

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASININ BİNA  
ENERJİ PERFORMANSI YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ**

**KHALID WALEED İBRAHİM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2011  
ANKARA**

KHALID WALEED IBRAHİM tarafından hazırlanan “GAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASININ BİNA ENERJİ PERFORMANSI YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali DURMAZ .....  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nuri YÜCEL .....  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Ali DURMAZ .....  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Vecihi PAMUK .....  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 13/06/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

**KHALID WALEED IBRAHİM**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASININ BİNA  
ENERJİ PERFORMANSI YÖNETMELİĞİNE GÖRE İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**KHALID WALEED IBRAHİM**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2011**

**ÖZET**

Yapılan çalışmanın amacı; yüksek oranlarda enerji tüketimi olan bir tesiste kalite ve performansı düşürmeden enerji tüketimini azaltmak için ve tesisin enerji kimlik belgesinin hazırlanmasını sağlamak için yeni projeler tasarlamak ve uygulamaktır. Bu çalışma için Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası seçilmiştir.

Fakültenin mimari ve teknik özelliklerine uygun enerji verimliliği projeleri tasarlanmıştır. Bu projeler: Manyetik balastlı flüoresan lambaların enerji verimli elektronik olanlar ile değiştirmektir, binanın dış duvarlarına dıştan ısı yalıtımı uygulamaktır, kalorifer kazanlarının ısı verimlerini artırmak ve ısıtma vanalarına vana ceketini ile ısı yalıtımı uygulayarak doğalgaz tüketimini azaltmaktır. Tasarlanan bu sistemlerin maliyet analizleri yapıldığında geri ödeme sürelerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür, aydınlatma ve ısıtma vanaları için sırasıyla bu süreler 3.7 yıl ve 3 yıldır.

**Bilim Kodu : 914.1.038**  
**Anahtar Kelimeler : Enerji verimliliği, aydınlatma, ısı yalıtımı, ısıtma**  
**Sayfa Adedi : 98**  
**Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ali DURMAZ**

**STUDY OF ENGINEERING FACULTY BUILDING OF GAZI UNIVERSITY  
ACCORDING TO THE ENERGY PERFORMANCE REGULATION OF THE  
BUILDINGS  
(M.Sc. Thesis)**

**KHALID WALEED IBRAHIM**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2011**

**ABSTRACT**

**The aim of this study is to design and apply new projects in a facility which has high rates of energy consumption in order to reduce energy consumption without reducing the quality and performance, and to prepare energy identity certificate for the facility. Engineering Faculty building of Gazi University has selected for this study.**

**Energy efficiency projects are designed in accordance with the faculty's architectural and the technical specifications. These projects are: Changing magnetic ballast of the fluorescent lamps with energy efficient electronic ballast, applying thermal insulation to the external walls of the building, increasing the thermal efficiencies of the heating boilers and applying thermal insulation to the heating system valves by using valve jackets to reduce natural gas consumption. When the cost analysis of the designed system is calculated, we see that the payback periods are at an acceptable level, these periods are 3.7 and 3 years for lighting and heating valves respectively.**

**Science Code : 914.1.038**

**Keywords : Energy efficiency, lighting, thermal insulation, heating**

**Page Number : 98**

**Adviser : Prof. Dr. Ali DURMAZ**

## TEŞEKKÜR

Bu tezin çeşitli aŐamalarında değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve kıymetli tecrübelerinden faydalandığım DanıŐman Hocam Sayın Prof. Dr. Ali DURMAZ'a sonsuz teŐekkürlerimi bildiririm. Bütün çalıŐmam boyunca desteğini, ilgisini esirgemeyen araştırma görevlisi Mustafa Zeki YILMAZOğLU'ya sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Türkiye Cumhuriyeti'nin yüksek lisans öğrenimimin boyunca bana karŐılıksız olarak sağladıkları olanakları ve hayatımın her döneminde yanımda olan canım ailemi Őükranla anıyorum.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	3
3. AYDINLATMA.....	10
3.1. Aydınlatmada Enerji Tasarrufu.....	10
3.2. Aydınlatmada Enerji Tasarrufu Yöntemleri.....	11
3.2.1. Yanan lambaların sayısını azaltmak.....	11
3.2.2. Yüksek verimli lambalar kullanmak.....	12
3.2.3. Aydınlatma armatürlerinde reflektör kullanmak.....	12
3.2.4. Gün ışığını birinci aydınlatma kaynağı olarak kullanmak.....	12
3.2.5. Aydınlatma kontrol sistemlerini uygulamak.....	12
3.3. Aydınlatma Kontrol Sistemleri.....	13
3.3.1. Programlama.....	13
3.3.2. Meşguliyeti hissetme.....	14
3.3.3. Gün ışığını etkin kullanma.....	14

	<b>Sayfa</b>
3.3.4. Lümen kaybı telafisi.....	16
3.3.5. Talebe cevap.....	17
3.4. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar.....	18
3.4.1. Fakülte binasında kullanılan aydınlatma elemanlarının türlerinin tespiti.....	18
3.4.2. Fakülte binasında çalışan ve çalışmayan armatürlerin tespit edilmesi..	20
3.4.3. Fakülte binasında kullanılan aydınlatma ekipmanının günlük tükettiği enerjinin hesaplanması.....	20
3.4.4. Fakülte binasında kullanılan aydınlatma ekipmanının günlük tükettiği enerjinin maliyet hesabı.....	23
3.4.5. Fakülte binasında mevcut flüoresan lambalar için elektronik balast kullanılması durumunda geri ödeme süresinin hesaplanması.....	23
3.5. Fakülte Binasının Belirlenen Alanlarında Aydınlatma Düzeylerinin Ölçülmesi.....	25
3.5.1. Fakülte binasının ölçülen aydınlatma düzeyleri.....	26
4. ISI YALITIMI.....	31
4.1. Yapılarda Isı Yalıtımının Önemi.....	31
4.2. Isı Yalıtımının Çevre, Enerji Tasarrufu ve Isıl Konfora Etkileri.....	32
4.2.1. Isı yalıtımı çevrenin korunmasına katkı sağlar.....	32
4.2.2. Isı yalıtımı enerji tasarrufu sağlar.....	32
4.2.3. Isı yalıtımı ısı konfor sağlar.....	33
4.3. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar.....	34
5. ISITMA.....	38
5.1. Isıtma Sistemleri Çeşitleri.....	38
5.1.1. Tek odaya mahsus ısıtma sistemi.....	38



	<b>Sayfa</b>
5.1.2. Merkezi ısıtma.....	38
5.1.3. Bölgesel ısıtma.....	39
5.2. Isıtmada Enerji Tasarrufu.....	39
5.2.1. Bina kaplamasının ısı performansını.....	40
5.2.2. Kazan sistemlerinde enerji tasarrufu.....	43
5.3. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar.....	54
5.3.1. Kazan ısı kayıplarının ve verimlerinin belirlenmesi için yapılan ölçümler.....	54
5.3.2. Ölçüm yapılan kazanların toplam ısı kayıplarının hesaplanması.....	56
5.3.3. Kazanlarda mevcut toplam ısı kayıpları ve kazan veriminin hesaplanması.....	61
5.3.4. İyileştirilmiş kazan işletme koşullarında oluşabilecek toplam ısı kayıpları ve kazan veriminin hesaplanması.....	62
5.3.5. Isıtma vanalarından olan ısı kayıplarının hesaplanması.....	63
5.3.6. Isıtma vanalarında oluşan toplam ısı kayıpları ve ilgili yalıtımların yapılması ile ısı kazançlarının hesaplanması.....	67
5.3.7. Yakıt tasarrufu ile ilgili geri ödeme sürelerinin hesaplanması.....	69
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	79
EK-1 Fakültenin laboratuvarları için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı.....	80
EK-2 Fakültenin eski binası için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı.....	82
EK-3 Fakültenin E Bloğu için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı.....	85
EK-4 Fakültenin F.G.H. Blokları için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı.....	86
EK-5 Fakültenin I Bloğu için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı.....	87

	<b>Sayfa</b>
EK-6 Kazan yalıtım ısı kayıplarının hesaplanması.....	88
EK-7 Kazan yüzeylerinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı hesap programı.....	92
EK-8 Vana ceket fiyatları.....	94
EK-9 Doğal gazın özellikleri.....	96
EK-10 Cam yününün fiziksel özellikleri.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	98

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. A ve B binaları için ekstra yatırımın sağladığı yıllık tasarruf ve geri ödeme süresi.....	7
Çizelge 3.1. Bazı ortamlar için tavsiye edilen aydınlatma düzeyleri.....	25
Çizelge 3.2. Eski bina zemin katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.....	26
Çizelge 3.3. Eski bina 2. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.....	26
Çizelge 3.4. Eski bina 4. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.....	27
Çizelge 3.5. E Bloğun ölçülen aydınlatma düzeyleri.....	27
Çizelge 3.6. F.G.H. Blok zemin katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.....	28
Çizelge 3.7. F.G.H. Blok 1. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.....	28
Çizelge 3.8. F.G.H. Blok 4. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.....	29
Çizelge 4.1. İç ortam ( $t_i$ ) ve iç yüzey sıcaklıkları ( $t_{iy}$ ) arasındaki farka göre konfor şartları.....	34
Çizelge 5.1. 2 ve 6 Nolu Fuel oil için optimum fazla hava ve oksijen yüzdeleri.....	52
Çizelge 5.2. 1 nolu kazan için ölçülen mevcut işletme değerleri.....	54
Çizelge 5.3. 2 nolu kazan için ölçülen mevcut işletme değerleri.....	55
Çizelge 5.4. 3 nolu kazan için ölçülen mevcut işletme değerleri.....	55
Çizelge 5.5. Kazanların emisyonlarının ve ısı kayıpların hesaplanmasına esas olan mevcut ortalama işletme ölçüm değerleri.....	56

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.6. Kazanlarda oluşan ve ölçülen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan baca gazı duyulur ısı kayıpları.....	58
Çizelge 5.7. Kazanlarda oluşan ve ölçülen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan baca gazı gizil ısı kayıpları.....	59
Çizelge 5.8. Kazanlarda oluşan ve ölçülen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan baca gazı yanmamış (CO) ısı kayıpları.....	60
Çizelge 5.9. Kazanlarda oluşan ve yüzey sıcaklık dağılımları ölçümleri ile hesaplanan kazan yalıtım (ışınım ve taşınım) ısı kayıpları.....	61
Çizelge 5.10. İşletmede ölçülen kazan ortalama işletme verilerine göre hesaplanan kazan ısı kayıpları ve ısı verimleri.....	62
Çizelge 5.11. Uygun yakıt/hava kontrolü ( $O_2=3\%$ , $t_{bg}=150^\circ C$ ) durumunda kazanlarda oluşan ısı kayıpları ve ısı verimleri.....	62
Çizelge 5.12. Uygun yakıt/hava kontrolü ( $O_2=3\%$ , $t_{bg}=150^\circ C$ ) durumunda iyileştirilmiş kazan verimlerinin, mevcut kazan verimleri ile karşılaştırılması ve sağlanan verim artışları ve doğal gaz tasarrufları..	63
Çizelge 5.13. Vanalar ve bağlantı elemanları gruplarında ısı eşdeğer boru uzunlukları.....	64
Çizelge 5.14. Yalıtımsız vana ve bağlantı elemanlarında ısı geçiş katsayıları ( $h_r$ , $h_c$ ) yardımı ile hesaplanan metre başına özgül ısı kayıpları (Q).....	66
Çizelge 5.15. Yalıtımlı vana ve bağlantı elemanlarında ısı iletim katsayısı (k) ve yüzeysel ısı geçiş katsayısı ( $h_{so}$ ) yardımı ile hesaplanan metre başına özgül ısı kayıpları (Q).....	67
Çizelge 5.16. Toplam ısı kayıp ve ısı kazanç miktarları.....	68
Çizelge 5.17. Toplam ceket fiyatları ve yatırım maliyeti.....	69

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yalıtım kalınlığının yıllık tasarrufa etkisi.....	5
Şekil 3.1. Kontrol edilen bölgede gün ışığı dağılımı.....	15
Şekil 3.2. Gün ışığını etkin kullanmada açık ve kapalı döngü sistemleri.....	16
Şekil 4.1. Fakültenin eski binası için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı.....	35
Şekil 4.2. Fakültenin F.G.H. Blokları için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı.....	36
Şekil 4.3. Fakültenin I Bloğu için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı.....	37
Şekil 5.1. Katı yakıtlı bir kazanda oluşan ısı kayıpları ve yerleri.....	44
Şekil 5.2. Kömürlü bir kazanda oluşan ısı kayıplarının yer ve türlerine göre sınıflandırılması.....	44

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>V</b>	Hava akışı, m <sup>3</sup> /min
<b>ΔP</b>	Basınç farkı, bar
<b>t<sub>bg</sub></b>	Baca gazı sıcaklığı, °C
<b>t<sub>ç</sub></b>	Çevre sıcaklığı, °C
<b>n</b>	Hava fazlalık katsayısı
<b>CO<sub>2</sub></b>	Baca gazındaki (CO <sub>2</sub> ) oranı, %
<b>C<sub>y</sub></b>	Yakıttaki karbon oranı
<b>H<sub>u</sub></b>	Yakıt alt ısıl değeri, kcal/kg
<b>H<sub>o</sub></b>	Yakıt üst ısıl değeri, kcal/kg
<b>CO</b>	Baca gazındaki (CO) oranı, %
<b>D</b>	Kazan çapı, m
<b>L</b>	Kazan uzunluğu, m
<b>Q</b>	Isı kaybı, W/m
<b>t<sub>s</sub></b>	Boru yüzey sıcaklığı, °C
<b>d<sub>1</sub></b>	Boru dış çapı, m
<b>h<sub>c</sub></b>	Konveksiyonla ısı geçiş katsayısı, W/m <sup>2</sup> .°C
<b>h<sub>r</sub></b>	Radyasyonla ısı geçiş katsayısı, W/m <sup>2</sup> .°C
<b>d<sub>2</sub></b>	Yalıtım sonrası dış çap, m
<b>h<sub>so</sub></b>	Yüzeye ait ısı geçiş katsayısı, W/m <sup>2</sup> .K
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>EKB</b>	Enerji Kimlik Belgesi
<b>EVD</b>	Enerji Verimliliği Danışmanlık Şirketi
<b>VAP</b>	Verimliliği Artırıcı Proje

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>CFL</b>	Kompakt Flüoresan Lamba
<b>TND</b>	Tunus Dinarı
<b>CAV</b>	Sabit Hava Hacmi
<b>VAV</b>	Değişken Hava Hacmi
<b>SC</b>	Gölgeleme Katsayısı
<b>LLD</b>	Lamba Lümen Kaybı
<b>DR</b>	Talebe Cevap
<b>HVAC</b>	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
<b>IK</b>	Isı Kaybı

## 1. GİRİŞ

Bu tezin amacı, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Binasında enerji verimliliğini artırıcı yöntemleri uygulayıp binanın Enerji Kimlik Belgesinin (EKB) hazırlanmasını sağlamaktır.

Tez kapsamında incelenen enerji verimliliği çalışmaları ve enerji tüketiminin azaltılması, dünyada sanayi devriminden sonra teknolojik gelişmeler ve düşük maliyet yüksek kazanç maddeleri eşliğinde sürekli ilerleme kaydetmiştir. Son yıllarda doğaya verilen zarar, küresel ısınma ve aşırı hammadde tüketimi üçgeni de enerji verimli ve çevreyle dost yöntemler geliştirilmesine yol açmıştır. Bu konuda kanunlar düzenlenmiş, yönetmelikler yayımlanmış, kapsamlı üretim ve işletme standartları geliştirilmiştir.

Ülkemizde ise enerji verimliliğinin artırılması hakkında yönetmelikler 90'lı yıllarda sanayi kuruluşlarını kapsar biçimde yayımlanmıştır ama uygulama ve takip konusunda istenen seviyelere ulaşamamıştır. Kapsam olarak genişletilen ve enerji tüketen her tesise-binaya yaptırımlar getiren kanun 02.05.2007 tarihinde yayımlanan 5627 sayılı 'Enerji Verimliliği' kanunudur. Bu kanun; enerjinin etkin kullanılması, enerji israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektedir.

Bir enerji yöneticisinin ya da enerji verimliliği danışmanlık şirketlerinin (EVD) kalite ve performansı düşürmeden enerji verimliliğini artırıcı projeler (VAP) yapmaları beklenmektedir. Kanunda enerji verimliliğini artıran önlemler; yakma sistemlerinde yanma kontrolü ve optimizasyonu ile yakıtların verimli yakılması, ısıtma, soğutma, iklimlendirme ve ısı transferinde en yüksek verimin elde edilmesi, sıcak ve soğuk yüzeylerde ısı yalıtımının standartlara uygun olarak yapılması, ısı üreten, dağıtan ve kullanan tüm ünitelerin yalıtılarak istenmeyen ısı kayıplarının veya kazançlarının en aza indirilmesi, atık ısı geri kazanımı, ısının işe dönüştürülmesinde



verimliliğin artırılması, elektrik tüketiminde kayıpların önlenmesi, elektrik enerjisinin mekanik enerjiye veya ısıya dönüşümünde verimliliğin artırılması, otomatik kontrol uygulamaları ile insan faktörünün en aza indirilmesi, kesintisiz enerji arzı sağlayacak girdilerin seçimine dikkat edilmesi, makinelerin enerji verimliliği yüksek olan teknolojiler arasından, standardizasyon ve kalite güvenlik sisteminin gereklerine dikkat edilerek seçilmesi, istenmeyen ısı kayıpları veya ısı kazançları en alt düzeyde olacak şekilde projelendirilmesi ve uygulamanın projeye uygun olarak gerçekleştirilmesinin sağlanması, inşaat ve montaj aşamasında enerji verimliliği ile ilgili ölçüm cihazlarının temin ve kojenerasyon uygulamalarının analiz edilmesi, aydınlatmada yüksek verimli lambaların, elektronik balastların, aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılması ve gün ışığından fazla yararlanılması, enerji tüketen veya dönüştüren ekipmanlar için ilgili mevzuat kapsamında tanımlanan asgari verimlilik kriterlerinin sağlanması, camlamada düşük yayımlı ısı kontrol kaplamalı çift cam sistemlerinin kullanılması [1].

Bu maddeler ışığında fakültenin mimarisine ve mevcut tesisatına uygun şuan binada uygulanmayan dört adet enerji verimliliğini artırıcı proje tasarlanmıştır. Bu VAP'lar; Manyetik balastlı flüoresan lambaların enerji verimli elektronik olanlar ile değiştirmektir, binanın dış duvarlarına dıştan ısı yalıtımı uygulamaktır, kalorifer kazanlarının işletme koşulları iyileştirilerek ısıl verimlerini artırmak ve ısıtma vanalarına ile bağlantı elemanlarına ilgili yalıtım ceketleri ile ısı yalıtımı uygulayarak doğalgaz tüketimini azaltmaktır.

## 2. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Ihm P. ve ark. Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Boulder Şirketindeki küçük ofislerin yıllık aydınlatma enerjisini düşürme potansiyelini tahmin etmek için basit bir analiz metodu bulmuşlar ve kabul etmişlerdir. Bu basit metotla yapılan tahmin, ofislere yerleştirilmiş gün içinde ışığı azaltma sistemi için elde edilmiş verilerin kullanılması ile kabul edilmiştir. Yapılan ölçümlerin yanı sıra simülasyon analizleri de, özellikle doğal olarak gün ışığını alan mekanlarda gün ışığının kontrol edilmesi için büyük tasarruf sağlanabileceğini göstermektedir. Uygun bulunan analize göre, yapay ışığı kısarak kontrol etme stratejisi ile yıllık olarak enerjide (%60) oranında tasarruf edileceğini belirlemişlerdir [2].

Li D. ve ark. Enerji tasarruflu ışıkların kurulması ile ilgili bir çalışmayı yürütmek için bir okulun 3. Katındaki bir atölyeyi seçmişlerdir. Konvansiyonel balastları kullanan T8 lambaların elektronik balastları kullanan T5 flüoresan lambalar ile değiştirilmesi ile enerji tüketimi, konvansiyonel balastları kullanan T8 lambaların kullanılmasına göre (1.04kWh) azalmıştır. Bu da atölyede kullanılan elektrik ışıkları için yapılan enerji harcamalarında (%28) azalmayı sağlamıştır. Yüksek frekanslı ışık kontrolü, tavsiye edilen dereceye kadar ışığı azalttığında, aydınlatma amacıyla kullanılan enerjideki tasarruf yıllık (770kWh) hesaplanmıştır [3].

Onaygil S., Güler Ö. bir proje çerçevesinde İstanbul'da hazırladıkları bir ofiste, bir yıllık zaman içerisinde topladıkları verileri değerlendirerek gün ışığına duyarlı aydınlatma kontrol sistemi ile sağlanan enerji tasarrufunun aylara ve mevsimlere göre değiştiğini görmüşlerdir. Aralık ayında sağlanan enerji tasarrufu (%20) iken, haziran ve temmuz aylarında %47'ye çıkmıştır. Mevsimlere göre enerji tasarrufundaki değişiklik dikkate alındığında, enerji tasarrufu kış ayında %21'dir, bahar mevsiminde 35'e ve yaz mevsiminde %45'e yükselir. Günlük hava durumu dikkate alındığında ise, açık günlerdeki enerji tasarrufu (%35) iken bulutlu günlerdeki enerji tasarrufu %16'ye indiği görülmüştür. Yapılan deneysel çalışma, testlerin yapıldığı yılda günlerin %62'yi açık geçen İstanbul/Türkiye gibi bir yerde

gün ışığına duyarlı aydınlatma kontrol sisteminin kullanılması ile (%30) oranında enerji tasarrufunun sağlanabileceğini göstermiştir [4].

Roisin B. ve ark. Avrupa’da üç yerde ve dört ana yönde farklı kontrol sistemlerini (Kişisel Gün Işığına Duyarlı Işığı Kısma Sistemi, Harekete Duyarlı Işığı Açma ve Harekete Duyarlı Işığı Kısma) kullanarak ofislerde aydınlatma enerjisinde tasarruf potansiyelini karşılaştırmışlardır. Çalışmalar, aydınlatma gün ışığına göre ayarlandığında elektrikle aydınlatma tasarrufunun yüksek olduğunu ve bunun biraz da yön ve mekâna bağlı olduğunu göstermişlerdir. Yazarların benzerini yaptığı en iyi konfigürasyon, yıllık güç tüketimindeki potansiyel tasarrufu (%61) düzeyinde olan Atina’daki güney tarafa bakan ofis olmuştur. En kötü örnek ise kazanımı yaklaşık (%45) olan Stockholm’deki kuzey yöne bakan ofis olmuştur. Ofis, öğlen yemeği vakti hariç bütün gün dolu olduğunda bir bulunma detektörün ek olarak sunduğu kazanım (%1–4) arasındadır [5].

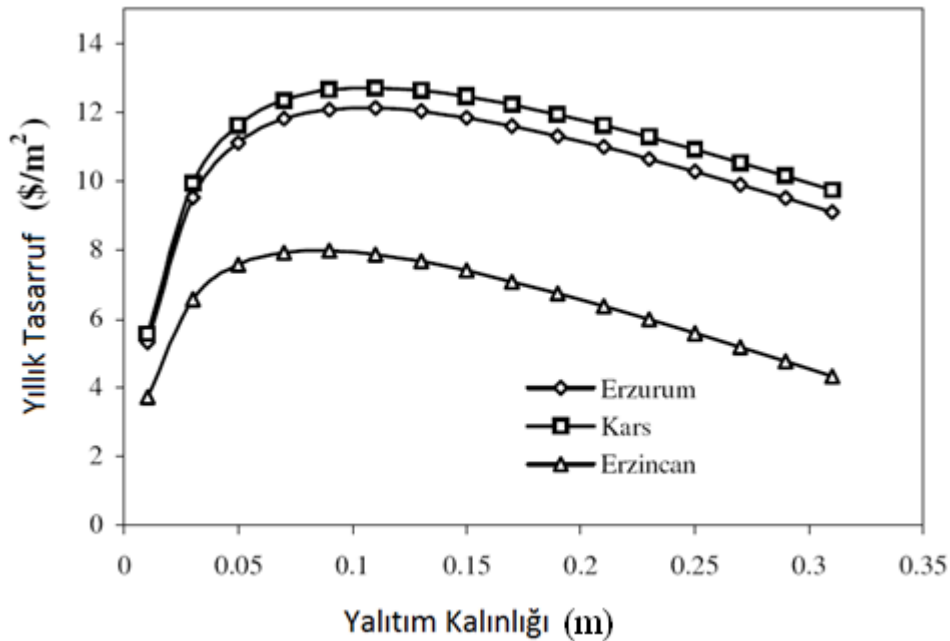
Wall R., Crosbie T. Aydınlatma armatürlerinin ne zaman kullanıldığını belirlemek ve aydınlatma amacıyla kullanılan elektrik tüketimini hesaplamak amacıyla, 2007 yılının bahar mevsiminde İngiltere’de (18) konutta bir haftalık zaman dilimi içerisinde aydınlatmayla ilgili verileri toplamışlardır. Akkor lambalar yerine kompakt flüoresan lambalar (CFL) takmanın aydınlatma için kullanılan elektrik tüketiminin miktarında olan düşürme potansiyelini değerlendirmişlerdir. Eğer bütün akkor ışıklar yerine kompakt flüoresan lambalar takılırsa, evlerdeki aydınlatma amacı ile kullanılan elektrik tüketiminde (%50.9) azalma sağlanabileceği belirlenmiştir [6].

Yu P., Chow W.K. Hong Kong’ta aydınlatma düzeyi (500 lüks) olan bir ticari bina için (gün ışığı sensörüne otomatik olarak cevap veren) aydınlatma kontrol sistemini kullanmışlardır. Sonuç, bu stratejiyi binada kullanmanın sadece soğutma yükünü (%7) oranında azaltmakla kalmayacağı aynı zamanda aydınlatma için kullanılan enerjide %41’e kadar tasarruf sağlayacağını göstermiştir [7].

Atif M., Galasiu A. Kanada’da mevcut iki büyük avluya yerleştirilmiş iki yaygın tür gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin (sürekli karartma ve otomatik

aç/kapat sistemleri) enerji performansını alan ölçüsü ile incelemiştir. Yaz ve kış aylarında yapılan ölçümlerden elde edilen değerlerden çıkarılan sonuç; aydınlığa bağlı olarak sürekli karartma kontrol sisteminin aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisinde yıllık olarak (%46) tasarruf sağladığını, otomatik aç/kapat sisteminin ise aydınlatma enerjisinden (%11 ile 17) arasında tasarruf sağladığını göstermiştir. Bu tasarruflar, oturulduğu ana zamanlarda sürekli karartma sistemi ile aydınlatma enerjisinde (%68) tasarruf sağlandığı, otomatik aç/kapat sistemi ile de (%31.5) oranında tasarruf sağlandığı anlamına gelmektedir [8].

Çomaklı K., Yüksel B. en uygun yalıtım kalınlığını tespit etmek amacıyla Türkiye'nin en soğuk şehirleri olan Erzurum, Kars ve Erzincan'ı seçmişlerdir. Optimum yalıtım kalınlığını ve (10) yıllık tasarrufu Türkiye'nin üç şehrinde hesaplamışlardır. Erzurum gibi iklimi soğuk olan bir şehirde (10) yıllık süredeki tasarrufu, duvar alanda ( $12.13718 \text{ \$/m}^2$ ) olarak hesaplamışlardır. Yıllık tasarrufa karşılık optimum kalınlık, analiz edilen üç şehrin yer aldığı Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği üzere, optimum olan kalınlık değerinin dışında bir kalınlık değeri seçmek toplam maliyeti arttıracaktır [9].



Şekil 2.1. Yalıtım kalınlığının yıllık tasarrufa etkisi.

Bakos G.C. Yunanistan'ın Kavala şehrindeki üç katlı özel ikamet amaçlı kullanılan bir binanın kaplamasına ısı yalıtımı uygulamasının sonucunu incelemiştir. Mahal ısıtma için tüketilen enerjiyi (kWh) ısı yalıtım öncesi ve sonrası karşılaştırarak enerji tasarrufunu hesaplamıştır. Isı yalıtımı yapıldıktan sonra, (1998-1999) yılları arasında elektrik tüketimi yaklaşık (%40) azalmıştır. Bu süre içerisinde, tasarruftan sağlanan para miktarı ısı yalıtımından kaynaklanan ilk yatırım maliyetinin geri ödeme süresinin kısalttığını da görmüştür [10].

