerisinde kullanılan ısıtma sistemidir. Yerel ısıtma sisteminde, ısı ihtiyacı olan her ortama ayrı ayrı ısıtıcı kaynağı koyulması gerekir. Şömineler, elektrikli sobalar, odun veya kömür sobaları bu tür ısıtma sistemlerine örnek olarak verilebilir. Isı ihtiyacı 1 ile 10 kW arasında olan alanlar için uygulanır [49].

1.5.2.2. Tekil Isıtma

Tekil ısıtma, ısı ihtiyacı 10 ile 40 kW olan yerler için uygulanan sistemdir, kat kaloriferi olarak da adlandırılır. Sistem çoğunlukla motorin, doğalgaz ya da sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) yakılarak çalıştırılır. Ülkemizde sistem içerisinde ısı taşımak için genel olarak su kullanılır ve devrede dolaşan akışkan sıcaklığı en yüksek 90°C'dir. Ortamı ısıtacak olan su, kombi veya kat kaloriferinde ısıtılarak borular vasıtasıyla ısıtılması istenen ortama gönderilir. A.B.D. de ise bu tip sistemlerde ısıyı taşımak için 40 ile 50°C sıcaklıkta hava kullanılmaktadır. Hava bir hava ısıtıcısı ile ısıtılarak kanallar vasıtasıyla ısıtılmak istenen ortama iletilir. Tekil ısıtmanın verimi merkezi ısıtmadan düşük olsa da, diğer binalardan bağımsız olarak kullanılması onun avantajlarından biridir. Bu avantajı ülkemizde yaşayan insanlar tarafından ısıtmayı tercih etmesinde oldukça etkilidir. Doğal gazın kullanılmasıyla birlikte bu sistemin ileride daha çok kullanılacağı öngörülmektedir [49].

1.5.2.3. Merkezi Isıtma

Blok şeklinde yapılmış bir binayı ısıtmada maksimum verimi almak için uygulanacak sistem merkezi sistemdir. Binada bulunan bir kazan dairesi içerisinde hazırlanmış olan sıcak su, binadaki her bir daireye veya birime ayrı ayrı olarak gönderilir. Merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan kazanda her türlü yakıt kullanılabilir fakat çevreye zararı nispeten daha az olduğu için doğalgaz ve sıvı yakıt kullanılmaktadır. Merkezi ısıtma sisteminde, ısıtılan birimin ihtiyacı olan ısı miktarını ölçmek için kullanılan cihazların ülkemizde yaygınlaşmamış olmasından dolayı, bu teknikte ısıtma zaman zaman enerji israfına neden olabilmektedir. Bilinçli kullanıldığı takdirde merkezi ısıtma sistemi yatırım ve işletme açısından tekil ısıtma sistemine göre daha avantajlıdır [49].

1.5.2.4. Bölgesel Isıtma

Bölgesel ısıtma sisteminde, bir ısı merkezinde hazırlanmış olan sıcak akışkan uzaklığı bir kaç kilometre çapındaki binalara taşınmaktadır. Bu sisteme şehir veya uzaktan ısıtma tekniği adı da verilir. Isı merkezinde hazırlanan akışkan birinci akışkan olarak adlandırılır ve bu akışkan genel olarak kaynar su ya da buhardır. Birinci akışkan ayrı ayrı her bina altında yer alan bir ısı değiştirici vasıtasıyla ikinci devrede bulunan ve maksimum sıcaklığı 90°C olan suyu ısıtır. İkinci devrede bulunan sistem, merkezi ısıtma sisteminde kullanılan devrenin aynısıdır. Isıtılacak olan binalar ile

ısı merkezi arasındaki mesafe 1 km den az ise sistemde 90°C'lik sıcak su kullanılarak tek devre ile ısıtma yapılabilir. Bu mesafe 1 km'den büyükse birinci devrede kullanılan suyun sıcaklığı 180°C ye kadar çıkarılabilir. Teknik olarak bölgesel ısıtma diğer sistemlerden daha verimlidir. Doğalgaz haricinde özellikle kömür ya da ağır fueloil benzeri yakıtların kullanılması halinde, yanma ve akışkan sıcaklıkları tek bir merkezde hassas bir şekilde yalnızca bu sistemde yapılabilmektedir. Bu sistem genellikle üniversite kampüslerinde, hastanelerde ve kışlalarda kullanılmaktadır. Bölgesel ısıtma sistemi ısıtmanın yanı sıra elektrik üretiminde de kullanılmaktadır. Bu sistem kojenerasyon (birleşik ısıtma) olarak adlandırılır. Çoğu batı ülkelerinde uygulanan bu sistemin verimi çok yüksek olmasına rağmen diğer sistemlere oranla kurulum maliyeti yüksek olduğundan ülkemizde birkaç sanayi kuruluşu dışında genellikle kullanılmamaktadır. Bölgesel ısıtma sistemi projesi hazırlanırken ısıtıcı akışkanının cinsi (sıcak su, kızgın su ve buhar), akışkanın gidiş dönüş sıcaklıkları veya basınç özenli bir şekilde yapılacak uygulanabilirlik araştırmasıyla belirlenmelidir. Bölgesel ısıtma sisteminin diğer sistemlere göre avantajları aşağıda belirtilmiştir [49].

- a) Diğer sistemlerde her bina için ayrı ayrı kurulacak olan kalorifer kazanları, yakıt ve de kül depoları ve kalorifer bacalarına gerek kalmaz. Tesisatın ilk kurulum maliyeti düşer. Tasarruf edilen alanlar başka amaçlar için kullanılır.
- b) Binalarda kazan dairesi olmayacağından dolayı, kazan dairesinde meydana gelebilecek olan yangın ve patlama riski de ortadan kalkar.
- c) Her bina için ayrı olarak yakıt temini, kazan dairesi işletmeciliği ve bunun sonucu olarak kalorifer dairesi için kalifiye eleman gereksinimi ortadan kalkar. Binaların işletilme maliyeti düşer.
- d) Bölgesel ısıtmanın diğer bir yararı ise çevreseldir. Bu sistemde kullanılacak olan bacaya filtreleme yapılarak çevreye zararı diğer sistemlere göre daha da azaltılır.
- e) Ayrıca bölgesel ısıtma sistemi ile çöpler yakılarak enerji elde edilebilir, sistemde bulunan atık ısı tekrar kullanılabilir.
- f) Bu ısıtma sistemi ile binanın ısı ihtiyacı dışında sıcak su ihtiyacı da karşılanır.

Bölgesel ısıtmada en büyük sorun ısıtılacak olan birimlere gerçekleşen ısı göçlerini ölçmektir. Bunun için çeşitli hesap yöntemleri ve de sayaçlar kullanılmaktadır. Bölgesel ısıtma projesini yapacak olan mühendis, imar planı başlarken işe alınmalı ve devam eden süreçte gerekli teknik gereksinimleri için müteahhidi bilgilendirmeli, yol göstermelidir [49].

1.5.3. Hesap Metotları

1.5.3.1. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Standardının Tanımı ve Amacı

Binaları ısıtmak için gereken enerji ve binalar için izin verilebilir en yüksek ısıtma yükü TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı kullanılarak hesaplanır [64].

Kullanılan standart, Türk Standartları Enstitüsü’nün Mühendislik Hizmetleri İhtisas Kurulu’na bağlı TK30 Enerji ve Enerji Sistemleri Teknik Komitesi tarafından TS 825; 2008 + T1; 2009 + T2; 2009’un tekrar düzenlenerek hazırlanmış olup sonrasında TSE Teknik Kurulu’nun 18 Aralık 2013 tarihindeki toplantı ile Türk Standardı olarak kabul edilip yayınlanmıştır. Bu standart, milli ihtiyaçlar göz önüne alınmak üzere milletler arası standartlar ve ekonomik ilişkilerimiz olan ülkelerin de standartları dikkate alınıp gerekli durumlarda bu standartları ülkemiz şartlarına göre güncelleyerek oluşturulmaya çalışılmıştır [65].

TS 825 standardı, ülkemizdeki binaları ısıtmak için gerekli olan azami enerji miktarını belirleyip enerji tasarrufu sağlamak amacıyla ihtiyaç duyulan standart hesaplama yöntemini ve değerlerini saptamaktır. Bu standart ayrıca aşağıda verilen amaçlar doğrultusunda da kullanılabilir;

- İnşa edilecek bir bina için en verimli enerji performansı için gerekli olan tasarım seçeneklerini belirlemek,
- Hali hazırdaki binaların tükettikleri ısı enerjisini belirlemek,
- Hali hazırdaki binaya herhangi bir yenileme projesi uygulamaksızın elde edilebilecek maksimum enerji tasarrufunu belirlemek,
- Bina sektörünü temsil edebilecek olan çeşitli binaları ısıtmak için gerekli olan enerji miktarı hesaplanarak ileride ihtiyaç duyulabilecek enerji miktarını milli ölçüde öngörebilmek için kullanılır [65].

TS 825, derece gün hesap yöntemine dayanarak Türkiye’yi beş derece gün bölgesi olarak ayırmıştır [65]. Birinci bölgede bulunan illerin diğer bölgelerdekine göre en az ısıtma enerjisine ihtiyacı vardır. Beşinci bölgede bulunan illerin ise en fazla ısıtma enerjisine ihtiyacı bulunmaktadır. İllere göre derece gün bölgeleri ekler bölümünde verilmiştir (**Bkz. EK-1**). Bu tez çalışmasında yer alan Bitlis ili, dördüncü bölgede yer almaktadır ve ona göre metot hesaplamaları yapılmıştır.

Standartın kabul ettiği ısıtma enerjisinin hesaplamaları aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak açıklanmaktadır.

1.5.3.2. Isıl Geçirgenlik Direncinin (R) Hesaplanması

Tek tabakalı yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik direnci, yapı bileşeninin kalınlığı ve ısı iletim katsayısı değeri bilerek Denklem 1.7'deki gibi hesaplanmaktadır. Ama birden fazla tabakadan oluşan yapı bileşenlerinde ısıl geçirgenlik direnci, tek tek yapı elemanı kalınlıkları ($L_1, L_2, \dots, L_n$) ve bu yapı elemanlarının, ısı iletim katsayısı değerleri ($k_1, k_2, \dots, k_n$) kullanılarak Denklem 1.8'deki gibi hesaplanmaktadır [65].

$$R = \frac{L}{k} \quad (1.7)$$

$$R = \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \dots + \frac{L_n}{k_n} \quad (1.8)$$

Burada, R; Isıl geçirgenlik direnci ($m^2.K/W$), L; Yapı bileşeninin kalınlığı (m), k; Isı iletim katsayısı (W/mK)'dir.

1.5.3.3. Toplam Isıl Geçirgenlik Direncinin (1/U) Hesaplanması

Bir yapının toplam ısıl geçirgenlik direnci, bu yapıdaki bileşenlerin ayrı ayrı ısıl geçirgenlik dirençlerine (R), yüzeysel ısı iletim direnç değerleri (R_{si}, R_{se}) ilave edilerek Denklem 1.9'a göre hesaplanır. R_{si} ve R_{se} değerleri ise yapı elemanlarına göre TS 825 standardından alınır.

$$\frac{1}{U} = R_{si} + R + R_{se} \quad (1.9)$$

Burada, $1/U$; yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direncini (m^2K/W), R_{si} ; iç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım ve ısınım direncini (m^2K/W), R_{se} ; dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım ve ısınım direncini (m^2K/W) ifade etmektedir [65].

1.5.3.4. Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısının (U) Hesaplanması

Tek tabakalı veya çok tabakalı yapıların toplam ısıl geçirgenlik katsayısı, Denklem 1.9'daki denklemin aritmetik olarak tersi elde edilerek Denklem 1.10'a göre hesaplanır [65].

$$U = 1/(R_{si} + R + R_{se}) \quad (1.10)$$

Burada, U ; Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısını (W/m^2K) ifade etmektedir.

1.5.3.5. Binanın Özgül Isı Kaybının Hesabı

Isı, yüksek sıcaklık ortamından düşük sıcaklık ortamına aktarılır. Binanın ısı kaybı dış duvarlar, tavanlar, zeminler, pencereler ve kapılardan kaynaklanmaktadır. Isıtılmış ortamlar arasındaki fark $4 K$ 'yı geçmiyorsa, bina bir bütün olarak ele alınır ve her ortamın sıcaklığı aynı kabul edilerek ısı kaybı hesabı yapılabilir. Binanın toplam ısı kaybı, Denklem 1.11'de gösterildiği gibi iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının toplanması ile bulunur.

$$H = H_t + H_v \quad (1.11)$$

Burada, H ; bir hacmin toplam ısı kaybını (W/K), H_t ; yapı bileşeninden olan artırımlı ısı kaybını (W/K), H_v ; hava sızıntısı ısı kaybını (W/K) ifade etmektedir [65].

İletim ve Taşınım Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybı Hesabı

Yapı elemanlarındaki iletim ve taşınım yoluyla oluşan toplam ısı kaybı Denklem 1.12 ile hesaplanır. Denklem 1.13'te ise yapı elemanının bileşenlerinde meydana gelen ısı kaybının detayları verilmiştir. "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı" olan TS 825 temel alınarak, yapı bileşenlerindeki ısıl geçirgenlik katsayılarının, derece gün bölgelerine göre önerilen en üst değerleri Çizelge 1.10'da gösterilmiştir.

$$H_t = \sum AU \quad (1.12)$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + U_k A_k + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds} \quad (1.13)$$

Burada, U_D ; Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K), U_P ; Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K), U_k ; Dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K), U_T ; Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K), U_t ; Zemine oturan tabanın /döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K), U_d ; Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K), U_{ds} ; Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2K), A_D ; Dış duvarın alanı (m^2), A_P ; Pencerenin alanı (m^2), A_k ; Dış kapının alanı (m^2), A_T ; Tavan alanı

(m²), A_i; Zemine oturan taban/döşeme alanı (m²), A_d; Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı (m²), A_{ds}; Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı (m²) olarak ifade edilmiştir [65].

Çizelge 1.10. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri [65]

Bölge	U _D (W/m ² K)	U _T (W/m ² K)	U _t (W/m ² K)	U _P (W/m ² K)
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybı Hesabı

Bu çalışmada incelenen binalarda doğal havalandırma (pencere, kapı vb.) kullanılmıştır. Bu yolla meydana gelen ısı kaybının hesabı Denklem 1.14 ile yapılmaktadır.

$$H_V = \rho c V' = \rho c n_h V_h = 0,33 n_h V_h \quad (1.14)$$

$$V_h = 0,8 V_{brüt} \quad (1.15)$$

Burada, ρ ; Havanın birim hacim kütlesi (kg/m³), c ; Havanın özgül ısısı (J/kgK), V' ; Hacimce hava değişim debisi (m³/h), n_h ; Hava değişim oranı (h⁻¹) ve 0,8 değeri alınır, V_h ; Havalandırılan hacim (m³), $V_{brüt}$; Binanın ısıtılan brüt hacmi (m³) ifade etmektedir [65].

1.5.3.6. Binanın Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacının Hesaplanması

Bir mahallin yıllık ihtiyacı olan ısıtma enerjisi; aylık net ısı ihtiyaçlarının toplanması sonucu bulunur. Aylık net ısı gereksinimi, iç ortamdaki istenen bir konfor sıcaklığını elde etmek için gereken ısı enerjisidir. Bu ise, ortamın iç enerjisi ile ortamdaki güneş enerjisinin aylık kazançlar toplamının, ortamın aylık toplam ısı kaybından çıkarılarak bulunur. Yıllık ve aylık net ısıtma enerjisi gereksinimleri Denklem 1.16 ve 1.17'deki gibi hesaplanır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (1.16)$$

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})]t \quad (1.17)$$

Burada, $Q_{yıl}$; Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule), Q_{ay} ; Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule), H ; Binanın özgül ısı kaybı (W/K), θ_i ; Aylık ortalama iç sıcaklık (°C), θ_e ; Aylık ortalama dış sıcaklık (°C), η_{ay} ; Kazanlar için aylık ortalama kullanım faktörü (birimsiz), $\phi_{i,ay}$; Aylık ortalama iç kazanlar (sabit alınabilir) (W), $\phi_{s,ay}$; Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W), t ; Zaman, (saniye olarak bir ay = 86400 x 30) (s)'dir [65].

1.5.3.7. Binanın Yıllık Yakıt Tüketimi ve Maliyet Hesabı

Bir binanın bir yılda yakacağı yakıt miktarı, Denklem 1.18 ile hesaplanmaktadır [16].

$$B_y = Q_{yıl} / H_u \cdot \eta_k \quad (1.18)$$

Burada, B_y ; yıllık tüketilen yakıt miktarı (kg veya m³), H_u ; kullanılan yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg veya kJ/m³), η_k ; kazanın verimi (%) şeklinde tanımlanmaktadır. Yakıtların alt ısı değeri, kazan verimi ve bugündeki yakıt birim fiyatı Çizelge 1.11'de verilmektedir. Binanın yıllık yakıt tüketim miktarının maliyeti ise, tüketilen yakıt miktarına ve bugündeki yakıt birim fiyatına dayanarak, Denklem 1.19 aracılığıyla hesaplanmaktadır [16].

$$M_y = B_y \cdot C_{fyak} \quad (1.19)$$

Burada, M_y ; yıllık yakıt giderleri (TL), C_{fyak} ; yakıtın birim fiyatı (TL/Birim) olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 1.11. Yakıtların alt ısı değeri, kazan verimi ve yakıt birim fiyatı (KDV dâhil) [63,66-68]

Yakıt Türü	Yakıtın Alt Isıl Değeri (H_u)	Kazan Verimi (η_k) %	Birim	Yakıt Birim Fiyatı (C_{fyak}) (TL/Birim)
Linyit kömür	23020 kJ /kg	0,65	kg	1,6520
Doğalgaz	34535 kJ/m ³	0,90	m ³	1,8526
Fueloil	41860 kJ /kg	0,80	kg	4,339

1.5.3.8. Yakıtın Yanmasından Oluşan Karbondioksit (CO₂) Emisyonu Hesaplanması

Isıtma tesisatında kullanılan yakıtların yanması sonucu açığa çıkan atık gazların % 85' ini CO₂, % 15'lik kısmını yanma ürünlerinin kalan emisyonlarını oluşturmaktadır. Bu nedenle, karbondioksit emisyonlarının yüzdesi, yanma ürünleri emisyonlarının büyük çoğunluğunu temsil ettiğinden genellikle göz önünde bulundurulur. 05/12/2008 tarihinde ve 27075 sayılı resmi gazetede yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde (BEPY), binaların yıllık CO₂ salınımı sınırlandırılmıştır. Yönetmelikte, ısıtma için kullanılan yakıt türüne bağlı olarak, toplam enerji tüketimi sonucu salınan CO₂ miktarının belirlenmesi için dönüşüm katsayıları (DK) belirlenmiştir. Buna göre, binadaki net enerji tüketiminden kaynaklı olarak kullanılan yakıt türüne göre yıllık CO₂ salınım miktarı 1.20 Denklemi ile hesaplanmaktadır [16].

$$EM_y = 0,278. 10^{-3}. B_y. H_u. DK \quad (1.20)$$

Burada, EM_y; yıllık CO₂ salınım miktarı (kg eşd.CO₂/yıl), DK; yakıt cinsine göre CO₂ salınımı için dönüşüm katsayısını belirtir. Bu çalışmada kullanılan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğindeki yakıt türlerinin CO₂ dönüşüm katsayıları (DK) Çizelge 1.12'de verilmiştir.