Mahlia T., Iqbal A. Maldivler'de bir bina duvarlarında optimum kalınlıkta seçilen yalıtım materyalleri ve o duvarlardaki hava boşlukları ile sağlanacak olan potansiyel maliyet tasarrufu ve emisyon düşüşü ile ilgili araştırma yapmışlardır. Sonuçlar; kompozit duvarlarda optimum kalınlıkta seçilmiş yalıtım materyallerini kullanarak ve o duvarlardaki hava aralıkları ile iklimlendirilmiş binaların yakıt tüketimini ve emisyonunu azalttığını göstermektedir. Bu çalışma; optimum kalınlıkta olan farklı yalıtım materyalleri ve (2cm, 4cm ve 6cm) hava aralığı bırakarak enerji tüketimi ile emisyonun, yalıtımsız ve hava boşluksuz bir duvara göre (%65–77) oranında azalttığını göstermektedir [11].

Yu J. ve ark. Çin'de yaz mevsiminde ve kış mevsiminde farklı yönlerde bakan odalarda klimaların enerji tasarrufu ile ilgili odaların kaplamasının tasarımının yanı sıra, bazı stratejilerin klimaların elektrik tüketimi üzerindeki etkileri analiz etmişlerdir. Bu stratejiler, dış duvarın ısı yalıtımı, dış duvarın güneş radyasyonunu emmesi, pencerelerin duvara göre kapsadığı alan açısından oranı, cam kategorileri ve gölgeleme sistemleri ile iki birleşik stratejiyi kapsar. Sonuç; dış kısmın gölgelemesi ve dış duvarın ısı yalıtımının, klimanın elektrik tüketiminde (%11.31 ile 11.55) arasında tasarruf etmesini sağlamakla en iyi stratejiler olduğunu göstermiştir. Farklı stratejilerin optimizasyonu klimanın yıllık elektrik tüketimini (%25.92) orana kadar azaltılabilir ve soğutma ile ısıtma için elektrik tüketimleri de sırasıyla (%21.08 ile %34.77) oranlarında azalır [12].

Daouas N. soğutma ve ısıtma yüklerine dayanarak Tunus'ta tipik duvarlı bir yapıda optimum yalıtım kalınlığı ile sağlanacak olan enerji tasarrufu ve geri ödeme süresini

hesaplamıştır. Farklı duvar oryantasyonlarını dikkate alıp derece–gün modeli kıyaslaması yapmıştır. Bina yaşı (30) yıl hesaplanarak yapılan yaşam boyu maliyet analizi, güney yönünün (10.1cm) optimum yalıtım kalınlığı ile, (%71.33) oranında sağlandığı enerji tasarrufu ile ve (3.29) yıl geri ödeme süresi ile en ekonomik yön olduğunu göstermiştir. Sonuçlar; duvar yönünün, optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisinin az olduğunu ancak, hayat boyu enerji tasarrufu üzerindeki etkisinin büyük olduğunu, doğuya bakan duvarlar için (23.78 TND/m<sup>2</sup>) maksimum değere ulaştığını göstermektedir [13].

Bojic M. ve ark. binanın ısı transfer simülasyon yazılımını (HTB2) uygulayarak Hong Kong’da ikamet amaçlı kullanılan iki binanın soğutulmuş yerlerini saran duvarlara ısı yalıtımı uygulamanın etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla bu binaların ısınma davranışları üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışma, ikamet amaçlı kullanılan binaların dış kısmında ısı yalıtımının kullanılmasının yıllık maksimum soğutma ihtiyacını azalttığı ve bu ısı yalıtımının iç kısma veya dış kısma uygulanması ile yaklaşık (%10.5) oranında azalma görüldüğünü göstermiştir [14].

Aktacir M. ve ark. üç farklı yalıtım şeklinin (A, B ve C tip binalar) sonuçlarına dayanarak Adana’daki örnek bir bina ile ilgili olarak, ısı yalıtımının, havalı merkezi klima sistemi ile iklimlendirilen bu örnek binanın soğutma yükü ve soğutma sistemi üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar göstermektedir ki, C binasına uygulanan yalıtım kalınlığı optimum ısı yalıtım kalınlığıdır çünkü A ve B binaları için istenen ekstra gider sırasıyla (7990 Dolar ve 2908 Dolardır), ayrıca daha kalın yalıtımın sağladığı tasarruf (A ve B binaları için) çok değildir. A ve B binaları için ekstra yatırım ile sağlandığı yıllık tasarruf ve geri ödeme süresi Çizelge 2.1’de gösterilmektedir [15].

Çizelge 2.1. A ve B binaları için ekstra yatırımın sağladığı yıllık tasarruf ve geri ödeme süresi.

		A Binası	B Binası
Yıllık tasarruf (\$)	CAV	63	45
	VAV	117	72

Çizelge 2.1. (Devam) A ve B binaları için ekstra yatırımın sağladığı yıllık tasarruf ve geri ödeme süresi.

Geri ödeme süresi (yıl)	CAV	125	65
	VAV	68	40

Dimoudi A., Kostarela P. Yunanistan'ın C iklim bölgesindeki okul binalarının verilerine dayanarak enerji performansını değerlendirmişlerdir. Sonuçlar; ısı yalıtımının enerji tüketimini düşürdüğünü göstermektedir. Destek çerçevesine yapılan yalıtım, enerji tüketiminin (%13.34) oranında düşmesini sağlamıştır. Duvar yalıtım kalınlığının artması sıcaklık ihtiyacını azaltır ve bu sebeple enerji tüketimini de %5.58'e kadar düşürür. Farklı enerji tasarruf ölçüleri kombinasyonu (destek çerçevesi yalıtımı, duvar yalıtımının kalınlığının artırılması, hava geçirmezliğin artırılması, gölgeleme araçlarının sökülmesi), enerjinin (%28.75) oranında tasarruf edilmesini sağlamaktadır [16].

Radhi H. Bahreyn'de bir ofis binasının tasarımı ve kullanımı ile ilgili sistematik bir metodoloji geliştirip, ve bu binadaki enerji performansına etki eden tüm değişkenleri dikkate almıştır. Isı yalıtımının (U-Değeri  $0.2 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  çatıda kullanılması ile veya  $0.33 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  değeri ile duvarlarda kullanılması ile) elektrik tüketiminde (%1.0) azalma olur, sensör kullanarak ve yayma kuvveti düşük camla (U-Değeri  $1.48 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , SC: 0.02, ışık geçirme: 0.5) elektrikte (%29) tasarruf sağlanır, yayma kuvveti düşük lambalarla (%3.2), yayma kuvveti düşük ekipmanla (%7.2) ve sıcaklığın ayar noktasının değiştirilmesi ile (%10.7) oranında tasarruf sağlanır. Tasarruf değerleri toplandığında (%51.1) eder [17].

Mata E. ve ark. İspanya'da bir üniversite binasında mahal ısıtmada kullanılan gaz tüketimini azaltmak amacıyla 2006'nın Kasım ayı boyunca bina ile ilgili verileri toplamışlardır. Isıtma sistemi yönetimi, meşguliyet ve iklimsel değişiklikler gibi faktörler için kombine analiz yaparak bazı önlemleri almışlardır örneğin; bina alanlarını kullanmak, bina meşguliyetini programlamak ve ısıtma sistemini çalıştırıp kapatmak için bir protokol geliştirmek. Kasım 2006 ile Mart 2007 arasında ısıtma için kullanılan gaz tüketimi, (%62.7) gibi büyük bir oranda azalmıştır. Her birim

mekandaki gaz tüketimi (%57.5) oranında azalmıştır. 2006–2007 döneminde tüketim sadece (%75.9) oranında azalmakla kalmamış aynı zamanda daha sabit duruma gelmiştir. Ayrıca her birim mekan için elektrik tüketimi (%89.1) oranında azaltılmıştır [18].

Kim M. ve ark. Kore'nin Seul şehrinde bir üniversite binasının içindeki ısı konforun daha uygun olması için, o binada aralıklarla çalışan bir merkezi ısıtma sistemine bir aç/kapat kontrol sistemi uyguladıktan sonra deney ve dinamik simülasyonla çalışma yapmışlardır. Aralıklarla çalışan merkezi ısıtma, aç/kapat kontrolü ve takviye edilen yalıtımın etkisini hesapladıktan sonra içerideki havanın sıcaklığı ve enerji tasarrufu açısından karşılaştırmışlardır. Aç/kapat kontrolü, sıcaklığı daha uygun bir ayar da tuttuğu için, aç/kapat kontrolü ile sağlanan enerji tasarrufu sömestrde (%25) oranında olur, kış tatilinde ise (%37.9) oranında olur. Aç/kapat kontrolü, içerideki ortamın ısını konvansiyonel çalıştırıp kapatma planına göre daha iyi tutar ancak daha az enerji harcar. Takviye edilen yalıtımla, planlı kontrolle enerji tasarrufu (%10.1) oranında olur ve aç/kapat kontrolü ile (%53.1) oranında olur [19].

Dovjak M. ve ark. Kışın Slovenya'nın üç farklı iklimsel bölgesinde üç farklı dış duvar örneği için kararlı durum ekserji analizleri yapmışlardır. Mahal ısıtma için tüm arz talep zincirindeki kararlı durum ekserji tüketim analizini aşağıda belirtildiği şekilde beş alt sistemde yapmışlardır: (1) binanın dış kısmı, (2) odanın fan ile havalandırılması (3) ısı dönüştürücü (4) pompa ile su sirkülasyonu ve (5) kazan. Sonuçlar; yalıtımın etkisi kazan veriminin etkisinden çok daha fazla olduğunu göstermektedir. Her analiz basamağında, iyi yalıtılmış camlar ve dış duvar yalıtımı ile ısıtma ekserji yükünü hafifletmenin (Alp'larda 488W azalma, Karasal iklimde 469W azalma ve Ak Denizde 375W azalma) ısı verimi çok yüksek bir kazan geliştirmekten (Alp'larda 107W azalma, Karasal iklimde 103W azalma ve Ak Denizde 82W azalma) toplam ekserji tüketimini azaltmak amacıyla daha yararlı olacağını göstermektedir. En etkili çözüm bütünsel yaklaşımdır yani hem kazanların verimini arttırmak hem de binanın dış kısmına iyi bir şekilde ısı yalıtımı yapmaktır (Alp'larda 595W azalma, Karasal iklimde 572W azalma ve Ak Denizde 457W azalma) [20].



### 3. AYDINLATMA

Yaşamımızın her kısmında ışık vardır. Işık temel gereksinimlerimizden biridir. Çevremizi diğer duyularımızla da algılayabilir, tanımlayabiliriz kuşkusuz; ama gözümüz ile bu algılama ve tanımlama, çok daha kolay ve ayrıntı düzeyinde kesin olabilmektedir. Ancak, görebilmek için öncelikle ışık ve onun yansıyabildiği yüzeylerin olması şarttır. Günlük yaşamımızda, herhangi bir eylemi gerçekleştirmek için ışık yayan, yansıtan ya da geçiren bir nesnenin varlığı çoğunlukla yeterli olmamaktadır. Kısaca, bir mekânı herhangi bir kaynakla ışıklandırmak, aydınlatma olmamakta; sadece insanın sağa sola çarpmaması ya da çoğu kez, bir görsel eylemi büyük bir rahatsızlık duyumu içinde ve yalnızca kısa bir süre için gerçekleştirmesine olanak vermektedir. Bir çevrenin doğru aydınlatılması ile fizyolojik ve psikolojik açılardan görsel konfor koşullarına ulaştırılması önemlidir [21].

#### 3.1. Aydınlatmada Enerji Tasarrufu

Aydınlatma, elektrik tüketiminde önemli bir yer tutmaktadır. Isıtma-soğutma sistemlerinden sonra en büyük enerji tüketim kaynağı aydınlatma sistemleridir.

Aydınlatmada enerji tasarrufu, aydınlatmanın kalitesini düşürmeden ve iyi bir aydınlatmanın şartları yerine getirilerek yapılmalıdır. İyi bir aydınlatma, daha verimli aydınlatma elemanları ile sağlanacağı için, aynı aydınlatma seviyesinin daha az enerji tüketimi ile sağlanması mümkündür. Verimli bir aydınlatma ile hem daha az elektrik enerjisi tüketimi olacak, hem de göz sağlığı korunacaktır [22].

2 Mayıs 2007 tarihinde yürürlüğe giren ‘Enerji Verimliliği’ kanunu kapsamında kamu kuruluşlarında 2008 yılı içerisinde toplam (1.828.742) adet (75W) akkor flamanlı lamba yerine (1.758.954) adet (20W) kompakt flüoresan lamba kullanımına başlanmıştır.

Bu değişiklik ile mevcut elektrik tüketimi yılda 102MW kadar azaltılmıştır. 102 MW’lık bir elektrik santralının yatırım maliyeti; bir doğalgaz santrali için 100

milyon lira, kömür santrali için 125 milyon lira civarındadır. Üstelik bu santrallerin sürekli olarak yakıt ve işletme maliyetleri olacak ve hava kirliliğine de sebep olacaklardır.

Bir verimli lamba, bir yılda 25kg karbondioksit emisyonu azaltır. Bu miktar bir ağacın bir yılda emebileceği miktardan daha fazladır. Bu değerler aydınlatmada yapılan tasarrufun ne denli önemli olduğunu gösteren çarpıcı örneklerdir [23].

### **3.2. Aydınlatmada Enerji Tasarrufu Yöntemleri**

Konut amacıyla kullanılmayan binalardaki yöneticiler enerji masraflarını ve çevre üzerindeki etkilerini azaltacak teknolojiler ve metotlar aramaktadırlar. Hemen hemen tüm binalarda ışıklar olduğundan ışıklarda yenileme yapma yaygındır ve genelde yatırım açısında bir çekicilik arz eder. Konut amacıyla kullanılmayan binalarda aydınlatma amacıyla kullanılan elektrik, kullanılan tüm elektriğin büyük bir oranını oluşturmaktadır.

Aydınlatma tasarımcılarının iki amacı vardır:

- Yeterli miktarda ışık sağlamak.
- Yeterli kalitede ışık sağlamak.

Aydınlatma sistemlerinde enerjiyi azaltmak pahalı bir şey değildir. Bunu gerçekleştirme yöntemlerinden bazıları aşağıda yer almaktadır:

#### **3.2.1. Yanan lambaların sayısını azaltmak**

Bu, belli bir yerde aydınlatma düzeyini ölçmek ve bunu aydınlatma için belirlenen uluslararası standartlarla karşılaştırmakla mümkündür. Bu yöntem enerjinin büyük oranının tasarruf edilmesini sağlar çünkü bir lamba söküldüğünde o lambanın balastı da sökülmüş oluyor ki, bu da enerjinin tasarruf edilmesini sağlar.

### **3.2.2. Yüksek verimli lambalar kullanmak**

Lamba seçiminde, etkinlik faktörü (lümen/Watt) yüksek, uzun ömürlü, zamanla oluşan ışık akısı düşümü az olan lambalar tercih edilmelidir [22]. Örneğin verimli flüoresan lambalar, akkor lambalardan yaklaşık 10 kat daha uzun süre ile kullanılabilirler, 3 kat daha etkilidirler ve daha az elektrik tüketirler [24].

### **3.2.3. Aydınlatma armatürlerinde reflektör kullanmak**

Reflektörler, ışığı direkt aşağıya yansıtan cilalanmış “ayna benzeri” ekipmanlardır. Bu ekipmanlar ışık kaybının düşmesini sağlarlar. Daha etkili reflektörler kullanarak, daha az vat gücüne ihtiyaç olmasını sağlarlar [24].

### **3.2.4. Gün ışığını birinci aydınlatma kaynağı olarak kullanmak**

Gün ışığı, binaların tasarımında enerji tasarrufunu en fazla sağlayan araç olarak kullanılabilir. Gün ışığı, aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılmasıyla, büyük oranda enerji tasarrufu sağlayabilir ve böylece aydınlatmada kullanılan elektrik ihtiyacını azaltabilir.

Araştırmalar, güneş ışığının bina içinde kalanların sağlık ve performanslarını arttıracaklarını ortaya koymuştur. Örneğin, gün ışığının okul öğrencilerinin sağlık durumunu ve performanslarını arttırdığı rapor edilmiştir [25].

### **3.2.5. Aydınlatma kontrol sistemlerini uygulamak**

Aydınlatma kontrol sistemleri, aydınlatma kalitesini artırırken aydınlatma için kullanılan enerjiyi azaltmanın en iyi yoludur. Bu sistemler, mevcut binalarda aydınlatma amaçlı kullanılan enerjiyi %50 oranında yeni binalarda ise %35 oranında azalttıkları görülmüştür [26].

### 3.3. Aydınlatma Kontrol Sistemleri

Geçmişte, binalardaki aydınlatmayı kontrol etmenin birinci yolu ışıkların anahtarlarıydı. Kontrol amacıyla kullanılan donanım ve diğer teknolojik gelişmelerin maliyetlerinde azalma olduğundan dolayı, bina şartnamelerini hazırlayanlar artık daha fazla gelişmiş kontrol unsurlarını önermeye başlıyorlar. Binada oturanlara çevrelerinin daha kontrollü bir şekilde aydınlatılmasını sunarken, bu durum çok önemli miktarda enerji tasarrufu da sağlıyor.

Bugün, aydınlatma kontrol sistemleri yeni bir döneme giriyorlar. Bundan sonra sadece aydınlatma amacıyla kullanılan enerjide tasarruf sağlayan bir sistem değil aynı zamanda binaları kullananlara gerçek manada rahatlığı getiren unsur olacaklar [26].

İşletme maliyetlerini azaltmak ve aydınlatma sistemlerinin fonksiyonelliğini geliştirmek amacıyla aşağıdaki genel stratejiler aydınlatma sistemlerinin kontrolünde kullanılmaktadır:

#### 3.3.1. Programlama

Programlama zamana bağlı bir fonksiyondur, bundan dolayı en çok belli şeylerin belli saatlerde olduğu binalara uygundur. Programlama, ışıkları daha önce belirlenmiş bir programa uygun olarak açma, kapatma ve uyarlamadan ibaret bir aydınlatma kontrol stratejisidir. Programlama, zamana uyumlu ışık anahtarları ve saatli kilit yardımı ile uygulanabilir.

Saatli kilit, geçen zamana göre ışıkları söndürür. Bu zaman değişkendir ve kullanan kişinin ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir. Işıklar yandıktan hemen sonra, zaman saati da işlemeye başlar. Bu anahtarlar, programlanabilir elektronik anahtarlar veya zamanı ayarlanan yay yüklü mekanik anahtarlar olabilir. Saatli anahtarlar, yanlış açıp kapatmaya karşı duyarlıdır, mekânın sahibi içeride bile olsalar ayarlanan sürenin sonunda ışıklar kapanacaktır.

Ayarlı saatlerin programlanma kabiliyetleri yüksektir. Belli bir sürede ayarlanmak üzere programlanabilirler. Elektrik kesilmesi ihtimaline karşı batarya ile desteklenmektedirler ve birden fazla AÇ/KAPAT işlemine sahiptirler. Zamana göre ayarlanan Aç/Kapat fonksiyonundan dolayı, zaman ayarlı saatler küçük ticari binalarda, apartmanlardaki ortak kullanım alanlarında ve park mekânının aydınlatılmasında kullanılırlar. Bu cihazların en önemli kullanım yeri, karanlık olunca AÇILAN ve aydınlık olunca KAPANAN dış mekân kullanımında kullanılan ışıklardır [27].

### **3.3.2. Meşguliyeti hissetme**

Meşguliyeti hissetme, kontrol edilen mekânda kullanıcının varlığının algılanması için meşguliyet sensörlerinin kullanıldığı kontrol stratejisidir. Bu kontrol stratejisinde, kontrol edilen mekânda kullanıcının varlığı hissedildiğinde ışıklar yanar veya ışıkların aydınlatma seviyesi artar. Diğer tarafta, önceden belirlenen bir zaman için kontrol edilen yerde kimsenin varlığı hissedilmediğinde ışıklar tekrar kapanır veya ışıkların aydınlatma seviyesi düşer. Hissetme durumuna göre açma kapama süresi, ışıkların sık sık değişmeyeceği şekilde ayarlanır. Genel uygulamaya göre bu aralık 10 ile 30 dakika arasında ayarlanır. Meşguliyet sensörleri genelde özel ofisler, orta okul veya lise sınıfları, ders salonları, konferans salonları, ambarlar, depolar, tuvaletler ve dış mekân ışıklandırma alanları gibi giriş çıkışı durumu önceden bilinmeyen yerler için kullanılır. Ancak, giriş çıkışların önceden belli olduğu mekânlar için programlama tercih edilir çünkü ilk ve bakım maliyetleri düşüktür [26].

### **3.3.3. Gün ışığını etkin kullanma**

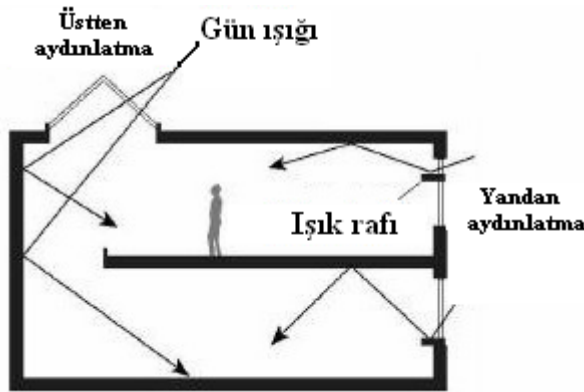
Gün ışığını etkin kullanma yöntemi, gün ışığını alan iç ve dış mekânları için uygulanabilen bir kontrol stratejisidir. Gün ışığını etkin kullanma ikiye ayrılabilir; yandan aydınlatma ve üstten aydınlatma ile gün ışığından yararlanma [26].

### Yandan aydınlatma

Yandan aydınlatma stratejisi, binanın duvarlarına yerleştirilmiş pencereler vasıtası ile ışığı kabul eden bir yöntemdir. Sonuç olarak pencerelere yakın yerler pencerelere uzak yerlere göre daha fazla ışık alır. Bundan dolayı, her yer aynı oranda aydınlanmaz.

### Üstten aydınlatma

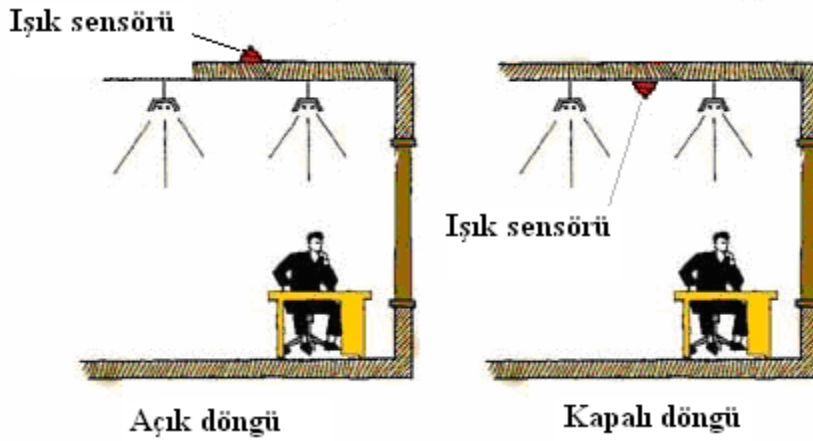
Üstten aydınlatma çatı delikleri kullanılarak tüm binanın gün ışığından yararlanılarak üstten aydınlatılması stratejisidir. Zemin şekli ve geometrisi ne olursa olsun, üstten aydınlatma stratejisi ise bina içi aynı oranda aydınlatılabilir.



Şekil 3.1. Kontrol edilen bölgede gün ışığı dağılımı [28].

Gün ışığından yararlanma sisteminin kullanılmasında, gün ışığının seviyesini belirlemek üzere stratejik bölgelere fotosensörler yerleştirilir. Kontrol sistemine bağlı olarak çalışan fotosensör iki adımda çalışır: birinci adımda fotosensör kontrol bölgesine gelen ışıkları sürekli olarak gözlemler ikinci adımda ise kontrol edilen bölgede ışığın istenilen minimum seviyede tutulması amacıyla lambaların ışığını değiştirmek için kontrolöre sinyal gönderir. Gün ışığına dayalı aydınlatma kontrolörlerinin avantajı, tepe enerji ihtiyacını azaltmak ve büyük oranda enerji tasarrufu sağlamalarıdır çünkü tepe enerji ihtiyacı gün ışığının en üst düzeyde olduğu zamanda ortaya çıkar [29][30].

Fotosensör kontrollü sistemler kapalı veya açık döngü sistemleri olabilirler. Açık döngü sisteminde, fotosensör tipik olarak binanın dışına yerleştirilir, elektrik ışığını sadece gün ışığı düzeyine göre kontrol eder. Kapalı döngü sisteminde ise, fotosensör kontrol yerinde gün ışığının yanı sıra elektrik lambalarının da aydınlatmaya katkılarını algılar.



Şekil 3.2. Gün ışığını etkin kullanmada açık ve kapalı döngü sistemleri [28].

### 3.3.4. Lümen kaybı telafisi

Lamba lümen kaybı (LLD), elektrik ışık sisteminin verimi zamanla azaldığı olgusudur. Lamba lümen kaybının nedenleri, lambanın kullanılmasından ötürü zamanla aşınmanın meydana gelmesi, lamba ve armatürler üzerinde toz ve kirliliğin birikmesidir. Lamba lümen kaybı kontrol sistemi, az çok gün ışığından faydalanma kontrolüne benzerdir. Bir fotosensör, lambalardan gelen ışık düzeyini gözlemler ve bu değeri kontrolöre aktarır. Kontrolör de gelen değeri olması gereken değerle karşılaştırır ve kontrolör de lambaların ışığını değiştirmek amacıyla karartma balastına düşük voltajlı kontrol sinyali oluşturur. Lambaların yeni ve odaların temiz olduğu halde beklenen ışık seviyesi daha az bir enerji ile sağlanır. Lambaların verimi düştükçe, ışığın beklenen seviyede kalması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur. Böylece lamba lümen kaybı, fazla masrafa girmeden beklenen değerde ışık üretmeyi (özellikle lambaların yeni olduğu dönemlerde) sağlayan ve böyle daha verimli bir aydınlatma sisteminin olmasını sağlayan bir stratejidir.

Gün ışığı ve lümenin bakım fonksiyonları için fotosensör gerekli olsa de tasarımcılar bu iki fonksiyonu bir arada kullanmaktan kaçınmalıdırlar çünkü lümen kaybının telafi edilme sensörleri genelde gün ışığından faydalanmak için kullanılanlardan daha fazla hassaslardır. Bu yüksek hassasiyetli fotosensörler, az bir gün ışığı ile ışıkların oldukça kararmasını sağlayabilirler. Ancak, az hassasiyetli gün ışığı kullanma fotohücreleri lambaların ömründen veya kirlilikten dolayı ışık düzeyinde oluşan değişikliği dikkate almayacaklardır [28].

### **3.3.5. Talebe cevap**

Talep, enerjinin harcandığı orandır. Belli bir zamanda daha fazla enerji gerekiyorsa, o zaman sistemin ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak için daha fazla enerji üretmesi ve dağıtım kapasitesini arttırması gerekmektedir. Tesisler, maksimum ihtiyaca göre müşterilerden gelen ihtiyaçları karşılarlar.

Talebe cevap (DR), dinamik fiyatlandırma veya talebe cevap kontrol etme mekanizmaları (talep sınırlaması ve talebin düşürülmesi) aracılığı ile müşterinin en üst düzeyde elektriği kullandığı zamanlarda elektrik kullanımını değiştirmektir [31].

#### Talep sınırlaması

Önceden belirlenmiş en üst talep limitleri aşılma üzere iken yükü düşürmektir veya hafifletmektir (aydınlatma ve HVAC yükleri).

#### Talep düşürme

En üst düzeydeki yükün geçici olarak azaltılmasını veya daha kısa bir zamanda uygulanabilen uygulamalara tekabül eder [31][32].

Talebe cevap stratejisi yeni bir kontrol stratejisidir ve uygulanabilmesi için kontrol sistemlerinin düzeyinin çok yüksek olması gerekmektedir. Bu durum, talebe cevap kontrol tekniğinin araştırma düzeyinde geliştirilmesini kısıtlamıştır [32].