Çizelge 1.12. Yakıt türlerinin DK (CO₂) dönüşüm katsayıları [16]

Yakıt Türü	DK (kg eşd.CO₂/kWh)
Linyit kömür	0.433
Doğalgaz	0.234
Fueloil	0.330

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu tezin enerji etüt çalışmasında Bitlis ili Rahva mevkiinde bulunan BEÜ merkez kampüs alanı kullanılmıştır. Kampüs alanında üniversiteye ait bütün öğretim faaliyetlerinin gerçekleştirildiği MMF binası, FEF binası, İİBF binası ve bir lojman binası seçilmiştir. Bu hizmet binalarının özgül ısı kaybı, yıllık ısıtma enerjisi, ısıtma sisteminin kullanılan yakıtlara göre yıllık yakıt tüketimi için harcanan enerji Makine Mühendisleri Odası (MMO) tarafından geliştiren ısı yalıtım programı kullanılarak hesaplanmıştır. MMO ısı yalıtım programının ana sayfası Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Ayrıca, bu programın amaçlarından biri de binalarda kullanılan yalıtım malzemesinin uygun olup olmadığını belirlemektir. Bunun belirlenmesi için Fluke marka termal kamera cihazı (Fluke Ti110) ve Testo Marka çok fonksiyonlu ölçüm cihazı (Testo 435) kullanılmıştır. İşlemin belirlenmesi için ek olarak, eğitim binalarında en çok elektrik enerjisi tüketimi unsurlarından biri olan aydınlatma etkeninin verimliliği de incelenmiştir. Burada, belli koşullar altında herhangi bir alan için olması gereken literatürdeki minimum aydınlatma şiddeti [69] değerleri ile gerçek değerler karşılaştırılmıştır. Gerçek aydınlatma şiddeti değerlerini alabilmek için Testo 435 cihazının “Luxprobu” adı verilen bir prob kullanılmıştır.

Belirtilen binaların enerji tüketim yerlerinin taşıma sistemlerinin ısı kayıplarının daha fazla olduğu yerlerin belirlenmesi amacıyla Fluke marka termal kamera cihazı (Fluke Ti110) ile binaların dış yüzeyindeki bölgesel sıcaklık farkları ve muhtemel ısı kayıp alanları tespit edilmiştir. Ayrıca, aynı cihaz ile ısıtma sistemlerindeki kazan gidiş dönüş hatlarında bulunan sıcak su borularının yüzey sıcaklıklarının ölçümü yapılmıştır. İzole edilmiş boruların yüzey sıcaklığının termal kamera görüntüleri, incelenen bölgede herhangi bir alanın izolasyon hatası içerip içermediğini belirlemiştir. Çalışmada kullanılan termal kamera Şekil 2.2’de gösterilmiş, teknik özellikleri ise Çizelge 2.1’de verilmiştir. Farklı özelliklerdeki iç ortamların sıcaklıkları ise iç ortam sıcaklık ölçümünde daha verimli olan Testo 435 cihazının “IAQ probu” (Şekil 2.3) ile ölçülmüştür. Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı teknik özellikleri ise Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Sınıfların, ofislerin ve diğer alanların akşam saatlerindeki aydınlatma şiddeti Testo 435 cihazının “Luxprobu” (Şekil 2.4) kullanılarak ölçülmüştür. Buradaki amaç kullanımdaki aydınlatma sisteminin standart aydınlanma şartlarına uygunluğunu ve verimliliğini belirlemektir.



Şekil 2.3. Testo 435 cihazı ile IAQ probu



Şekil 2.4. Testo 435 cihazı ile Luxprobu

Çizelge 2.2. Çok fonksiyonlu ölçüm cihazının (Testo 435) genel teknik özellikleri [71]

Çalışma sıcaklığı	-20 ile +50 °C arasında
Malzeme/Gövde	ABS/TPE/Metal
Koruma sınıfı	IP54
Batarya tipi	Alkali manganer, AA tipi
Batarya ömrü	200 saat (tipik pervane ölçümü)
Depolama sıcaklığı	-30 ile +70 °C arasında
Boyutlar	220 x 74 x 46 mm
Ağırlık	428

2.2. Yöntem

2017-2019 yılları arasında belirtilen binalarının ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi TS825 yöntemi yardımıyla teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ısı kayıp miktarlarına göre mevcut binaların ısıtılması için gerekli olan teorik, kömür, fueloil ve doğalgaz miktarı Denklem 1.18 aracılığıyla belirlenmiştir. Ayrıca mevcut binaların ısıtma amacıyla kullanılan gerçek kömür, fueloil ve doğalgaz miktarları da ilgili birimlerden resmi olarak temin edilmiştir. Sonraki aşamada hesaplanan değerlerle gerçek değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Binalarda kullanılan çeşitli yakıtların günümüzdeki birim fiyatları tespit edilmiştir. Bu fiyatlara dayanarak binalarda kullanılan yakıtlara göre yıllık ısıtma maliyeti belirlenmiştir.

MMF, FEF ve İİBF binalarının Bitlis ilinin kış aylarında, farklı günlerde ve farklı saatlerde termal kamerayla periyodik olarak görüntüleri alınmıştır. Bu görüntüler alınırken binalarının dış cepheleri (duvar, pencere, dış kapı) özellikle pencerenin kenarları dikkate alınmıştır. Görüntüleme,

ısıtma sistemin çalıştığı binanın daha çok ısıtıldığı dolayısıyla ısı kayıplarının daha fazla görebileceği saat 9.00-12.00-15.00-18.00-21:00 civarında yapılmıştır. Buradaki temel amaç, binaların çevre ortamının aynı saatlerdeki görüntülerini inceleyerek hangi alanın daha çok ısı kaybettiğini yani ısı yalıtımının iyi olup olmadığını bulmaktır. Dolayısıyla, binaların iç ortamından dış ortama doğru en çok ısı kaybı olan yerler tespit edilmiştir. Ayrıca, kazandan çıkan sıcak su borularının termal görüntüleri alınarak boruların ısı yalıtımının ne kadar iyi durumda olup olmadığı belirlenmiştir.

Çok fonksiyonlu ölçüm cihazıyla (Testo 435) yapılan ölçümler için seçilen mekânlar kritik mekânlardır. Örneğin, daha çok güneş radyasyonundan ve ısısından istifade eden bir sınıf veya ofis ile daha az güneş radyasyonundan ve ısısından istifade eden bir sınıf veya ofis gibi iç ortamların sıcaklıkları kayıt edilmiştir. Buna ek olarak, önemli bir parametre olan, mekânların faal ve faal olmadığı zamanlarda da Testo 435 cihazıyla ölçümler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ortam iç sıcaklık değeri ölçülürken kullanılan cihaz masanın üstüne sabitlenmiştir. Aydınlatma şiddetini ölçüsü almak için ise, akşam saatlerinde ve cihaz yerden 0,80-1 metre yükseklikte olacak şekilde, mekânın ortamında dolaşarak ortalama ışık şiddeti bulunup kaydedilmiştir. Bu elde edilen aydınlatma şiddetinin sonuçları, mekânların standart aydınlatma şiddeti ile karşılaştırılmıştır.

2.3. Binalarının Özellikleri

Bu çalışma kapsamında BEU'nin kampüs binalarında enerji etüdü yapılması için, dört bina örnek olarak alınmıştır. Bu binaların kat özelliği, kat yüksekliği, binanın toplam alanı (dış cepheleri, tavan ve döşeme) ve binanın brüt hacmi Çizelge 2.3'te verilmiştir. Her bina için bir kat planı örnek olarak Ekler bölümünde gösterilmiştir (**Bkz. Ek-2, Ek-3, Ek-4 ve Ek-5**). Ayrıca binaların dış duvar bileşenleri (yapı elemanı kalınlığı ve ısı iletim katsayısı) ve pencerelerin özellikleri Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Tez çalışmasındaki binaların detayları

Bina adı	Kat detayları	Kat yüksekliği (m)	Toplam alan A_{top} (m ²)	Hacim $V_{brüt}$ (m ³)
MMF	2BK+1ZK+3NK	3,63	11342	53170
FEF	2BK+1ZK+3NK	3,30	10543	49228
İİBF	1BK+1ZK+4NK	3,55	8781	46993
R3	1BK+1ZK+4NK	2,65	3477	10866

Çizelge 2.4. Binaların dış duvar bilişenleri ve pencerelerin özellikleri

Bina adı		MMF		FEF		İİBF		R3	
Dış Duvar Bilişenleri	Yapı Elemanları	L (m)	k (W/mK)	L (m)	k (W/mK)	L (m)	k (W/mK)	L (m)	k (W/mK)
Dış havaya açık (Tuğla duvar)	İç sıva	0,02	1	0,02	1	0,02	1	0,02	1
	Tuğla	0,22	0,19	0,22	0,19	0,25	0,19	0,25	0,19
	XPS	0,05	0,035	0,05	0,035	0,05	0,035	0,05	0,035
	Dış sıva	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,6
Dış havaya açık (Kolon+Kiriş)	İç sıva	0,02	1	0,02	1	0,02	1	0,02	1
	Donatılı	0,6	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5	0,5	2,5
	XPS	0,03	0,035	0,03	0,035	0,05	0,035	0,05	0,035
	Dış sıva	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,6
Dış havaya açık (Perde)	İç sıva	0,02	1	0,02	1	0,02	1	0,02	1
	Donatılı	0,3	2,5	0,3	2,5	0,4	2,5	0,3	2,5
	XPS	0,03	0,035	0,03	0,035	0,05	0,035	0,05	0,035
	Dış sıva	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,6	0,02	1,6
Pencere	Tüm binalar için PCV 12mm aralıklı çift camlı ($U_P= 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$)								

2.4. Binalarındaki Isıtma Sisteminin İşletme Biçimleri

Enerjinin muhafaza edilerek harcamaların azaltılmasında ısıtma sistemi çalışma biçiminin belirlenmesi büyük önem arz eder. Bundan dolayı, mevsimsel konfor gereksinimleri karşılamak için en az ısı kaybı elde edilmesini sağlayan bina cepheleri aracılığıyla bu gereksinimleri kontrol altında tutmak ve ısıtma sisteminde kullanılan işletme yöntemiyle kullanılan enerjinin maliyetini en aza indirmek mümkündür [72]. Bununla ilgili olarak, ısıtma sistemi işletilirken çalışma aralığına göre genellikle 3 tür işletme şekli belirlenmiştir. Birincisinde, genellikle yaşamsal konutlar, hastaneler vb. yerlerin tesisatı devamlı çalışırken sadece geceleri sıcaklık azaltılır. İkinci türde, iş yerleri, okullar vb. yerlerde ısıtma sisteminin kazanına düzenli olarak günlük 10 saat çalışmaya tamamen ara verdirilir. Üçüncü türde ise, spor salonları, sergi merkezleri vb. yerlerde kullanılan kazanların 14 saat ya da daha uzun süreyle çalışması durdurulur [63]. Bu işletme ısıtma sistemlerinin tiplerine dayanarak, tez kapsamında incelenen lojman binası, birinci işletme tipi temel alınarak değerlendirilmiştir. Üniversitedeki eğitim binaları ise ikinci işletme tipinde değerlendirilmiştir. Fakat diğer okul binalarına göre üniversite eğitim binalarında ikinci öğretim

grubunun geç çıkış saatleri nedeniyle biraz daha fazla kullanılır. Bundan dolayı, üniversitenin eğitim binalarındaki ısıtma sistemlerinin günlük işletme süresi 16 saat (06:00-22:00) olarak ele alınmıştır.

Söz konusu binaların ısıtma hesapları ısı yalıtım programı ile hesaplanmıştır. Bu program, TS 825'te belirtilen binaların ısıtma enerjisi hesabı denklem ve kurallarına uymaktadır. Hesap programı, herhangi bir hesap yaparken bir günlük ısıtma enerjisi ihtiyacını 24 saatlik ısıtma olarak kabul eder. Bu nedenle, eğitim binalarının kullanım süresi boyunca olan ısıtma enerjisini elde etmek için ısı yalıtım programındaki denklemlerden biri olan denklem (1.17), ($\beta=16/24$) operatör faktörü ile çarpılmalıdır. Lojman binasında ısıtma 24 saat olduğundan dolayı yıllık ısıtma enerjisi hesabı için β değeri 24/24 alınıp programdan elde edilen sonuçlar değiştirilmemiştir.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Binaların Isı Kaybı ve Isıtma Enerjisi Hesaplama Sonuçları

Bu çalışmada kullanılan binaların iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı H_t ile havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı H_v 'nin toplanmasıyla toplam ısı kaybı ihtiyacı H bulunur. Hesap metoduna dayanarak, elde edilen ısı kayıp sonuçları (**Bkz. Ek-6, Ek-7, Ek-8 ve Ek-9**) Çizelge 3.1'de özetlenmiştir. Binaların özgül ısı kaybı değerleri incelendiğinde; İİBF binasının toplam alanı ve brüt hacmi MMF ve FEF binalarından biraz daha düşük olduğundan havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı değeri daha düşük gerçekleşmiştir. Ayrıca bu binada iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı MMF ve FEF binalarının iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı değerinden oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni İİBF'nin ısı yalıtımının diğer binaların ısı yalıtımından daha kapsamlı olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 3.1'de binaların kabuk (pencere, tuğla duvar, kolon+kiriş, perde, tavan, döşeme ve kapı) bileşenlerinin özgül ısı kaybının oransal olarak dağılımı gösterilmiştir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, binaların kabuk bileşenlerinde en fazla özgül ısı kaybı %38-58 oranları ile pencerelerde gerçekleşmiştir. Isı kaybının pencerelerden sonra en fazla %27-38 oranları ile duvarlarda (tuğla duvar, kolon+kiriş ve perde) meydana geldiği tespit edilmiştir.

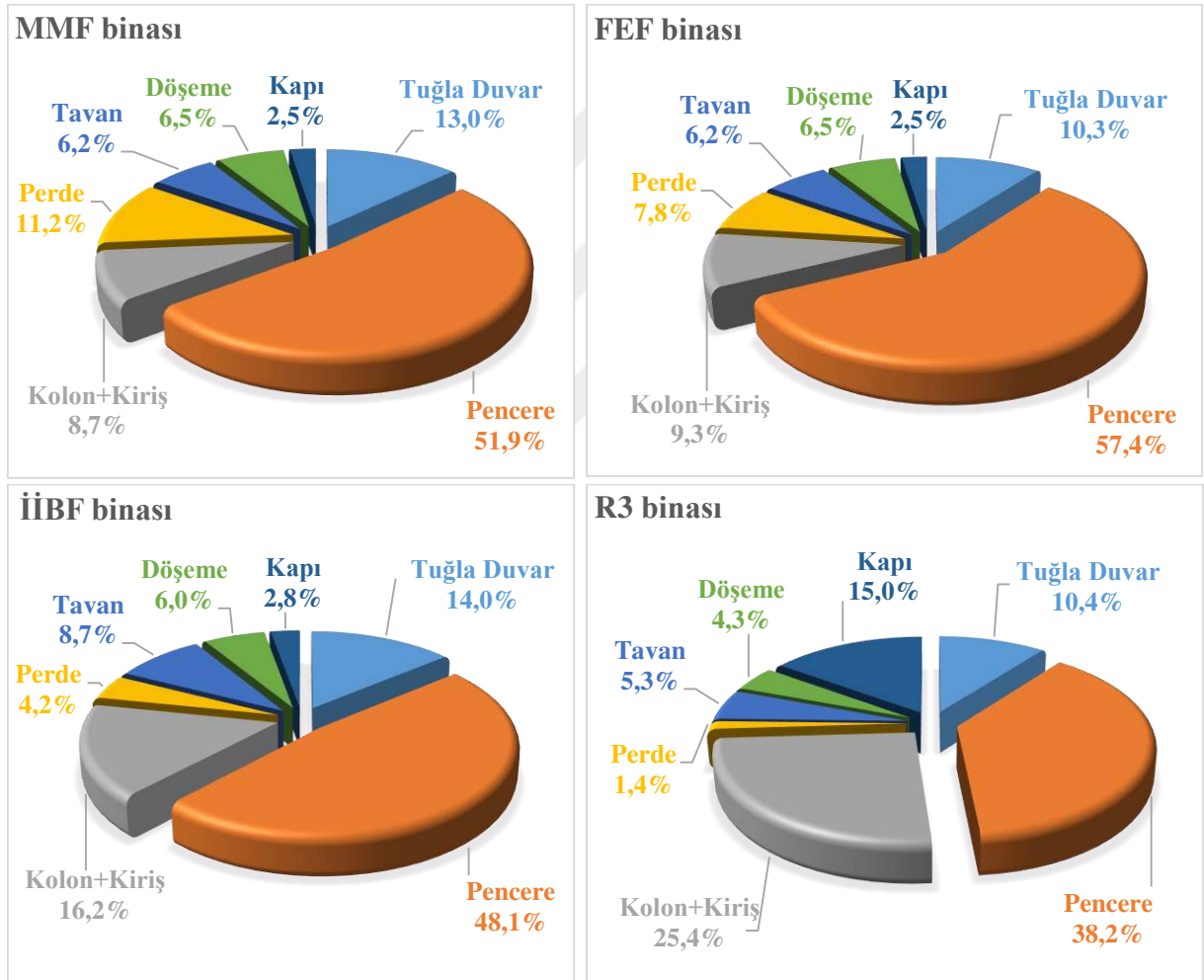
TS 825 standardının hesaplama metoduna göre, binalardaki yıllık birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q , yine bu standartta belirtilen derece gün bölgelerine göre olması gereken maksimum ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q' değerini geçmemesi gerekmektedir.

Çizelge 3.2'de, incelenen binaların yıllık ısıtma enerjisinin ve birim (m^2 veya m^3) başına düşen yıllık ısıtma enerjisi (kWh) ihtiyacının sonuçları özetlenmiştir. Çizelge 3.2 incelendiğinde; İİBF binasının birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q değeri, derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q' değerinden daha düşüktür (**Bkz. Ek-12**). Dolayısıyla binada uygulanmış olan ısı yalıtımı hesap metoduna uygundur. Diğer binalarda ise (MMF, FEF ve R3) birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q değeri, derece gün bölgesine göre olması gereken maksimum ısıtma enerjisi ihtiyacı olan Q' değerinin üzerindedir (**Bkz. Ek-10, Ek-11 ve Ek-13**). Dolayısıyla binada uygulanmış olan ısı yalıtımı hesap metoduna uygun değildir.

Çalışma kapsamında seçilmiş olan binalardaki ısıtma hesaplarında, ısı yalıtım programı kullanılarak binaların toplam ısıtma enerjisi ihtiyaç değerleri belirlenmiş ve bulunan değerler işletme katsayısı (β) ile çarpılmıştır. Bunun sonucunda binaların kullanım süresince olan ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenmiş ve bulunan sonuçlar Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Binaların özgül ısı kaybı ihtiyacı

Bina Adı	İletim ve Taşınım Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybı W/°C	Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybı W/°C	Toplam Isı Kaybı İhtiyacı W/°C
MMF	7416,96	11229,50	18646,46
FEF	7379,67	10396,95	17776,62
İİBF	4891,66	9924,92	14816,58
R3	2207,53	2294,90	4502,43



Şekil 3.1. Binaların yapı bileşenlerinin özgül ısı kaybının oransal dağılımı

Çizelge 3.2. Binaların yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi

Bina Adı	Binanın Toplam Isıtma Enerjisi İhtiyacı (kWh)	Q	Q'
MMF	1246286	73,25 (kWh/m ²)	68,34 (kWh/m ²)
FEF	1175047	74,59 (kWh/m ²)	68,42 (kWh/m ²)
İİBF	987520	65,67 (kWh/m ²)	67,30 (kWh/m ²)
R3	291508	26,83 (kWh/m ³)	24,99 (kWh/m ³)

Çizelge 3.3. Binaların kullanım süresince olan ısıtma enerjisi ihtiyacı

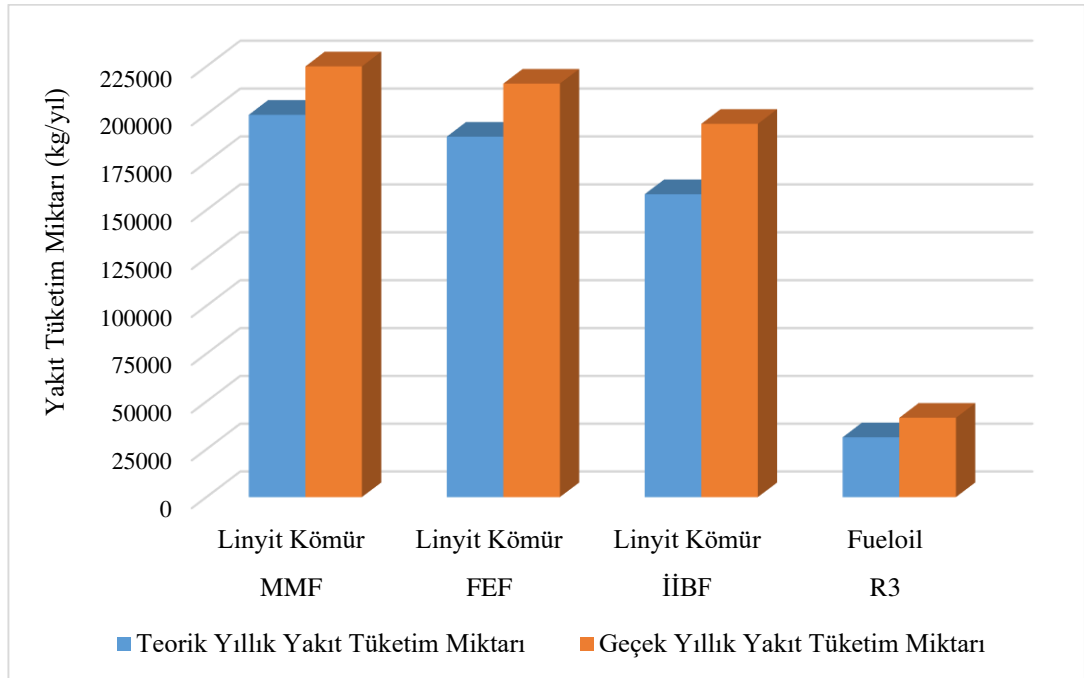
Bina Adı	Binanın Toplam Isıtma Enerjisi İhtiyacı Q _{yıl} (kJ)	İşletme Katsayısı β	Binanın Kullanım Süresince Olan Isıtma Enerjisi İhtiyacı Q _G (kJ)
MMF	4483043055	16/24	2988695370
FEF	4226786427	16/24	2817857618
İİBF	3552229884	16/24	2368153256
R3	1048588597	24/24	1048588597

3.2. Teorik ve Gerçek Yıllık Yakıt Tüketimi, Maliyeti ve CO₂ Emisyon Miktarları

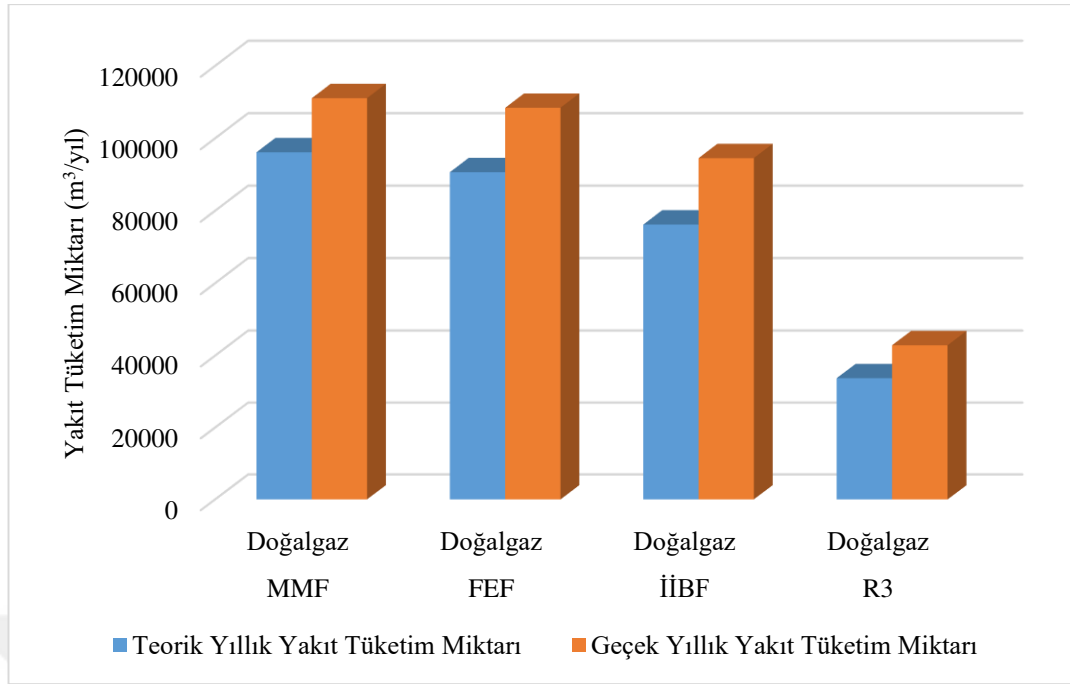
Binaların hem kullanım süresince olan teorik ısıtma enerjisi ihtiyaç değerlerine hem de ısıtma sisteminde kullanılan yakıt türlerine dayanarak yıllık yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra, incelenen binaların 2017-2019 yılları için gerçek yıllık yakıt tüketim miktarı ise üniversite rektörlüğünde teyit edilen resmi kayıtlardan alınmıştır ve teorik sonuçlar ile birlikte Çizelge 3.4'te verilmiştir. Bulunan bu yakıt tüketim sonuçları incelendiğinde, kömür kullanılan merkezi ısıtma sistemindeki yakıt tüketiminin, doğalgaz ve fueloil kullanılan merkezi ısıtma sistemindeki yakıt tüketiminden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, binaların merkezi ısıtma sistemindeki teorik yıllık yakıt tüketim değerleri ile gerçek yıllık yakıt tüketim değerleri karşılaştırıldığında, gerçek tüketimin yaklaşık olarak %11-25 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Bu artış oranları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. 2017-2019 Yılları için ısıtma sezonu süresince teorik ve gerçek yıllık yakıt tüketimi

Bina Adı	Yıl	Kullanılan Yakıt Türü	Teorik Yıllık Yakıt Tüketimi	Gerçek Yıllık Yakıt Tüketimi	Artış Tüketim Oranı %
MMF	-	Fueloil	89247 kg/yıl	Kullanılmadı	-
	2017-2018	Kömür	199739 kg/yıl	225000 kg/yıl	11,23
	2018-2019	Doğalgaz	96157 m ³ /yıl	111083 m ³ /yıl	13,44
FEF	-	Fueloil	84145 kg/yıl	Kullanılmadı	-
	2017-2018	Kömür	188322 kg/yıl	216000 kg/yıl	12,81
	2018-2019	Doğalgaz	90660 m ³ /yıl	108423 m ³ /yıl	16,38
İİBF	-	Fueloil	70716 kg/yıl	Kullanılmadı	-
	2017-2018	Kömür	158267 kg/yıl	195000 kg/yıl	18,84
	2018-2019	Doğalgaz	76192 m ³ /yıl	94537 m ³ /yıl	19,41
R3	2017-2018	Fueloil	31312 kg/yıl	41500 kg/yıl	24,55
	-	Kömür	70079 kg/yıl	Kullanılmadı	-
	2018-2019	Doğalgaz	33737 m ³ /yıl	42862 m ³ /yıl	21,29



Şekil 3.2. 2017-2018 Yılı için binaların teorik ve gerçek yıllık yakıt tüketimi

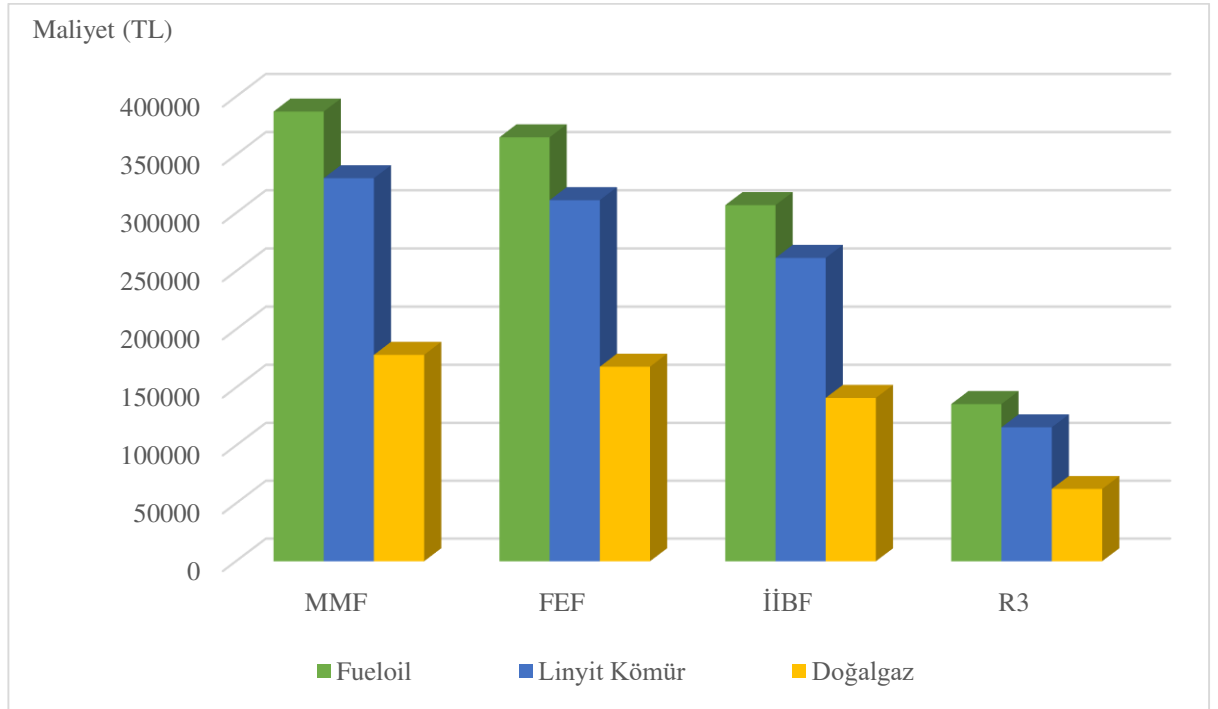


Şekil 3.3. 2018-2019 Yılı için binaların teorik ve gerçek yıllık yakıt tüketimi

Çizelge 3.4’te bulunan yıllık yakıt tüketim değerleri, 1.19 denkleminde faydalanılarak, yakıtların bugünkü birim fiyatları ile çarpılmış ve binanın yıllık yakıt tüketimi maliyet miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.5’te verilmiştir. Yakıt tüketimine bağlı oluşan CO₂ emisyon miktarları denklem 1.20 ile hesaplanmıştır ve çıkan sonuçlar Çizelge 3.6’da verilmiştir. Binaların ısıtma sistemlerinde kullanılan yakıt türüne bağlı olarak yapılan hesaplamaların sonucunda elde edilen sonuçları birbiriyle karşılaştırarak, kömür yakıt yerine doğalgaz yakıtı kullanıldığında, yıllık yakıt tüketim maliyetinin %46 oranında ve fueloil yakıt yerine doğalgaz yakıtı kullanılırken ise yıllık yakıt tüketim maliyetinin %54 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Karbondioksit emisyonu açısından, kömür yakıt yerine doğalgaz yakıtı kullanıldığında CO₂ emisyon miktarının %61 oranında ve fueloil yakıt yerine doğalgaz yakıtı kullanıldığında ise CO₂ emisyon miktarının %37 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bu oranları Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te gösterilmiştir. Oğuz ve Kırmacı [16], ikinci iklim bölgesinde bulunan Bartın ili için kömürlü, fueloil ve doğalgazlı yakıt türlerinin kullanıldığı 4 farklı ısıtma sistemi ile ilgili yaptıkları çalışmada en verimli, en ekonomik ve en çevreci ısıtma sisteminin doğal gazlı merkezi ısıtma sistemi olduğunu belirtmişlerdir. Bu bakımdan bizim çalışma ile benzer bir sonuca ulaşmışlardır.

Çizelge 3.5. 2017-2019 Yılları için ısıtma sezonu süresince yıllık yakıt tüketim maliyet miktarları

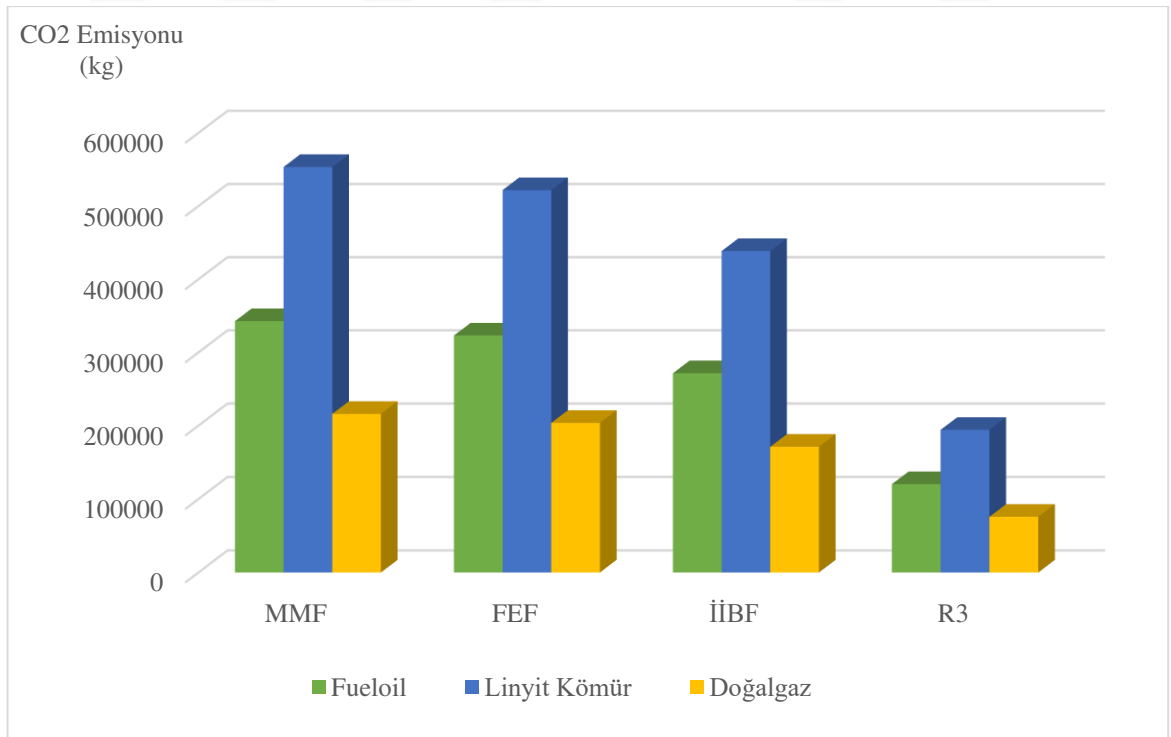
Bina Adı	Yıl	Kullanılan Yakıt Türü	Teorik Yıllık Yakıt Tüketim Maliyeti (TL)	Geçek Yıllık Yakıt Tüketim Maliyeti (TL)	Artış Maliyet Oranı %
MMF	-	Fueloil	387243	Kullanılmadı	-
	2017-2018	Kömür	329969	371700	11,23
	2018-2019	Doğalgaz	178140	205792	13,44
FEF	-	Fueloil	365105	Kullanılmadı	-
	2017-2018	Kömür	311108	356832	12,81
	2018-2019	Doğalgaz	167957	200864	16,38
İİBF	-	Fueloil	306837	Kullanılmadı	-
	2017-2018	Kömür	261457	322140	18,84
	2018-2019	Doğalgaz	141153	175139	19,41
R3	2017-2018	Fueloil	135863	180069	24,55
	-	Kömür	115771	Kullanılmadı	-
	2018-2019	Doğalgaz	62501	79406	21,29



Şekil 3.4. Binaların teorik yıllık yakıt tüketim maliyeti (TL)

Çizelge 3.6. 2017-2019 Yılları için yakıt tüketimine bağlı oluşan CO₂ emisyon miktarları

Bina Adı	Yıl	Kullanılan Yakıt Türü	Teorik CO ₂ Emisyon Miktarları (kg)	Geçek CO ₂ Emisyon Miktarları (kg)	Artış CO ₂ Emisyon Oranı %
MMF	-	Fueloil	342730	Kullanılmadı	-
	2017-2018	Kömür	553479	623477	11,23
	2018-2019	Doğalgaz	216024	249556	13,44
FEF	-	Fueloil	323137	Kullanılmadı	-
	2017-2018	Kömür	521842	598538	12,81
	2018-2019	Doğalgaz	203674	243580	16,38
İİBF	-	Fueloil	271566	Kullanılmadı	-
	2017-2018	Kömür	438559	540347	18,84
	2018-2019	Doğalgaz	171171	212384	19,41
R3	2017-2018	Fueloil	120245	158679	24,55
	-	Kömür	194190	Kullanılmadı	-
	2018-2019	Doğalgaz	75793	96293	21,29