### **3.4. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar**

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasındaki aydınlatma sistemleri ile ilgili mevcut tüm lamba türlerinin tükettiği elektrik miktarının hesaplanabilmesi için ve binada mevcut manyetik balastlı flüoresan lambaların enerji verimli elektronik olanlar ile değiştirilmesi ile sağlanabilecek enerji tasarrufu miktarını belirtmek amacıyla aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

#### **3.4.1. Fakülte binasında kullanılan aydınlatma elemanlarının türlerinin tespiti**

Fakülte binasında kullanılan lamba türleri şunlardır;

- T8 ve T12 standartlarında flüoresan lambalar. Bu lambalar sınıflar, amfiler, ofisler, koridorlar, kantin, sosyal faaliyet alanları ve laboratuarlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır.
- Akkor flamanlı lambalar: Bu tür lambalar merdivenlerin aydınlatılmasında kullanılmaktadır.
- Halojen lambalar: Halojen lambalar verdikleri beyaz ışık nedeniyle hollerde kullanılmaktadır.
- Kompakt flüoresan lambalar: Seminer salonunda kullanılmaktadır.

Fakülte binasında lamba sayısı, gücü ve türleri ise;

- 2702 adet T8-18 Watt flüoresan lamba.
- 3292 adet T8-36 Watt flüoresan lamba.
- 356 adet T12-20 Watt flüoresan lamba.
- 868 adet T12-40 Watt flüoresan lamba.
- 103 adet 100 Watt akkor flamanlı lamba.
- 98 adet 50 Watt halojen lamba.
- 60 adet 18 Watt kompakt flüoresan lamba.
- 620 adet boş armatür.

- 962 adet bozuk flüoresan.

#### Flüoresan lambalar

Fakülte binasında kullanılan flüoresanlar; T8-18Watt, T8-36Watt, T12-20Watt ve T12-40Watt olmak üzere dört çeşittir. Bu tür lambalar binada manyetik balastlı olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanları sınıflar, amfiler, koridorlar, tuvaletler, kantin, sosyal faaliyet alanları, laboratuvarlar ve ofisler olarak seçilmiştir. Verimli oldukları için binada en çok kullanılan lamba türüdür. Kullanım alanları doğru seçilmiştir.

#### Akkor flamanlı lambalar

Fakülte binasında sadece merdiven boşluklarının aydınlatmasında kullanılan bu lambalar fotosel devrelerle beraber kullanılmıştır. Diğer lamba türlerinden daha hızlı ışık vermeleri sebebiyle fotosel devre kullanılan yerlerde tercih edilirler. Kullanım alanları doğru şekilde tayin edilmiştir. Fazla sayıda olmadıkları için ve uzun süre çalışmadıkları için enerji tüketimleri çok fazla değildir.

#### Halojen lambalar

Sadece E,F-G-H Blok girişlerinde kullanılmıştır. Kullanım alanı ve süresi doğru seçilmiştir.

#### Kompakt flüoresan lambalar

Sadece seminer salonunda kullanılmaktadır. Kullanım alanı ve süresi doğru seçilmiştir.

Ayrıca fakülte binasında flüoresan lambalar için tekli, ikili, dörtlü armatürler; akkor flamanlı lambalar ve kompakt flüoresanlar için de klasik vidalı duylar kullanılmıştır. Flüoresan lambalar için kullanılan tekli armatürler T8-36W veya T12-40W lambalar

için, ikili armatürler T8-18W veya T8-20W lambalar için ve dörtlü armatürler ise T8-18W veya T12-20W lambalar için kullanılmıştır. T8 ve T12 standardında üretilmiş flüoresan lambalar aynı armatürlerde kullanılabilir.

#### **3.4.2. Fakülte binasında çalışan ve çalışmayan armatürlerin tespit edilmesi**

Fakülte binasındaki lambaların ve armatürlerin her kat ve her blok için ayrı ayrı çalışma durumları incelenmiştir.

#### **3.4.3. Fakülte binasında kullanılan aydınlatma ekipmanının günlük tükettiği enerjinin hesaplanması**

Fakülte binasında kullanılan flüoresan lambalar manyetik balastlı kullanılmaktadır. Manyetik balastlı flüoresanlar yaklaşık olarak (%18) daha fazla güce ihtiyaç duymaktadırlar.

❖ Binada mevcut manyetik balastlı flüoresan lambaların ve diğer lamba türlerinin tükettiği enerjinin hesaplanması;

- 2702 adet T8-18 Watt flüoresan lamba günlük 10 saat kullanımda kabul edilirse,

$$2702 \times 18[W] = 48636[W] = 48.636[kW]$$

$$48.636[kW] \times 10[h] = 480.36[kWh]$$

$$480.36[kWh] \times 1.18 = 566.8248[kWh]$$

- 3292 adet T8-36 Watt flüoresan lamba günlük 10 saat kullanımda kabul edilirse,

$$3292 \times 36[W] = 118512[W] = 118.512[kW]$$

$$118.512[kW] \times 10[h] = 1185.12[kWh]$$

$$1185.12[kWh] \times 1.18 = 1398.4416[kWh]$$

- 356 adet T12-20 Watt flüoresan lamba günlük 10 saat kullanımda kabul edilirse,

$$356 \times 20[\text{W}] = 7120[\text{W}] = 7.12[\text{kW}]$$

$$7.12[\text{kW}] \times 10[\text{h}] = 71.2[\text{kWh}]$$

$$71.2[\text{kWh}] \times 1.18 = 84.016[\text{kWh}]$$

- 868 adet T12-40 Watt flüoresan lamba günlük 10 saat kullanımda kabul edilirse,

$$868 \times 40[\text{W}] = 34720[\text{W}] = 34.72[\text{kW}]$$

$$34.72[\text{kW}] \times 10[\text{h}] = 347.2[\text{kWh}]$$

$$347.2[\text{kWh}] \times 1.18 = 409.696[\text{kWh}]$$

- 103 adet 100 Watt akkor flamanlı lamba günlük 1 saat kullanımda kabul edilirse,

$$103 \times 100[\text{W}] = 10300[\text{W}] = 10.3[\text{kW}]$$

$$10.3[\text{kW}] \times 1[\text{h}] = 10.3[\text{kWh}]$$

- 98 adet 50 Watt halojen lamba günlük 1 saat kullanımda kabul edilirse,

$$98 \times 50[\text{W}] = 4900[\text{W}] = 4.9[\text{kW}]$$

$$4.9[\text{kW}] \times 1[\text{h}] = 4.9[\text{kWh}]$$

- 60 adet 18 Watt kompakt flüoresan lamba günlük 1 saat kullanımda kabul edilirse,

$$60 \times 18[\text{W}] = 1080[\text{W}] = 1.08[\text{kW}]$$

$$1.08[\text{kW}] \times 1[\text{h}] = 1.08[\text{kWh}], \text{ güç harcamaktadır.}$$

- Günlük tüketilen toplam güç;

$$566.8248 + 1398.4416 + 84.016 + 409.696 + 10.3 + 4.9 + 1.08$$

$$= 2475.2584 [\text{kWh}]$$

❖ Mevcut manyetik balastlı flüoresan lambaların elektronik olanlar ile değiştirilmesi durumunda ve diğer lamba türlerinin tükettiği enerjinin hesaplanması;

- 2702 adet T8-18 Watt flüoresan lamba günlük 10 saat kullanımda kabul edilirse,

$$2702 \times 18[W] = 48636[W] = 48.636[kW]$$

$$48.636[kW] \times 10[h] = 480.36[kWh]$$

- 3292 adet T8-36 Watt flüoresan lamba günlük 10 saat kullanımda kabul edilirse,

$$3292 \times 36[W] = 118512[W] = 118.512[kW]$$

$$118.512[kW] \times 10[h] = 1185.12[kWh]$$

- 356 adet T12-20 Watt flüoresan lamba günlük 10 saat kullanımda kabul edilirse,

$$356 \times 20[W] = 7120[W] = 7.12[kW]$$

$$7.12[kW] \times 10[h] = 71.2[kWh]$$

- 868 adet T12-40 Watt flüoresan lamba günlük 10 saat kullanımda kabul edilirse,

$$868 \times 40[W] = 34720[W] = 34.72[kW]$$

$$34.72[kW] \times 10[h] = 347.2[kWh]$$

- 103 adet 100 Watt akkor flamanlı lamba günlük 1 saat kullanımda kabul edilirse,

$$103 \times 100[W] = 10300[W] = 10.3[kW]$$

$$10.3[kW] \times 1[h] = 10.3[kWh]$$

- 98 adet 50 Watt halojen lamba günlük 1 saat kullanımda kabul edilirse,

$$98 \times 50[W] = 4900[W] = 4.9[kW]$$

$$4.9[\text{kW}] \times 1[\text{h}] = 4.9[\text{kWh}]$$

- 60 adet 18 Watt kompakt flüoresan lamba günlük 1 saat kullanımda kabul edilirse,

$$60 \times 18[\text{W}] = 1080[\text{W}] = 1.08[\text{kW}]$$

$$1.08[\text{kW}] \times 1[\text{h}] = 1.08[\text{kWh}], \text{ güç harcamaktadır.}$$

- Günlük tüketilen toplam güç;

$480.36 + 1185.12 + 71.2 + 347.2 + 10.3 + 4.9 + 1.08 = 2100.16 [\text{kWh}]$ , olarak hesaplanır.

#### **3.4.4. Fakülte binasında kullanılan aydınlatma ekipmanının günlük tükettiği enerjinin maliyet hesabı**

- Manyetik balastlı kullanımda günlük elektriğin maliyeti;

$$2475.2584[\text{kWh}] \times 30.257 \left[ \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} \right] = 74893.89[\text{kr}] \cong 749.00[\text{TL}].$$

- Elektronik balastlı kullanımda günlük elektriğin maliyeti ise;

$$2100.16[\text{kWh}] \times 30.257 \left[ \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} \right] = 63544.54[\text{kr}] \cong 635.50[\text{TL}].$$

#### **3.4.5. Fakülte binasında mevcut flüoresan lambalar için elektronik balast kullanılması durumunda geri ödeme süresinin hesaplanması**

İki tip balast kullanımı arasında ciddi bir tüketim farkı vardır. Ancak elektronik balastların kurulum maliyetleri oldukça yüksektir.

Fakülte binasında elektronik balast kullanımı için 1040 adet T8-18 Watt ve T12-20 Watt flüoresan lambalar için dörtlü balast, 720 adet T8-36 Watt ve T12-40 Watt

flüoresan lambalar için ikili balast, 2720 adet T8-36 Watt ve T12-40 Watt flüoresan lambalar için tekli balast gerekmektedir.

Bu ekipmanın maliyeti ise;

$$1040 \times 22.00[\text{TL}] = 22880[\text{TL}]$$

$$720 \times 22.00[\text{TL}] = 15840[\text{TL}]$$

$$2720 \times 16.00[\text{TL}] = 43520[\text{TL}].$$

- Toplam yatırım maliyeti ise;

$$22880 + 15840 + 43520 = 82240[\text{TL}].$$

- Geri ödeme süresi hesaplanırsa;

$$749.00 - 635.50 = 113.50 \frac{[\text{TL}]}{[\text{gün}]}, \text{günlük tasarruf miktarı.}$$

Lambaların ayda (22) gün ve yılda (9) ay çalıştığı kabul edilirse yıllık işletme süresi (198 gün/yıl) olacaktır.

$$113.50 \frac{[\text{TL}]}{[\text{gün}]} \times 198 \frac{[\text{gün}]}{[\text{yıl}]} = 22473 \frac{[\text{TL}]}{[\text{yıl}]}, \text{yıllık tasarruf miktarı.}$$

$$\begin{aligned} \text{Geri ödeme süresi} &= \frac{\text{Toplam yatırım maliyeti}[\text{TL}]}{\text{Yıllık tasarruf} \frac{[\text{TL}]}{[\text{yıl}]}} \\ &= \frac{82240[\text{TL}]}{22473 \frac{[\text{TL}]}{[\text{yıl}]}} \cong 3.7[\text{yıl}]. \end{aligned}$$

### 3.5. Fakülte Binasının Belirlenen Alanlarında Aydınlatma Düzeylerinin Ölçülmesi

Fakülte binasında belirli alanların aydınlatma düzeyleri lüksmetre ile ölçüldükten sonra, ölçülen aydınlatma düzeyleri Çizelge 3.1’de tavsiye edilen aydınlatma düzeyleri ile karşılaştırılarak o düzeylerin yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Ölçülen aydınlatma düzeyleri ölçüm yapılan bölgelerin tam orta noktasından, yerden (90-100 cm) yükseklikten yapılmıştır.

Ölçümler sabah (08:30-10:30), öğle (11:30-13:30), akşam (16:30-18:30) saatleri arasında aydınlatma elemanları açık ve kapalı iken ayrı ayrı yapılmıştır.

Bütün blokların giriş katları, dördüncü katları ve en üst katlarından seçilen koridor, derslik, sosyal alan ve ofislerin aydınlatma düzeyleri ölçülmüş ve bu düzeylerin yeterliliği kontrol edilmiştir. Aşağıdaki çizelgede bazı ortamlar için tavsiye edilen aydınlatma düzeyleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Bazı ortamlar için tavsiye edilen aydınlatma düzeyleri.

Bina	Aydınlatılması İstenen Mekân	Tavsiye Edilen Aydınlatma Düzeyi ( Lüks )
İdari Binalar	Bilgisayarların Bulunduğu Ortam	300-500
	Desinatörlerin Çalışma Alanı	1000
Okullar ve Üniversiteler	Dershaneler-Anfityatro	300
	Laboratuar- Yazı Tahtası	500
Dış Mekân Çalışma Alanı	Bina Girişi-Hol	300
	Merdivenler-Koridor	100-300
Yaşam ve Eğlence Alanları	Ev Aydınlatması	150
	Eğlence Salonu	300
	Öğrenci Ev Ödevi Salonu	300
	Yatak Odası	200
	Otel Resepsiyonu-Hol-Mutfak	300
	Yemek Odası	200



### 3.5.1. Fakülte binasının ölçülen aydınlatma düzeyleri

Yapılan ölçümler ve gerekli aydınlatma düzeyleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir;

Çizelge 3.2. Eski bina zemin katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.

Ölçüm Yapılan Alan	Ölçülen Aydınlatma Düzeyi (lx)						Gerekli Aydınlatma Düzeyi (lx)
	Sabah		Öğle		Akşam		
	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	
Eski Bina Zemin Kat Giriş	914	720	480	290	298	116	100-300
Eski Bina Zemin Kat Ana Koridor	314	90	258	33	232	12	100-300
Eski Bina Zemin Kat İnternet Erişim Alanı	366	98	358	79	298	28	300-500
Eski Bina Zemin Kat Koridor	274	32	244	17	210	6	100-300
Eski Bina Zemin Kat Kantin	340	184	871	643	189	122	300-500

Çizelge 3.3. Eski bina 2. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.

Ölçüm Yapılan Alan	Ölçülen Aydınlatma Düzeyi (lx)						Gerekli Aydınlatma Düzeyi (lx)
	Sabah		Öğle		Akşam		
	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	
Eski Bina 2. Kat 201 Numaralı Derslik	920	226	410	152	389	63	300-500
Eski Bina 2. Kat 204 Numaralı Derslik	460	226	968	737	383	121	300-500
Eski Bina 2. Kat Sosyal Faaliyet Alanı	951	257	401	314	195	94	100-300
Eski Bina 2. Kat Ana Koridor	297	84	133	45	121	15	100-150

Çizelge 3.3. (Devam) Eski bina 2. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.

Eski Bina 2. Kat 208 Numaralı Derslik	310	42	331	75	330	8.7	300-500
Eski Bina 2. Kat 224 Numaralı Derslik	495	324	1044	880	364	124	300-500
Eski Bina 2. Kat 213 Numaralı Derslik	725	210	327	110	265	53	300-500

Çizelge 3.4. Eski bina 4. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.

Ölçüm Yapılan Alan	Ölçülen Aydınlatma Düzeyi (lx)						Gerekli Aydınlatma Düzeyi (lx)
	Sabah		Öğle		Akşam		
	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	
Eski Bina 4. Kat Sosyal Faaliyet Alanı	1048	792	436	246	284	136	100-300
Eski Bina 4. Kat 405 Numaralı Derslik	384	176	342	157	281	123	300-500
Eski Bina 4. Kat 404 Numaralı Derslik	672	594	1034	840	-----	-----	300-500
Eski Bina 4. Kat Okuma Salonu	624	412	688	498	386	140	300-500

Çizelge 3.5. E Bloğun ölçülen aydınlatma düzeyleri.

Ölçüm Yapılan Alan	Ölçülen Aydınlatma Düzeyi (lx)						Gerekli Aydınlatma Düzeyi (lx)
	Sabah		Öğle		Akşam		
	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	
E Blok Zemin Kat	334	334	350	350	77	77	100-300
E Blok 1. Kat	430	115	410	86	349	32	100-300
E Blok 4. Kat	122	94.4	168	80	66	6.3	100-300
E Blok 4. Kat Bölüm Başkanı Yardımcısı Odası	-----	-----	480	64	-----	-----	300-500

Çizelge 3.6. F.G.H. Blok zemin katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.

Ölçüm Yapılan Alan	Ölçülen Aydınlatma Düzeyi (lx)						Gerekli Aydınlatma Düzeyi (lx)
	Sabah		Öğle		Akşam		
	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	
F.G.H. Blok Zemin Kat Giriş	734	649	529	447	153	104	100-300
F.G.H. Blok Zemin Kat 1. Koridor	74	47	33	18	14.5	4.2	100-300
F.G.H. Blok Zemin Kat 2. Koridor	132	3	157	19.1	109	0.5	100-300
F.G.H. Blok Zemin Kat 3. Koridor	17.23	7.4	18.78	2.33	10	0.2	100-300
F.G.H. Blok Zemin Kat 5. Koridor	192	117	158	79	92	14	100-300
F.G.H. Blok Zemin Kat 6. Koridor	82.5	3.5	73	2.2	56	0.4	100-300
F.G.H. Blok Zemin Kat 7. Koridor	87	45	104	1.1	54	0.2	100-300
F.G.H. Blok Zemin Kat 8. Koridor	62	19.4	65	18	43	2.2	100-300

Çizelge 3.7. F.G.H. Blok 1. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.

Ölçüm Yapılan Alan	Ölçülen Aydınlatma Düzeyi (lx)						Gerekli Aydınlatma Düzeyi (lx)
	Sabah		Öğle		Akşam		
	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	
F.G.H. Blok 1. Kat 1. Koridor	107	64.2	68	21	94	4.3	100-300
F.G.H. Blok 1. Kat 2. Koridor	95.7	31	24	0.8	95	0.3	100-300
F.G.H. Blok 1. Kat 3. Koridor	105	1.2	94	0.7	104	0.4	100-300

Çizelge 3.7. (Devam) F.G.H. Blok 1. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.

F.G.H. Blok 1. Kat 5. Koridor	101	5.1	94	2.4	94	0.8	100-300
F.G.H. Blok 1. Kat 6. Koridor	176	24	162	10	97	2.4	100-300
F.G.H. Blok 1. Kat 7. Koridor	94	2.2	92	0.9	84	0.4	100-300
F.G.H. Blok 1. Kat 8. Koridor	172	32	160	21	142	5	100-300

Çizelge 3.8. F.G.H. Blok 4. katın ölçülen aydınlatma düzeyleri.

Ölçüm Yapılan Alan	Ölçülen Aydınlatma Düzeyi (lx)						Gerekli Aydınlatma Düzeyi (lx)
	Sabah		Öğle		Akşam		
	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	
F.G.H. Blok 4. Kat Öğretim Üyesi Odası	-----	-----	307	110	377	22	300-500
F.G.H. Blok 4. Kat 1. Koridor	136	44	144	49	68	8	100-300
F.G.H. Blok 4. Kat 2. Koridor	46	4.2	55	0.75	11	2	100-300
F.G.H. Blok 4. Kat 3. Koridor	93	2.8	97	5.2	93	0.3	100-300
F.G.H. Blok 4. Kat 4. Koridor	112	7.2	105	1.76	62	0.6	100-300
F.G.H. Blok 4. Kat 5. Koridor	95.6	2.1	98	2.1	93	0.6	100-300
F.G.H. Blok 4. Kat 6. Koridor	8.9	3.5	7.3	5.6	8.4	1.1	100-300
F.G.H. Blok 4. Kat 7. Koridor	92	2.2	98	2.2	89	0.5	100-300
F.G.H. Blok 4. Kat 8. Koridor	159	57	154	53	84	28	100-300

Çizelge 3.3'te görüldüğü gibi sabah saatlerinde bazı derslikler için lambalar açık durumda iken ölçülen aydınlatma düzeyleri o alan için gerekli olan maksimum aydınlatma düzeyinden daha yüksektir, lambalar kapalı durumda ise ölçülen aydınlatma düzeyleri gerekli olan minimum aydınlatma düzeyinden daha düşüktür. Bu durumda sözü edilen alanlarda istenilen aydınlatma düzeyini sağlamak amacıyla (gün ışığına duyarlı yapay ışık miktarını kısma) kontrol sisteminin kullanılması önerilebilir. Böylece hem yapay aydınlatmadan kaynaklanan enerji tüketimi azalır hem de söz konusu olan dersliklerde bulunan öğrencilere iyi bir görsel konfor koşulları sağlanarak onların sağlık ve performansları artar.

Çizelge 3.5'te görüldüğü gibi E Blok giriş katta bulunan lambaların tamamı bozuk olması sebebiyle aydınlatma sistemi açık ve kapalı iken sisteme yapılan ölçümler aynı sonuçları vermiştir. Ancak geniş pencere yüzeyine sahip olması sebebiyle gündüzleri aydınlatma seviyesinde bir problem oluşmamaktadır.

F.G.H. Bloklardaki öğretim üyeleri ofislerinde (4) lamba bulunmaktadır. Hepsinin çalışır durumda olması halinde odalar için aydınlatma seviyesi yeterlidir. Bazı odalardaki arızalı ve boş armatürler gündüzleri çok sorun olmasa da akşamları aydınlatma seviyesini yeterli düzeyde sağlayamamaktadır.

## 4. ISI YALITIMI

Isı, bir enerjidir ve farklı sıcaklıklara sahip mekânlarda; sıcaklığın yüksek olduğu taraftan düşük olduğu tarafa doğru geçme eğilimi gösterir. Isı bu geçiş esnasında, mekânlar arasındaki malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına bağlı olarak bir dirençle karşılaşılır. En genel anlamda ısı yalıtımı, ısı geçişini azaltan bir dirençtir.

Isı yalıtımı, kapalı mekânların iç sıcaklıklarını istenilen düzeyde tutabilmek için, dış iklim koşullarına karşı yapılan ısıtma-soğutma işlemlerinde kullanılan enerji tasarrufu sağlamak, çevre sorunlarını çözmek ve hava kirliliğini azaltmak için yapılarda alınan her türlü önlemler bütünüdür [33].

### 4.1. Yapılarda Isı Yalıtımının Önemi

Isı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru geçme ve kendini dengeleme eğilimindedir. Soğuk kış aylarında istenen iç ortam sıcaklığına ulaşmak için yakıt tüketen ısıtma sistemleri çalıştırılmaktadır. Yalıtımı olmayan veya eksik yalıtımlı mekânlarda ısı konfor sağlanmadığı için ısıtma sistemine daha çok iş düşmekte, yakıt sarfiyatı artmaktadır. Isı yalıtımı ile ısıtma tesisatı ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşmekte, enerji kaynakları bakımından fakir ve dışarıya bağımlı ülkemiz için enerji tasarrufu yapılmaktadır [34].

Türkiye 4 derece/gün bölgesine ayrılmıştır. 1.derece gün bölgesindeki şehirlerimizde yaz aylarında dış sıcaklık 40–45°C'lere ulaşmaktadır. Bu şehirlerdeki ısı yalıtımının faydası, kışın harcanan ısıtma giderlerinde, yazın harcanan soğutma giderlerinde görülmektedir. Soğutma giderleri de ısıtma işlemine kıyasla 3–6 kat daha fazla maliyete sahiptir. Dış sıcaklığın iç sıcaklıktan fazla olduğu bir mekânda yeterli yalıtım yapılırsa, dışarıdan içeri ısı geçişi azalır. Soğutma sisteminin minimum seviyelerde çalışması sağlanarak enerji tasarrufu yapılır [34].

## **4.2. Isı Yalıtımının Çevre, Enerji Tasarrufu ve Isıl Konfora Etkileri**

Isıl konfor, bir insanın sağlıklı ve üretken olabileceği ısı parametrelerin sağlanması olarak tanımlanmaktadır. Isıl konfor sağlanmadığında tüketilen yakıt sadece binayı değil atmosferi ısıtmakta, gereğinden fazla yakıt tüketilmektedir. Tüketilen yakıtın fazla olması binanın kullanım maliyetini yükseltirken, aynı zamanda yakıtların atmosfere verdikleri zararlı gazlar çevre kirliliğini arttırmaktadır [35].

Enerji tüketimi ülkelerin en önemli sorunlarından biridir. Enerji üretiminin az olması ve aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, enerji korunumunu zorunlu hale getirmiştir. Enerji korunumu, binalarda enerji tüketimini azaltarak sağlanabilir [36].

### **4.2.1. Isı yalıtımı çevrenin korunmasına katkı sağlar**

Isıl konfor koşullarını sağlamak için, ısıtma gereksinmesinde görülen artışa karşın; ısıtmada kullanılan enerji kaynakları (kömür, petrol,...) azalmakta, ısıtma maliyetleri artmakta, dış havaya atılan kirleticiler insan sağlığına zarar vermektedir. Bu problemlerin çözümü için ısıtma enerjisi harcamalarının minimum düzeye indirgenmesi, ısı kayıplarının azaltılması ve dolayısıyla ısı yalıtımı kullanımı gerekli olmaktadır. Kullanıcı sağlığı düşünüldüğünde, binalarda ısı yalıtımı kullanımı ile ısı kayıplarının azaltmanın en önemli nedenlerinden birisi de enerji kökenli hava kirliliğidir. Türkiye’de enerji tüketiminden kaynaklanan SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, toz ve diğer emisyonlar bölgesel ölçekte önemli sorunlara yol açmaktadır. Özellikle kış aylarında yaşanan, insanları, ürünleri ve doğal yaşamı tehdit edici boyutlara ulaşan hava kirliliğine en büyük katkı enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır [37].

### **4.2.2. Isı yalıtımı enerji tasarrufu sağlar**

Ülkemizin bilinen başlıca enerji kaynakları; taş kömürü, linyit, petrol, doğalgaz, hidroelektrik vb. olarak sıralanabilir. Bu kaynaklarla enerji gereksiniminin ancak sınırlı bir bölümü karşılanabilmektedir. Ülkemiz enerji kaynakları yönünden yeterli

olmayıp tükettiği enerjinin büyük bir bölümünü ithal etmek zorunda kalmıştır. Ülkemizin enerji kaynaklarını korumak, temiz bir çevrede yaşamak ve ekonomik varlığımızı geliştirebileceğimiz için enerji tasarrufuna gereken önemin verilmesi gerekmektedir. Günden güne enerji kaynaklarının azalması ile ısınma giderlerinin pahallaşması, yapıların ısı yalıtımı kurallarına uyulması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Isı yalıtımı sayesinde, ısıtma, soğutma giderleri azalır ve yapılarda konforlu bir ortam oluşarak enerji tasarrufu sağlanır [38].

Bina kabuğu, yalıtım ve maliyet enerji tasarrufunda değerlendirilmesi gereken önemli parametrelerdendir. Bina kabuğu için, malzemelerin fiziksel özellikleri, kalınlık ve yapım şekli önemlidir. Isı yalıtım eklenmesiyle, bina kabuğundan maksimum performans beklenir, binanın ilk yatırım maliyetini artırır. Enerji ihtiyacını en az maliyetle karşılamak temel kuraldır. Ekonomik analiz yaparak, ısıtma enerjisi ve yalıtım maliyetine bağlı olan, toplam maliyeti belirlemek gerekir. Yalıtım kalınlığı minimum maliyet için önemlidir [39].

#### **4.2.3. Isı yalıtımı ısı konfor sağlar**

Konfor en genel olarak, kişinin etrafıyla bir sorunu olmaması hali olarak tanımlanabilir. Bir odadaki hava, odada bulunan kişilerin kendilerini iyi hissetmelerini ve çalışma kapasitelerinin önemli ölçüde etkiler.

İç yüzey sıcaklığı konfor ortamının belirlenmesinde önemli bir faktör olmaktadır. İç yüzey sıcaklıklarının konfor sıcaklıklarında tutulması, yakıt tüketimini de azaltacaktır. İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması hava akımlarını artıracığından, iç ortam sıcaklığı normal düzeyde olsa bile konforsuzluk ortaya çıkaracaktır. İç yüzey sıcaklığının düşük olması, duvarın ısı yalıtımsızlığından kaynaklanmaktadır. İç yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığına 2–3°C gibi yakın sıcaklık farklarında olmasının konfor hissi yarattığı belirtilmektedir. Çizelge 4.1’de çeşitli konfor durumları için iç ortam sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir [34].