Şekil 3.5. Yakıt tüketimine bağlı oluşan CO₂ emisyon miktarları (kg)

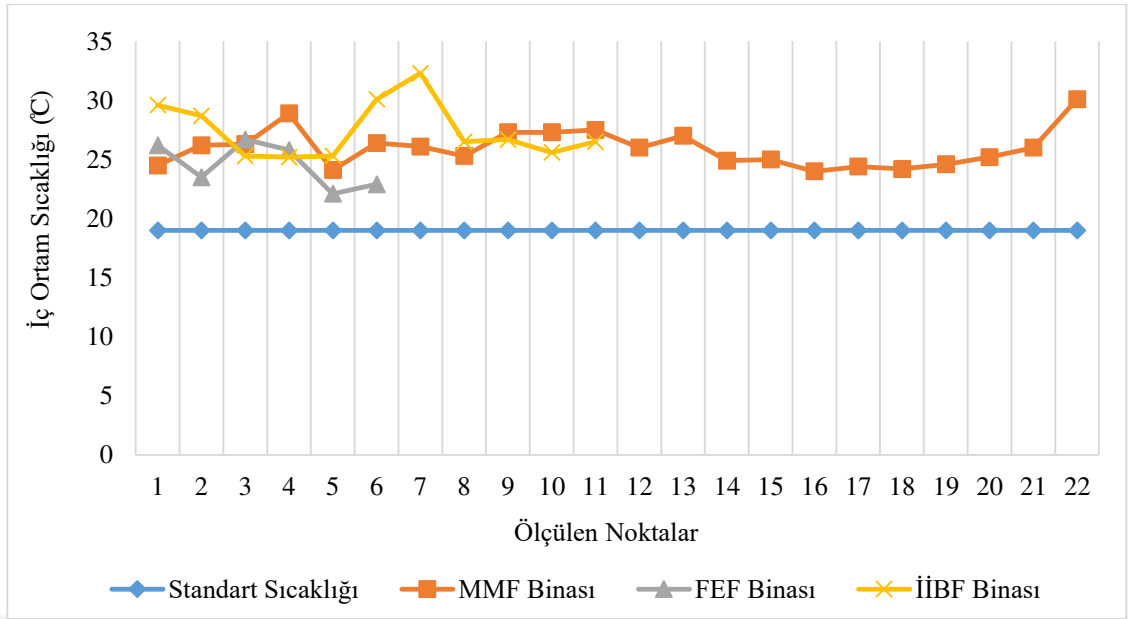
Uygulanan hesaplamalar ve bunların karşılaştırmaları değerlendirildiğinde gerçek ve teorik yakıt tüketiminde ve dolayısıyla bu tüketimin ortaya çıkardığı maliyet ve CO₂ salınımında önemli bir fark tespit edilmiştir. Bunun en önemli sebeplerinden birinin, binanın iç ısıısının neden olduğu gerçek sıcaklık değerinin kullanıcılar için ısı konfor sağlayan teorik sıcaklık değerinden (TS825'e göre eğitim binaları için 19°C) daha fazla olmasıdır. Bu çalışmada, denetlenen eğitim binalarındaki ofislerin, sınıfların ve diğer alanların farklı özelliklerdeki iç ortamlarının sıcaklıkları, Testo 435 çok fonksiyonlu ölçüm cihazının "IAQ" probu ile ölçülmüştür. Eğitim binalarındaki bazı iç ortam sıcaklık değerleri Çizelge 3.7'de verilmiştir. İç ortamlarının sıcaklık ölçümleri alındığında; MMF'nde diğer fakültelere göre daha uygun ve müsait olduğu için bu binada daha fazla ölçümleri alınmıştır. Çalışmamızda kullanılan eğitim binalarının Çizelge 3.7'de verilen iç sıcaklıkları göz önüne alındığında, sıcaklıkların çoğu zaman tasarım sıcaklığını aşan 22,1-32,3°C değerleri arasında değiştiğini görüyoruz. İç ortamların sıcaklığının standart sıcaklığa göre bu kadar fazla olması, ısıtma amacıyla kullanılan yakıt tüketiminde bir artışa işaret etmekte ve bu da ısıtma sisteminin ekonomik maliyetinde bir artışa neden olmaktadır. Elde edilen iç ortam sıcaklıkları ile standart sıcaklığına karşılaştırması Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Bina içindeki seçilen yerlerin iç ortam sıcaklıkları

Ölçülen Noktalar	Yer Adı	Yer Numarası	Tarih	Saat	İç Ortam Sıcaklığı °C
MMF Binası					
1	Ofis	MA-Z-18	30.01.2019	15:45	24,5
2	Ofis	MA-K2-21	30.01.2019	16:00	26,2
3	Sınıf	ED-K1-2	30.01.2019	16:15	26,3
4	Ofis	MA-Z-20	31.01.2019	13:50	28,9
5	Koridor	Zemin kat	31.01.2019	14:10	24,1
6	Sınıf	ED-Z-4	31.01.2019	14:30	26,4
7	Sınıf	ED-Z-10	31.01.2019	14:43	26,1
8	Ofis	MA-K1-25	04.02.2019	14:55	25,3
9	Ofis	MA-K1-27	04.02.2019	15:10	27,3
10	Sınıf	ED-K1-4	04.02.2019	15:25	27,3
11	Ofis	ML-K3-33	05.02.2019	10:05	27,5
12	Laboratuvar	EL-K2-7	05.02.2019	10:20	26,0
13	Laboratuvar	EL-K2-4	05.02.2019	10:35	27,0

Çizelge 3.7. (Devam) Bina içindeki seçilen yerlerin iç ortam sıcaklıkları

Ölçülen Noktalar	Yer Adı	Yer Numarası	Tarih	Saat	İç Ortam Sıcaklığı °C
MMF Binası					
14	Koridor	2. KAT	05.02.2019	10:50	24,9
15	Ofis	MP-K3-38	05.02.2019	11:10	25,0
16	Ofis	MP-B1-22	05.02.2019	13:40	24,0
17	Sınıf	ED-B1-14	05.02.2019	13:55	24,4
18	Ofis	MA-K3-28	05.02.2019	14:20	24,2
19	Koridor	3. Kat	05.02.2019	14:40	24,6
20	Ofis	MA-K3-16	05.02.2019	14:55	25,2
21	Ofis	MP-K3-10	05.02.2019	15:15	26,0
22	Ofis	MY-K3-7	05.02.2019	15:30	30,1
FEF Binası					
1	Ofis	MA-K2-31	21.03.2019	09:35	26,2
2	Sınıf	ED-Z-4	21.03.2019	09:50	23,5
3	Ofis	MA-K1-29	21.03.2019	10:10	26,7
4	Ofis	MY-K2-39	21.03.2019	10:25	25,8
5	Koridor	2. Kat	21.03.2019	11:00	22,1
6	Ofis	MA-K2-19	21.03.2019	11:15	22,9
İİBF Binası					
1	Ofis	MA-K3-21	19.03.2019	13:10	29,6
2	Laboratuvar	EL-K1-4	19.03.2019	13:25	28,7
3	Ofis	MA-K3-17	21.03.2019	13:05	25,3
4	Ofis	MA-K3-20	21.03.2019	13:15	25,2
5	Koridor	K3	21.03.2019	13:25	25,3
6	Ofis	MY-K3-6	21.03.2019	13:35	30,1
7	Ofis	MY-K3-7	21.03.2019	13:50	32,3
8	Kantin	Zemin kat	21.03.2019	14:05	26,5
9	Sınıf	ED-K2-7	21.03.2019	14:20	26,7
10	Sınıf	ED-K2-9	21.03.2019	14:35	25,6
11	Ofis	MA-K3-26	21.03.2019	14:50	26,5



Şekil 3.6. İç ortam sıcaklıkları ile standart sıcaklığına karşılaştırması

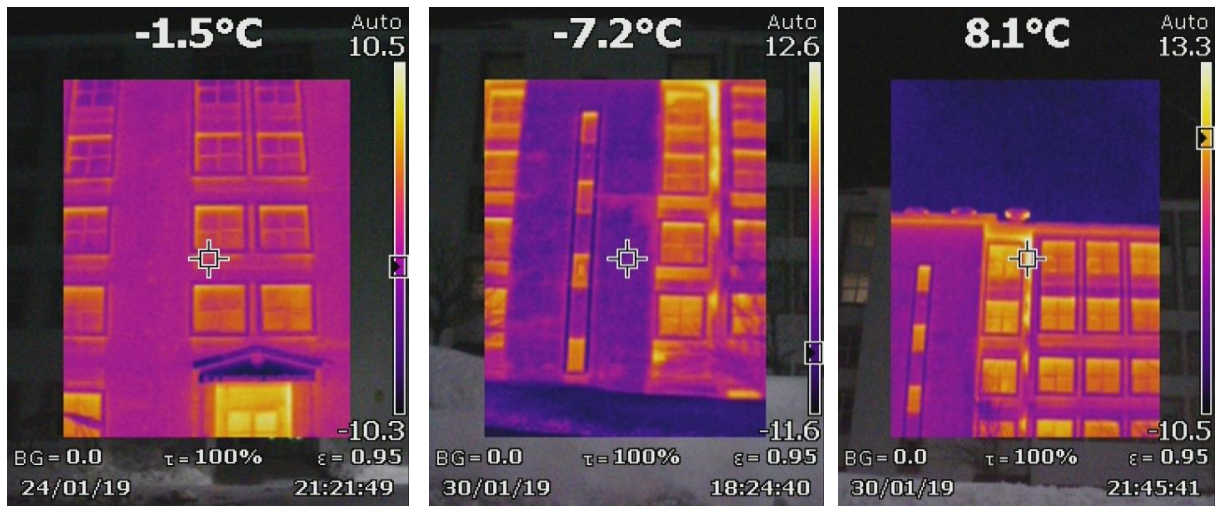
3.3. Termal Kamera Görüntülerinin İncelenmesi

Isıya duyarlı termal görüntüleme cihazı ile binaların dış cephelerinde oluşan ısı kayıplarını tespiti yapılabilmektedir. Termal görüntüleme cihazı, doğrudan temas gerçekleştirilmesiz kızıl ötesi dalga boyu spektrumunda yüzey sıcaklıklarını tespit edebilmektedir. Bu cihaz kullanılarak binaların yalıtımlı dış cephelerinde ısı kayıplarının gerçekleştiği yerler belirlenebilmektedir. Böylece bina dış cephe yalıtımının uygunluğu, hangi yapı elemanlarında daha fazla ısı kayıplarının meydana geldiği, hatalı yalıtımın yapıldığı yerlerin tespiti mümkün olmaktadır. Kızıl ötesi görüntüler incelendiğinde, yüzey sıcaklığını iki yöntemle belirleyebiliriz. İlk yöntemde, sadece kamera ile odaklanan noktadaki sıcaklık değeri doğrudan belirlenir. İkinci yöntemde ise, görüntü renkleri ekranın sağ tarafındaki renk/sıcaklık kombinasyonu yapan gösterge çubuğu vasıtasıyla koyu renk soğuk olan bölgeyi, açık sarı renkli kısımlar ise sıcak olan bölgeyi gösterir ve bu şekilde bir görüntüde çoklu lokal sıcaklık değerlendirmesi veya karşılaştırması yapılır.

Şekil 3.7(a), 3.7(b) ve 3.7(c)'de FEF binası ön ve sol dış cephelerinin termal görüntüleri verilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde, şekil 3.7(a)'da gösterilen açık sarı renkteki kapının yaklaşık 6°C ile en fazla ısı kayıp bölgesi olduğu görülmüştür. Bu da, görüntüdeki sarı renkteki alanlardan ısı kaybının daha fazla olduğunu gösterir. Şekil 3.7(b)'de belirtilen dış duvar yüzey sıcaklık değeri -7,2°C'dir ama şekil 3.7(c)'de belirtilen yüzey sıcaklığı ise 8,1°C'ye ulaşmıştır. Bu büyük farktan dolayı açık sarı bölgelerdeki yapı elemanlarının ısı yalıtımının uygun bir şekilde yapılmadığı anlaşılmıştır.

Şekil 3.8(a), 3.8(b) ve 3.8(c)'de FEF binası arka dış cephesinin termal görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.8(a) ve 3.8(b)'de görüntüler incelendiğinde, 2. kattaki koyu renkli olan pencereler, cephedeki diğer alanlara göre ısı kaybının daha az olduğu bölgelerdir. Diğer katlardaki açık sarı renkli olan kapı ve pencereler ise ısı kaybının daha fazla olduğu bölgelerdir. Şekil 3.8(c)'ye bakarak, genel olarak binadaki tüm pencere kenarlarında da ısı kaçakları olduğu söylenebilir.

Şekil 3.9(a) ve 3.9(b)'de aynı binanın sağ dış cephesinin termal görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.9(a)'deki görüntüde açık sarı renkli olan pencereler en fazla ısı kaybının olduğu bölgelerdir. Bu görüntü, pencerelerin altındaki duvar bölgelerinin sıcaklığının diğer duvar bölgelerine göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi, sıcak alanlara paralel olan iç yüzeylerdeki peteklerin iletim ve taşınım yoluyla olan direkt ısı kaybıdır. Şekil 3.9(b)'de koyu renkli olan bölgelerde önceden pencereler bulunmaktaydı. Daha sonra pencereler kaldırılıp bu bölgeler tuğla duvar ile kapatılmıştır. Bu görüntüde, kapatılmış yerlerin renginin diğer duvar bölgelerinin rengine göre daha koyu olmasının nedeni, kapatılmış yerlerde daha kalın ve kaliteli izolasyon malzemesi kullanılmış olmasıdır. Şekil 3.9(c)'de ise binadaki ısıtma sisteminden çıkan sıcak su borularının termal görüntüleri bilgi olarak sunulmuştur. Burada, borunun dış yüzey sıcaklığı 26,9°C olarak ölçülmüştür. Boruların dış yüzey sıcaklık değeri ile Çizelge 3.7'deki genel iç ortam sıcaklık değerleri uyumludur. Bu uyumluluk, boruların içinden geçen yüksek sıcaklıktaki (70-75°C) suyun izolasyonunun iyi yapılarak ısı kaybının en aza indirildiğini göstermektedir.

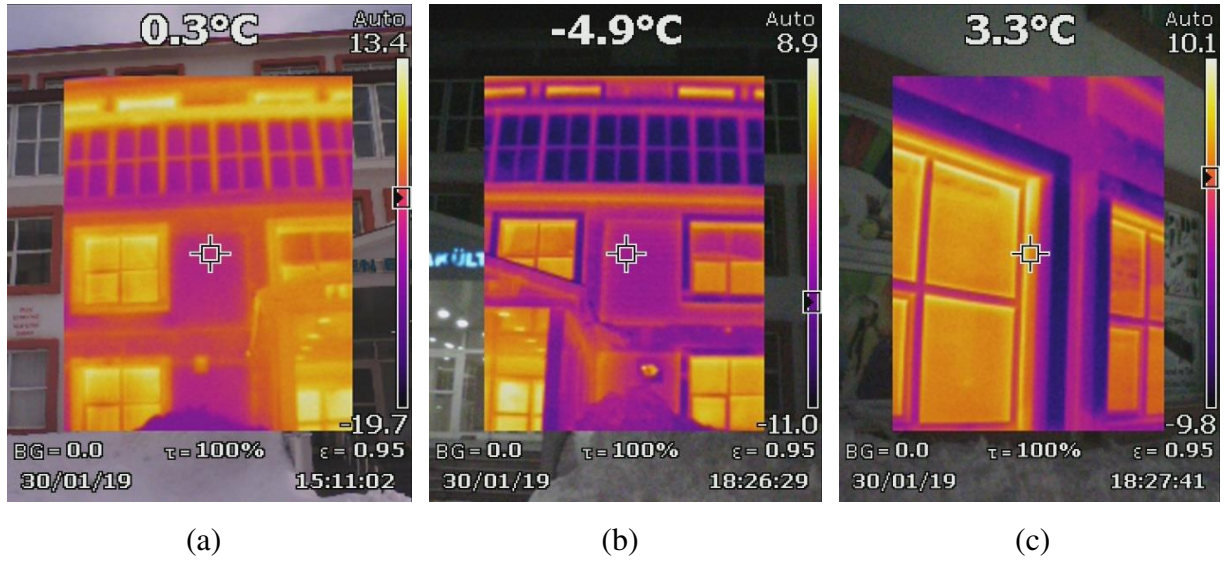


(a) Ön cephe

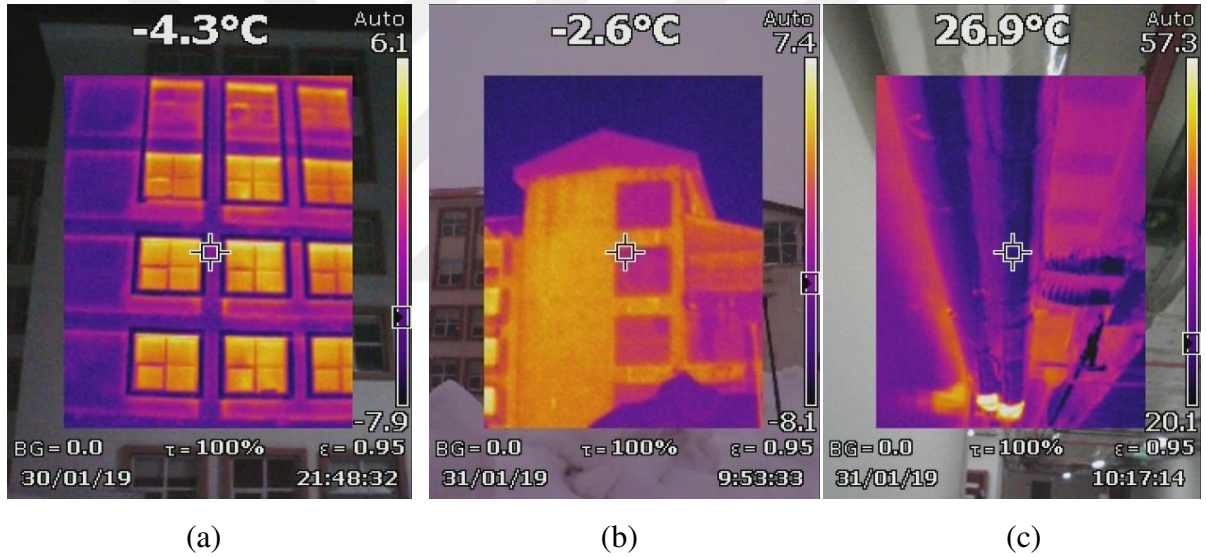
(b) Sol cephe

(c) Sol cephe

Şekil 3.7. FEF binası ön ve sol dış cephelerinin termal görüntüleri

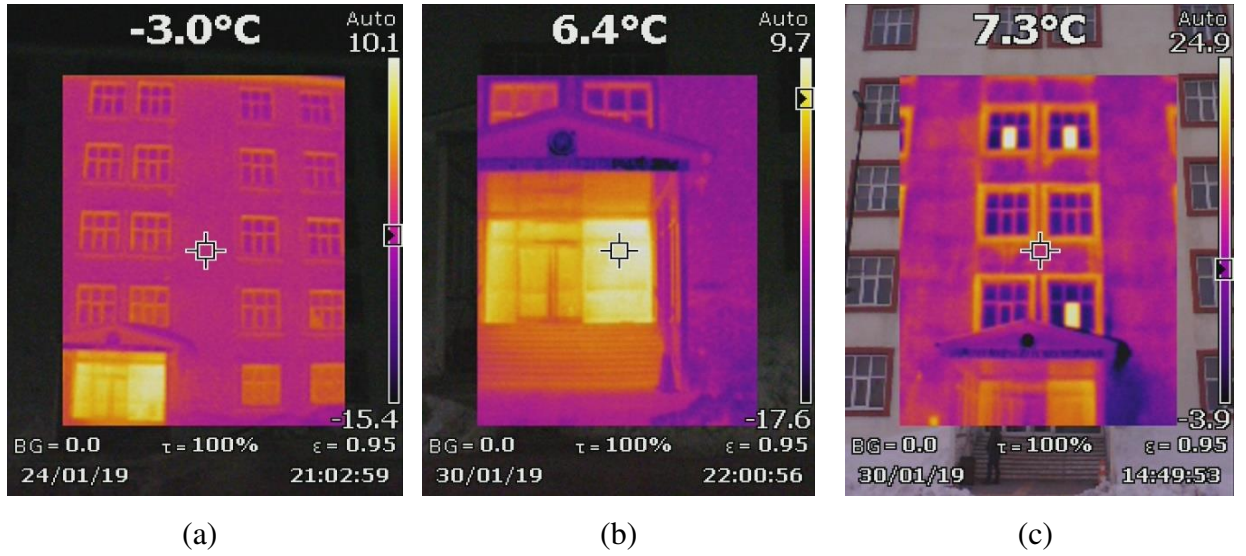


Şekil 3.8. FEF binası arka dış cephesinin termal görüntüleri

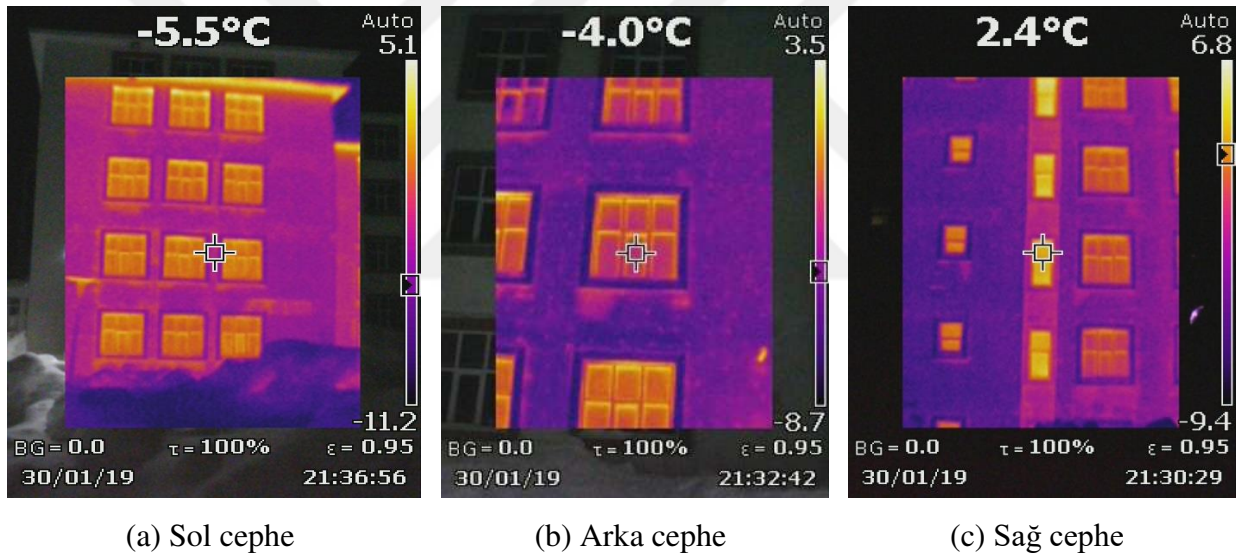


Şekil 3.9. FEF binası sağ dış cephesinin ve içteki sıcak su boruların termal görüntüleri

Şekil 3.10(a), 3.10(b) ve 3.10(c)'de MMF binası ön dış cephesinin termal görüntüleri verilmiştir. Gece alınan görüntüler incelendiğinde, duvar yüzey sıcaklığı -3°C ve dış ortam hava sıcaklığına yakındır, fakat kapının sıcaklığı ise $6,4^{\circ}\text{C}$ olup ısı kaybının daha fazla olduğu bir bölgedir. Şekil 3.10(c)'de pencerelerin çerçevelerinin gündüz açık sarı renkli ve gece ise koyu renkli olduğu görülmüştür. Buradaki çerçevenin içyapı özelliğinden ve duvardan daha kalın olduğundan dolayı ısıyı en az bir şekilde kaybeder. Ayrıca, çerçeve bölgeleri dış ortam hava sıcaklığından da etkilenerek gündüz cephedeki diğer bölgelere göre daha sıcak olur. Yine aynı görüntüde bazı pencerelerin açık olduğu ve bundan dolayı, ısınn iç ortamdan dış ortama doğru aşırı oranda olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10. MMF binası ön dış cephenin termal görüntüleri

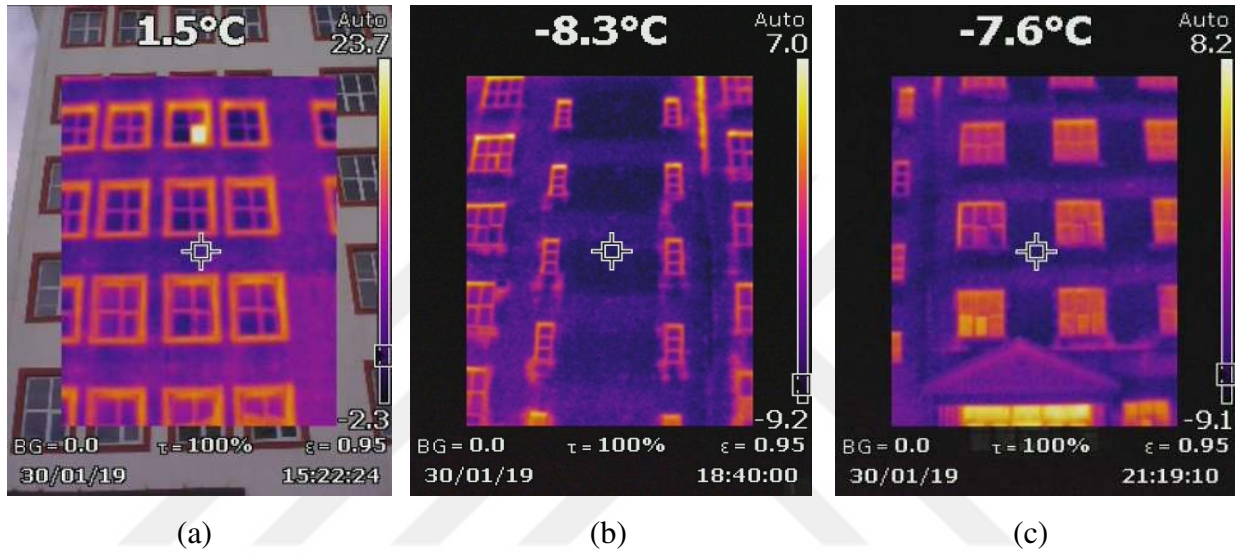


Şekil 3.11. MMF binası sol, arka ve sağ dış cephelerinin termal görüntüleri

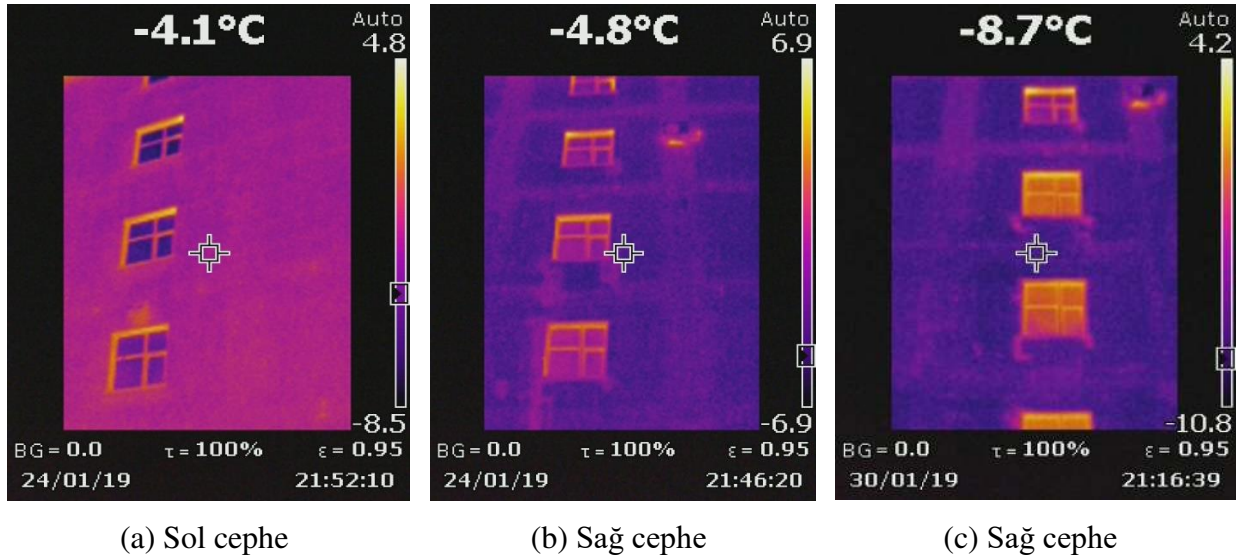
Şekil 3.11(a), 3.11(b) ve 3.11(c)'de MMF binası sol, arka ve sağ dış cephelerinin sırasıyla termal kamera görüntüleri verilmiştir. Bu termal görüntüler incelendiğinde, pencerelerin yüzey sıcaklığı arka cephede (Şekil 3.11(b)) -4°C , sağ cephede ortada termal kamera görüntüsünün odağında gösterilen pencereler ise (Şekil 3.11(c)) $2,4^{\circ}\text{C}$ 'dir. Dolayısıyla ortadaki bu pencereler (ve aynı zamanda etrafındaki duvarın rengi, soldaki ve sağdaki diğer duvarların rengine göre daha açık renkli olduğundan) daha fazla ısı kaybına neden olmaktadır.

Şekil 3.12(a), 3.12(b) ve 3.12(c)'de aynı günde ve farklı saatlerde İİBF binası ön dış cephesinin termal görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.13(a), 3.13(b) ve 3.13(c)'de aynı binanın sol ve sağ dış cephelerinin termal görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.14(a), 3.14(b) ve 3.14(c)'de ise binanın

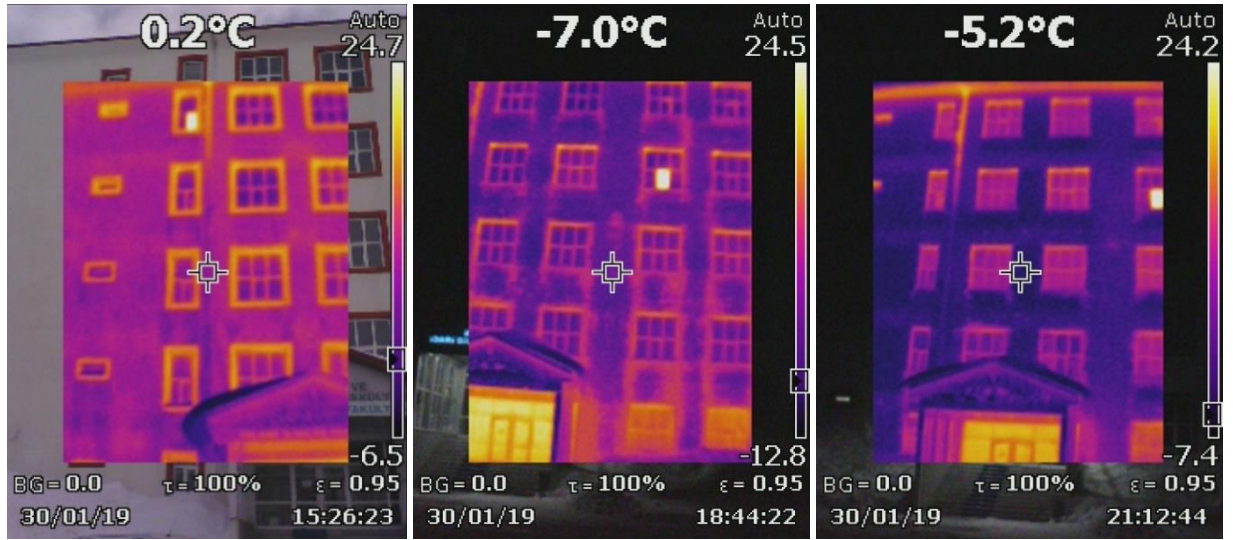
aynı günde ve farklı saatlerde arka dış cephesinin termal görüntüleri verilmiştir. Bu görüntüleri diğer binaların görüntüleri ile (MMF ve FEF) karşılaştırarak İİBF binasının dış cephelerinde (tuğla duvar, kolon, kiriş ve pencere) kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin diğer binalarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerine göre daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İİBF’ndeki genel olarak en çok ısı kaybı diğer bölgelere göre daha az önemdeki pencere ve kapı kenarlarındandır. Fakat diğer binalarda olduğu gibi kapılardaki ısı kaybı termal görüntülerdeki açık sarı renkten de anlaşılacağı gibi oldukça fazladır.



Şekil 3.12. İİBF binası ön dış cephenin termal görüntüleri



Şekil 3.13. İİBF binası sol ve sağ cephelerinin termal görüntüleri



(a)

(b)

(c)

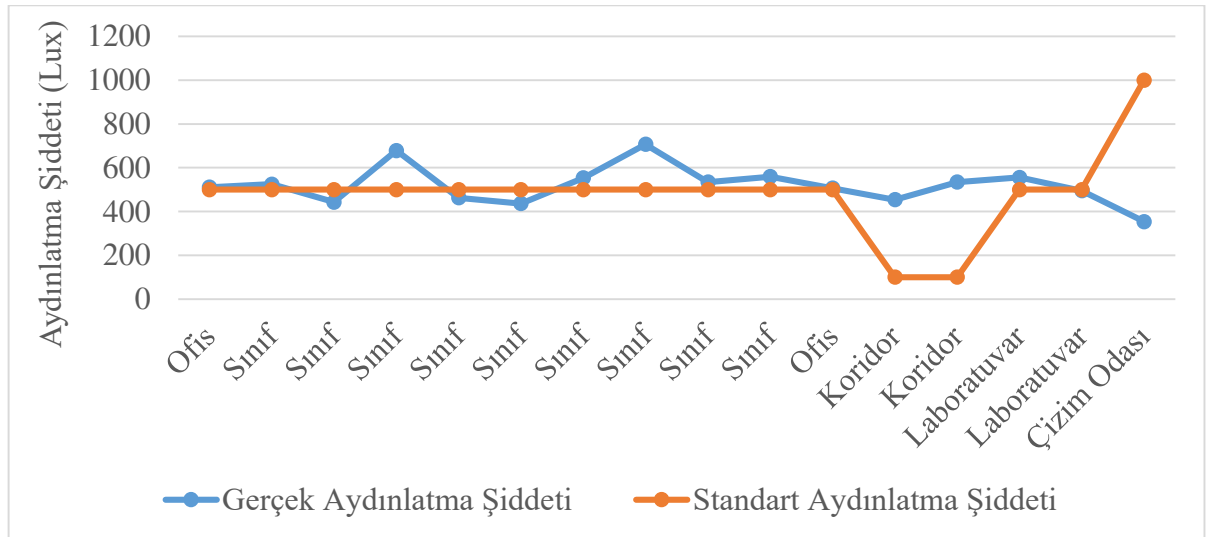
Şekil 3.14. İİBF binası arka dış cephenin termal görüntüleri

3.4. Mekân Aydınlatma Şiddetlerinin İncelenmesi

Çizelge 3.8’de MMF binasındaki bazı mekânlar için gerçek aydınlatma şiddeti değerleri Testo 435 cihazının “Luxprobu” ile ölçülerek standart ortalama aydınlık şiddeti değerleri [69] ile verilmiştir. Elde edilen gerçek aydınlık şiddeti değerleri ile standart aydınlık şiddeti değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3.15’te gösterilmiştir. Şekil 3.15’te aydınlatma şiddetinin gerçek değerlerinin bir kısmının standartta karşılık gelen değerlerden daha yüksek olduğu, bazı gerçek değerlerin ise standartta karşılık gelen değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Daha yüksek değerler, binalarda gereğinden daha fazla enerji harcaması olarak yorumlanabilir. Daha düşük değerler ise insanın görsel konforunu sağlamak [73] için elverişli değildir. Ayrıca bazı gerçek değerlerin ise standartta karşılık gelen değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir. Aydınlatma şiddetinin gerçek ve standart değerlerinin, hem enerjiyi verimli kullanma bakımından hem de insan konforunu sağlama bakımından birbirlerine yakın değerlerde olması gerekmektedir.

Çizelge 3.8. Bazı mekânlar için gerçek ve standart ortalama aydınlık şiddeti değerleri

Yer Adı	Yer Numarası	Tarih	Saat	Gerçek Aydınlatma Şiddeti (Lux)	Standart Aydınlatma Şiddeti (Lux)
Ofis	MA-Z-20	4.02.2019	18:50	510,67	500
Sınıf	ED-Z-4	4.02.2019	19:00	524,77	500
Sınıf	ED-Z-10	4.02.2019	19:10	442,87	500
Sınıf	ED-K1-8	4.02.2019	19:25	678,01	500
Sınıf	ED-K1-6	4.02.2019	19:35	462,53	500
Sınıf	ED-K1-4	4.02.2019	19:45	436,34	500
Sınıf	ED-K1-2	4.02.2019	19:55	553,42	500
Sınıf	ED-K2-3	4.02.2019	20:10	706,78	500
Sınıf	ED-K2-6	4.02.2019	20:20	534,38	500
Sınıf	ED-K2-8	4.02.2019	20:30	559,2	500
Ofis	MY-K3-7	7.02.2019	18:45	506,64	500
Koridor	Zemin Kat	7.02.2019	18:55	454,04	100
Koridor	2. Kat	7.02.2019	19:05	533,95	100
Laboratuvar	EL-K2-7	7.02.2019	19:20	555,53	500
Laboratuvar	EL-K2-4	7.02.2019	19:30	494,48	500
Çizim Odası	ED-2-3	7.02.2019	19:45	353,89	1000



Şekil 3.15. Bazı mekânlar için gerçek ve standart aydınlatma şiddeti değerlerinin grafiği

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kışları soğuk ve çetin gecen Bitlis İli Rahva yerleşkesinde bulunan Bitlis Eren Üniversitesi kampüs binalarının, enerji verimliliği, ısıtma maliyetleri ve enerji tasarrufu bakımından incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda belirtilmiştir.