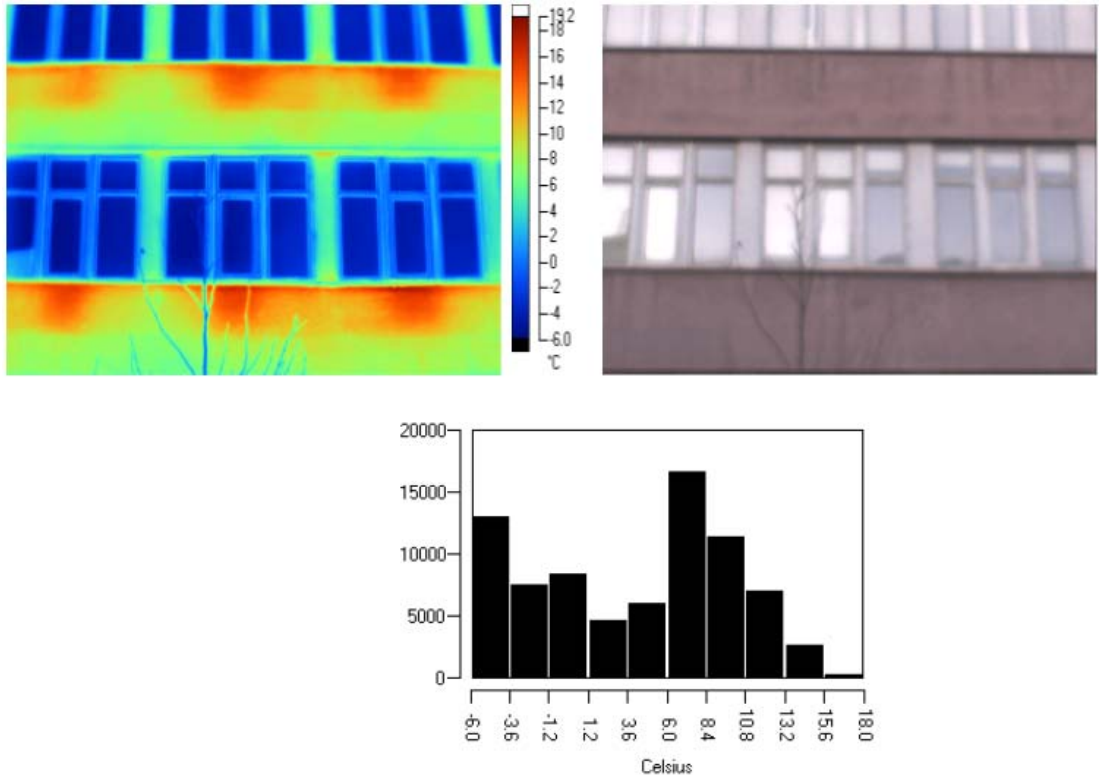
Çizelge 4.1. İç ortam ( $t_i$ ) ve iç yüzey sıcaklıkları ( $t_{iy}$ ) arasındaki farka göre konfor şartları [34].

$t_i - t_{iy}$	Konfor Durumu
2	Çok konforlu
3	Konforlu
4	Az konforlu
6	Konforsuz
8.5	Soğuk
> 8.5	Çok soğuk

İç yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklıkları arasındaki farkı azaltmak için ısı yalıtımı gerekir. Isı yalıtımı ile mekânın her noktasında homojen bir sıcaklık sağlanır ve hava akımları engellenir. Bu da hem konforlu hem de sağlıklı bir ortam sağlar [34].

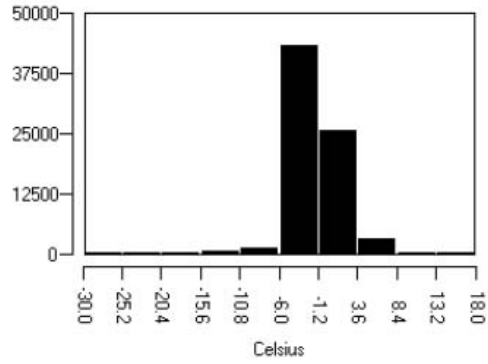
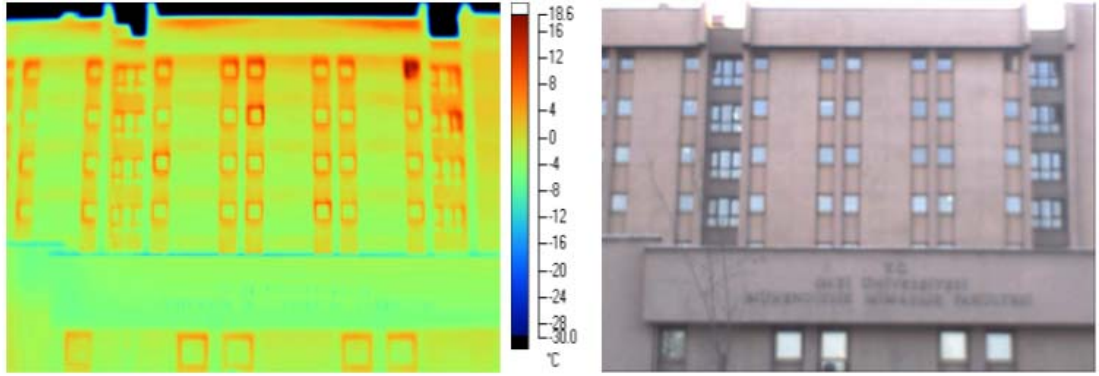
### 4.3. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasını oluşturan blokların dış duvarları için 02.02.2011 tarihinde termal kamera ile termografik görüntüler çekildi. Görüntülerdeki sıcaklık dağılımları incelenerek binadan olan ısı kaybı yerleri tespit edilmiştir. Çekilen görüntülerin bir kısmı Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te gösterilmiştir, diğer kısmı ise ekler bölümünde yer almaktadır.



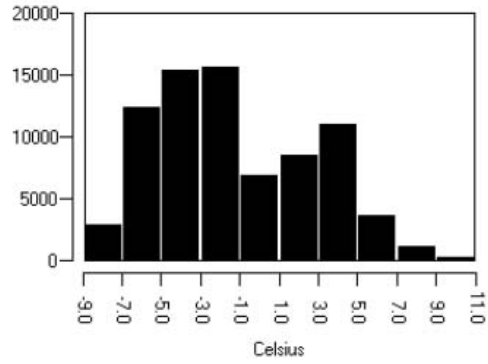
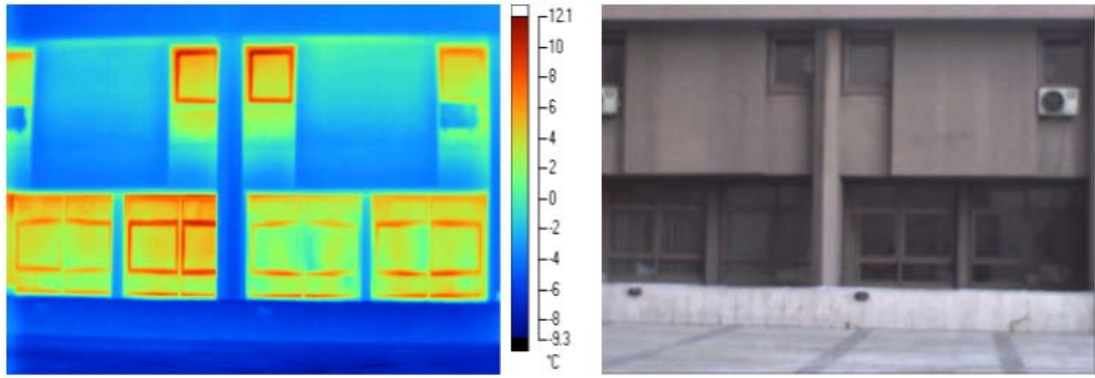
Şekil 4.1. Fakültenin eski binası için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi radyatör arkalarındaki duvarların sıcaklığı ( $19^{\circ}\text{C}$ ) civarındadır. Bu ısı kaybı diğer yerlerden (duvarlar, pencereler vs.) olan ısı kayıp miktarları ile kıyasla daha yüksektir çünkü dışarıya ile en çok sıcaklık farkı olan yer radyatör arkalarıdır. Bu nedenle radyatör arkasının yalıtılması önemli bir ısı kaybını ortadan kaldırmaktadır. En ideali daha inşaat aşamasında radyatör arkasındaki duvarlara yalıtım tabakası konulmasıdır, ancak fakülte binası gibi mevcut binalarda radyatör arkasının prefabrik folyo kaplı yalıtım malzemeleri ile yalıtılması mümkündür.



Şekil 4.2. Fakültenin F.G.H. Blokları için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı

Klasik yapı elemanı olan tuğladan inşa edilen fakülte binası, yalıtımsız olan binanın dış duvarlarından ısı kaybına daha fazla neden olmaktadır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi bina dış cephesinde yer alan kirişler ve kolonlar ısı köprüleri oluşturmaktadırlar. Bu durumda binanın dış duvarlarına dıştan yalıtımın uygulanması tercih edilmelidir çünkü dış duvarların içten yalıtılması durumunda bu ısı köprüleri yok edilmez. Ayrıca fakülte binası eski bir yapı olduğu için dıştan yalıtım yeni binalarda olduğu kadar eski binalara da uygulanabilir.



Şekil 4.3. Fakültenin I Bloğu için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı

Şekil 4.3 incelendiğinde pencerelerin yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum pencerelerden olan ısı kayıplarının daha fazla olduğu şeklinde yorumlanabilir. Enerji verimliliği bağlamında bazı önlemler alınarak pencerelerin iyileştirilmesi ile pencerelerden olan ısı kayıpları en aza indirilebilir. Örneğin ısı iletkenliği düşük olan cam tipleri tercih edilmelidir, pencere çerçevelerinin ısı iletkenliği düşük olmalıdır ve tek cam yerine çift cam kullanılmalıdır.

## **5. ISITMA**

### **5.1. Isıtma Sistemleri Çeşitleri**

Temelde, kullanımda üç farklı ısıtma sistemi vardır:

- Birinci olanak, bir odaya yerleştirilen ve bu oda için tasarlanmış tek oda için ısıtıcı kullanımıdır.
- İkinci olanak, binada merkezi bir ısıtma sistemi kullanmaktır. Bu ısıtma sistemi bina için ortak olarak kullanılmak üzere binanın mahzenine yerleştirilir.
- Üçüncü olanak bazı binaların veya binaların çoğunun merkezi bir yerde kurulmuş bir ısıtma sistemi ile ısıtıldığı bölgesel ısıtma sistemini kullanmaktır [40].

#### **5.1.1. Tek odaya mahsus ısıtma sistemi**

Bu sistemin avantajı, ısının direkt olarak ısıtılan mekânda üretiliyor olması ve pahalı bir dağıtım sistemine ihtiyacın olmamasıdır. Bundan dolayı tek ısıtıcıların kurulması daha kolaydır ve bunların kurulma maliyetleri daha düşüktür. Verimin az olması fazla yakıt tüketimine ve böylece daha fazla işletme maliyetinin ortaya çıkmasına yol açar. Bunun yanı sıra, bu tür bir ısıtma sisteminin kontrolünün ayarlanması da zordur ve bundan dolayı kullanıcı için konfor açısından sıkıntılar yaratabilir. Bu sisteme örnek olarak gaz ve petrolün kullanıldığı tekli ısıtıcılar ve elektrikli ısıtıcılardır [40].

#### **5.1.2. Merkezi ısıtma**

Bu sistemin ana özelliği, ısının ısıtılan odaların dışında üretilmesidir. Isı, istenen bölgelere su veya hava dağıtım sistemi ile transfer edilebilir. Bu sistemlerin avantajı küçük oda ısıtma sistemlerinin gerekli olmaması - merkezi ısıtmanın bundan dolayı daha konforlu olmasıdır. Merkezi ısıtma sisteminin verimi de daha yüksektir, hem yakıt maliyeti daha azdır hem de çevre kirliliği daha azdır. Bu sisteme örnek olarak gaz, petrol veya kömürle çalışan ısıtıcıların yanı sıra elektrikli veya çevre dostu biokütle ısıtma sistemleri de verilebilir [40].

### 5.1.3. Bölgesel ısıtma

Bölgesel ısıtma sisteminde, su bir güç santrali ya da bir çöp yakma fırınında ısıtılıyor ve daha sonra borularla müşterilere transfer ediliyor. Bu sistemin avantajı, ısının her zaman olması ve insanların ısıtma için uğraşmak zorunda olmamalarıdır. Petrol, kömür ve odunla çalışan ısıtma sistemlerinin bölgesel ısıtma sistemleri ile değiştirilmesi durumunda binada yer ihtiyacının azalmasını sağlar. Bunun başka bir avantajı da bu sistemlerde elektrik üretimi gibi başka işlemlerden dolayı ısı üretimi de yapılabilir olmasıdır. Bu durum ısı üretim yerlerinin veriminin %90'a kadar artmasını ve çevre kirliliğinin de azalmasını sağlar. Ancak ısı dağıtım sistemi için yüksek maliyetlerin de olacağı dikkate alınmalıdır [40].

### 5.2. Isıtmada Enerji Tasarrufu

Gelişmiş ülkelerde uzun zamandır ve ülkemizde ise son yıllarda enerji tasarrufu ve hava kirliliği problemlerine teknik ve ekonomik açıdan çözüm getirilmesi fikri oldukça önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalarda, ülkemizde büyük ölçüde yakıt enerji israfının yanı sıra, özellikle kış aylarında İstanbul, Bursa, İzmir, Ankara, Erzurum, Eskişehir, Konya ve Adana gibi nüfusun yoğun olduğu metropol kentlerde zaman zaman tehlikeli boyutlara ulaşan hava kirliliği probleminin varlığı bilinmektedir.

Isıtma için kullanılan düşük ve orta kalite linyit yakıt tüketimi çok yüksek olduğundan, endüstriyel tesisler ve ısıtma sektöründeki enerji tasarrufu çok önemlidir. Büyük kentlerde yerleşim alanlarının sıcaklıklarını minimum konfor şartlarına kadar azaltmak, yakma sistemlerinde yanma kontrolü ve optimizasyonu ile yakıtların verimli yakılması, ısıtma ve ısı transferinde en yüksek verimin elde edilmesi, atık ısı geri kazanımı, yerleşim alanlarının ısı yalıtımını sağlamak ve yeni binaların mimari tasarımını dikkatli yapmak gibi tedbirler ısıtmada kullanılan enerjinin tasarrufuna oldukça büyük katkı sağlamaktadırlar [41]. Isıtma sektöründe enerji tasarrufunu sağlamak için aşağıdaki bazı yöntemler gösterilmektedir:

### 5.2.1. Bina kaplamasının ısı performansı

Bina kaplama; duvarlar, çatılar, pencereler ve kapılardan oluşmaktadır ve binalarda enerji tasarrufuna önemli ölçüde etki edebilir. Binalarda enerji tüketiminde hava durumu önemli ölçüde etkilidir çünkü ısı ile direkt iletim sonucu veya havayı içeri alan veya dışarı sızdıran yüzeylerden oluşan ısı kazanımı ve/ya kaybı enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (%50'den %80'e).

Enerji etütçüsü, enerji ile ilgili verilerin toplanması sırasında binanın bileşenlerini analiz ederek bina kaplamanın mevcut özelliklerini tespit etmelidir. Araştırma sırasında, bina kaplaması ile ilgili tanımlayıcı bir tablo oluşturulmalıdır. Bu tablo; duvarların, zeminlerin ve çatıların yalıtım düzeylerini belirlemek amacıyla yapı malzemeleri hakkında bilgi içermektedir. Ayrıca mekân hakkında, örneğin doldurulan alan ve binayı kaplayan bileşen malzemelerin sayısı (örneğin pencerelerin tipi, pencerelerin pozisyonu ve pencerelerdeki camların sayısı), bilgi içermektedir. Etüt sadece enerji tasarrufunun potansiyelini belirlemek için değil aynı zamanda genel durumun da entegrasyonu için yararlıdır. Örneğin eğer termal köprüler varsa, bunlar ısı transferin yükselmesine ve nem yoğunlaşmasına neden olabilir. Nem yoğunlaşmasının ısı transferinden çok daha zarar verici ve maliyetli olduğu görülmektedir çünkü bina kaplamasının yapısal bütünlüğünü bozabilir [42].

Bina kaplama enerji performansının artırılması ile ilgili kabul edilen üç ana tasarruf önlemi sınıfı vardır:

- Yalıtımı kötü olan binaların kaplama bileşenlerinin yalıtımı.
- Pencerelerin geliştirilmesi.
- Hava infiltrasyonunun azaltılması.

### Bina kaplama bileşenlerinin yalıtımı

Bu sınıfa ait olan önlemler bina kaplaması ile ilgili enerji tüketimini azaltmakta daha etkili olmaktadır. Bina kaplama bileşenlerinin (duvar, çatı, kapı ve pencereler) yalıtımının amacı başlıca konveksiyon, iletim ve radyasyondan ötürü bina kaplamasından olan ısı transferini azaltmaktır. Bileşenler dikkate alındığında, özellikle duvarlar ve çatılar ısı kaybına neden olur, ancak en önemli yayıcı mekanizmalar konveksiyon ve iletimdir [42].

### Pencerelerin iyileştirilmesi

Yüksek performanslı pencerelerin takılması, pencere filmleri ve kaplama veya fırtınaya karşı pencereler gibi pencerelerin iyileştirilmesi bina ısıtma ve soğutma yüklerini düşürerek enerji tasarrufu sağlayabilir.

Pencereler, bina yüzeylerin havaya maruz kalan kısımlarının önemli bir kısmını oluştururlar bu yüzden pencerelerin veriminin artırılması hem enerji tasarrufu açısından hem de içerin konfor düzeyinin artması yönünden yararlı olacaktır.

Pencere alanında gelişmelerin yapılması, hem ısı transmisyonunu hem de güneş ısısının kazanımını etkileyebilir. Bunun yanı sıra, enerji açısından verimli olan pencereler, doğru sıcaklık dağılımı ve kaliteli aydınlatma sağlayarak daha konforlu bir ortam yaratırlar.

Bir pencerenin tüm bileşenlerine enerji verimliliği ile ilgili gelişimleri uygulamak aşağıdakileri yaparak gerçekleştirilebilir:

- İletim ile ısı transferini azaltmak için pencere camları arasındaki boşlukların yalıtılması.
- Radyasyon ile ısı transferini azaltmak için çok katlı kaplamaların yapılması veya film katmanlarının takılması.



- Kullanılan yerleri olumsuz etkileyen güneş radyasyonunun geçmesini azaltmak için dışarıda gölge oluşturan araçların sağlanması [42].

### Hava infiltrasyonunun azaltılması

Hava, bina sızıntılarının arasından bina kabuğunun içine girebilir veya bina kabuğunun içinden bina dışına çıkabilir. Bu sürece hava infiltrasyonu veya hava yayılımı denir. Havanın mekanik bir sistem ile çıkarıldığı havalandırmanın aksine, hava infiltrasyonu veya yayılımı kontrol edilemeyen bir hava akışıdır.

Konut olarak kullanılan binalar gibi alçak binalarda hava infiltrasyonunun hava yayılımından daha çok olduğu kabul edilir çünkü büyük binalarda içerideki hava basıncı mekanik sistemlerle dışarıdaki hava basıncından daha yüksek tutulur, böylece binanın dışından binanın içine hava akışının olması engellenmiş olur. İnfiltrasyon enerji tüketimini büyük ölçüde etkileyebilir çünkü ısı konforunun azalması; infiltrasyon ve hava yayılımı ile taşınan nemden dolayı bina kabuğunda meydana gelen çürüme ve paslanma ile bağlantılıdır.

Hava infiltrasyonunda karşılaşılan en büyük problemlerden bir tanesi bu olayın öneminin tahmin edilememesi ve bina kabuğunda sızıntının yerinin bulunamamasıdır. Tahmin etme süreci önemlidir çünkü bu tür durumlar için yapılan tamiratlar çok masraflı olabilir ve buna gerçekten ihtiyaç olması gerekir. Bu işlemin hedefi, hava akışının içerideki hava basıncı ile dışarıdaki hava basıncı arasındaki fark ile ilişkisini bulmaktır. Bu ilişki lineer bir ilişkidir ve aşağıdaki denklemle kolay bir şekilde açıklanabilir:

$$V = C \cdot \Delta P^n$$

Burada;

V [m<sup>3</sup>/min] ; hava akışını,

$\Delta P$  [bar] ; basınç farkını,

C ve n ; korelasyon katsayılarını, tanımlar.

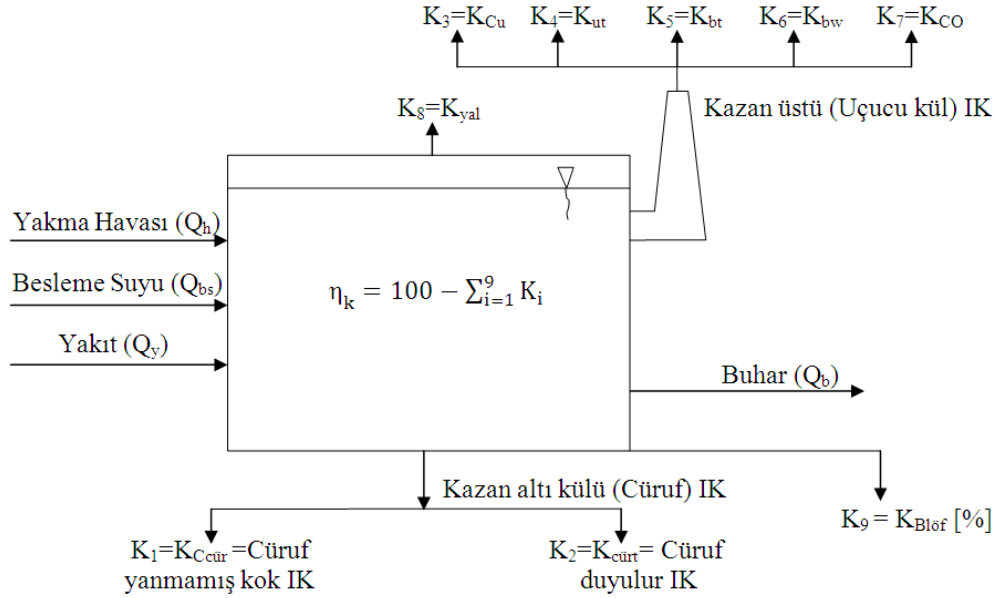
Sızıntının yeri bulunduktan sonra, ana çözümler şunlardır:

- Kapı pencere yalıtımı: Arkası yapışkan olan lastik kullanılarak pencereler ve kapıların hava sızdıran sızıntıları kapatılabilir.
- Çevre düzeni: Bu uzun dönemli bir projedir ve rüzgâr etkisini ve hava infiltrasyonunun etkisini azaltmak amacıyla binaların etrafında çalılık veya ağaçların dikilmesini kapsar.
- Hava yalıtıcısı: Bu sistemler, bina duvarının dış tarafına uygulanıp ve bina duvarının etrafında sürekli bir kaplama olan bir veya birden çok hava geçirmezlik unsurlardan oluşur. Islak uygulanan ziftli, ıslak uygulanan kauçuk ve plastik levhalar gibi birçok hava yalıtıcısı türü vardır [42].

### **5.2.2. Kazan sistemlerinde enerji tasarrufu**

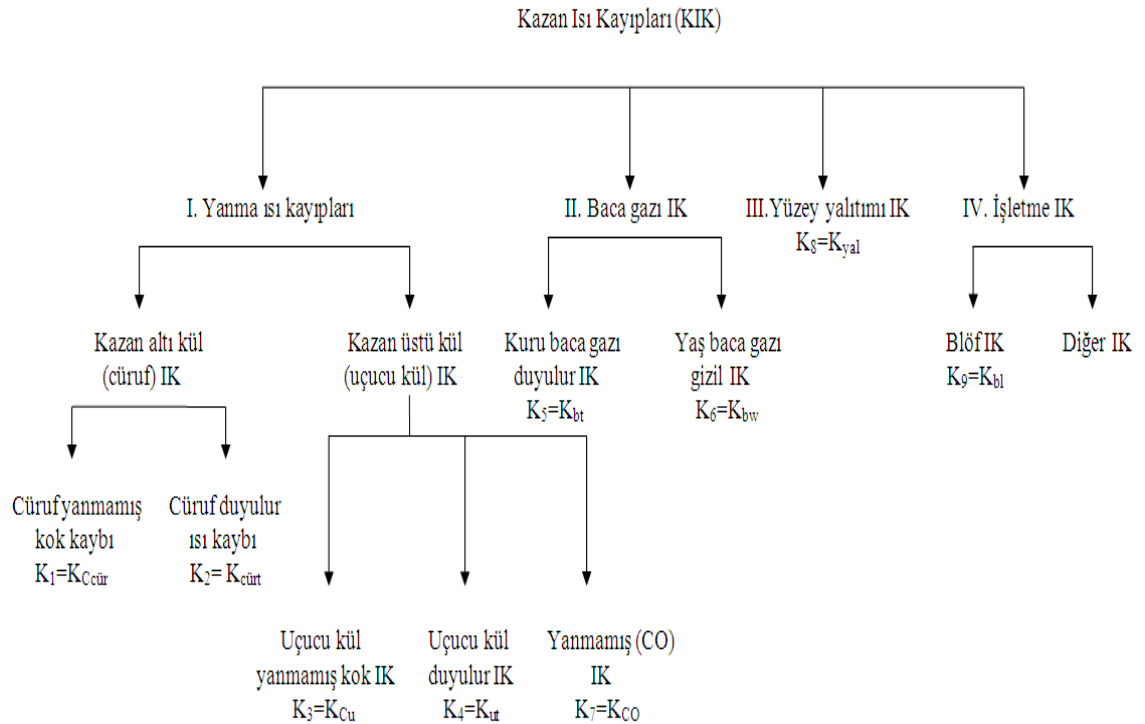
Kazanlar konut amacıyla kullanılmayan binalarda başlıca mahal ısıtma ve sıcak su için kullanılırlar. Bundan dolayı kazanların ısıl performansının (ısıl verim ve kapasite) artırılması gerekir. Enerji verimliliği bağlamında en az yakıt kullanımı ile en yüksek ısıl verimde binanın ısıl yükünün karşılanması amaçlanır. Yakıt kullanımının en aza indirilmesi emisyonların da en aza indirilmesi anlamına gelir ve kazanlar en uygun çevresel veya emisyon davranış performansı ile konut ısıtma işlevini yerine getirir. Kazan enerji verimliliği doğrudan kazan ısıl veriminin artırılması ile ilgilidir. Kazan ısıl verimi: kazandan alınan ısının yakıt ile verilen yanma ısısına orana olarak tanımlanır. Kazandan alınan ısı, kazana verilen yanma ısısından; kazanda oluşan ve çevreye atılan ısı kayıplarının çıkartılması ile elde edilir.

Bir katı yakıtlı kazanda oluşan ısı kayıpları ve yerleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Katı yakıtlı bir kazanda oluşan ısı kayıpları ve yerleri.

Kömürlü bir kazanda oluşan ısı kayıpları türlerine ve yerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 5.2. Kömürlü bir kazanda oluşan ısı kayıplarının yer ve türlerine göre sınıflandırılması.

- Kazan ısı kayıpları ve ısı verimlerinin hesaplanmasına esas olan korelasyonlar:

Buhar kazanı ısı verimi dolaylı (endirekt) yöntemle ilgili tüm kazan ısı kayıplar dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır [43]:

$$\eta_k = 100 - \sum_{i=1}^9 K_i \quad (\%) \quad (5.1)$$

Bir kömürlü kazanda oluşan başlıca ısı kayıplar aşağıda verilmektedir [43]:

$K_1 = K_{C_{cür}}$  : kazan altı kül (cüruf) yanmamış kok (karbon ) ısı kaybı.

$K_2 = K_{cürt}$  : cüruf duyulur ısı kaybı.

$K_3 = K_{Cu}$  : kazan üstü kül (uçucu kül) yanmamış kok ısı kaybı.

$K_4 = K_{ut}$  : uçucu kül duyulur ısı kaybı.

$K_5 = K_{bt}$  : kuru baca gazı duyulur ısı kaybı.

$K_6 = K_{bw}$  : yaş baca gazı gizil (buharlaştırma) ısı kaybı.