- Mevcut eğitim binalarının ısı kayıplarının tespiti için yapılan hesaplamalar sonucunda İİBF binasının diğer binalara göre daha düşük çıktığı belirlenmiştir. Binaların yapı bileşenleri içerisinde en fazla ısı kayıplarının %38-58 oranları arasında pencerelerde gerçekleştiği bulunmuştur. Binaların birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının, derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısıtma enerjisi ihtiyacına göre karşılaştırılmasında, İİBF binasının bu anlamda en verimli durumda olduğu, bu binada uygulanmış olan ısı yalıtımının mevcut binalar içinde en uygun düzeyde bulunduğu görülmüştür.
- Binaların teorik ısıtma enerjisi ihtiyacı değerleri dikkate alınarak ısıtma sisteminde kullanılan yakıt türlerine göre hesaplanan yıllık tüketimi miktarları ile gerçekte kullanılan yakıt tüketim miktarları bulunarak karşılaştırılmıştır. Kömür kullanan merkezi ısıtma sistemindeki yakıt tüketimi miktarının diğer yakıt türlerine göre en yüksek değerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca mevcut binaların yıllık gerçek yakıt tüketim miktarlarının teorik yıllık yakıt tüketim değerlerinden yaklaşık %11-25 oranları arasında fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Isıtma sistemlerinde kullanılan yakıt türlerine göre binaların yıllık yakıt tüketim maliyetleri hesaplanmış, kömür yakıtının yerine doğalgaz yakıtının kullanılması ile %46 oranında, fueloil yakıtı yerine doğalgaz yakıtının kullanılması durumunda ise %54 oranında azalacağı sonucu elde edilmiştir. CO₂ emisyonu bakımından kömür ve fueloil yakıtları yerine doğalgaz yakıtlarının kullanılması durumunda sırasıyla %61 ve %37 oranlarında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir. Bu bakımdan mevcut binaların ısıtılmasında en ekonomik, en verimli ve en çevreci yakıt türünün doğalgaz olduğu sonucuna varılmıştır.
- Kampüs alanındaki eğitim faaliyetlerinde kullanılan binalarda değişik amaçlı kullanılan seçilmiş ofislerin ve sınıfların ölçülmüş olan ortalama iç sıcaklık değerlerinin önemli bir kısmı standart sıcaklık değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yukarıda binalar için gerçek verilere göre hesaplanan fazla yakıt tüketiminin nedenini açıkladığı ve ısıtma maliyetini artıracak sonucunu çıkarmaktadır.
- Bina dış duvarlarının termal kamera ile elde edilen kızıl ötesi görüntüleri incelenerek binalardaki yalıtım uygulamalarının performansı değerlendirilmiştir. Özellikle yapı

bileşenlerinden olan pencere ve dış kapılarda ısı kayıpların fazla olduğu, pencere çerçevelerinin duvar ile birleştiği yerlerin iyi derecede izole edilmediği, bazı binaların dış duvar izolasyonlarının uygun olmadığı, İİBF binasının izolasyonunun diğer eğitim binalarına göre genel olarak daha iyi düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucunda binalarda ısı kayıplarının ve dolayısıyla ısıtma maliyetlerinin artacağı sonucuna ulaşılmıştır.

- MMF binasında farklı amaçlar için kullanılan bazı ofis ve sınıflarda yapılan aydınlatma şiddeti ölçümlerinde, bir kısım mekânlarda aydınlatma şiddetinin standart değerden büyük, bir kısmında ise düşük çıktığı görülmüştür.
- Mevcut binaların ısı kayıplarını azaltarak ısıtma maliyetini düşürmek amacı ile yalıtımı iyi yapılmamış olan dış duvarların, pencere ve dış kapıların, yalıtım ve sızdırmazlık problemlerinin giderilmesini, ofis ve sınıf sıcaklık değerlerinin standart sıcaklık değerlerinin üzerinde çıktığı göz önüne alındığında ısıtma sisteminde kullanılan ısıtıcı peteklerde manuel termostatların yerine dijital termostatların kullanılmasını öneririz.

5. KAYNAKLAR

- [1] Terekli G, Özkan O, Bayın G, 2013. Çevre Dostu Hastaneler: Hastaneden Yeşil Hastaneye. Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi, 12 (2): 37-54.
- [2] Velazquez L, Munguia N, Platt A, Taddei J, 2006. Sustainable University: What can be The Matter? Journal of Cleaner Production, 14 (9): 810-819.
- [3] Günerhan SA, Günerhan H, 2016. Türkiye İçin Sürdürülebilir Üniversite Modeli. Engineer and the Machinery Magazine, 57 (682): 54-62.
- [4] Aditya L, Mahlia TMI, Rismanchi B, Ng HM, Hasan MH, Metselaar HSC, Muraza O, Aditiya HB, 2017. A Review on Insulation Materials for Energy Conservation in Buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73: 1352-1365.
- [5] Karaahmetoğlu Y, 2013. Binalarda Yakıt Türlerine Göre Isı Kaybı Hesabı ve Karşılaştırmalı Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Aktemur C, Atikol U, 2017. Optimum Insulation Thickness for the Exterior Walls of Buildings in Turkey Based on Different Materials, Energy Sources and Climate Regions. IJET International Journal of Engineering Technologies, 3 (2): 72-82.
- [7] Kanoğlu M, 2010. Enerji Verimliliği Örnek Projeleri. Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 1-30.
- [8] Özel M, Pıhtılı K, 2008. Determination of Optimum Insulation Thickness by Using Heating and Cooling Degree Day Value. Journal of Engineering and Natural Sciences, 26 (3): 192-197.
- [9] Özel M, Pıhtılı K, 2008. Duvar Yalıtım Kalınlığının Pencere Alanlarına Etkisinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 (3): 655-662.
- [10] İşbilir D, 2009. Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamaları ve Sorunlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [11] Öztuna S, Dereli E, 2009. Edirne İlinde Optimum Duvar Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi. Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 10 (2): 139-147.
- [12] Coşkun C, Oktay Z, 2010. Enerji Tasarrufu Perspektifinde Bir Kampus Binasının Enerji Taraması Çalışması. Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 49-55.
- [13] Yılmaz A, 2012. Apartmanların Dış Kabuğuna Uygulanan Isı Yalıtımının Bina Enerji Performansına Etkisi (Konya ve Erzincan Örneği). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü, Konya.

- [14] Özel M, Şengür S, 2013. Farklı Yakıt Türü ve Yalıtım Malzemelerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 132: 5-11.
- [15] Selbaş R, Şahin AŞ, Yılmaz F, Eşki C, 2014. Hastanelerde Enerji Kullanımında Verimlilik İçin Örnek Bir Uygulama. Bilimsel Sektör Dergisi, 91: 13-22.
- [16] Oğuz Y, Kırmacı V, 2015. Bartın İlinde Kullanılan Isıtma Sistemlerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi. Bartın Üniversitesi, Mühendislik ve Teknoloji bilimleri Dergisi, 3 (1): 4-10.
- [17] Kallioğlu MA, Arca Batı Z, Karakaya H, Durmuş A, 2016. Environmental and Economic Analysis of Optimum Heat Insulation Thickness in Energy Saving. European Journal of Technic EJT, 6 (2): 160-169.
- [18] Kaya M, Fırat İ, Çomaklı Ö, 2016. Erzincan İlindeki Binalarda Isı Yalıtımını Enerji Tasarrufuna Etkisinin Ekonomik Analizi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 36 (1): 47-55.
- [19] Aktemur C, 2017. A Case Study for Estimation of Heating Energy Requirement and Fuel Consumption in a Prototype Building Using Degree-Day Method in Kocaeli. International Journal of Engineering Technologies-IJET, 3 (1): 27-36.
- [20] Rüşen SE, Topçu MA, Celep GK, Çeltekin SA, Rüşen A, 2018. Üniversite Kampüs Binaları için Enerji Etüdü: Örnek Çalışma. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (2): 83-92.
- [21] Bademlioglu AH, Canbolat AS, Kaynaklı O, 2018. Calculation of Optimum Insulation Thickness Using the Heating Degree-Days Method For the Different Cost Approaches. International Research Journal of Advanced Engineering and Science, 3 (4): 189-192.
- [22] Başaran D, Karanfil B, Tüysüz B, 2018. Çoklu Modül Destekli Enerji Etkin Akıllı Kontrol Sistemi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2): 468-479.
- [23] Fertelli A. Balta M, 2019. Investigation Into Energy Savings in the Renewal of the Lighting System in University Campus Buildings. 43 (1): 95-104.
- [24] Oz MEU, Sogut MZ, 2019. Assessment of Energy Performance Based on Energy Audit of a Hotel Using Exergy Approach. European Journal of Technique (EJT), 9 (1): 52-65
- [25] Ünal Ö, Bayram M, 2017. Binalardaki Isı Kayıplarının Termal Kamera Ölçüm ve Görüntüleriyle Tespit Edilmesi, Analizi ve Değerlendirilmesiyle İlgili Bir Çalışma. Makina Mühendisleri Odası Dergisi, 615-629.
- [26] <http://dunya.arztalep.com/tr-TR/bitlis/10163/bitlis-merkez-haritasi.aspx>, (Erişim tarihi: 27.08.2019)
- [27] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?m=BITLIS>,

(Erişim tarihi: 27.08.2019)

- [28] <https://iha.beu.edu.tr/>, (Erişim tarihi: 15.11.2019)
- [29] Yaman Y, 2007. Enerji Tasarrufu ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Birsen Yayınevi. İstanbul.
- [30] Yapraklı S, 2013. Enerjiye Dayalı Büyüme. Beta Yayıncılık. İstanbul.
- [31] Yıldız A, Akgöl S, Güvercin S, 2018. Sanayide Enerji Verimliliği ve Uygulamaları. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 7 (1): 16-22.
- [32] Yumurtacı Z, Dönmez AH, 2013, Konutlarda Enerji Verimliliği, Mühendis ve Makine Dergisi, 54 (637): 38-43
- [33] Akbaş B, Kaya D, Eyidoğan M, 2018. Bir Otomobil Montaj Fabrikasının Enerji Tüketim Analizi ve Enerji Tasarrufu Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Mühendis ve Makine Dergisi, 59 (691): 85-100.
- [34] Cabak B, 2018. Tekstil Fabrikasında Enerji Verimliliği Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, EDİRNE.
- [35] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Enerji-Verimliliği>, (Erişim tarihi: 16.12.2019)
- [36] Koç E, şenel MC, 2013. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, 54 (639): 32-44.
- [37] Kilinc Ata N, 2013. Market Power for Renewable Energy Sources: A Case Study of the Demand and Supply Perspective. Dept. of Economics, Stirling University, Stirling, Scotland. 140: 1-8
- [38] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Enerji-Diplomasisihttp>, (Erişim tarihi: 10.12.2019)
- [39] <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800>, (Erişim tarihi: 22.12.2019)
- [40] <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/yakita-gore-birincil-enerji-tuketimi-i-85801>, (Erişim tarihi: 27.12.2019)
- [41] <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-nihai-enerji-tuketimi-i-85804>, (Erişim tarihi: 27.12.2019)
- [42] <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>, (Erişim tarihi: 22.12.2019)
- [43] <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/binalarda-enerji-verimliliği-i-85813>, (Erişim tarihi: 18.12.2019)
- [44] Huang H, Zhou Y, Huang R, Wu H, Sun Y, Huang G, Xu T, 2019. Optimum insulation thicknesses and energy conservation of building thermal insulation materials in Chinese

- zone of humid subtropical climate. Sustainable Cities and Society 52: 1-14.
- [45] <http://www.warsal.com/isi-yalitim-uygulama/>, (Erişim tarihi: 11.06.2019)
- [46] <http://portal.canovateenerji.com/tr-TR/borularda-basinc-kaybini-hesaplama->, (Erişim tarihi: 11.06.2019)
- [47] Çetinkaya E, 2012. Binalarda Enerji Verimliliğinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [48] Özutku O, 2012. Binalarda Isı Yalıtımı Yoluyla Enerji Tasarrufu MKÜ Mühendislik Fakültesi Binası Örneğİ. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- [49] Bektaş V, 2018. Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- [50] Çomaklı K, Çakır U, Efe Ş, 2011. Farklı bina tipleri ve yakıtlar için merkezi ısıtma sistemlerinin maliyet analizi. X.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir.
- [51] Cholewa T, Siuta-Olcha A, Balaras KA, 2017. Actual Energy Savings from the Use of Thermostatic Radiator Valves in Residential Buildings-Long Term Field Evaluation. Article in Energy and Buildings, 1-22.
- [52] Küçükçalı R, 2000. Isıtma Tesisatı. İstanbul
- [53] <http://www.judgeelectrical.co.uk/central-heating/radiators/thermostatic-radiator-valve.html>, (Erişim tarihi: 25.07.2019)
- [54] <https://www.brennenstuhl.com/enDE/products/home-security-und-safety/brematic-wireless-radiator-thermostat-fht-433-white-with-remote-control-and-adapter-for-heater-valve>, (Erişim tarihi: 25.07.2019)
- [55] <https://docplayer.biz.tr/7089223-Isitma-teknigi-ve-tesisat-kitabi-tesgsat-teknggg-eggtgm-servgs-bulteng.html>, (Erişim tarihi: 26.07.2019)
- [56] Genceli OF, Parmaksızoğlu İC, 2012. Kalorifer Tesisatı. Makina Mühendisleri Odası Yayın No: MMO/352/7. İstanbul.
- [57] Gençoğlu MT, Özbay E, 2007. Aydınlatmada Enerji Verimliliğİ Yöntemleri. Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi.
- [58] Gençoğlu MT, 2005. Aydınlatmada Enerji Verimliliğİ Yöntemleri. Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 141-150.
- [59] Yolcu G, 2010. Yüksek Katlı Binalarda Enerji Etüdü, Verimlilik Arttırıcı Yöntemler ve Ekonomik Analiz. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,

İstanbul.

- [60] Kunduracı AC, Kazanasmaz T, 2016. Aydınlatma Kontrol Sistemlerinin Kullanıcı Memnuniyeti Üzerindeki Etkisine Eleştirel Bir Bakış. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 12 (3): 553-560.
- [61] <https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/hangi-ampulu-almalisiniz-40540747>, (Erişim tarihi: 10.01.2020)
- [62] Çengel YA, Ghajar AJ, 2015, Isı ve Kütle Transferi: Esaslar ve Uygulamaları. Palme Yayıncılık. Ankara.
- [63] Karakoç TH, 2011, KTH Verimli Sistemler, Kalorifer tesisatı Hesabı, Verimli Sistemler. ISBN:978-605-89885-2-1. Ankara.
- [64] Atmaca, U, “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler”, Tesisat Mühendisliği, Temmuz-Ağustos 2016.
- [65] “Binalarda ısı yalıtım kuralları, TS-825”, Türk Standartları Enstitüsü, 1-79, Aralık 2013.
- [66] <https://www.enerjiportali.com/komur-fiyatlari-2/>, (Erişim tarihi: 15.5.2019)
- [67] <https://dogugaz.com.tr/iletisim.php>, (Erişim tarihi: 05.02.2020)
- [68] <https://www.hakedis.org/endeksler/epdk-akaryakit-bayi-satis-fiyatlari>, (Erişim tarihi: 25.02.2020)
- [69] Ünal A. 2014. Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları. Birsen Yayınevi. İstanbul.
- [70] <https://www.fluke.com/en-us/product/thermal-cameras/ti110>, (Erişim tarihi: 05.02.2020)
- [71] <https://www.slideshare.net/testomarcom/testo-435>, (Erişim tarihi: 05.02.2020)
- [72] Manioğlu G, 2005. Isıtma Sisteminin İşletme Biçiminin Bina Kabuğuna Bağlı Olarak Isıtma Enerjisi Ekonomisi Açısından Belirlenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 85: 7-13.
- [73] Yağmur ŞA, Sözen MŞ, 2016. Dersliklerde Görsel Konfor ve İç Yüzeylerin Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11 (1): 49-62.

6. EKLER

EK 1. İllere Göre Derece Gün Bölgeleri [65]

1. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
ADANA	ANTALYA	HATAY	İZMİR	MERSİN

2. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
AYDIN	ÇANAKKALE	İSTANBUL	MUĞLA	SİNOP
ADIYAMAN	DENİZLİ	K. MARAŞ	ORDU	ŞANLIURFA
AMASYA	DİYARBAKIR	KARAMAN	OSMANİYE	ŞIRNAK
BALIKESİR	DÜZCE	KİLİS	RİZE	TEKİRDAĞ
BARTIN	EDİRNE	KOCAELİ	SAMSUN	TRABZON
BATMAN	GAZİANTEP	MANİSA	SAKARYA	YALOVA
BURSA	GİRESUN	MARDİN	SİİRT	ZONGULDAK

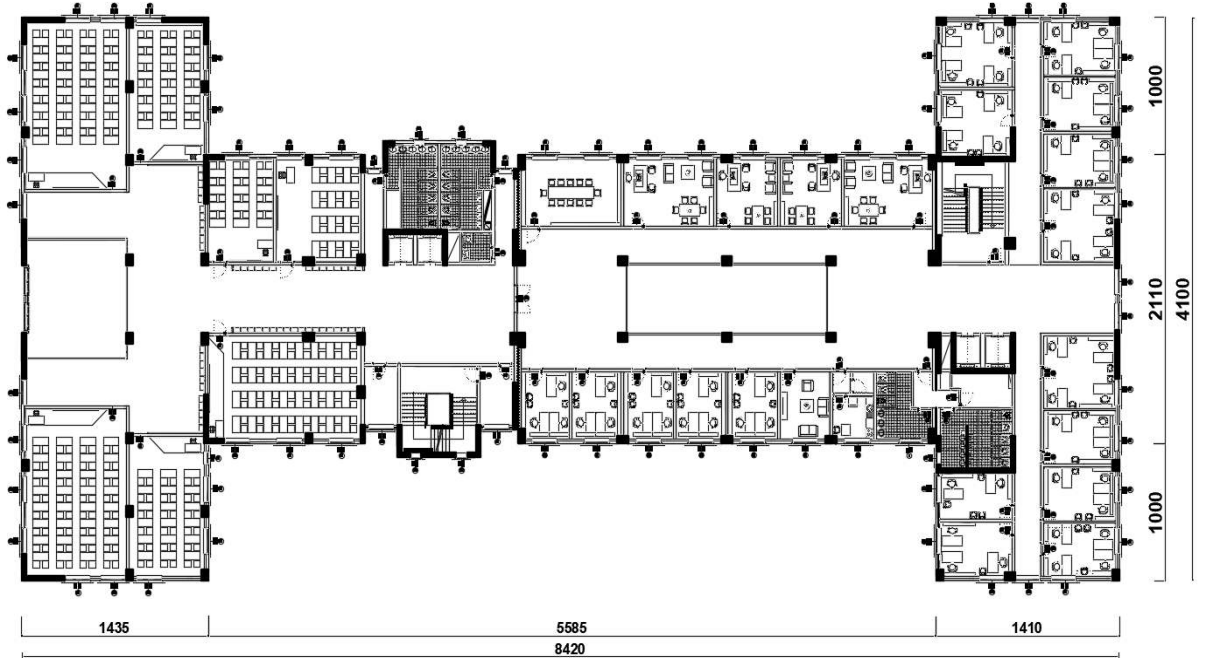
3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ				
AFYON	BOLU	İĞDIR	KIRŞEHİR	TOKAT
AKSARAY	BURDUR	ISPARTA	KONYA	TUNCELİ
ANKARA	ÇANKIRI	KARABÜK	KÜTAHYA	UŞAK
ARTVİN	ÇORUM	KARAMAN	MALATYA	
BİLECİK	ELAZIĞ	KIRIKKALE	NEVŞEHİR	
BİNGÖL	ESKİŞEHİR	KIRKLARELİ	NİĞDE	

4. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
BAYBURT	GÜMÜŞHANE	HAKKÂRİ	VAN
BİTLİS	KASTAMONU	MUŞ	YOZGAT
ERZİNCAN	KAYSERİ	SİVAS	

5. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
AĞRI	ARDAHAN	ERZURUM	KARS

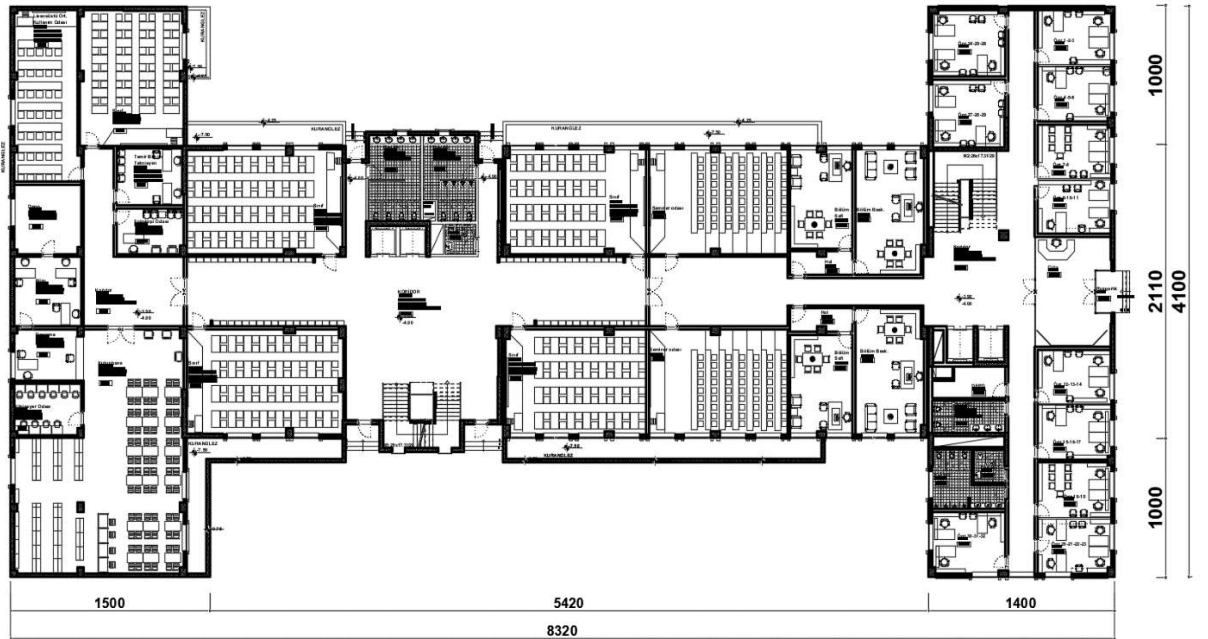
EK 2. MMF MİMARİ PROJESİ

Mimarlık Mühendislik Fakültesi 1. Kat Planı



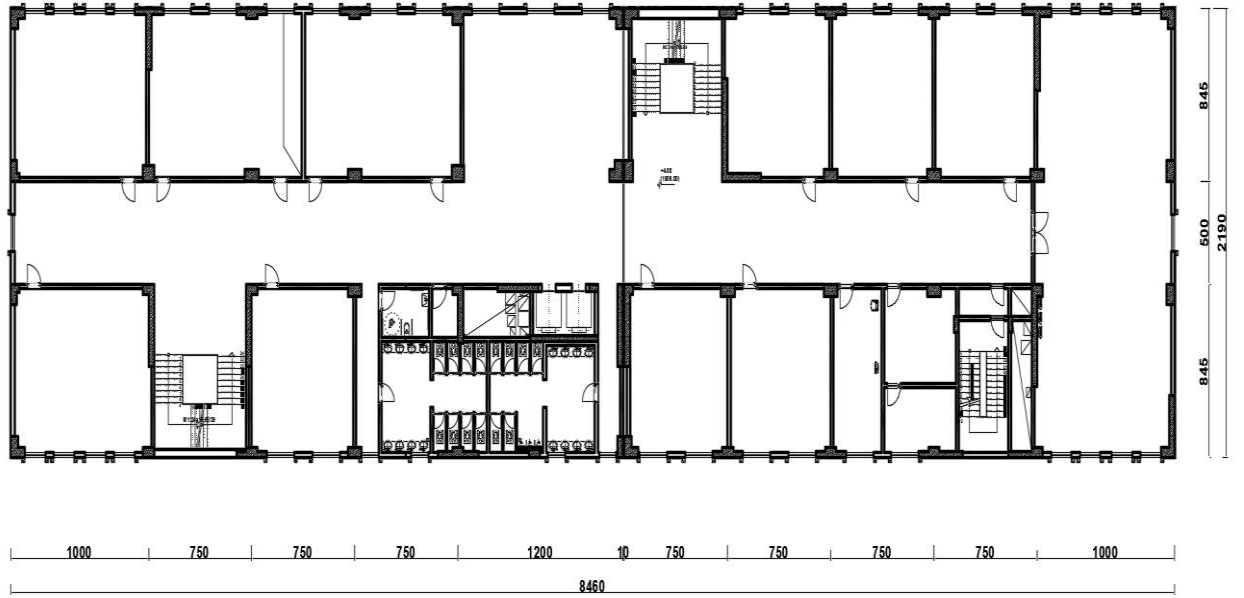
EK 3. FEF'nin 1. Kat Planı

Fen Edebiyat Fakültesi 1. Kat Planı



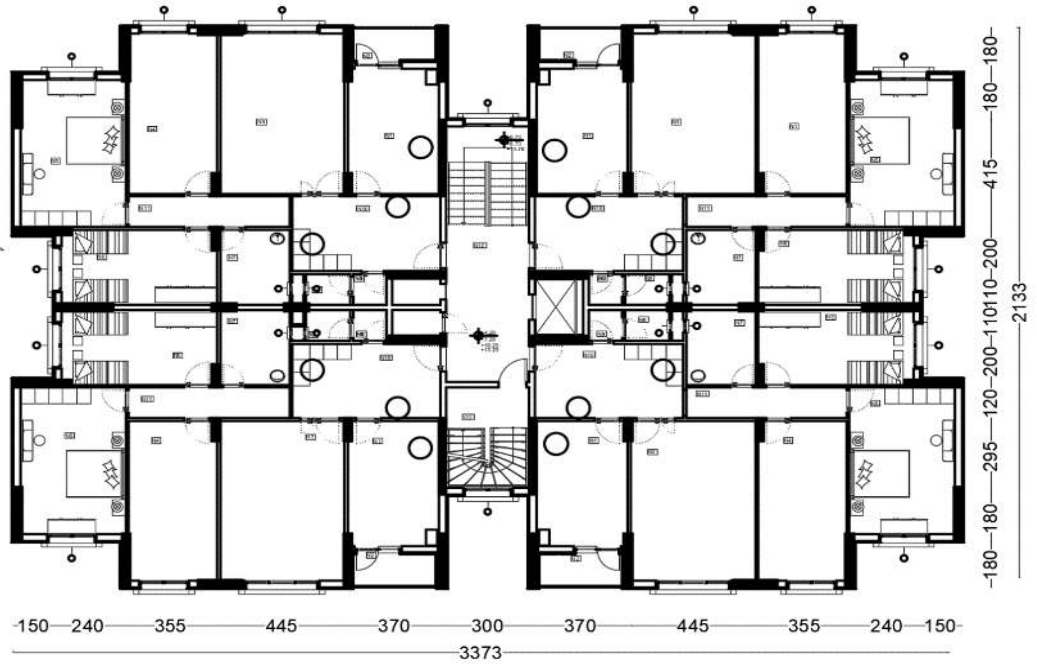
EK 4. İİBF MİMARİ PROJESİ

İDARİ VE İKTİSADİ BİLİMLER FAKÜLTESİ 1. KAT PLANI



EK 5. R3 MİMARİ PROJESİ

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ R3 LOJMANI 1. KAT PLANI



EK 6. MMF'nin Yapı Elemanlarının Özgöl Isı Kaybı



Çizelge 7 - Binanın Özgöl Isı Kaybı

Binadaki Yapı Elemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı
	d (m)	W/mK	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	A (m ²)	A * U (W/K)
Dış Hava Ya Açık (Tuğla Duvar)				0,358	2380,06	844,901
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,085	0,19	0,447			
10.3.2.2.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun - Bina su yalıtımının dış tarafında 8) örneğin çatı örtüsünün 9)	0,05	0,035	1,429			
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,135	0,19	0,711			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,6	0,013			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04			
Dış Hava Ya Açık (Kolun-Kiriş)				0,769	801,94	616,692
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
5.1.1 Donatı	0,6	2,5	0,24			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,03	0,035	0,857			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,6	0,013			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04			
Dış Hava Ya Açık (Perde)				0,847	785,47	665,293
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
5.1.1 Donatı	0,3	2,5	0,12			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,03	0,035	0,857			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,6	0,013			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04			
Toprağa Temas Eden Dış Duvar: Kolun-Kiriş				0,531	102,76	27,283
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
5.1.1 Donatı	0,5	2,5	0,2			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
10.3.2.2.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun - Bina su yalıtımının dış tarafında 8) örneğin çatı örtüsünün 9)	0,05	0,035	1,429			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0			
Toprağa Temas Eden Dış Duvar: Perde				0,56	578,99	162,117

EK 6. (Devam) MMF'nin Yapı Elemanlarının Özgül Isı Kaybı

 Çizelge 7 - Binanın Özgül Isı Kaybı							
Binadaki Yapı Elemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı	
	d (m)	W/mK	R (m2K/W)	U (W/m2K)	A (m2)	A * U (W/K)	
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02				
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053				
5.1.1 Donatı	0,25	2,5	0,1				
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053				
10.3.2.2.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun - Bina su yalıtımının dış tarafında 8) örneğin çatı örtüsünün 9)	0,05	0,035	1,429				
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0				
Isıtılmayan İç Ortam Bitişik Duvar: Tuğla Duvar		Malzeme Toplamları >>>		0,347	670,7	116,386	
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02				
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,085	0,19	0,447				
10.3.2.2.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun - Bina su yalıtımının dış tarafında 8) örneğin çatı örtüsünün 9)	0,05	0,035	1,429				
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,135	0,19	0,711				
4.2 Çimento harcı	0,02	1,6	0,013				
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				
Çatılı Tavan (Kullanılmayan)		Malzeme Toplamları >>>		0,247	2340	462,384	
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02				
5.1.1 Donatı	0,15	2,5	0,06				
7.5.1.1.1.2 1 sıra boşluklu genişlik 115 mm	0,22	0,29	0,759				
5.1.2 Donatısız	0,05	1,65	0,03				
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,02	0,19	0,105				
10.3.2.2.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun - Bina su yalıtımının dış tarafında 8) örneğin çatı örtüsünün 9)	0,1	0,035	2,857				
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,08				
Toprak Temaslı Taban		Malzeme Toplamları >>>		0,414	2340	484,38	
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,17				
1.1. Kristal yapı püskürük ve metamorfik taşlar (mozak vb.)	0,025	2,3	0,011				
4.6 Çimento harçlı şap	0,03	1,4	0,021				
10.3.2.2.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun - Bina su yalıtımının dış tarafında 8) örneğin çatı örtüsünün 9)	0,05	0,035	1,429				

EK 6. (Devam) MMF'nin Yapı Elemanlarının Özgöl Isı Kaybı

Çizelge 7 - Binanın Özgöl Isı Kaybı

Binadaki Yapı Elemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı
	d (m)	W/mK	R (m2K/W)	U (W/m2K)	A (m2)	A * U (W/K)
5.1.2 Donatısız	1	1,85	0,608			
5.3.1.1 Gözeneksiz agregalar kullanılarak yapılmış betonlar	0,05	0,81	0,082			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
5.1.2 Donatısız	0,1	1,85	0,061			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0			
Dış Pencere	Malzeme Toplamları >>>			2,9	1328	3851,2
Dış Kapı	Malzeme Toplamları >>>			5,5	33,88	188,34
Yapı elemanlarının iletim ve taşıyım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı (HT) =						7416,956

$$\Sigma AU = U_{pD}A_{pD} + U_{pA}A_{pA} + 0,8 U_{TAT}A_{TAT} + 0,5 U_{VA}A_{VA} + U_{pA}A_{pA} + \dots$$

$$\Sigma AU = 7416,956WK$$

$$\text{Özgöl ısı kaybı ; } H = H_t + H_v$$

İletim ve taşıyım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı; HT

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı

$$H_v = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h$$

$$H = H_t + H_v = 7416,956 + 11229,504 = 18646,460 WK$$

EK 7. FEF'nin Yapı Elemanlarının Özgöl Isı Kaybı



Çizelge 7 - Binanın Özgöl Isı Kaybı

Binadaki Yapı Elemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı
	d (m)	W/mK	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	A (m ²)	A * U (W/K)
Dış Havaya Açık (Tuğla Duvar)				0,358	1958,08	700,277
İç yüzeyin yüzeySEL ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,085	0,19	0,447			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,135	0,19	0,711			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,8	0,013			
Dış yüzeyin yüzeySEL ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04			
Dış Havaya Açık (Kolun-Kiriş)				0,794	805,57	639,623
İç yüzeyin yüzeySEL ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
5.1.1 Donatı	0,5	2,5	0,2			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,03	0,035	0,857			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,8	0,013			
Dış yüzeyin yüzeySEL ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04			
Dış Havaya Açık (Perde)				0,847	458,52	388,388
İç yüzeyin yüzeySEL ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0	0	0,02			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
5.1.1 Donatı	0,3	2,5	0,12			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,03	0,035	0,857			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,8	0,013			
Dış yüzeyin yüzeySEL ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04			
Toprağa Temas Eden Dış Duvar: Kolun-Kiriş				0,531	188,33	49,471
İç yüzeyin yüzeySEL ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
5.1.1 Donatı	0,5	2,5	0,2			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
Dış yüzeyin yüzeySEL ısı iletkenlik direnci	0	0	0			
Toprağa Temas Eden Dış Duvar: Perde				0,58	655,25	183,47
İç yüzeyin yüzeySEL ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			

EK 7. (Devam) FEF'nin Yapı Elemanlarının Özgül Isı Kaybı



Çizelge 7 - Binanın Özgül Isı Kaybı

Binadaki Yapı Elemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı
	d (m)	W/mK	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	A (m ²)	A * U (W/K)
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
5.1.1 Donatılı	0,25	2,5	0,1			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
Dış yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0			
Isıtılmayan İç Ortam Bitişik Duvar:Tuğla Duvar		Malzeme Toplamları >>>		0,347	359	62,287
İç yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,085	0,19	0,447			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,135	0,19	0,711			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,6	0,013			
Dış yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
Çatılı Tavan (Kullanılmayan)		Malzeme Toplamları >>>		0,247	2313	457,049
İç yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
5.1.1 Donatılı	0,15	2,5	0,06			
7.5.1.1.1.2 1 sıra boşluklu genişlik 115 mm	0,22	0,29	0,759			
5.1.2 Donatısız	0,05	1,65	0,03			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,02	0,19	0,105			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,1	0,035	2,857			
Dış yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,08			
Toprak Temaslı Taban		Malzeme Toplamları >>>		0,414	2313	478,791
İç yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,17			
1.1. Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar (mozak vb.)	0,025	2,3	0,011			
4.6 Çimento harçlı şap	0,03	1,4	0,021			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
5.1.2 Donatısız	1	1,65	0,606			
5.3.1.1 Gözeneksiz agregalar kullanılarak yapılmış betonlar	0,05	0,81	0,062			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
5.1.2 Donatısız	0,1	1,65	0,061			
Dış yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0			
Dış Pencere		Malzeme Toplamları >>>		2,9	1460	4234

EK 7. (Devam) FEF'nin Yapı Elemanlarının Özgöl Isı Kaybı

Çizelge 7 - Binanın Özgöl Isı Kaybı

Binadaki Yapı Elemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı
	d (m)	W/mK	R (m2K/W)	U (W/m2K)	A (m2)	A * U (W/K)
Dış Kapı				5,5	33,88	186,34
Malzeme Toplamları >>>						

Yapı elemanlarının iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı (HT) = 7379,674

$$\Sigma AU = U_o A_o + U_p A_p + 0,8 U_T A_T + 0,5 U_i A_i + U_d A_d +$$

$$\Sigma AU = 7379,674WK$$

$$\text{Özgöl ısı kaybı ; } H = H_t + H_v$$

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı; HT
Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı

$$H_v = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h$$

$$H = H_t + H_v = 7379,674 + 10396,954 = 17776,628 W/K$$

EK 8. İİBF'nin Yapı Elemanlarının Özgül Isı Kaybı



Çizelge 7 - Binanın Özgül Isı Kaybı

Binadaki Yapı Elemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı d (m)	Isı İletkenlik Hesap Değeri W/mK	Isı İletkenlik Direnci R (m ² K/W)	Isı Geçirgenlik U (W/m ² K)	Isı Kaybeden Yüzey A (m ²)	Isı Kaybı A * U (W/K)
Dış Hava Ya Açık (Tuğla Duvar)	Malzeme Toplamları >>>			0,542	1767,81	599,288
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,25	0,19	1,316			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,6	0,013			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04			
Dış Hava Ya Açık (Kolon-Kiriş)	Malzeme Toplamları >>>			0,546	1414,02	772,055
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
5.1.1 Donatı	0,5	2,5	0,2			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,6	0,013			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04			
Dış Hava Ya Açık (Perde)	Malzeme Toplamları >>>			0,558	273,85	152,808
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
5.1.1 Donatı	0,4	2,5	0,16			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
4.2 Çimento harcı	0,02	1,6	0,013			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04			
Toprağa Temas Eden Dış Duvar:Kolon	Malzeme Toplamları >>>			0,531	70	18,585
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
5.1.1 Donatı	0,5	2,5	0,2			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0			
Toprağa Temas Eden Dış Duvar:Perde	Malzeme Toplamları >>>			0,542	200,25	54,268
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			
5.1.1 Donatı	0,4	2,5	0,16			
9.2.2.1.5 Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,01	0,19	0,053			