$K_7 = K_{CO}$  : baca gazındaki yanmamış (CO) ısı kaybı.

$K_8 = K_{yal}$  : kazan yüzey yalıtımı (ışınım ve taşınım) ısı kaybı.

$K_9 = K_{Blöf}$  : kazan işletme (blöf) ısı kaybı.

Kazan ısı kayıpları aşağıdaki veriler esas alınarak hesaplanır:

a) Yakıt kütleli analizi [-], [%] : C, H, O, N, S, W, A.

b) Kazan altı kül (cüruf) ve kazan üstü kül (uçucu kül) analizleri [-], [%] ( $A_{cür} + A_{uk}=1$ ).

c) Yakıt üst ve alt ısı değerleri ( $H_o$ ,  $H_u$ ).

d) Baca gazı ve çevre sıcaklıkları.

e) Hava fazlalık katsayısı (n) veya hava fazlalığı.

f) Sıvı ve gaz yakıtlarda kül kaynaklı ısı kayıpları oluşmaz ve dikkate alınmaz, bir kömürlü kazanda oluşan ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler aşağıda ayrı ayrı verilmiştir [43]:

1. Kazan altı kül (cüruf) yanmamış kok (karbon) ısı kaybı ( $K_1=K_{C_{cür}}$ ):

$$K_1 = K_{C_{cür}} = \frac{A_y \cdot A_u \cdot C_{cür} \cdot H_C}{(1 - C_{cür}) \cdot H_o} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.2)$$

Burada;

$A_y$  [-] ; yakıttaki kül oranını ( $A_y = A_{cür} + A_u$ ),

$H_o$  [kcal/kg-y] ; yakıt üst ısı değerini,

$C_u$  [-] ; cüruftaki yanmamış kok oranını,

$H_C$  [kcal/kg] ; yanmamış kok ısı değerini ( $H_C = 8083$  [kcal/kg]), tanımlar.

2. Kazan altı kül (cüruf) duyulur ısı kaybı ( $K_2=K_{cürt}$ ):

$$K_2 = K_{cürt} = \frac{A_y \cdot A_{cür} \cdot c_{cür} \cdot (t_{cür} - t_ç)}{(1 - c_{cür}) \cdot H_o} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.3)$$

Burada;

$A_y, A_{cür}$  [-] ; yakıttaki kül oranını ve toplam küldeki cüruf oranını,

$t_{cür}$  [°C] ; cüruf sıcaklığını,

$t_ç$  [°C] ; çevre sıcaklığını,

$c_{cür}$  [kcal/kg°C] ; kül (cüruf) özgül ısısını ( $c_{cür} = 0.21$  [kcal/kg°C]), tanımlar.

3. Uçucu kül yanmamış kok ısı kaybı ( $K_3=K_{C_u}$ ):

$$K_3 = K_{C_u} = \frac{A_y \cdot A_u \cdot C_u \cdot H_C}{(1 - C_u) \cdot H_o} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.4)$$

Burada;

$C_u$  [-] ; uçucu küldeki yanmamış kok oranını tanımlar.

4. Uçucu kül duyulur ısı kaybı ( $K_4=K_{ut}$ ):

$$K_4 = K_{ut} = \frac{A_y \cdot A_u \cdot (t_{bg} - t_\varphi) \cdot C_{uk}}{(1 - C_u) \cdot H_o} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.5)$$

Burada;

$C_u$  [-] ; uçucu küldeki yanmamış kok oranını,

$C_{uk}$  [kcal/kg-°C] ; uçucu kül özgül ısısını ( $C_{uk}= 0.21$  [kcal/kg-°C]), tanımlar.

5. Kuru baca gazı duyulur ısı kaybı ( $K_5=K_{bt}$ ):

$$K_5 = K_{bt} = \frac{K \cdot (t_{bg} - t_\varphi) \cdot [1 - (K_{cür} + K_{Cu})/100]}{(CO_2)} \quad (5.6)$$

Buradaki katsayı (K) yakıt karbon oranı  $C_y$ [-] ve yakıt alt ve üst ısıl değerleri üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$K = \frac{69.7 \cdot C_y \cdot H_u^2}{H_o^3} \cdot 100 \quad (5.7)$$

Burada;

$t_{bg}$  [°C] ; baca gazı sıcaklığını,

$t_\varphi$  [°C] ; çevre sıcaklığını,

$K_{cür}$  [%] ; cüruftaki yanmamış kok kaybını,

$K_{Cu}$  [%] ; uçucu küldeki yanmamış kok kaybını,

$CO_2$  [%] ; baca gazındaki ( $CO_2$ ) oranını,

$C_y$  [-] ; yakıttaki karbon oranını,

$H_u$  [kcal/kg] ; yakıt alt ısıl değerini,

$H_o$  [kcal/kg] ; yakıt üst ısıl değerini, tanımlar.

Bomba kalori metresi yardımı ile belirlenen yakıt üst ısıl değeri ( $H_o$ ) üzerinden, yakıt hidrojen oranı  $H_y[-]$  ve nem oranı  $W_y[-]$  kullanılarak yakıt alt ısıl değeri ( $H_u$ ) aşağıdaki biçimde hesaplanır:

$$H_u = H_o - 600 [9H_y + W_y] \quad [\text{kcal/kg}] \quad (5.8)$$

Baca gazındaki ( $\text{CO}_2$ ) oranı baca gazı ( $\text{O}_2$ ) ölçümleri üzerinden, hava fazlalık katsayısı ( $n$ ) korelasyonları kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$n = \frac{\text{CO}_{2\text{max}}}{\text{CO}_2} = \frac{21}{21 - \text{O}_{2\text{ölç}}}$$

Buradan;

$$\text{CO}_2 = \text{CO}_{2\text{max}} \left(1 - \frac{\text{O}_{2\text{ölç}}}{21}\right) \quad (5.9)$$

$\text{CO}_{2\text{max}}$ ; bir yakıtın teorik (stokiometrik) koşullarında yanması durumunda oluşan kuru teorik yanma gazının ( $\text{CO}_2$ ) oranıdır.

$\text{CO}_{2\text{max}}$  yakıt karbon oranı  $C_y[-]$  ve hidrojen oranı  $H_y[-]$  üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{CO}_{2\text{max}} = \frac{(C_y/12)}{4.78(C_y/12) + 1.89(H_y/2)} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.10)$$

Ayrıca yakıt türüne bağlı olarak ( $\text{CO}_{2\text{max}}$ ) değerleri literatürde verilmektedir [43]. Bu değerler aşağıda gösterilmiştir.

<u>Yakıt</u>	<u><math>\text{CO}_{2\text{max}}</math></u>
Linyit	19.2
Fuel oil (ağır)	15.9
Doğal gaz	11.7
Kok	20.7

6. Yaş baca gazı gizil (buharlaştırma) ısı kaybı ( $K_6=K_{bw}$ ):

$$K_6 = K_{bw} = \frac{(9H_y + W_y) \cdot [(588 - t_c) + (0.5 \cdot t_{bg})]}{H'_o} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.11)$$

Burada;

$H_y$  [-] ; yakıt kütleli hidrojen oranını,

$W_y$  [-] ; yakıt kütleli nem oranını,

$t_c$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] ; çevre sıcaklığını,

$t_{bg}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] ; baca gazı sıcaklığını,

$H'_o$  [ $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ ] ; düzeltilmiş yakıt üst ısı değerini, tanımlar.

Düzeltilmiş yakıt üst ısı değeri, yakıt ön ısıtma durumuna göre aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$H'_o = H_o + (t_y - t_c) \cdot 0.47 \quad (5.12)$$

Burada,  $t_y$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]; yakıt sıcaklığını gösterir. Bu sıcaklık sıvı yakıtlarda atomizasyon sıcaklığı olarak alınır, katı ve gaz yakıtlar genelde ön ısıtılmadığı için bu durumlarda ( $H'_o \approx H_o$ ) kabul edilir.

7. Baca gazındaki yanmamış (CO) ısı kaybı ( $K_7=K_{CO}$ ):

$$K_7 = K_{CO} = \frac{K \cdot CO \cdot [1 - (K_{cür} + K_{Cu})/100]}{(CO + CO_2)} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.13)$$

Buradaki (K) katsayısı kuru baca gazı duyulur ısı kaybının hesabında olduğu gibi yakıt karbon oranı  $C_y$ [-] ve yakıt alt ve üst ısı değerleri üzerinden aynı şekilde aşağıdaki gibi hesaplanır:



$$K = \frac{69.7 \cdot C_y \cdot H_u^2}{H_o^3} \cdot 100$$

Söz konusu yakıtların karbon oranlarının, alt ve üst ısıl değerlerinin bilinmemesi durumunda aşağıda verilen yakıt türüne bağlı (K) değerleri alınabilir [43]:

<u>Yakıt</u>	<u>K</u>
Kok	0.70
Linyit	0.63
Sıvı yakıt	0.48
Doğal gaz	0.32

Baca gazı (CO<sub>2</sub>) oranı (O<sub>2</sub>) yüzdesi üzerinden denklem (5.16)'dan hesaplanabilmektedir.

Burada;

K<sub>cür</sub> [%] ; cüruftaki yanmamış kok kaybını,

K<sub>Cu</sub> [%] ; uçucu küldeki yanmamış kok kaybını,

CO [%] ; baca gazındaki (CO) oranını,

CO<sub>2</sub> [%] ; baca gazındaki (CO<sub>2</sub>) oranını,

C<sub>y</sub> [-] ; yakıttaki karbon oranını,

H<sub>u</sub> [kcal/kg] ; yakıt alt ısıl değerini,

H<sub>o</sub> [kcal/kg] ; yakıt üst ısıl değerini, tanımlar.

8. Kazan yüzey yalıtımı (ışınım ve taşınım) ısı kaybı (K<sub>8</sub>=K<sub>yal</sub>):

Kazan yüzeyleri yalıtım kaybı; kazan yüzey sıcaklığı ölçümleri ile belirlenen ışıınım ve taşınım kayıplarının, kazana verilen yakıt yanma ısısına oran biçiminde aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$K_{yal} = \frac{Q_{yal}}{M_y \cdot H_o} \quad (5.14)$$

Burada;

$Q_{yal}$  [kcal/h] ; kazan yüzeyinden olan ışıma ve taşınım ısı kayıplarını,

$M_y$  [kg/h] ; saatlik yakıt tüketimini,

$H_o$  [kcal/kg] ; yakıt üst ısı değerini, tanımlar.

Bazı durumlarda yaklaşık olarak aşağıda gösterildiği gibi, tam yükün (%100) kazanın çalışmakta olduğu kazan yüküne oranı biçiminde ifade edilebilir:

$$K_8 = K_{yal} = f(\text{yüzey sıcaklığı}) \approx \frac{100}{\text{Kazan yükü [\%]}} \quad [\%] \quad (5.15)$$

Kazan tam yükte çalışıyorsa yalıtım kaybı 1[%] kabul edilir.

9. Kazan işletme (blöf) ısı kaybı ( $K_9=K_{blöf}$ ):

$$K_9 = K_{blöf} = \frac{Q_{blöf}}{M_y \cdot H_o} = \frac{\text{Besleme suyu(ppm)}}{\text{Kazan (ppm)}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.16)$$

Burada;

$Q_{blöf}$  ; blöf süresince iş akışkanı ile dışarıya atılan ısı miktarını,

$M_y$  ; blöf süresindeki kazana beslenen yakıtı,

$H_o$  ; yanma ısısını, tanımlar.

Kalorifer kazanı maliyeti, kış aylarında fakültenin en büyük giderini oluşturmaktadır. Diğer aylarda en büyük gider kalemini elektrik giderleri oluşturmaktadır. Bu nedenle, kalorifer kazanının verimini arttırmak amacıyla yapılan görece küçük bir gelişme ile sağlanan toplam tasarruf, son kullanıcılara ulaşan enerji verimini arttırmak için yapılan büyük gelişmeler ile sağlanan toplam tasarruftan çok daha fazla olur.

Kazan veriminin arttırılmasında aşağıda verilen hususlara dikkat edilmelidir:

#### Kazan–fazla hava kontrolü

Optimum düzeyde fazla hava ile çalışan kazanlar ısı kaybını minimize edecek ve yanma verimini geliştirecektir. Yanma verimi, bir yakıtın ısı içeriğinin kullanılabilen ısıya nasıl etkili bir şekilde dönüştüğünün bir ölçüsüdür. Baca gazı sıcaklığı ve baca gazı oksijeni (veya karbondioksit) oranları yanma veriminin birinci derece göstergeleridirler.

Tam karışım verildiğinde, havanın tam veya stokiyometrik miktarı, yakıtın verilen miktarı ile tam reaksiyona girmesi için gereklidir. Pratikte, yanma şartları hiç ideal değildir ve yakıtın tam olarak yanması için ek ya da “fazla” havanın sağlanması gerekmektedir.

Fazla havanın doğru miktarı, baca gazı oksijeni veya karbondioksit oranlarının analiz edilmesi ile belirlenir. Yetersiz fazla hava yanıcıların (yakıt, ısı, duman ve karbon monoksit) yanmamasına neden olur, fazla havanın çok fazla olması ise baca gazı akışının artmasından dolayı ısı kaybını artırır. Bundan dolayı, kazan yakıtından buhara kadar toplam verimde bir düşüş görünür [44].

Maksimum işletme verimini sağlamak için yakıtı bağlı fazla havanın optimum düzeyleri izelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. 2 ve 6 Nolu Fuel oil için optimum fazla hava ve oksijen yüzdeleri [44].

Yakıt tipi	Optimum fazla hava [%]	Eşdeğerli (O <sub>2</sub> ) [%]
No.2 Oil	10-15	2-3
No.6 Oil	10-15	2-3

Yakıtı yakmak için ne kadar fazla hava kullanılırsa, ısının büyük bir kısmı gerekli olan buharı üretmek yerine o fazla havayı ısıtmak ile harcanır, bu yüzden daha fazla

yakıt yakmak durumunda kalınır. Güvenlik için ve ( $\text{NO}_x$ ) emisyonunu azaltmak için havanın ideal stokiyometrik yakıt/hava oranından biraz fazla olması gereklidir, ancak yaklaşık (%15) yeterlidir. Bakımı iyi yapılmamış kazanların fazla havası %140'a kadar olabilir. Devamlı otomatik kontrol ile kazanın fazla havasını %15'e düşürerek toplam yakıt kullanımında (%8) oranında tasarruf sağlanabilmektedir. Fazla havanın her bir (%15) oranında indirilmesi veya baca gazı sıcaklığının her bir ( $20^\circ\text{C}$ ) indirilmesi sonucunda kazanın verimi (%1) artar [45].

Kazan veriminin aynı ısı yükte ( $\eta_1$ )'den ( $\eta_2$ )'ye yükseltilmesi durumunda sağlanacak yakıt tasarrufu ( $\Delta M_y$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Delta M_y = M_{y1} \left[ 1 - \left( \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \right] \quad (5.17)$$

Burada,

$M_{y1}$  ; eski yakıt tüketimini,

$\eta_1$  ; eski verimi,

$\eta_2$  ; yeni verimi ( $\eta_2 > \eta_1$ ), tanımlar.

### Kazan bakımı

Bir kazanın çalışması ve bakımı birbiriyle yakından ilişkilidir. Kazanın verimli çalışması için günlük ve periyodik olarak kazana gerekli bakım yapılmalıdır. Bakım maliyetinin düşük olması, günlük çalışma kontrolünün yapılması ve sistem ile yakıtın birbiri ile uyumlu olmasına bağlıdır. Kazanın tüm bileşenlerinin en yüksek performansla çalışmasını sağlayan normal bir bakım programı, büyük bir tasarruf sağlayabilir. Eğer iyi bir bakım sistemi yoksa brülörler ve kondansat dönüş sistemleri uygun işletme koşullarından çıkabilir. Bu faktörler, buhar sisteminin (2–3) yıl boyunca başlangıçtaki verime göre (%20–30) daha fazla maliyetli olmasına neden olabilir. İlgili sistemlerde ortalama en az %10 enerji tasarrufu sağlanabileceği tahmin edilmektedir [24]. Geliştirilmiş bir bakım da, hava kirletici emisyonları da azaltabilir.

### Kazan–baca gazından ısının geri kazanılması

Sistem verimi ve toplam yakıt tüketimini etkileyen bir diğer temel faktör de bacadan atılan yanma gazlarının sıcaklığıdır. İşletme veriminin artması ile beraber kullanılan yakıt oranının düşmesi, temel tasarım prensiplerine uygun olarak gazların en düşük uygun sıcaklıkta ve optimum hava fazlalığında bacadan atılması ile sağlanabilir [44].

### **5.3. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmalar**

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin kazan dairesindeki doğal gaz yakıtlı kazanların işletme koşullarının iyileştirilmesinden ve ısıtma vanaları ile bağlantı elemanlarının ilgili yalıtım ceketleri ile yalıtılmasından sağlanabilecek ısı kazanç ve yakıt tasarrufu miktarlarının hesaplanabilmesi için aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

#### **5.3.1. Kazan ısı kayıplarının ve verimlerinin belirlenmesi için yapılan ölçümler**

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin kazan dairesinde bulunan kazanların ısı kayıplarının ve kazan ısı verimlerinin hesaplanabilmesi için kazan bacalarında ve kazanda baca gazı analizörü ile aşağıdaki ölçümler yapılmış, ölçülen değerler üç ayrı kazan için Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.2. 1 nolu kazan için ölçülen mevcut işletme değerleri.

	Saat	SO <sub>2</sub> [ppm]	NO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	O <sub>2</sub> [%]	n	t <sub>bg</sub> [°C]	Gaz sayacı değerleri [m <sup>3</sup> ]
1	10 : 54	0	3	5.96	0	9.11	1.77	213	1365781.2
2	10 : 59	0	5	5.95	0	9.02	1.75	248	1365797.1
3	11 : 04	0	16	5.93	0	8.95	1.75	247	1365814.1
4	11 : 09	0	0	2.93	414	15.68	3.98	115	1365823.6
5	11 : 14	0	3	5.97	0	8.98	1.75	238	1365831.5
6	11 : 19	0	5	5.91	0	9.01	1.76	256	1365844.7
7	11 : 24	0	5	5.54	0	11.96	2.77	252	1365854
8	11 : 29	0	0	2.83	401	15.66	3.97	255	1365863.5
9	11 : 34	0	4	5.87	0	8.98	1.75	257	1365873.7
10	11 : 39	0	12	6.11	0	9.6	2.06	258	1365895.3
11	11 : 44	0	0	2.84	380	15.63	3.98	155	1365901

Çizelge 5.2. (Devam) 1 nolu kazan için ölçülen mevcut işletme değerleri.

12	11 : 49	0	0	5.24	0	8.91	1.7	251	1365904.9
13	11 : 54	0	6	5.76	0	9.13	1.77	245	1365926.5
14	11 : 59	0	0	4.67	110	15.45	3.94	230	1365940.1
15	12 : 04	0	0	2.84	389	15.7	4.01	251	1365943.1
16	12 : 09	0	5	5.89	0	8.98	1.74	254	1365956.2
Ortalama		0	4	5.02	105.9	11.3	2.53	230.3	-----

Çizelge 5.3. 2 nolu kazan için ölçülen mevcut işletme değerleri.

	Saat	SO <sub>2</sub> [ppm]	NO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	O <sub>2</sub> [%]	n	t <sub>bg</sub> [°C]	Gaz sayacı değerleri [m <sup>3</sup> ]
1	9 : 58	0	36	7.16	0	6.55	1.44	233	1403180.7
2	10 : 03	0	0	3.04	494	15.65	4	113	1403196.1
3	10 : 08	0	0	2.94	501	2.97	4.09	65	1403198.5
4	10 : 13	0	8	5.76	0	8.63	1.66	190	1403201.3
5	10 : 18	0	29	7.08	0	6.39	1.44	128	1403219
6	10 : 23	0	0	2.83	495	15.88	4.17	99	1403223.3
7	10 : 28	0	0	2.85	502	15.8	4.09	93	1403225.4
8	10 : 33	0	19	6.83	0	6.93	1.5	130	1403240.9
9	10 : 38	0	0	2.72	487	16.06	4.35	95	1403249
10	10 : 43	0	0	2.61	464	16.3	4.52	90	1403251.4
Ortalama		0	9.2	4.39	294.3	11.12	3.13	123.6	-----

Çizelge 5.4. 3 nolu kazan için ölçülen mevcut işletme değerleri.

	Saat	SO <sub>2</sub> [ppm]	NO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	O <sub>2</sub> [%]	n	t <sub>bg</sub> [°C]	Gaz sayacı değerleri [m <sup>3</sup> ]
1	15 : 00	0	22	5.39	0	10.79	2.06	166	1496678.1
2	15 : 05	0	36	6.69	0	10.86	2.11	159	1496690
3	15 : 10	0	20	6.11	0	12.71	2.01	152	1496701.9
4	15 : 15	0	16	5.75	0	9.44	1.72	148	1496713.9
5	15 : 20	0	5	4.53	0	11.36	2.27	145	1496725.8
6	15 : 25	0	0	2.9	6	14.24	2.41	196	1496737.8
7	15 : 30	0	16	6.21	0	8.51	1.67	215	1496749.7
8	15 : 35	0	0	4.04	16	13.28	2.72	211	1496761.6
9	15 : 40	0	11	5.78	0	9.08	1.75	182	1496773.5
10	15 : 45	0	8	5.2	0	11.51	2.28	160	1496785.5
11	15 : 50	0	0	4	13	13.5	2.8	213	1496797.4
12	15 : 55	0	0	4.13	0	12.46	2.41	166	1496807.5
13	16 : 00	0	11	5.95	0	9.02	1.76	223	1496823.4
14	16 : 05	0	0	3.88	7	13.58	3	150	1496835.7
15	16 : 10	0	0	4.28	0	12.1	2.17	180	1496840.8

Çizelge 5.4. (Devam) 3 nolu kazan için ölçülen mevcut işletme değerleri.

16	16 : 15	0	8	5.85	0	9.18	1.85	213	1496859.6
17	16 : 20	0	0	1.99	0	18.59	2.16	140	1496868.3
Ortalama		0	9	4.86	2.47	11.78	2.19	177.6	-----

Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4'te görüldüğü gibi kazan emisyonlarının ve kazan ısı kayıplarının hesaplanmasına esas olan işletme ölçüm verileri büyük salınımlar göstermektedir. Bu salınımların bir bölümü yanma ile ilgili değişimlerden, bir bölümü ise ölçme ve ölçüm sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle emisyonlar ve ısı kayıplar ile ilgili hesaplamaların ortalama işletme ölçüm değerleri kullanılarak yapılması gerekir.

### 5.3.2. Ölçüm yapılan kazanların toplam ısı kayıplarının hesaplanması

Ölçüm yapılan kazanlarda doğal gaz yakıldığından, bu kazanlarda kazan altı cüruf kayıpları ile kazan üstü uçucu kül kayıpları söz konusu değildir. Bu kazanlarda oluşan ısı kayıpları aşağıda verilmiştir [43]:

1. Kuru baca gazı duyulur ısı kaybı.
2. Yaş baca gazı gizil (buharlaşma) ısı kaybı.
3. Yanmamış (CO) ısı kaybı.
4. Kazan yalıtım ısı kaybı.

Kazan baca ısı kayıpları ve yanmamış (CO) ısı kaybının hesaplanmasında esas olan ortalama ölçüm ve işletme değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir:

Çizelge 5.5. Kazanların emisyonlarının ve ısı kayıplarının hesaplanmasına esas olan mevcut ortalama işletme ölçüm değerleri.

	SO <sub>2</sub> [ppm]	NO [ppm]	CO <sub>2</sub> [%]	CO [ppm]	O <sub>2</sub> [%]	n	t <sub>bg</sub> [°C]
No. 1 Kazan	0	4	5.02	105.9	11.3	2.53	230.3

Çizelge 5.5. (Devam) Kazanların emisyonlarının ve ısı kayıplarının hesaplanmasına esas olan mevcut ortalama işletme ölçüm değerleri.

No. 2 Kazan	0	9.2	4.39	294.3	11.2	3.13	123.6
No. 3 Kazan	0	9	4.86	2.47	11.78	2.19	177.6

Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi doğal gazın ekonomik yönden en uygun biçimde yakılabilmesi için, baca gazının oksijen oranının (%3) dolayında, baca gazı sıcaklığının da (120°C) dolayında olması gerekir. İncelenen kazanlar yoğuşmasız türden olduğundan baca gazı sıcaklığı en az (150°C) dolayında tutulmalıdır.

Bu nedenle önce kazanların mevcut durumdaki kazan ısı kayıpları ve verimleri ( $\eta_1$ ), ardından da (%3) baca gazı oksijen oranı ve (150°C) baca gazı sıcaklığı esas alınarak iyileştirmiş kazan verimleri ( $\eta_2$ ) hesaplanarak, kazanlarda sağlanabilecek yakıt tasarrufları ayrı ayrı hesaplanacaktır.

Kazanlarda kuru baca gazı duyulur ısı kaybının ( $K_{bt}$ ) hesaplanması:

İncelenen kazanlarda doğal gaz kullanıldığı için, bu kazanlarda kazan altı cüruf ve kazan üstü baca uçucu kül kayıpları söz konusu değildir ( $K_{C_{cür}} = K_{C_u} = 0$ ).

Kuru baca gazı kaybı (5.8), (5.7) ve (5.6) denklemlerini kullanarak hesaplandı:

$$K_{bt} = \frac{K \cdot (t_{bg} - t_{ç}) \cdot [1 - (K_{C_{cür}} + K_{C_u})/100]}{(CO_2)}$$

Yukarıdaki eşitlik doğal gaz için basitleştirilerek aşağıdaki biçimini alır:

$$K_{bt} = \frac{K \cdot (t_{bg} - t_{ç})}{(CO_2)}$$



Burada (K) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$K = \frac{69.7 \cdot C_y \cdot H_u^2}{H_o^3} \cdot 100$$

Burada doğal gazın karbon oranı  $C_y = 0.7398$ , hidrojen oranı  $H_y = 0.2457$ ,  $H_u = 11780$  [kcal/kg] alınmıştır [EK-9]. Bu değerler yerine konulduğunda  $K = 0.32$  bulunur. Bir yakıtın üst ısıl değeri ( $H_o$ ) biliniyorsa, alt ısıl değeri ( $H_u$ ) yakıtın hidrojen oranı ve nem oranı üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$H_u = H_o - 600 [9H_y + W_y] \quad [\text{kcal/kg}]$$

Kazan 1 için (K,  $t_{bg}$ ,  $t_c$ ,  $CO_2$ ) değerleri yerine konulduğu zaman baca gazı duyulur ısı kaybı aşağıdaki gibi bulunur:

$$K_{bt} = \frac{K \cdot (t_{bg} - t_c)}{(CO_2)}$$

$$K_{bt1} = \frac{0.32 \cdot (230.3 - 20)}{5.02} = \%13.41$$

Aynı hesaplar kazan 2 ve 3 için de yapılmış, ilgili duyulur ısı kayıpları Çizelge 5.6'da verilmiştir:

Çizelge 5.6. Kazanlarda oluşan ve ölçülen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan baca gazı duyulur ısı kayıpları.

	No.1 Kazan	No.2 Kazan	No.3 Kazan
Baca duyulur ( $K_{bt}$ ) ısı kaybı [%]	13.41	7.55	10.38

Kazanlarda yaş baca gazı gizil (buharlaştırma) ısı kaybının ( $K_{bw}$ ) hesaplanması:

Yaş baca gazı gizil ısı kaybının hesabında (5.11) denklemi kullanılmıştır. Doğal gaz nem oranı  $W_y = 0$ , hidrojen oranı  $H_y = 0.2457$  alınmıştır [EK-9]. Yakıtın ön ısıtılması söz konusu olmadığından düzeltilmiş yakıt üst ısıl değeri gerçek üst ısıl değerine eşit kabul edilmiştir,  $H'_o = H_o$  (Eş. 5.12). Bu değerler ve kazan 1 için ölçülen ortalama işletme değerleri aşağıdaki eşitliğe konularak:

$$K_{bw} = \frac{(9H_y + W_y) \cdot [(588 - t_c) + (0.5 \cdot t_{bg})]}{H'_o} \cdot 100 \quad [\%]$$

Yukarıdaki eşitlik aşağıdaki biçimi alır:

$$K_{bw1} = \frac{(9 \cdot 0.2457) \cdot [(588 - 20) + (0.5 \cdot 230.3)]}{13107} \cdot 100 = \%11.53$$

Aynı işlem kazan 2 ve 3 için tekrarlanmış, bulunan baca gazı gizil ısı kayıpları Çizelge 5.7'de verilmiştir:

Çizelge 5.7. Kazanlarda oluşan ve ölçülen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan baca gazı gizil ısı kayıpları.

	No.1 Kazan	No.2 Kazan	No.3 Kazan
Baca gizil ( $K_{bw}$ ) ısı kaybı [%]	11.53	10.63	11.00

Kazanlarda yanmamış (CO) ısı kaybının ( $K_{CO}$ ) hesaplanması:

Kazan yanmamış (CO) ısıl kaybının hesaplanması aşağıdaki genel eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Eş.5.13):

$$K_{CO} = \frac{K \cdot CO \cdot [1 - (K_{cür} + K_{Cu})/100]}{(CO + CO_2)} \cdot 100 \quad [\%]$$

İncelenen kazanlarda doğal gaz kullanıldığı için, bu kazanlarda kazan altı cüruf ve kazan üstü baca uçucu kül kayıpları söz konusu değildir ( $K_{C_{cür}} = K_{C_u} = 0$ ).

Bu durumda ilgili denklem doğal gaz için aşağıdaki basitleştirilmiş biçimini alır:

$$K_{CO} = \frac{K \cdot CO}{(CO + CO_2)} \cdot 100 \quad [\%]$$

(K) değeri daha önce baca gazı duyulur ısı kaybı hesabında  $K=0.32$  bulunmuştur.

Yukarıdaki eşitliğe kazan 1 için ölçülen (CO) ve (CO<sub>2</sub>) ortalama yüzde değerleri konularak ilgili yanmamış (CO) ısı kayıpları hesaplanır. (CO) değeri ppm cinsinden verildiğinden bunun önce yüzde oranına dönüştürülmesi gerekir. 10000 ppm=1[%] eşitliği kullanılarak bu dönüşüm yapılır:

$$K_{CO} = \frac{K \cdot CO}{(CO + CO_2)} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$K_{CO1} = \frac{0.32 \cdot \left(\frac{105.9}{10000}\right)}{\left(\frac{105.9}{10000} + 5.02\right)} \cdot 100 = \%0.07$$

Aynı işlem kazan 2 ve 3 için tekrarlanmış, bulunan baca gazı yanmamış (CO) ısı kayıpları Çizelge 5.8'de verilmiştir:

Çizelge 5.8. Kazanlarda oluşan ve ölçülen işletme değerleri kullanılarak hesaplanan baca gazı yanmamış (CO) ısı kayıpları.

	No.1 Kazan	No.2 Kazan	No.3 Kazan
Yanmamış CO ( $K_{CO}$ ) ısı kaybı [%]	0.07	0.21	0.002

Kazanların yüzeyinden radyasyon ve konveksiyon ısı kaybının ( $K_{yal}$ ) hesaplanması:

Kazan yalıtım ısı kaybı, saat başına kazan yüzeylerinden olan ısı kaybının, yakılan yakıtın yanma ısısına oranı olarak belirlenmiştir. Bunun için kazan yüzeyleri sıcaklık dağılımları ölçülmüş ve kazan yüzeyinden olan ışıma ve taşınım ısı kayıpları [EK-6]'da hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Kazanlarda oluşan ve yüzey sıcaklık dağılımları ölçümleri ile hesaplanan kazan yalıtım (ışıma ve taşınım) ısı kayıpları.

	No.1 Kazan	No.2 Kazan	No.3 Kazan
Yalıtım ( $K_{yal}$ ) ısı kaybı [%]	0.60	0.59	0.81

Bu çizelgeden görüldüğü gibi kazan yalıtım kayıpları %1'in altındadır.

### 5.3.3. Kazanlarda mevcut toplam ısı kayıpları ve kazan veriminin hesaplanması

Kazan toplam ısı kayıpları:

$$\Sigma K = K_{bt} + K_{bw} + K_{CO} + K_{yal}$$

Yardımlı ile incelenen kazanların ısıl verimleri, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\eta_k = 100 - \sum_{i=1}^4 K_i \quad (\%)$$

İncelenen üç doğal gazlı kazanlar ile ilgili ısıl kayıplar, bunların toplamı ve kazan ısıl verimleri Çizelge 5.10'da verilmiştir:

Çizelge 5.10. İşletmede ölçülen kazan ortalama işletme verilerine göre hesaplanan kazan ısı kayıpları ve ısı verimleri.

	Baca duyulur ( $K_{bt}$ ) ısı kaybı [%]	Baca gizil ( $K_{bw}$ ) ısı kaybı [%]	Yanmamış CO ( $K_{CO}$ ) ısı kaybı [%]	Yalıtım ( $K_{yal}$ ) ısı kaybı [%]	Toplam ısı kaybı $\sum_{i=1}^4 K_i$	Isıl verim ( $\eta_1$ ) [%]
Kazan 1	13.41	11.53	0.07	0.60	25.61	74.39
Kazan 2	7.55	10.63	0.21	0.59	18.98	81.02
Kazan 3	10.38	11.00	0.002	0.81	22.19	77.81

#### 5.3.4. İyileştirilmiş kazan işletme koşullarında oluşabilecek toplam ısı kayıpları ve kazan veriminin hesaplanması

Bölüm 5.3.3'te, incelenen kazanlardaki hava fazlalığının (%20) dolayında olması gerekirken (%100) üzerinde olduğu görülmüş ve yakıt hava ayarı ile hava fazlalığının (%20) dolaylarına indirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Enerji verimliliği bağlamında en uygun yanma oksijenin (%2–3) oranında olması gerekmektedir. Bu nedenle mevcut kazanlarda yakıt hava oranı ayar ile baca gazı ( $O_2$ ) oranının %3'e düşürülmesi gerekmektedir. Ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, bu durumda baca gazı sıcaklıklarının ( $150^\circ C$ ) dolayında olması beklenmektedir. Bu iyileştirilmiş işletme verileri yukarıda verilen aynı denklemler kullanılarak ilgili ısı kayıpları ve kazan verimleri ayrı ayrı hesaplanmış sonuçlar Çizelge 5.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Uygun yakıt/hava kontrolü ( $O_2=\%3$ ,  $t_{bg}=150^\circ C$ ) durumunda kazanlarda oluşan ısı kayıpları ve ısı verimleri.

	Baca duyulur ( $K_{bt}$ ) ısı kaybı [%]	Baca gizil ( $K_{bw}$ ) ısı kaybı [%]	Yanmamış CO ( $K_{CO}$ ) ısı kaybı [%]	Yalıtım ( $K_{yal}$ ) ısı kaybı [%]	Toplam ısı kaybı $\sum_{i=1}^4 K_i$	Isıl verim ( $\eta_2$ ) [%]
Kazan 1	4.16	10.85	0.03	0.60	15.64	84.36
Kazan 2	4.16	10.85	0.09	0.59	15.69	84.31
Kazan 3	4.16	10.85	0.001	0.81	15.82	84.18

Mevcut kazan verimleri ile iyileştirilmiş kazan verimleri arasındaki fark uygun yakıt hava oranı ardından kazan verimlerinde oluşacak artışları gösterir. Her bir kazan ile ilgili verim artışları ve bu artışlar sayesinde sağlanan doğal gaz tasarrufları aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır;

$$\Delta M_y = M_{y1} \left[ 1 - \left( \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \right]$$

Sonuçlar Çizelge 5.12’de gösterilmiştir. Burada ( $\eta_1$ ) mevcut kazan verimlerini ( $\eta_2$ ) ise iyileştirilmiş kazan verimlerini göstermektedir.

Çizelge 5.12. Uygun yakıt/hava kontrolü ( $O_2=\%3$ ,  $t_{bg}=150^\circ C$ ) durumunda iyileştirilmiş kazan verimlerinin, mevcut kazan verimleri ile karşılaştırılması ve sağlanan verim artışları ve doğal gaz tasarrufları.

	Mevcut ısı verim ( $\eta_1$ ), [%]	İyileştirilen ısı verim ( $\eta_2$ ), [%]	Verim artışı [%]	Yakıt tasarrufu ( $\Delta M_y$ ), [ $m^3/h$ ]	Yakıt tasarrufu ( $\Delta M_y$ ), [ $m^3/yıl$ ]
Kazan 1	74.39	84.36	9.97	16.52	21806.4
Kazan 2	81.02	84.31	3.29	5.46	7207.2
Kazan 3	77.81	84.18	6.37	10.64	14044.8
Toplam	-----	-----	19.63	32.62	43058.4

Kazanların günde (10) saat, ayda (22) gün ve yılda (6) ay çalıştığı kabul edilirse yıllık işletme süresi (1320h/yıl) olacaktır. Yukarıdaki çizelgede görüldüğü gibi uygun yakıt/hava kontrolü yapılarak kazanların ölçülen mevcut işletme değerleri iyileştirilirse yıllık işletme süresi içerisinde toplam (43058.4  $m^3$ ) doğal gaz tasarrufu yapılabilecektir.

### 5.3.5. Isıtma vanalarından olan ısı kayıplarının hesaplanması

Kazan dairesinde bulunan vanaların sayısı belirlendikten sonra, vana ve flanşlardan olan ısı kayıpları; pratik olarak, aynı çapta eşdeğer ısı kayıplı bir borudan olan ısı kaybı dikkate alınarak bulunur. Yalıtılmamış bir flanştan olan ısı kaybı, bağlı bulunduğu aynı çaptaki (0.5m) uzunluğundaki yalıtımsız bir borudan olan ısı kaybına eşdeğerdir. Yalıtılmamış bir vanadan olan ısı kaybı ise, aynı çapta ve (2.5m) uzunluğundaki yalıtımsız bir borudan olan ısı kaybına eşittir [43]. Her vanada (4) flanş bulunduğu için, ısı kayıpsal eşdeğer boru uzunluğu (2m), bir vana için bu değer (2.5m) dir. Toplam vana başı ısı kayıpsal boru uzunluğu (4.5m) dir. Bu değer vana

sayısı ile çarpılarak, her bir vana gurubu ile ilgili ısı kayıpsal eşdeğer boru uzunluğu hesaplanır. İlgili vana gurupları için hesaplanan eşdeğer uzunluklar Çizelge 5.13'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.13. Vanalar ve bağlantı elemanları gruplarında ısı eşdeğer boru uzunlukları.

Birim	Adet	Anma çapları [mm]	Anma çapları [m]	Vana katsayısı [m]	Flanş katsayısı [m]	Isıl eşdeğer boru uzunluğu [m]
	1	2	3	4	5	1.(4+5)
Redüksiyon vana						
200/150	19	200	0.2	2.5	0.5.4=2	85.5
150/125	24	150	0.15	2.5	0.5.4=2	108
100/80	27	100	0.1	2.5	0.5.4=2	121.5
80/65	33	80	0.08	2.5	0.5.4=2	148.5
65/50	26	65	0.065	2.5	0.5.4=2	117
Düz vana						
DN50	10	50	0.05	2.5	0.5.4=2	45
DN40	3	40	0.04	2.5	0.5.4=2	13.5
DN32	4	32	0.032	2.5	0.5.4=2	18
Pislik tutucu						
DN200	2	200	0.2	2.5	0.5.4=2	9
DN150	4	150	0.15	2.5	0.5.4=2	18
DN100	15	100	0.1	2.5	0.5.4=2	67.5
DN80	2	80	0.08	2.5	0.5.4=2	9
DN65	12	65	0.065	2.5	0.5.4=2	54
DN50	4	50	0.05	2.5	0.5.4=2	18
Çek valf						
DN80	13	80	0.08	2.5	0.5.4=2	58.5
DN50	4	50	0.05	2.5	0.5.4=2	18
DN40	2	40	0.04	2.5	0.5.4=2	9
DN32	4	32	0.032	2.5	0.5.4=2	18

Tüm vana ve flanşların yalıtılması ile sağlanacak ısı geri kazanımlarının ısı eşdeğer boru uzunlukları yardımı ile hesaplanması

Her bir vana ve bağlantı parçaları gruplarının hesaplanan ısı eşdeğer boru uzunlukları Çizelge 5.13'te verilmiştir. Bu ısı eşdeğer borularda yalıtımsız ve yalıtım yapıldıktan sonraki ısı kayıpları ayrı ayrı hesaplanmış aralarındaki fark geri kazanılan yani tasarruf edilen ısı olarak tanımlanmıştır.

*Yalıtımsız vana ve bağlantı elemanlarının eşdeğer boru uzunluklarında metre başına özgül ısı kayıplarının  $Q(W/m)$  hesaplanması*

Yalıtımsız borularda özgül ısı kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanır [43]:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta t = (h_c + h_r) \cdot \pi \cdot d_1 \cdot (t_s - t_ç) \quad [W/m] \quad (5.18)$$

Burada;

$Q$  [W/m] ; ısı kaybını,

$t_s$  [°C] ; boru yüzey sıcaklığını,

$t_ç$  [°C] ; çevre sıcaklığını,

$d_1$  [m] ; boru dış çapını,

$h_c$  [W/m<sup>2</sup>.°C] ; konveksiyonla ısı geçiş katsayısını,

$h_r$  [W/m<sup>2</sup>.°C] ; radyasyonla ısı geçiş katsayısını, tanımlar.

Borularda radyasyon ( $h_r$ ) ve konveksiyon ( $h_c$ ) ısı geçiş katsayıları aşağıdaki korelasyonlar ile hesaplanır [43]:

$$h_r = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon \cdot (t_s^2 + t_ç^2) \cdot (t_s + t_ç) \quad \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (5.19)$$

Burada ( $\varepsilon$ ) boru yüzeyi emisivitesi olup (0.64) alınmıştır.

$$h_c = 1.32 \cdot \left[ \frac{(t_s - t_ç)}{d_1} \right]^{0.25} \quad \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (5.20)$$

Kazan gidiş sıcaklığı (60°C), çevre sıcaklığı (20°C) alınmıştır. İlgili ısı iletim katsayıları ve ısı kayıpları ayrı ayrı hesaplanarak sonuçlar Çizelge 5.14'te verilmiştir.



Çizelge 5.14. Yalıtımsız vana ve bağlantı elemanlarında ısı geçiş katsayıları ( $h_r$ ,  $h_c$ ) yardımı ile hesaplanan metre başına özgül ısı kayıpları ( $Q$ ).

Birim	Yüzey sıcaklığı [°C]	Çevre sıcaklığı [°C]	$h_r$ [W/m <sup>2</sup> .°C]	$h_c$ [W/m <sup>2</sup> .°C]	Q yalıtımsız kayıp [W/m]
Redüksiyon vana					
200/150	60	20	0.01	4.96	125.05
150/125	60	20	0.01	5.33	100.77
100/80	60	20	0.01	5.90	74.33
80/65	60	20	0.01	6.24	62.87
65/50	60	20	0.01	6.57	53.80
Düz vana					
DN50	60	20	0.01	7.02	44.18
DN40	60	20	0.01	7.42	37.37
DN32	60	20	0.01	7.85	31.61
Pislik tutucu					
DN200	60	20	0.01	4.96	125.05
DN150	60	20	0.01	5.33	100.77
DN100	60	20	0.01	5.90	74.33
DN80	60	20	0.01	6.24	62.87
DN65	60	20	0.01	6.57	53.80
DN50	60	20	0.01	7.02	44.18
Çek valf					
DN80	60	20	0.01	6.24	62.87
DN50	60	20	0.01	7.02	44.18
DN40	60	20	0.01	7.42	37.37
DN32	60	20	0.01	7.85	31.61

*Yalıtımlı vana ve bağlantı elemanlarının eşdeğer boru uzunluklarında metre başına özgül ısı kayıplarının  $Q(W/m)$  hesaplanması*

Yalıtımlı borularda özgül ısı kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanır [43]:

$$Q = \frac{\pi \cdot (t_s - t_c)}{\frac{\ln(d_2/d_1)}{2 \cdot k} + \frac{1}{h_{so} \cdot d_2}} \quad [W/m] \quad (5.21)$$

Burada;

$Q$  [W/m] ; ısı kaybını,

$d_1$  [m] ; boru dış çapını,

$d_2$  [m] ; yalıtım sonrası dış çapı,

$k$  [W/m.K] ; yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını,

$h_{so}$  [W/m<sup>2</sup>.K] ; yüzeye ait ısı geçiş katsayısını, tanımlar.

Tüm vana ve bağlantı elemanlarının (3cm) cam yünü kılıfları ile yalıtılması kabul edilmiştir. Burada ( $k$ ) yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı olup (0.04) alınmıştır [EK-10], ( $h_{so}$ ) yüzeye ait ısı geçiş katsayısı olup (10) alınmıştır [43]. Isı kayıpları Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.15. Yalıtımlı vana ve bağlantı elemanlarında ısı iletim katsayısı ( $k$ ) ve yüzeysel ısı geçiş katsayısı ( $h_{so}$ ) yardımı ile hesaplanan metre başına özgül ısı kayıpları ( $Q$ ).

Birim	Anma çapları [m]	$k$ [W/m.K]	$h_{so}$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Yeni dış çap ( $d_2$ ), [m]	Q yalıtımlı kayıp [W/m]
Redüksiyon vana					
200/150	0.2	0.04	10	0.26	34.30
150/125	0.15	0.04	10	0.21	26.84
100/80	0.1	0.04	10	0.16	19.33
80/65	0.08	0.04	10	0.14	16.30
65/50	0.065	0.04	10	0.125	14.00
Düz vana					
DN50	0.05	0.04	10	0.11	11.67
DN40	0.04	0.04	10	0.1	10.09
DN32	0.032	0.04	10	0.092	8.80
Pislik tutucu					
DN200	0.2	0.04	10	0.26	34.30
DN150	0.15	0.04	10	0.21	26.84
DN100	0.1	0.04	10	0.16	19.33
DN80	0.08	0.04	10	0.14	16.30
DN65	0.065	0.04	10	0.125	14.00
DN50	0.05	0.04	10	0.11	11.67
Çek valf					
DN80	0.08	0.04	10	0.14	16.30
DN50	0.05	0.04	10	0.11	11.67
DN40	0.04	0.04	10	0.1	10.09
DN32	0.032	0.04	10	0.092	8.80

### 5.3.6. Isıtma vanalarında oluşan toplam ısı kayıpları ve ilgili yalıtımların yapılması ile ısı kazançlarının hesaplanması

Yalıtım öncesi ve yalıtım sonrası hesaplanan metre başına özgül ısı kayıpları aralarındaki fark geri kazanılan metre başına özgül ısı miktarları olarak

tanımlanmıştır. Her bir vananın yalıtılmasından sağlanan metre başına özgül ısı kazanç miktarı aynı vananın ısı eşdeğer boru uzunluğu ile çarpılarak sağlanan toplam ısı kazanç miktarı bulunmuştur. Tüm vanaların yalıtılmasından sağlanan toplam ısı kazanç miktarları Çizelge 5.16’da gösterilmektedir.

Çizelge 5.16. Toplam ısı kayıp ve ısı kazanç miktarları.

Birim	Isıl eşdeğer boru uzunluğu [m]	Q yalıtımsız kayıp [W/m]	Q yalıtımlı kayıp [W/m]	Q kazanç [W/m]	Q kazanç [kW]
Redüksiyon vana					
200/150	85.5	125.05	34.30	90.76	7.76
150/125	108	100.77	26.84	73.93	7.98
100/80	121.5	74.33	19.33	55.00	6.68
80/65	148.5	62.87	16.30	46.57	6.92
65/50	117	53.80	14.00	39.79	4.66
Düz vana					
DN50	45	44.18	11.67	32.51	1.46
DN40	13.5	37.37	10.09	27.28	0.37
DN32	18	31.61	8.80	22.81	0.41
Pislik tutucu					
DN200	9	125.05	34.30	90.76	0.82
DN150	18	100.77	26.84	73.93	1.33
DN100	67.5	74.33	19.33	55.00	3.71
DN80	9	62.87	16.30	46.57	0.42
DN65	54	53.80	14.00	39.79	2.15
DN50	18	44.18	11.67	32.51	0.59
Çek valf					
DN80	58.5	62.87	16.30	46.57	2.72
DN50	18	44.18	11.67	32.51	0.59
DN40	9	37.37	10.09	27.28	0.25
DN32	18	31.61	8.80	22.81	0.41
Toplam	-----	-----	-----	-----	49.22

Tüm vana ve bağlantı elemanlarının (3cm) cam yünü kılıfları ile yalıtılması durumunda  $49.22[\text{kW}]=42321.6[\text{kcal/h}]$  ısı tasarrufu edilebilmektedir. Mevcut kazanlarda ortalama verim (%78) kabul edilirse saatte ( $6.8\text{m}^3$ ) doğal gaz tasarrufu edilebilecektir.

### 5.3.7. Yakıt tasarrufu ile ilgili geri ödeme sürelerinin hesaplanması

#### Kazanlarda yakıt hava oranı yapılması ile sağlanacak kazancın geri ödeme süresi

Burada bir yatırım söz konusu değildir. Sadece kazan operatörünün yakıt hava oranının sürekli izleyerek baca gazı oksijen oranını (%3) dolayında tutulması sağlanır. Eğer bu işlem yanma oksijen kontrol sistemi ile yapılmak istenirse, ilgili yatırımın kendisini en fazla birkaç ay içerisinde kendini geri ödeme söz konusudur.

#### Vanalar ve bağlantı elemanlarının ilgili cam yünü ceketleri ile yalıtılmasından kaynaklanan yatırımın geri ödeme süresinin hesaplanması

İlgili elemanların (3cm) kalınlıkta cam yünü yalıtım ceketleri ile yalıtılması için gerekli fiyatlar yapımcı firmalardan alınmış, bunların toplam sayıları, birim fiyatlar ve toplam fiyatlar Çizelge 5.17’de verilmiştir:

Çizelge 5.17. Toplam ceket fiyatları ve yatırım maliyeti.

Birim	Adet	Yalıtım ceket fiyatı [TL/adet]	Toplam fiyat [TL]
Redüksiyon vana			
200/150	19	150	2850
150/125	24	102	2448
100/80	27	94	2538
80/65	33	69	2277
65/50	26	68	1768
Düz vana			
DN50	10	64	640
DN40	3	60	180
DN32	4	59	236
Pislik tutucu			
DN200	2	190	380
DN150	4	157	628
DN100	15	102	1530
DN80	2	86	172
DN65	12	83	996
DN50	4	71	284
Çek valf			
DN80	13	86	1118
DN50	4	71	284

Çizelge 5.17. (Devam) Toplam ceket fiyatları ve yatırım maliyeti.

DN40	2	68	136
DN32	4	51	204
Toplam yatırım maliyeti			18669

Yalıtımla sağlanan ısı geri kazanımı 49.22[kWt]'tir. Kazanların günde (10) saat, ayda (22) gün ve yılda (6) ay çalıştığı kabul edilirse yıllık işletme süresi (1320h/yıl) olacaktır. Kazanların ortalama verimi (0.78) kabul edilirse bu ısı kazancı karşılığında saatte (6.8m<sup>3</sup>) doğal gaz tasarrufu edilebilir, bunun yıllık değeri (8976m<sup>3</sup>)'tür. Bunun parasal karşılığı, birim doğal gaz fiyatı (0.72TL/m<sup>3</sup>) olduğundan, ilgili parasal kazanç (6462.7TL/yıl). Toplam yatırım maliyeti (18669TL) bu yıllık kazanca bölünürse yalıtım geri ödeme süresi (3) yıl olacaktır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aydınlatma ile ilgili lambaların sayısı tespit edildikten ve aydınlatma düzeyleri ölçüldükten sonra elde edilen sonuçlar göstermektedir ki:

Fakülte binası eski bloktaki derslik, koridor, kantin ve sosyal faaliyet alanlarının aydınlatma seviyeleri gereksinimleri karşılayacak seviyededir. Ancak tespit edilen arızalı ve boş armatürler değiştirilerek daha etkin aydınlatma sağlanabilir.

F.G.H. Blokların koridorlarında genel bir aydınlatma problemi bulunmaktadır. Bu bölümlerde kullanılan flüoresan lambalar, binanın yapısı sebebiyle bütün katlarda kirişlerin arasında kalmaktadır. Lambaların bu şekilde konumlandırılmış olmaları etkin bir aydınlatmanın sağlanmasını engellemektedir. Koridorlarda kullanılan lambaların en az kiriş seviyesine kadar indirilerek kullanılması gerekmektedir. Bu da ancak uygun şekilde üretilmiş armatürler sayesinde uygulanabilir.

Uygun armatür kullanımı ve her koridorda en az 3 adet T8-36 Watt flüoresan lamba kullanımıyla gerekli olan aydınlatma seviyesinin sağlanmasına yetecektir.

Bu uygulama için (186) adet armatür gerekmektedir. Bu armatürlerin maliyet hesabı şu şekilde yapılabilir;

$$186 \times 15.75[\text{TL}] = 2929.5[\text{TL}].$$

Fakülte binasındaki mevcut manyetik balastlı flüoresan lambaların enerji verimli elektronik olanlar ile değiştirilmesi ile sağlanan günlük parasal kazanç (113.5 TL)'dir, bu kazancın yıllık değeri (22473 TL) olur. Toplam yatırım maliyeti (82240 TL) bu yıllık kazançta bölüdüğü zaman geri ödeme süresi (3.7 yıl) olacaktır. Geri ödeme süresinin kabul edilebilir bir seviyede olduğu görülmektedir ve bir yatırım söz konusu olabilir.

Fakülte binasının termal kamera ile çekilen görüntüleri incelenirken binada ciddi anlamda ısı kayıpları olduğu görülmektedir. Binada ısı kaybının büyük bir bölümünün duvarlardan gerçekleştiği göz önüne alınırsa, kolon ve kirişler öncelikli olmak üzere tüm duvarlarda uygun yalıtım uygulamaları duvarın ısı geçiş direncini artırarak ısı kaybı azaltılacaktır.

Görüntüler incelendiğinde pencerelerden ısı kayıpları meydana geldiği görülmektedir. Pencerelerden meydana gelen ısı kayıplarını azaltmak için;

- Pencere büyüklükleri küçültülerek optimum düzeyde tutulmalıdır.
- Pencere camı olarak ısı iletkenliği düşük olan cam tipleri tercih edilmelidir.
- Pencere çerçevelerinin ısı iletkenliği düşük olmalıdır.
- Tek cam yerine çift cam kullanılmalıdır.
- Çift cam seçerken, camlar arası boşluğun ısı iletkenliği düşük gazlar ile doldurulmuş olanları tercih edilmelidir.
- Pencerelerin akşam saatlerinde bir panjurla kapatılması da ısı kayıplarını büyük ölçüde azaltacaktır.

Şekiller incelendiğinde radyatör arkası bölgelerden meydana gelen kayıplar görülmektedir. Isı geçiş miktarının büyüklüğüne bağlı olarak bu bölgelerin sıcaklıkları daha yüksektir, radyatör bölgelerinden dışarıya olan ısı kayıplarını azaltmak için alınması gereken önlemler;

- Radyatör arkalarına ışınlı ısı yalıtım levhaları konularak ısı kaybı belirli oranlarda azaltılabilir.
- Radyatörlerin üzerine mermer konulmamalıdır veya mobilya vs. gibi ev eşyaları ile önü kapatılmamalıdır. Bu estetik uygulamalar içeri olan ısı geçişini azaltıp, kaybı artırmaktadır.

Daha inşaat aşamasından duvarların ve çatının doğru yalıtılması gerekir. Cam seçimlerinin doğru yapılması gerekir. Tesisat yalıtımının doğru yapılması gerekir.

Kazanların ölçülen mevcut işletme değerleri incelendiğinde, kazanlarda (CO) kayıpları düşüktür. Bu değerlerin düşük olması, oksijen oranının olması gereken %3'ün çok üzerinde olup (%11) dolayındadır.

(%20) dolayında olması gereken fazla havanın kazan 1'de (%153), kazan 2'de (%213), kazan 3'te (%119) gibi çok yüksek değerlerde bulunmaktadır. Bu durum ölçülen değerlerden görüldüğü gibi baca duyulur ısı kaybının aşırı biçimde yüksek olmasına neden olmaktadır.

Uygun yakıt/hava kontrolü yapılarak kazanların ölçülen mevcut işletme değerlerinin iyileştirilmesi durumunda ( $O_2=3\%$ ,  $t_{bg}=150^\circ C$ ), sonuçlar göstermektedir ki: sağlanan verim artışları kazan 1'de (%9.97), kazan 2'de (%3.29), kazan 3'te (%6.37), ve sağlanan doğal gaz tasarrufları kazan 1'de ( $16.52m^3/h$ ), kazan 2'de ( $5.46m^3/h$ ), kazan 3'te ( $10.64m^3/h$ ). Üç kazandan sağlanan toplam yıllık doğal gaz tasarrufu ( $43058.4m^3$ )'tür, bu tasarrufun yıllık parasal karşılığı (31002TL) olacaktır.