EK 8. (Devam) İİBF'nin Yapı Elemanlarının Özgül Isı Kaybı

Çizelge 7 - Binanın Özgül Isı Kaybı

Binadaki Yapı Bileşenleri	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı
	d (m)	W/mK	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	A (m ²)	A * U (W/K)
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0			
Isıtılmayan İç Ortam Bitişik Duvar:Tuğla Duvar		Malzeme Toplamları >>>		0,328	513	84,132
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,25	0,19	1,316			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
Çatılı Tavan (Kullanılmayan)		Malzeme Toplamları >>>		0,288	1852,74	426,871
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13			
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02			
5.1.1 Donatı	0,08	2,5	0,032			
7.5.1.1.1.2 1 sıra boşluklu genişlik 115 mm	0,25	0,29	0,882			
5.1.2 Donatısız	0,1	1,65	0,061			
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,08	0,035	2,286			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,08			
Toprak Temaslı Taban		Malzeme Toplamları >>>		0,315	1852,74	291,807
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,17			
1.1. Kristal yapıli püskürük ve metamorfik taşlar (mozaik vb.)	0,025	2,3	0,011			
4.6 Çimento harçlı şap	0,03	1,4	0,021			
5.3.1.2 Gözeneksiz agregalar kullanılarak yapılmış betonlar	0,05	1,1	0,045			
5.1.2 Donatısız	0,15	1,65	0,091			
3.2 Bims çakılı (TS 3234)	0,35	0,19	1,842			
5.3.1.2 Gözeneksiz agregalar kullanılarak yapılmış betonlar	1	1,1	0,909			
5.1.2 Donatısız	0,05	1,65	0,03			
9.2.3.2 PVC örtü	0,01	0,19	0,053			
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0			
Dış Pencere		Malzeme Toplamları >>>		2,9	811,2	2352,48
Dış Kapı		Malzeme Toplamları >>>		5,5	25,34	139,37

EK 8. (Devam) İİBF'nin Yapı Elemanlarının Özgöl Isı Kaybı

	Çizelge 7 - Binanın Özgöl Isı Kaybı						
	Binadaki Yapı Elemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı
		d (m)	W/mK	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	A (m ²)	A * U (W/K)
Yapı elemanlarının iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı (HT) =							4891,664
$\Sigma AU = U_D A_D + U_P A_P + 0,8 U_T A_T + 0,5 U_A A_A + U_G A_G + \dots$ $\Sigma AU = 4891,664 \text{ WK}$ Özgöl ısı kaybı ; H = H _t + H _v İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı; HT Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı $H_v = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h$ $H = H_t + H_v = 4891,664 + 9924,922 = 14816,586 \text{ WK}$							

EK 9. Lojman Binasının (R3) Özgöl Isı Kaybı

 Çizelge 7 - Bina'nın Özgöl Isı Kaybı							
Binadaki Yapı Bemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı	
	d (m)	W/mK	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)	A (m ²)	A * U (W/K)	
Dış Hava'ya Açık (Tuğla Duvar)				0,334	644,44	29,873	
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02				
7.1.4.2.1 TS EN 998-2'ye uygun ve yoğunluğu 1000 kg/m ³ 'ün altında olan harç kullanılarak W sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,25	0,19	1,316				
4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,02	0,35	0,057				
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429				
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04				
Dış Hava'ya Açık (Kolun-Kiriş)				0,557	992,72	552,945	
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				
Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,13				
5.1.1 Donatı	0,3	2,5	0,12				
4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,02	0,35	0,057				
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429				
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,04				
Toprağa Temas Eden Dış Duvar (Perde)				0,569	105	29,873	
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02				
5.1.1 Donatı	0,3	2,5	0,12				
4.8.2 Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,02	0,35	0,057				
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429				
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0				
Isıtılmayan İç Ortam Bütüşük Duvar (Tuğla Duvar)				0,438	67,88	14,886	
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02				
7.1.5.2 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	0,2	0,36	0,556				
4.1 Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02				
10.3.2.1.2 Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429				
Dış yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				
Isıtılmayan İç Ortam Bütüşük Duvar (Kolun)				0,53	31,59	8,371	
İç yüzeyin yüzeyel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13				

EK 9. (Devam) Lojman Binasının (R3) Özgöl Isı Kaybı

Çizelge 7 - Binaın Özgöl Isı Kaybı

Binadaki Yapı Bemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı
	d (m)	W/mK	R (m2K/W)	U (W/m2K)	A (m2)	A* U (W/K)
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02		
5.1.1	Donatı	0,3	2,5	0,12		
4.8.2	Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,02	0,35	0,057		
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,05	0,035	1,429		
	Dış yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13		
Çatılı Tavan (Kullanılmayan)				0,217	666,3	115,67
	İç yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,13		
4.1	Kireç harcı, kireç-çimento harcı	0,02	1	0,02		
5.1.1	Donatı	0,08	2,5	0,032		
7.5.1.1.1.2	1 sıra boşluklu genişlik 115 mm	0,25	0,29	0,882		
5.1.2	Donatsız	0,1	1,65	0,061		
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,12	0,035	3,429		
	Dış yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,08		
Toprak Temasılı Taban				0,27	334,8	45,198
	İç yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,17		
8.2	Yatkı yongalı levhalar (TS EN 309, TS EN 12369-1)	0,005	0,13	0,038		
4.5	Alçı harçlı şap	0,03	1,2	0,025		
7.6.1	Taşın birim hacim kütesi	0,01	0,81	0,012		
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,1	0,035	2,857		
5.1.2	Donatsız	1	1,65	0,606		
	Dış yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0		
İç Ortama Bitişik Taban				0,304	331,5	50,388
	İç yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,17		
8.2	Yatkı yongalı levhalar (TS EN 309, TS EN 12369-1)	0,005	0,13	0,038		
4.5	Alçı harçlı şap	0,03	1,2	0,025		
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164'e uygun	0,06	0,035	1,714		
5.1.1	Donatı	0,15	2,5	0,06		
3.2	Bims çakılı (TS 3234)	0,2	0,19	1,053		
4.8.2	Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,02	0,35	0,057		
	Dış yüzeyin yüzeyesel ısı iletkenlik direnci	0	0	0,17		
Dış Pencere				2,9	291,04	844,016
Balkon Kapı				3,5	94,56	330,96

EK 9. (Devam) Lojman Binasının (R3) Özgöl Isı Kaybı

	Çizelge 7 - Binanın Özgöl Isı Kaybı						
	Binadaki Yapı Bemanları	Yapı Elemanı Kalınlığı	Isı İletkenlik Hesap Değeri	Isı İletkenlik Direnci	Isı Geçirgenlik	Isı Kaybeden Yüzey	Isı Kaybı
		d (m)	W/mK	R (m2K/W)	U (W/m2K)	A (m2)	A * U (W/K)
Yapı elemanlarının iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı toplamı (HT) =							2207,53
$\Sigma AU = U_{D1}A_{D1} + U_{D2}A_{D2} + 0,8 U_{T1}A_{T1} + 0,5 U_{T2}A_{T2} + U_{D3}A_{D3} + \dots$							
$\Sigma AU = 2207,530 \text{ WK}$							
Özgöl ısı kaybı ; H = H _t + H _v							
İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı; HT							
Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı							
H _v = 0,33 * n _h * V _h							
H = H _t + H _v = 2207,530 + 2294,899 = 4502,429 WK							

EK 10. MMF'nin Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

Çizelge 10: Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı



	Isı Kaybı			Isı Kazançları					
Aylar	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi İhtiyacı	Toplam	KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
Ocak	18.646,46	25,4	473.620,0	85.072,00	29587	114.659	0,24	0,98	936.371.041,9
Şubat		24,7	460.567,5		37720	122.792	0,27	0,98	881.879.788,8
Mart		19,7	367.335,2		46894	131.966	0,36	0,94	630.600.474,2
Nisan		12,1	225.622,1		53683	138.755	0,61	0,81	293.493.767,0
Mayıs		7,2	134.254,5		63660	148.732	1,11	0,59	120.534.816,9
Haziran		2,7	50.345,44		67319	152.391	3,03	0,28	0,00
Temmuz		Fie Yüksek	0,00		65407	150.479	0,00	0,00	0,00
Ağustos		Fie Yüksek	0,00		60353	145.425	0,00	0,00	0,00
Eylül		3,5	65.262,61		49267	134.339	2,06	0,38	36.842.143,68
Ekim		9,7	180.870,6		38488	123.560	0,68	0,77	222.210.760,3
Kasım		16,9	315.125,1		28278	113.350	0,36	0,94	540.629.432,6
Aralık		22,8	425.139,2		25740	110.812	0,26	0,98	820.480.829,7
							Q _{yıl} (kJ) = 4.483.043.055,360		

$$Q_{ay} = [H (\theta - \theta_e) - \eta (\phi_{ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \quad (J) \quad (1k J = 0,278 \times 10^{-3} kWh)$$

$$\text{Toplamısı kaybı } Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 4.483.043.055,360 \quad (kJ) = 1246285,969 kWh$$

$$\text{Konutlar için iç ısı kazancı } \phi_{ay} \leq 5 \cdot A_n \quad (W)$$

$$\text{Güneş enerjisi kazancı } \phi_{s,ay} = \sum \eta_{s,ay} \times g_{s,ay} \times I_{s,ay} \times A_s$$

$$\text{Kazanç kayıp oranı } KKO_{ay} = (\phi_{ay} + \phi_{s,ay}) / H(\theta_{ay} - \theta_{e,ay})$$

$$A_{toplam} = 11341,8 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 53170 \text{ m}^3$$

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 17014,400$$

$$\text{Kazanç kullanım faktörü } \eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$$

Yıllık birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:

$$Q = 73,249 kWh/m^2$$

A_{top} / V_{brüt} oranına ve derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısı kaybı bulunur.

$$Q' (TSE) = 68,336$$

73,2489 > 68,336 olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerde/üzerinde olduğu görülmektedir. O halde bu proje bu standardda verilen hesap metoduna göre uygun değildir!

EK 11. FEF'nin Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

Çizelge 10: Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı



	Isı Kaybı			Isı Kazançları					
Aylar	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi İhtiyacı	Toplam	KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
Ocak	17.776,62	25,4	451.526,3	78.764,80	32877	111.642	0,25	0,98	886.767.756,4
Şubat		24,7	439.082,7		41826	120.591	0,27	0,98	831.781.949,7
Mart		19,7	350.199,5		51821	130.586	0,37	0,93	592.931.897,2
Nisan		12,1	215.097,2		59201	137.966	0,64	0,79	275.021.723,5
Mayıs		7,2	127.991,7		70086	148.851	1,16	0,58	107.977.898,8
Haziran		2,7	47.996,90		74101	152.866	3,18	0,27	0,00
Temmuz		Fie Yüksek	0,00		71999	150.764	0,00	0,00	0,00
Ağustos		Fie Yüksek	0,00		66504	145.269	0,00	0,00	0,00
Eylül		3,5	62.218,20		54407	133.172	2,14	0,37	33.552.299,52
Ekim		9,7	172.433,2		42633	121.398	0,70	0,76	207.802.739,5
Kasım		16,9	300.425,0		31392	110.157	0,37	0,93	513.161.568,0
Aralık		22,8	405.307,1		28617	107.382	0,26	0,98	777.788.593,9
							Q _{yıl} (kJ) = 4.226.786.426,880		

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{g,ay} + \phi_{b,ay})] \cdot t \quad (J) \quad (1 \text{ kJ} = 0,278 \times 10^{-3} \text{ kWh})$$

$$\text{Toplam ısı kaybı } Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 4.226.786.426,880 \text{ (kJ)} = 1175046,627 \text{ kWh}$$

$$\text{Konutlar için iç ısı kazancı } \phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n \quad (W)$$

$$\text{Güneş enerjisi kazancı } \phi_{g,ay} = \sum \eta_{g,ay} \times g_{g,ay} \times I_{g,ay} \times A_g$$

$$\text{Kazanç kayıp oranı } KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{b,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$$

$$A_{\text{toplam}} = 10540,63 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{brüt}} = 49228 \text{ m}^3$$

$$A_n = 0,32 \cdot V_{\text{brüt}} = 15752,960$$

$$\text{Kazanç kullanım faktörü } \eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$$

Yıllık birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:

$$Q = 74,592 \text{ kWh/m}^2$$

A_{top} / V_{brüt} oranına ve derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısı kaybı bulunur.

$$Q'(\text{TSE}) = 68,419$$

74,5921 > 68,4190 olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerde/üzerinde olduğu görülmektedir. O halde bu proje bu standardda verilen hesap metoduna göre uygun değildir!

EK 12. İİBF'nin Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

Çizelge 10: Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı



Aylar	Isı Kaybı			Isı Kazançları					
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi İhtiyacı	Toplam	KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
Ocak	14.816,58	25,4	376.341,2	75.188,80	17911	93.100	0,25	0,98	738.987.701,7
Şubat		24,7	365.969,6		22876	98.065	0,27	0,98	699.492.594,2
Mart		19,7	291.886,7		28523	103.712	0,36	0,94	503.878.216,3
Nisan		12,1	179.280,6		32708	107.897	0,60	0,81	238.163.639,0
Mayıs		7,2	106.679,4		38840	114.029	1,07	0,81	96.219.524,16
Haziran		2,7	40.004,78		41079	116.268	2,91	0,29	0,00
Temmuz		Fie Yüksek	0,00		39911	115.100	0,00	0,00	0,00
Ağustos		Fie Yüksek	0,00		36796	111.985	0,00	0,00	0,00
Eylül		3,5	51.858,05		29982	105.171	2,03	0,39	28.100.805,12
Ekim		9,7	143.720,8		23363	98.552	0,69	0,77	175.830.497,2
Kasım		16,9	250.400,3		17133	92.322	0,37	0,93	426.489.857,2
Aralık		22,8	337.818,1		15576	90.765	0,27	0,98	645.067.048,3
							Q _{yıl} (kJ) = 3.552.229.883,520		

$$Q_{ay} = [H (\theta - \theta_b) - \eta (\phi_{ay} + \phi_{b,ay})] \cdot t \quad (J) \quad (1k J = 0,278 \times 10^{-3} kWh)$$

$$\text{Toplam ısı kaybı } Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 3.552.229.883,520 \text{ (kJ)} = 987519,908 kWh$$

$$\text{Konutlar için iç ısı kazancı } \phi_{ay} \leq 5 \cdot A_n \quad (W)$$

$$\text{Güneş enerjisi kazancı } \phi_{b,ay} = \sum \eta_{ay} \times g_{ay} \times I_{ay} \times A$$

$$\text{Kazanç kayıp oranı } KKO_{ay} = (\phi_{ay} + \phi_{b,ay}) / H(\theta_{ay} - \theta_{b,ay})$$

$$A_{toplam} = 8780,96 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 46993 \text{ m}^3$$

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 15037,760$$

$$\text{Kazanç kullanım faktörü } \eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$$

Yıllık birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:

$$Q = 65,669 kWh/m^2$$

A_{top} / V_{brüt} oranına ve derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısı kaybı bulunur.

$$Q' (TSE) = 67,300$$

65,669 < 67,300 olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur!

EK 13. R3'nün Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

Çizelge 10: Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı



	Isı Kaybı			Isı Kazançları					
Aylar	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi İhtiyacı	Toplam	KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
Ocak	4.502,429	24,4	109.859,2	17.385,60	6525	23.911	0,22	0,99	223.397.688,9
Şubat		23,7	106.707,5		8308	25.694	0,24	0,98	211.319.150,4
Mart		18,7	84.195,42		10308	27.694	0,33	0,95	150.040.823,0
Nisan		11,1	49.976,96		11786	29.172	0,58	0,82	67.536.944,64
Mayıs		6,2	27.915,06		13963	31.349	1,12	0,59	24.414.436,80
Haziran		1,7	7.654,13		14764	32.150	4,20	0,21	0,00
Temmuz		Fie Yüksek	0,00		14345	31.731	0,00	0,00	0,00
Ağustos		Fie Yüksek	0,00		13244	30.630	0,00	0,00	0,00
Eylül		2,5	11.256,07		10825	28.211	2,51	0,33	0,00
Ekim		8,7	39.171,13		8472	25.858	0,66	0,78	49.252.898,88
Kasım		15,9	71.588,62		6233	23.619	0,33	0,95	127.398.277,4
Aralık		21,8	98.152,95		5678	23.064	0,23	0,99	195.228.377,2
							Q _{yıl} (kJ) = 1.048.588.597,440		

$$Q_{ay} = [H (\theta - \theta_b) - \eta (\phi_{ay} + \phi_{b,ay})] \cdot t \quad (J) \quad (1k J = 0,278 \times 10^{-3} kWh)$$

$$\text{Toplam ısı kaybı } Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 1.048.588.597,440 \text{ (kJ)} = 291507,830 kWh$$

$$\text{Konutlar için iç ısı kazancı } \phi_{ay} \leq 5 \cdot A_n \quad (W)$$

$$\text{Güneş enerjisi kazancı } \phi_{b,ay} = \sum \eta_{ay} \times g_{ay} \times I_{ay} \times A_i$$

$$\text{Kazanç kayıp oranı } KKO_{ay} = (\phi_{ay} + \phi_{b,ay}) / H(\theta_{ay} - \theta_{b,ay})$$

$$A_{\text{toplam}} = 3559,83 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{brüt}} = 10866 \text{ m}^3$$

$$A_n = 0,32 \times V_{\text{brüt}} = 3477,120$$

$$\text{Kazanç kullanım faktörü } \eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$$

Yıllık birim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı:

$$Q = 26,828 kWh/m^2$$

A_{top} / V_{brüt} oranına ve derece gün bölgesine göre olması gereken en büyük ısı kaybı bulunur.

$$Q' (TSE) = 24,992$$

26,8275 > 24,992 olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerde/üzerinde olduğu görülmektedir. O halde bu proje bu standardda verilen hesap metoduna göre uygun değildir!

ÖZGEŞMİŞ

1988 yılında Suriye'nin Halep İl'inde doğdum. İlköğretimi Tarık bin Ziyad İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Halid bin Velid Orta Okulu'nda ve liseyi Sefire Lisesi'nde tamamladım. 2006 yılında kazandığım Halep Üniversitesi Makine Mühendisliği Fakültesi Enerji Bölümünden 2011 yılında mezun oldum. 2017'de Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans başladım. Ağustos 2020'de yüksek lisansımı tamamladım ve aynı yılda Türk vatandaşlığını kazandım. Yabancı dilim İngilizcedir.

Ali ELHUYEYDİ