Vanalar ve bağlantı elemanlarının cam yünü ceketleri ile yalıtılmasının bir an önce fakülte yöneticileri tarafından yapılması lazım ve burada bir yatırım söz konusudur çünkü hesaplamalardan görüldüğü gibi yalıtımla sağlanan ısı geri kazanımı  $49.22[kWt]$ 'tir, bu ısı kazancı karşılığında saatte ( $6.8m^3$ ) doğal gaz tasarrufu edilebilir, bunun yıllık değeri ( $8976m^3$ )'tür, bu tasarrufun yıllık parasal karşılığı (6462.7TL) olacaktır. Ayrıca geri ödeme süresinin kısa (3) yıl olduğu bulunmuştur.

Kazanlarda yakıt/hava oranı ayarları yapılarak fazla havanın (%20) dolayına indirilmesi, üstelik vanalar ve bağlantı elemanlarının cam yünü ceketleri ile yalıtılması durumunda doğal gaz tüketiminde toplam ( $39.42m^3/h$ ) tasarruf yapılabilir, bu tasarrufun yıllık değeri ( $52034.4m^3$ )'tür, bu değerinin yıllık parasal karşılığı (37464.8TL) olacaktır.

Kazanlarda fazla hava miktarının çok yüksek olmasının diğer bir nedeni de iyi bakımın yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Kazanlara düzenli bakım önemli bir enerji verimliliği uygulamasıdır. Kazanların performansları düzenli bakım sayesinde



en üst düzeyde tutulur. Ayrıca tesisat borularının bakımı da çok önemlidir. Borularda biriken kireç sistem debisini, basıncını, enerji transferini ve kazanların performanslarını olumsuz yönde etkilemektedir. Boru ve kanallardaki kaçakların tespiti ve onarılması da bu bağlamda düşünülürse enerji kayıplarının büyük oranda önüne geçilmiş olur.

## KAYNAKLAR

1. İnternet : Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik”[http://www.eie.gov.tr/duyurular/EV/EV\\_kanunu/EV\\_yonetmelik/yonetmelik.pdf](http://www.eie.gov.tr/duyurular/EV/EV_kanunu/EV_yonetmelik/yonetmelik.pdf) (2008).
2. Ihm P., Nemri A., Krarti M., “Estimation of lighting energy savings from daylighting”, *Building and Environment*, 44: 509–514 (2009).
3. Li D., Cheung K.L., Wong S.L., Lam T., “An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls”, *Applied Energy*, 87: 558–567 (2010).
4. Onaygil S., Güler Ö., “Determination of the energy saving by daylight responsive lighting control systems with an example from Istanbul”, *Building and Environment*, 38: 973–977 (2003).
5. Roisin B., Bodart M., Deneyer A., D’Herdt P., “Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption”, *Energy and Buildings*, 40: 514–523 (2008).
6. Wall R., Crosbie T., “Potential for reducing electricity demand for lighting in households: An exploratory socio-technical study”, *Energy Policy*, 37: 1021–1031 (2009).
7. Yu P., Chow W.K., “A discussion on potentials of saving energy use for commercial buildings in Hong Kong”, *Energy*, 32: 83–94(2007).
8. Atif M., Galasiu A., “Energy performance of daylight-linked automatic lighting control systems in large atrium spaces: report on two field-monitored case studies”, *Energy and Buildings*, 35: 441–461(2003).
9. Çomaklı K., Yüksel B., “Optimum insulation thickness of external walls for energy saving”, *Applied Thermal Engineering*, 23: 473–479 (2003).
10. Bakos G.C., “Insulation protection studies for energy saving in residential and tertiary sector”, *Energy and Buildings*, 31: 251–259 (2000).
11. Mahlia T., Iqbal A., “Cost benefits analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives”, *Energy*, 35: 2242–2250 (2010).

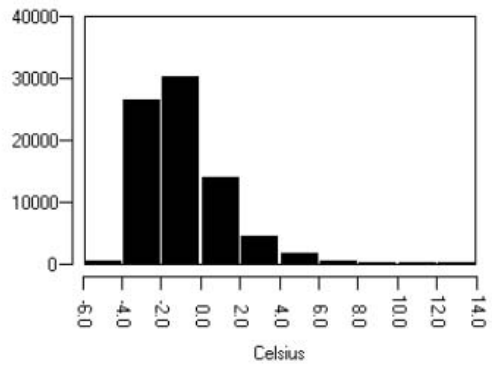
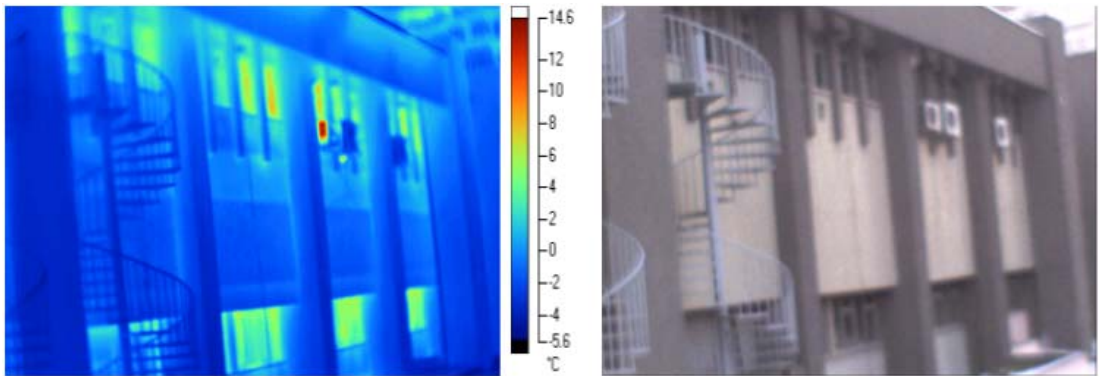
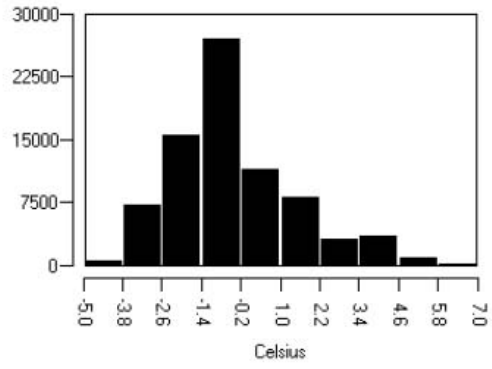
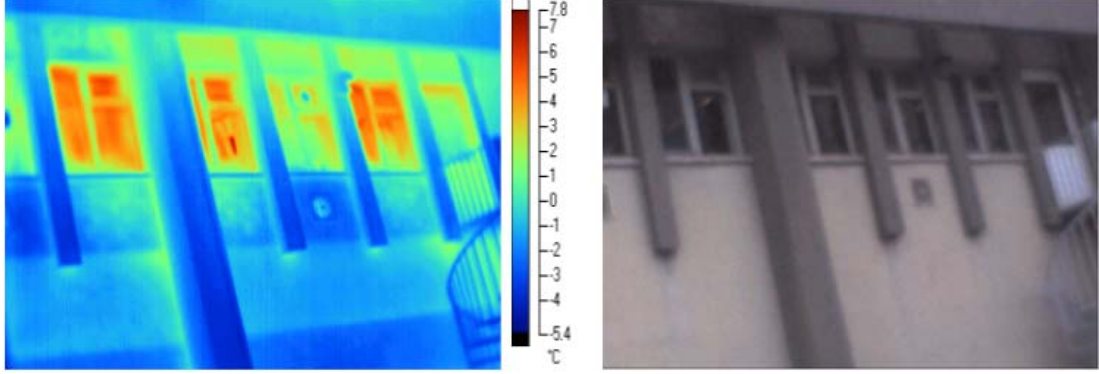
12. Yu J., Yang C., Tian L., “Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China”, *Energy and Buildings*, 40: 1536–1546 (2008).
13. Daouas N., “A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads”, *Applied Energy*, 88: 156–164 (2011).
14. Bojic M., Yik F., Leung W., “Thermal insulation of cooled spaces in high rise residential buildings in Hong Kong”, *Energy Conversion and Management*, 43: 165–183 (2002).
15. Aktacir M., Büyükalaca O., Yılmaz T., “A case study for influence of building thermal insulation on cooling load and air-conditioning system in the hot and humid regions”, *Applied Energy*, 87: 599–607 (2010).
16. Dimoudi A., Kostarela P., “Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C climatic zone of Greece”, *Renewable Energy*, 34: 289–296 (2009).
17. Radhi H., “A systematic methodology for optimising the energy performance of buildings in Bahrain”, *Energy and Buildings*, 40: 1297–1303 (2008).
18. Mata E., Lopez F., Cuchi A., “Optimization of the management of building stocks: An example of the application of managing heating systems in university buildings in Spain”, *Energy and Buildings*, 41: 1334–1346 (2009).
19. Kim M., Kim Y., Chung K., “Improvement of intermittent central heating system of university building”, *Energy and Buildings*, 42: 83–89 (2010).
20. Dovjak M., Shukuya M., Olesen B., Krainer A., “Analysis on exergy consumption patterns for space heating in Slovenian buildings”, *Energy Policy*, 38: 2998–3007 (2010).
21. Milli Eğitim Bakanlığı, “Elektrik Elektronik Teknolojisi Aydınlatma Projeleri”, *MEB, Ankara*, 3(2007).
22. Gençoğlu, M.T., Özbay, E., “Aydınlatmada Enerji Verimliliği Yöntemleri”, *XII. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi*, Eskişehir, (2007).

23. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Kamuda Verimli Aydınlatmaya Geçiş”, *etkb, Ankara*, 1-8 (2009).
24. İnternet : Industrial Assessment Center (IAC) “Industrial Assessment Center Database version 8.1” [http://oipea.www.rutgers.edu/database/db\\_f.html](http://oipea.www.rutgers.edu/database/db_f.html) (2001).
25. Heather, R. “Lighter Days, Brighter Days–Daylighting as an Energy–Saving Tool”, *US Glass, Metal & Glazing*, 56-58 (2005).
26. Benya J., Heschong L., McGowan T., Miller N., Rubinstein F., “Advanced Lighting Guidelines”, *New Buildings Institute*, (2003).
27. İnternet : National Institute of Building Sciences “Electric Lighting Controls” <http://www.wbdg.org/resources/electriclighting.php> (2010).
28. Shira, R. R., “Digital Lighting Controls”, Master Thesis, *University of California*, California, 13-16 (2009).
29. Leslie R., Raghavan R., Howlett O., Eaton C., “The potential of simplified concepts of daylight harvesting”, *Lighting Research and Technology* 37, 21-40 (2005).
30. Lee E. S., Selkowitz S. E., “The New York Times Headquarters daylighting mockup: Monitored performance of the daylighting control system”, *Energy and Building* 38, 914-929 (2006).
31. Kiliccote S., Piette M. A., Watson D. S., “Dynamic Controls for Energy Efficiency and Demand Response: Framework Concepts and a New Construction Study Case in New York”, *2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, California*, (2006).
32. Piette M. A., Kiliccote S., Ghatikar G., “Linking Continuous Energy Management and Open Automated Demand Response”, *Grid Interop Forum, Atlanta*, (2008).
33. Koçu N., “Yapılarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna ve Hava Kirliliğine Etkisi”, *İpekyolu Dergisi*, 145: 25-29 (2000).
34. Şengül D., Sayın B., Kaplan S.A., “Su ve Isı Yalıtımının Yapılarda Uygulanmasının Gerekliliği ve Yalıtımdaki Uygulamaların Emniyet ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi”, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi*, İstanbul, 457-466 (2005).

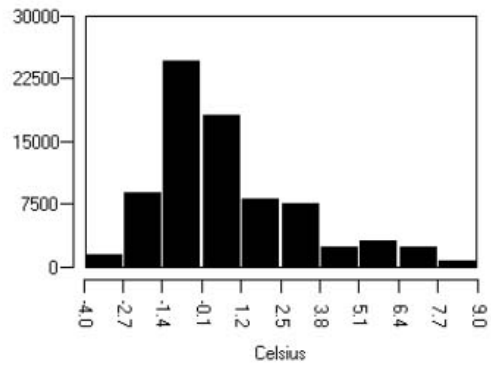
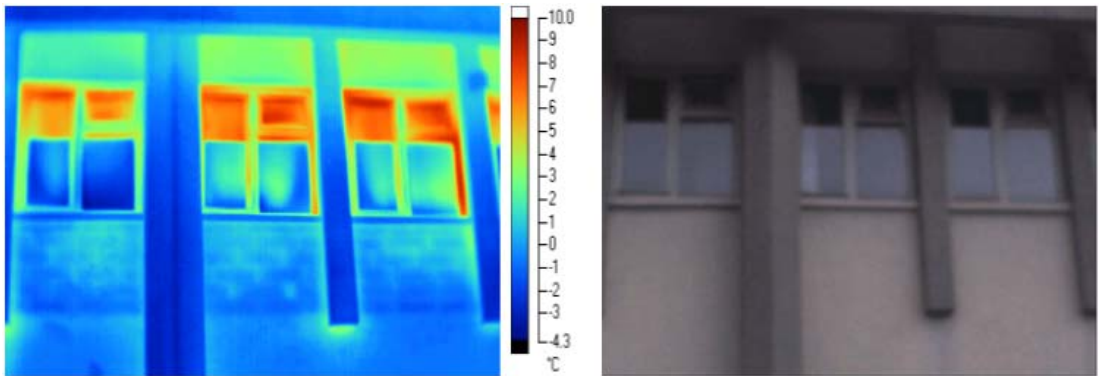
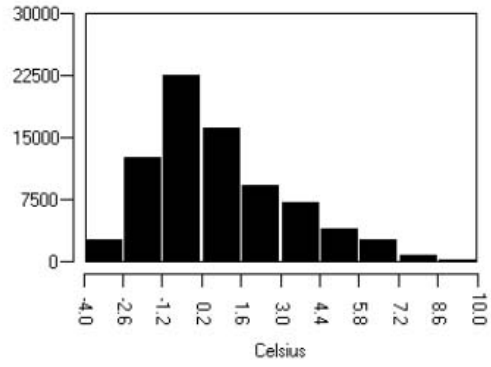
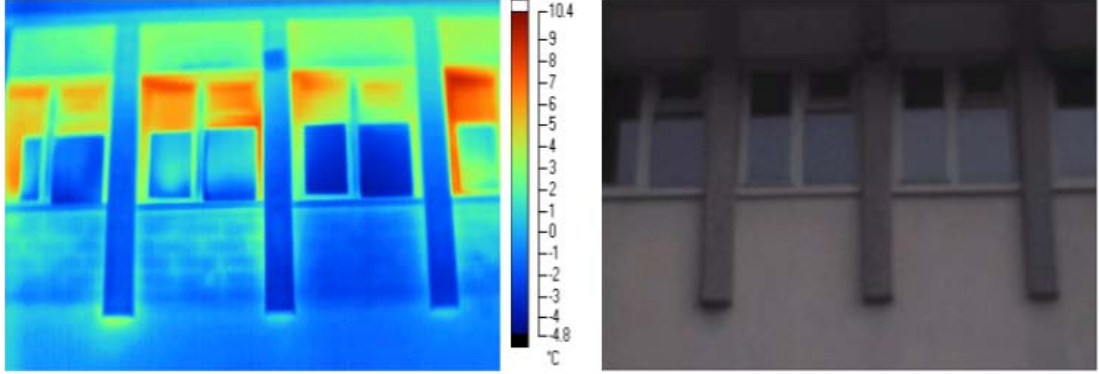
35. Sezer Ş. F., “Türkiye’de Isı Yalıtımın Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi*, 10 (2): 79-85 (2005).
36. Aytaç, A., Aksoy, U.T., “Enerji Tasarrufu İçin Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 21 (4): 753-758 (2006).
37. Yılmaz, Z., Koçlar Oral, G., Manioğlu, G., “Isıtma Enerjisi Tasarrufu Açısından Bina Kabuğu Isı Yalıtım Değerinin Bina Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi”, *İTÜ Araştırma Fonu 985, İstanbul*, (2000).
38. Koçu, N., “Isı Yalıtımsız Yapıların Atmosfer Kirliliğine ve Küresel Isınmaya Etkisi” *Mimarlar Dergisi*, (2): 70-79 (2007).
39. Aksoy, U.T., Keleşoğlu, Ö., “Bina Kabuğu Yüzey Alanı ve Yalıtım Kalınlığının Isıtma Maliyeti Üzerinde Etkileri”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi*, 22 (1): 103-109 (2007).
40. Lugmaier A., “Optimisation of Energy Efficiency Methods in Buildings regarding Life Cycle Costs”, Master Thesis, *Technical University of Denmark And Graz University of Technology*, Graz, 57-58 (2000).
41. Can M., “Merkezi Isıtma Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Analizi ve Hava Kirliliğini Azaltmadaki Önemi”, *Ekoloji Dergisi*, 10: 30-36 (1994).
42. Ippolito, F.P., “Energy Management in The Finnish Residential Building Sector”, Master Thesis, *Helsinki University of Technology*, Helsinki, 62-69 (2006).
43. “Kazanlarda enerji verimliliğinin artırılması” ve “Isı yalıtımı”, Sanayide enerji yönetimi esasları, Cilt III, *Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü*, Ankara, 1-15, 1-21 (2008).
44. Da’as, B. A. S., “Energy Management procedures and Audit Results of Electrical, Thermal and Solar Applications in Hospitals Sector in Palestine”, Master Thesis, *An-Najah National University*, Nablus, 30-36 (2008).
45. İnternet : Department of Energy (DOE) “Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. Best Practices Program. Information on Steam.” <http://www.oit.doe.gov/bestpractices/steam> (2001).

**EKLER**

EK-1. Fakültenin laboratuvarları için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı

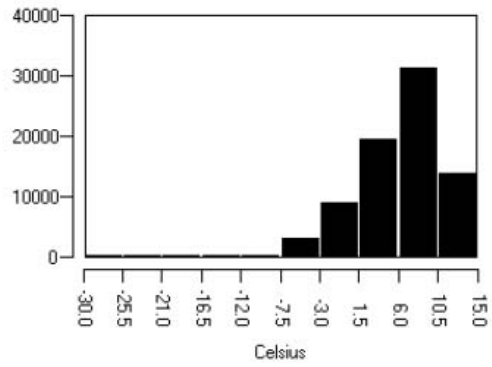
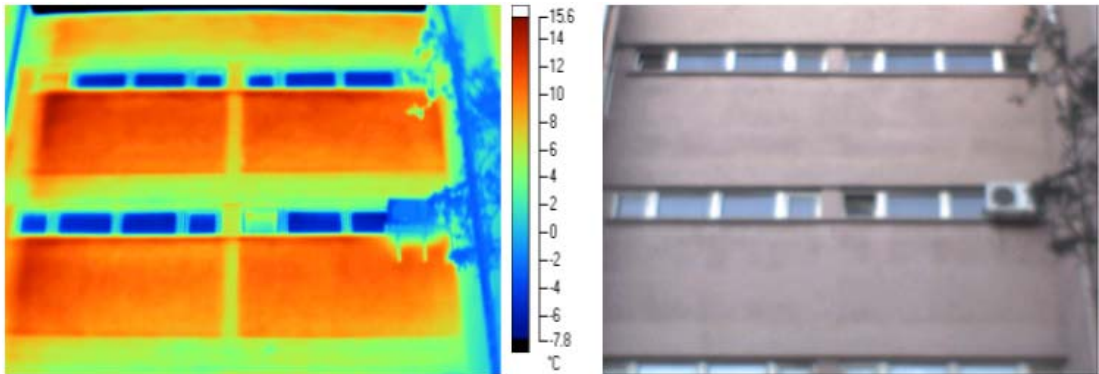
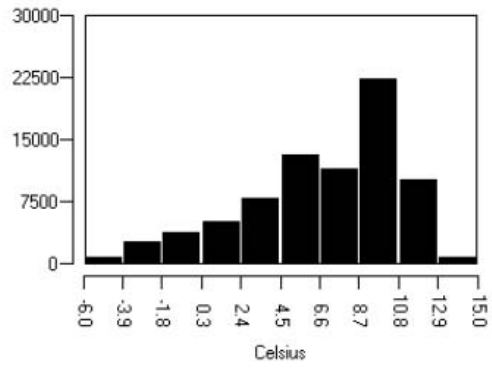
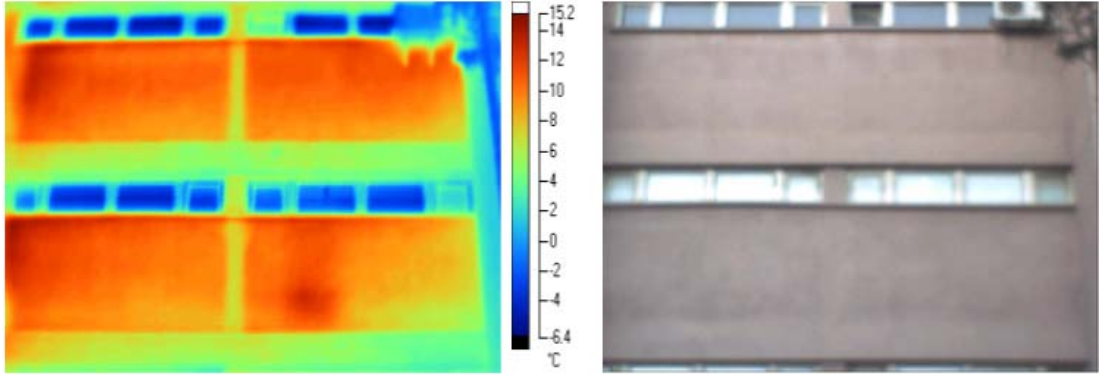


EK-1. (Devam) Fakültenin laboratuvarları için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı

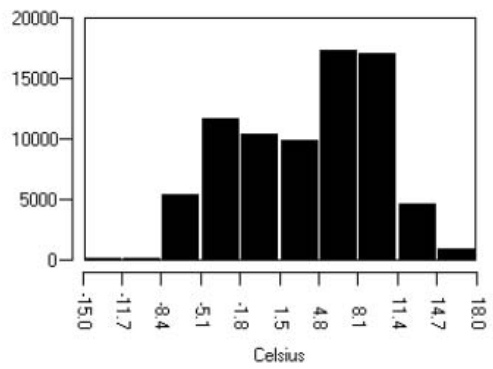
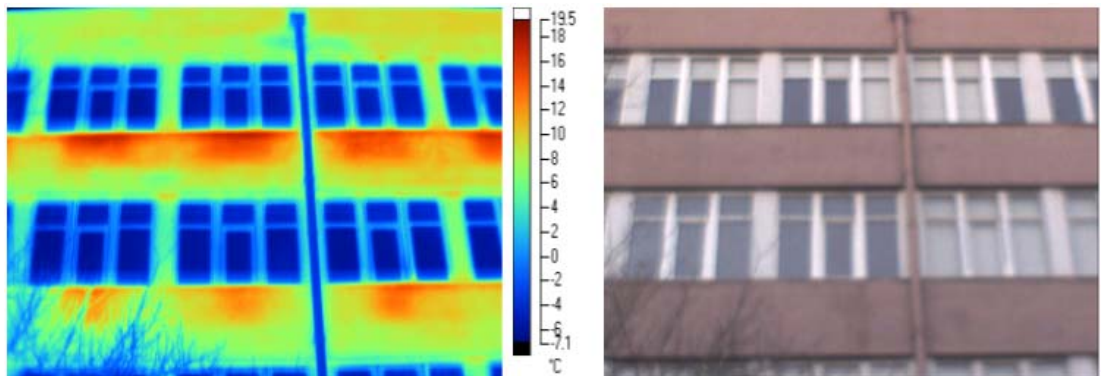
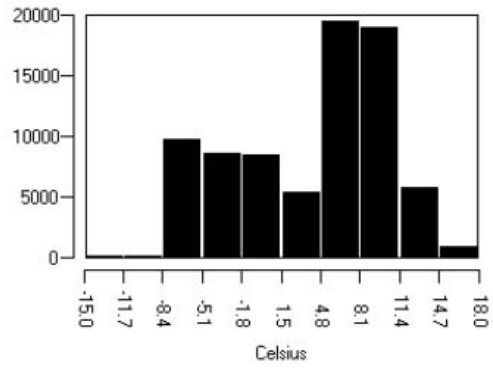
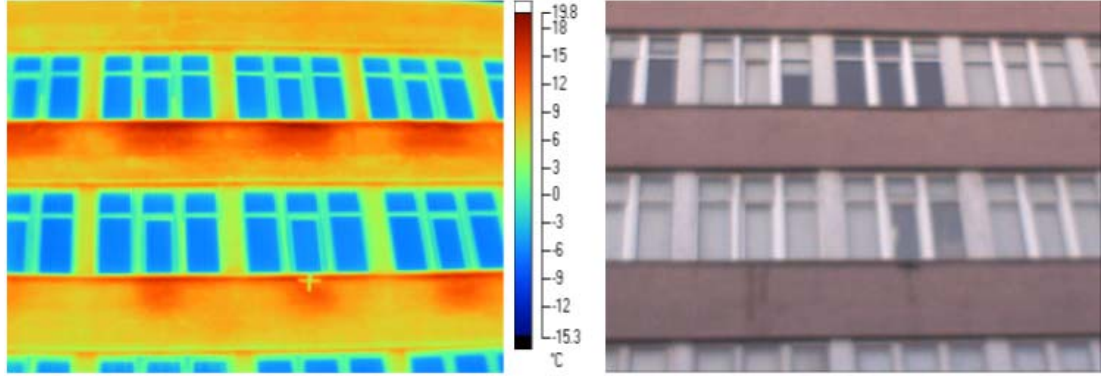




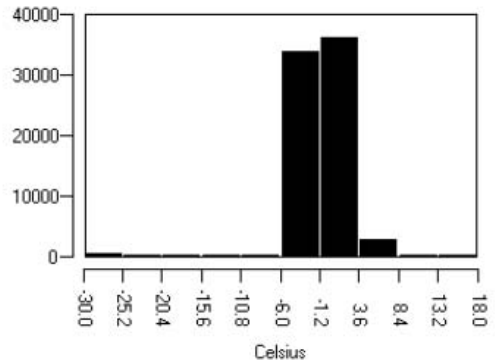
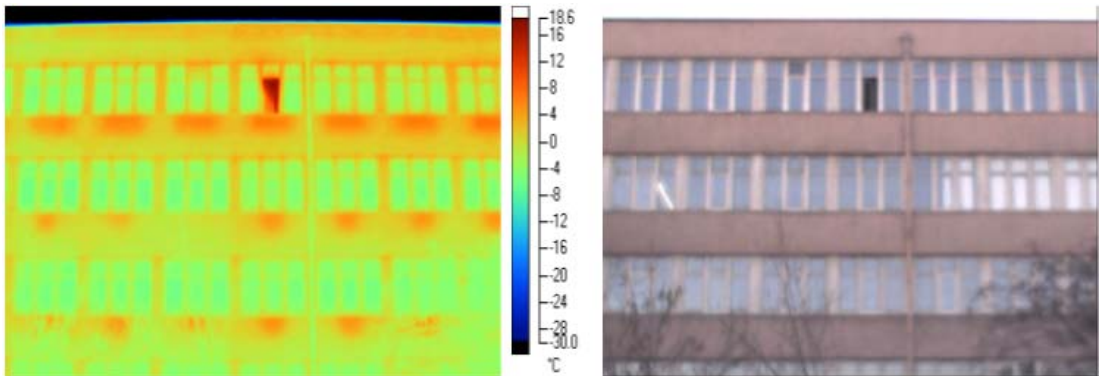
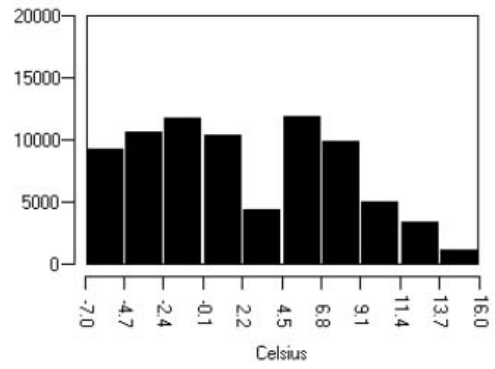
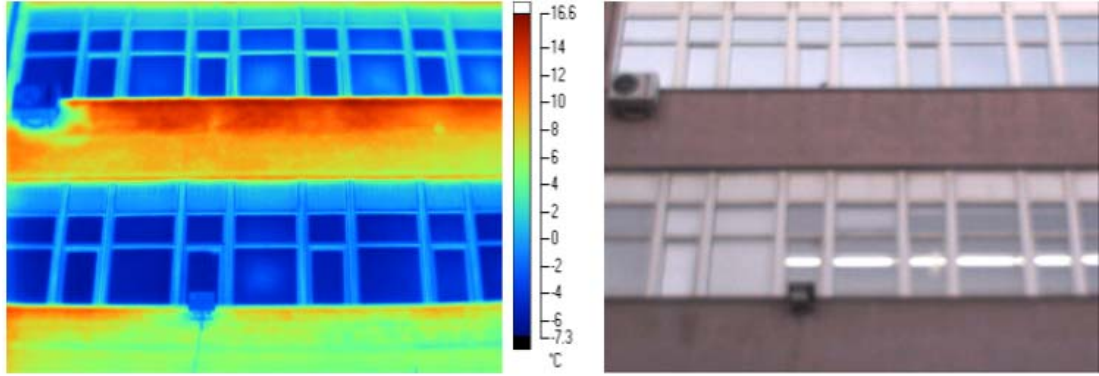
EK-2. Fakültenin eski binası için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı



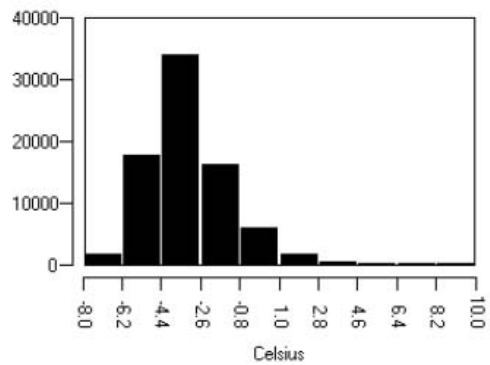
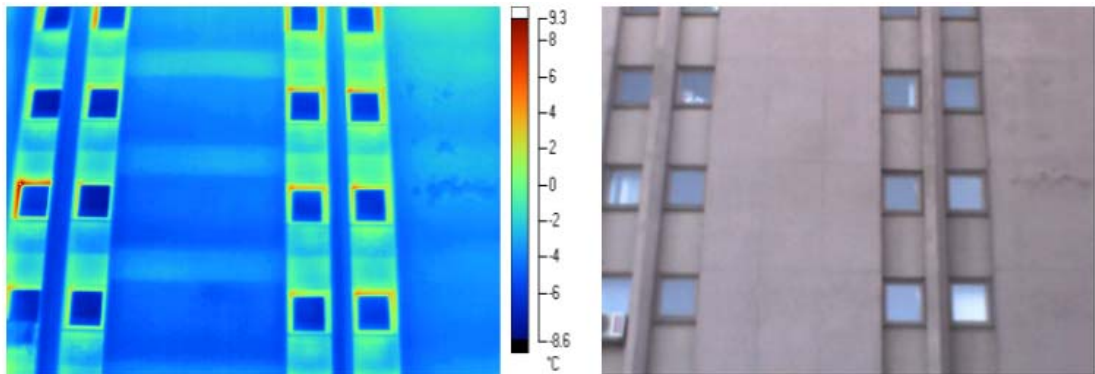
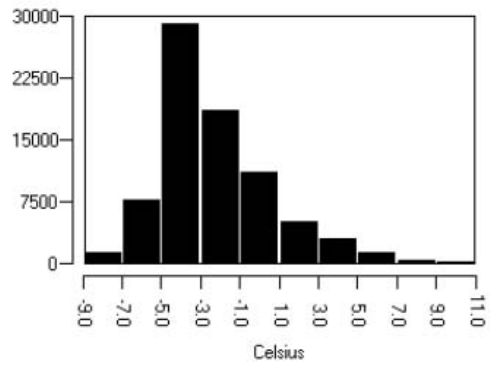
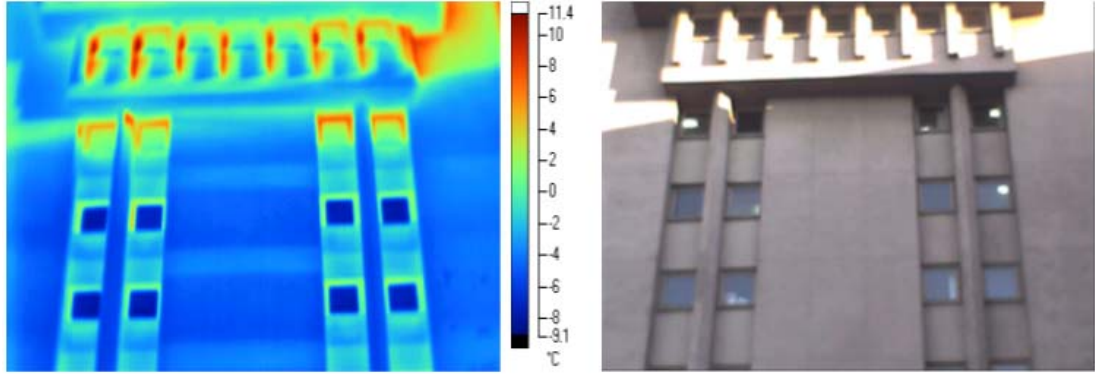
EK-2. (Devam) Fakültenin eski binası için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı



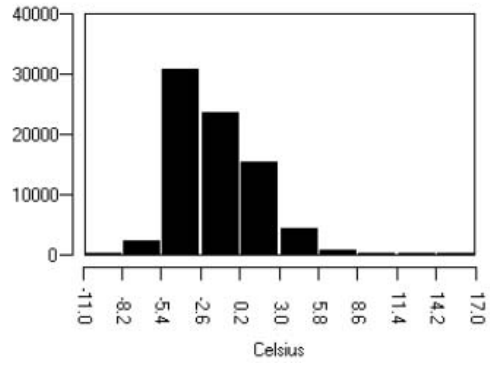
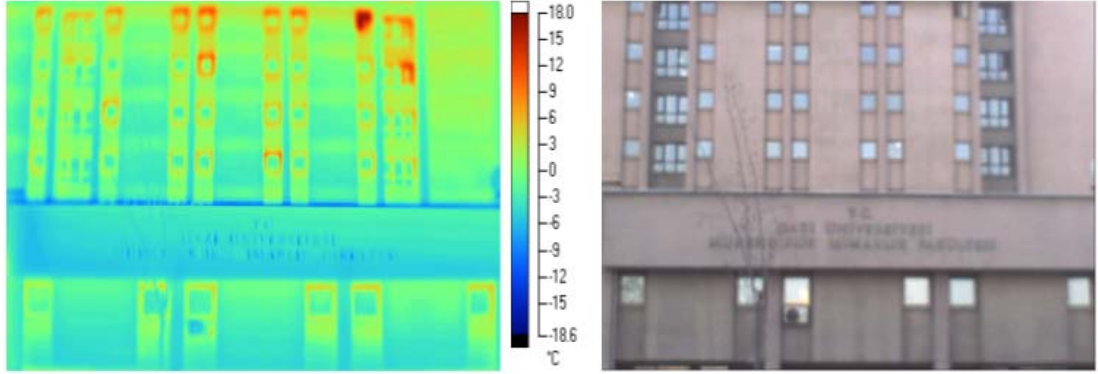
EK-2. (Devam) Fakültenin eski binası için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı



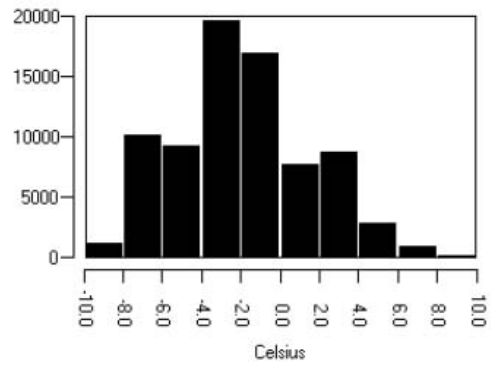
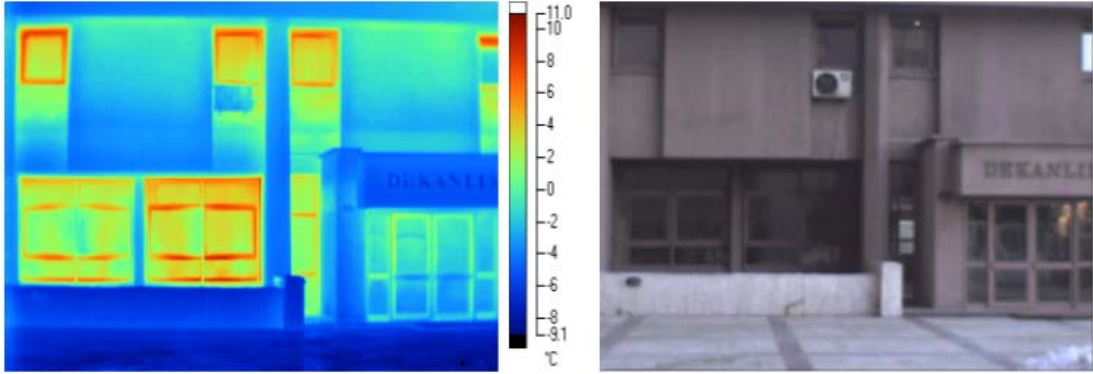
EK-3. Fakültenin E Bloğu için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı



EK-4. Fakültenin F.G.H. Blokları için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı



EK-5. Fakültenin I Bloğu için termal kamera ile çekilen termografik görüntüler ve görüntülerin histogramı





## EK-6. Kazan yalıtım ısı kayıplarının hesaplanması

## ❖ Kazan yüzeylerinde sıcaklık ölçümleri

Kazan dairesinde bulunan her bir kazan için termometre kullanılarak yüzeylerin sıcaklığına ölçüm yapıldı, ölçülen sıcaklıklar aşağıdaki çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. No.1 kazan için ölçülen yüzey sıcaklıkları.

	Yüzey sıcaklığı [°C]		
	Yan	Ön	Arka
	33	53	126
	29	96	86
	32	78	148
	27	154	152
	29	80	129
	31	89	132
Ortalama	30.17	91.67	128.83

Çizelge 6.2. No.2 kazan için ölçülen yüzey sıcaklıkları.

	Yüzey sıcaklığı [°C]		
	Yan	Ön	Arka
	31	32	126
	28	95	80
	32	75	148
	27	178	155
	30	78	130
	29	91	133
Ortalama	29.5	91.5	128.67

Çizelge 6.3. No.3 kazan için ölçülen yüzey sıcaklıkları.

	Yüzey sıcaklığı [°C]		
	Yan	Ön	Arka
	38	194	161
	30	105	174
	34	95	186
	36	107	160
	32	100	87
	35	97	110
Ortalama	34.17	116.33	146.33

## EK-6. (Devam) Kazan yalıtım ısı kayıplarının hesaplanması

### ❖ Kazanın yüzey alanının hesaplanması

Kazanlar aynı boyutlarda ( $D = 2\text{m}$ ,  $L = 3.3\text{m}$ ) oldukları için, yapılan yüzey alan hesaplamaları bütün kazanlar için kullanıldı:

Kazanın yan yüzey alanı =  $\pi \cdot D \cdot L$

Kazanın ön ve arka yüzey alanı =  $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$

Burada;

$D$  [m] ; ön veya arka yüzeyin çapını,

$L$  [m] ; kazan uzunluğunu, tanımlar.

Kazanın yan yüzey alanı =  $\pi \cdot 2 \cdot 3.3 = 20.73$  [m<sup>2</sup>].

Kazanın ön ve arka yüzey alanı =  $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (2)^2 = 3.14$  [m<sup>2</sup>].

### ❖ Kazanın tükettiği yakıt miktarının hesaplanması

- No.1 kazanın tükettiği yakıt miktarının hesaplanması:

Bu kazanın 75 [dk] içerisinde 175 [m<sup>3</sup>] miktarda yakıt tükettiğini kaydedildi.

Kazanın tükettiği yakıt miktarı [m<sup>3</sup>/h] biriminde = 140 [m<sup>3</sup>/h].

Tüketilen yakıt miktarı 140 [m<sup>3</sup>/h] × yakıt yoğunluğu 0.68 [kg/m<sup>3</sup>] = 95.2 [kg/h] biriminde tüketilen yakıt miktarı.

- No.2 kazanın tükettiği yakıt miktarının hesaplanması:

Bu kazanın 45 [dk] içerisinde 70.7 [m<sup>3</sup>] miktarda yakıt tükettiğini kaydedildi.

Kazanın tükettiği yakıt miktarı [m<sup>3</sup>/h] biriminde = 94.267 [m<sup>3</sup>/h].



#### EK-6. (Devam) Kazan yalıtım ısı kayıplarının hesaplanması

Tüketilen yakıt miktarı  $94.267 \text{ [m}^3/\text{h}] \times \text{yakıt yoğunluğu } 0.68 \text{ [kg/m}^3] = 64.101 \text{ [kg/h]}$  biriminde tüketilen yakıt miktarı.

- No.3 kazanın tükettiği yakıt miktarının hesaplanması:

Bu kazanın 100 [dk] içerisinde  $190.2 \text{ [m}^3]$  miktarda yakıt tükettiğini kaydedildi.

Kazanın tükettiği yakıt miktarı  $\text{[m}^3/\text{h}]$  biriminde =  $143 \text{ [m}^3/\text{h}]$ .

Tüketilen yakıt miktarı  $143 \text{ [m}^3/\text{h}] \times \text{yakıt yoğunluğu } 0.68 \text{ [kg/m}^3] = 97.245 \text{ [kg/h]}$  biriminde tüketilen yakıt miktarı.

#### ❖ Yalıtım ısı kayıplarının hesaplanması

Yukarıda belirlenen kazan yüzey sıcaklıkları, yüzey alanları ve her bir kazanda saatte tüketilen yakıt miktarları kullanılarak, [EK-7]'de gösterilen bilgisayar programı yardımı ile her bir kazan için yalıtım ısı kayıpları hesaplanmış ve aşağıdaki çizelgelerde yüzeylere bağlı olarak ayrı ayrı gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. No.1 kazan yüzeyinden olan ısı kaybı.

Yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]		Katsayılar		Yüzey sıcaklığı [°C]		Ortam sıcaklığı [°C]	Isı kaybı		Üst I.D. göre [%]
		B	E				[W]	[kcal/h]	
Ön	3.14	1.45	0.95	Ön	91.67	20	2694.04	2316.87	0.177
Arka	3.14	1.45	0.95	Arka	128.83	20	4763.54	4096.65	0.313
Yan	20.73	1.2	0.95	Yan	30.17	20	1655.25	1423.52	0.109
Toplam ısı kaybı							9112.83	7837.04	0.599

Çizelge 6.5. No.2 kazan yüzeyinden olan ısı kaybı.

Yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]		Katsayılar		Yüzey sıcaklığı [°C]		Ortam sıcaklığı [°C]	Isı kaybı		Üst I.D. göre [%]
		B	E				[W]	[kcal/h]	
Ön	3.14	1.45	0.95	Ön	91.5	20	2685.65	2309.66	0.177
Arka	3.14	1.45	0.95	Arka	128.67	20	4753.58	4088.08	0.312

EK-6. (Devam) Kazan yalıtım ısı kayıplarının hesaplanması

Çizelge 6.5. (Devam) No.2 kazan yüzeyinden olan ısı kaybı.

Yan	20.73	1.2	0.95	Yan	29.5	20	1535.25	1320.31	0.101
Toplam ısı kaybı							8974.48	7718.05	0.590

Çizelge 6.6. No.3 kazan yüzeyinden olan ısı kaybı.

Yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]		Katsayılar		Yüzey sıcaklığı [°C]		Ortam sıcaklığı [°C]	Isı kaybı		Üst I.D. göre [%]
		B	E				[W]	[kcal/h]	
Ön	3.14	1.45	0.95	Ön	116.33	20	4013.54	3451.65	0.264
Arka	3.14	1.45	0.95	Arka	146.33	20	5911.28	5083.70	0.389
Yan	20.73	1.2	0.95	Yan	34.17	20	2395.14	2059.82	0.157
Toplam ısı kaybı							12319.97	10595.17	0.810

EK-7. Kazan yüzeylerinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı hesap programı.

KAZAN VERİMİ ve BACAGAZI BİLEŞİMİ HESAPLAMA PROGRAMI																									
Tesis Adı	DENEME		<b>YAKITLAR İÇİN:</b> Büyük harflerle Fuel Oil No 6 için NO 6 Fuel Oil No 5 için NO 5 Fuel Oil No 4 için NO 4 Fuel Oil No 2 için NO 2 Motorin için MO Dizel Oil için DI Doğal Gaz için DG LPG için LPG yazınız.																						
Kazan Markası	JAPON																								
Kazan No	1	<b>SIVI VE GAZ YAKITLI KAZANLAR İÇİN</b>																							
Ölçüm Yapılan Tarih	11.3.1998																								
Not																									
Bacagazı Analiz Cihazı	IMR 1200 PG																								
<b>Kazan Bilgileri</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Dizayn Değerleri</th> <th>Deney Sırasında</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Buhar Basıncı</td> <td>22.0</td> <td>22.0 bar</td> </tr> <tr> <td>Buhar Sıcaklığı</td> <td>300.0</td> <td>400.0 °C</td> </tr> <tr> <td>Buhar Üretimi</td> <td>9.00</td> <td>8.00 Ton / h</td> </tr> </tbody> </table>	Dizayn Değerleri	Deney Sırasında		Buhar Basıncı	22.0	22.0 bar	Buhar Sıcaklığı	300.0	400.0 °C	Buhar Üretimi	9.00	8.00 Ton / h	Kazan Yüğü %	88.89										
Dizayn Değerleri	Deney Sırasında																								
Buhar Basıncı	22.0	22.0 bar																							
Buhar Sıcaklığı	300.0	400.0 °C																							
Buhar Üretimi	9.00	8.00 Ton / h																							
<b>Bacagazı Analizi Ölçüm Sonuçları ve Yakıt Bilgileri</b>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>O<sub>2</sub> :</td> <td>3.30</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>CO :</td> <td>160</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>T baca :</td> <td>262.0</td> <td>°C (NET Sıcaklık (Bacagazı Sıc. - Ortam Sıc.))</td> </tr> <tr> <td>T ortam :</td> <td>35.0</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>T baca :</td> <td>297.0</td> <td>°C ( Gerçek Bacagazı Sıcaklığı )</td> </tr> <tr> <td>Yakıt ön ısıtma Sıcaklığı :</td> <td>0</td> <td>°C ( Ön Isıtma Yapılıyorsa Yazınız )</td> </tr> <tr> <td>Yakıt Tüketimi :</td> <td>97</td> <td>kg / h</td> </tr> </tbody> </table>		O <sub>2</sub> :	3.30	%	CO :	160	ppm	T baca :	262.0	°C (NET Sıcaklık (Bacagazı Sıc. - Ortam Sıc.))	T ortam :	35.0	°C	T baca :	297.0	°C ( Gerçek Bacagazı Sıcaklığı )	Yakıt ön ısıtma Sıcaklığı :	0	°C ( Ön Isıtma Yapılıyorsa Yazınız )	Yakıt Tüketimi :	97	kg / h	<b>YAKIT CİNSİ :</b>	DG
O <sub>2</sub> :	3.30	%																							
CO :	160	ppm																							
T baca :	262.0	°C (NET Sıcaklık (Bacagazı Sıc. - Ortam Sıc.))																							
T ortam :	35.0	°C																							
T baca :	297.0	°C ( Gerçek Bacagazı Sıcaklığı )																							
Yakıt ön ısıtma Sıcaklığı :	0	°C ( Ön Isıtma Yapılıyorsa Yazınız )																							
Yakıt Tüketimi :	97	kg / h																							
<b>Blöf Bilgileri</b>		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Besi Suyu İletkenliği :</td> <td>546</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Hesaplanan Blöf Miktarı :</td> <td>18</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Yapılan Blöf Miktarı :</td> <td>18.0</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Blöf Sıcaklığı :</td> <td>100.0</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Besi Suyu Sıcaklığı :</td> <td>15.0</td> <td>°C</td> </tr> </tbody> </table>		Besi Suyu İletkenliği :	546	ppm	Hesaplanan Blöf Miktarı :	18	%	Yapılan Blöf Miktarı :	18.0	%	Blöf Sıcaklığı :	100.0	°C	Besi Suyu Sıcaklığı :	15.0	°C							
Besi Suyu İletkenliği :	546	ppm																							
Hesaplanan Blöf Miktarı :	18	%																							
Yapılan Blöf Miktarı :	18.0	%																							
Blöf Sıcaklığı :	100.0	°C																							
Besi Suyu Sıcaklığı :	15.0	°C																							
Blöf Sıcaklığı olarak kanala atılan su sıcaklığını, Besi Suyu Sıcaklığı olarak Eko Öncesinde Kondens + Make-Up Suyu karışımı Besi suyu sıcaklığını yazınız.																									
Eğer Yüzeylerden Isı Kayıplarını hesaplamak istiyorsanız Yakıt Tüketimini yazınız.																									

EK-7. (Devam) Kazan yüzeylerinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı hesap programı.

<b>YÜZEYLERDEN RADYASYON ve KONVEKSİYONLA OLAN ISI KAYBI HESABI</b>									
Tesis Adı	DENEME								
Yüzey Durumuna Bağlı Olarak B Katsayıları					Kazan Yüküne Bağlı Olarak				
					B				
Geniş Silindir ve Düşey Yüzeyler	1.45				Tahmini Kayıp :		1.125	%	
Yatay ve Yukarı Bakan Yüzeyler	1.70								
Yatay Silindirler .....	1.20								
Not : Bu alanda eğer yüzeylerden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kayıplarını hesaplamak istemiyorsanız Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> ) sütununa ( 0 ) sıfır yazınız.									
Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> )	Katsayılar		Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	I S I K A Y B I		Üst I.D. Göre %	Alt I.D. Göre %	
	B	E			(W)	(Kcal/saat)			
Eğer Yüzey Sıcaklıkları Alınmamışsa Tahmini Isı Kaybı .....							0.000	0.000	
A	3.14	1.45	0.95	146.3	20	5911.28	5083.70	0.389	0.431
Ö	3.14	1.45	0.95	116.3	20	4013.54	3451.65	0.264	0.293
Y	20.73	1.20	0.95	34.17	20	2395.14	2059.82	0.157	0.175
	0					0.00	0.00	0.000	0.000
	0					0.00	0.00	0.000	0.000
	0					0.00	0.00	0.000	0.000
<b>TOPLAM ISI KAYBI</b>						12319.97	10595.17	0.810	0.898
Alt I.D. Alt Isıl Değer, Üst I.D. Üst Isıl Değer anlamındadır.									

## EK-8. Vana ceketi fiyatları.

<b>UNİ - JAC VANA CEKETİ TIPLERİ (YTL / ADET)</b>								
<b>DN</b>	<b>PİSTONLU VANA</b>	<b>KÖRÜKLÜ VANA</b>	<b>ÜÇ YOLLU VANA</b>	<b>PİSLİK TUTUCU</b>	<b>ÇEK VALF</b>	<b>KÜRESEL VANA</b>	<b>KÜRESEL VAN. (DİŞLİ)</b>	<b>KELEBEK VANA</b>
15	34,00	38,00	38,00	34,00	34,00	38,00	36,00	
20	44,00	48,00	52,00	44,00	44,00	49,00	47,00	
25	49,00	52,00	59,00	48,00	48,00	57,00	55,00	49,00
32	57,00	63,00	69,00	51,00	51,00	59,00	56,00	49,00
40	66,00	71,00	77,00	68,00	68,00	60,00	57,00	56,00
50	83,00	89,00	100,00	71,00	71,00	64,00	61,00	59,00
65	88,00	96,00	105,00	83,00	83,00	68,00		61,00
80	95,00	103,00	114,00	86,00	86,00	69,00		64,00
100	104,00	111,00	125,00	102,00	102,00	94,00		87,00
125	121,00	128,00	145,00	129,00	129,00	99,00		91,00
150	178,00	196,00	216,00	157,00	157,00	102,00		95,00
200	242,00	259,00	289,00	190,00	190,00	150,00		138,00
250	285,00	316,00	342,00	259,00	259,00	197,00		167,00
300	328,00	365,00	391,00	294,00	294,00			207,00

EK-8. (Devam) Vana ceketi fiyatları.

<b>UNI - JAC VANA CEKETİ TIPLERİ (YTL / ADET)</b>								
<b>DN</b>	<b>SEPARATÖR</b>	<b>KONDENSTOP</b>	<b>BASINÇ DÜŞÜRÜCÜ</b>	<b>EMNİYET VENTİLİ</b>	<b>PNOMATİK VANA</b>	<b>BALANS VANASI</b>	<b>BALANS VANA DIŞLI</b>	<b>KOMPANSATÖR</b>
15	80,00	82,00	36,00	38,00	34,00	41,00	38,00	69,00
20	109,00	112,00	46,00	52,00	44,00	51,00	49,00	70,00
25	124,00	131,00	50,00	59,00	48,00	59,00	57,00	74,00
32	145,00	155,00	54,00	69,00	51,00	61,00	59,00	74,00
40	162,00	172,00	71,00	77,00	68,00	66,00	60,00	84,00
50	211,00	218,00	74,00	100,00	71,00	83,00	64,00	90,00
65	220,00		87,00	105,00	83,00	88,00		93,00
80	240,00		90,00	114,00	86,00	95,00		97,00
100	260,00		107,00	125,00	102,00	104,00		131,00
125	305,00		135,00	145,00	129,00	121,00		138,00
150	452,00		164,00	216,00	157,00	178,00		144,00
200	609,00		198,00	289,00	190,00	242,00		210,00
250	718,00		275,00	342,00	259,00	285,00		254,00
300	822,00		306,00	391,00	294,00	328,00		315,00

## EK-9. Doğal gazın özellikleri.

	Kömür	Fueloil	Doğal Gaz
Karbon Oran %	77.4	84.58	73.98
Hidrojen Oranı %	1.4	10.90	24.57
Kükürt Oranı %	1.0	4.00	-
Kül Oranı %	8.0	-	-
Nem Oranı %	7.0	-	-
Isıl Değeri KJ/kg (kcal/kg)	29.600 (7080)	39.220 (9380)	49.085(11780)
Bata gazındaki buhar oranı %	1.8	8.1	16.9
Baca gazındaki SO2 oranı (ppm)	1.644	5.5	-
Baca gazı su çığ Noktası ° C	35	49	56
Ocak Yüktü KJ/m <sup>3</sup> h	0.4-1.2 . 10	1.2-3.1.10	1.6-4.10
Ocak sıcaklığı yaklaşık °C	900	1200	1500
Teorik özgül hava miktarı	6.3 Nm <sup>3</sup> /kg	10.4 Nm <sup>3</sup> /kg	9.3 Nm <sup>3</sup> /kg
Gerçek özgül hava miktarı	10.1 Nm <sup>3</sup> /kg	13.0 Nm <sup>3</sup> /kg	10.3 Nm <sup>3</sup> /kg
Teorik özgül duman miktarı	6.7 Nm <sup>3</sup> /kg	0.8 Nm <sup>3</sup> /kg	10.7 Nm <sup>3</sup> /kg
Gerçek özgül duman miktarı	10.5 Nm <sup>3</sup> /kg	13.4 Nm <sup>3</sup> /kg	11.6 Nm <sup>3</sup> /kg
Hava fazlalığı	1.4-2.0	1.2-1.3	1.05-1.1
Alev ışınım katsayısı	0.55-9.8	0.45-0.8	0.3-0.5

EK-10. Cam yününün fiziksel özellikleri.

Yoğunluk(kg/m <sup>3</sup> )	14-100
Isıl İletkenlik Hesap Değeri (W/m.K)	0.04
Sıcaklık Dayanımı(°C)	-50/+ 250 °C
Su Emme Değeri (%) Hacimce	%3-10 (5 cm kalınlık için)
Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı ( $\mu$ )	1



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler:

Soyadı, adı : IBRAHİM, KHALİD W.  
Uyruğu : İRAK  
Doğum tarihi ve yeri : 20.01.1980 Kerkük  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0538 958 27 15  
e-mail : [khalidtechnical\\_2002@yahoo.com](mailto:khalidtechnical_2002@yahoo.com)

### Eğitim:

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Müh. Fak. Makine Mühendisliği	2011
Lisans	Kerkük Teknik Fakültesi Soğutma ve İklimlendirme Müh.	2002
Lise	Al-Tamim Süper Lisesi	1998

### Yabancı Dil:

İngilizce, Arapça

### Hobiler:

Müzik, sinema