

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÖRNEK BİR YAPIDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Müh. Özlem FAZLIOĞLU**

**ARALIK 2015**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÖRNEK BİR YAPIDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Makina Müh. Özlem FAZLIOĞLU**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**"MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ"**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 / 12 / 2015**

**Tezin Savunma Tarihi : 25 / 12 / 2015**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertan BAYDAR**

**Trabzon 2015**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Özlem FAZLIOĞLU Tarafından Hazırlanan**

**ÖRNEK BİR YAPIDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 8 / 12 / 2015 gün ve 1630 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Ertan BAYDAR** .....

**Üye : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU** .....

**Üye : Doç. Dr. Haydar KÜÇÜK** .....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı çerçevesince hazırlanmıştır.

Bu çalışmada binalarda mimari unsurlar ve mekanik tesisat sistemlerinin enerji verimliliğine etkileri incelenmiştir.

Tez çalışmam süresince çalışmalarım bana yol gösteren ve bilgi birikimi ile desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Ertan Baydar'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullandığım HAP yazılımı eğitimini düzenleyen Türk Tesisat Mühendisleri Derneği 'ne (TTMD), eğitimi veren Arş. Gör. Dr. Mustafa Kemal Sevindir'e (YTÜ) katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez hazırlama süresince katıldığım yeşil bina sertifikasyon sistemleri konusunda düzenlediği eğitim için Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği'ne (ÇEDBİK) teşekkür ederim.

Bu süreçte her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Özlem FAZLIOĞLU

Trabzon,2015

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Örnek Bir Yapıda Enerji Verimliliğinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ertan Baydar ‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.25/12/2015

Özlem FAZLIOĞLU

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar(ÇİZELGELER DİZİNİ).....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Literatür Araştırması .....	2
1.3. Binalarda Sürdürülebilirlik Kavramı ve Yeşil Binalar .....	5
1.4. Yeşil Bina Standartları.....	7
1.5. Yeşil Bina LEED V4 Sertifika Sistemi .....	9
1.5.1. Entegre Proses .....	10
1.5.2. Konum ve Ulaşım.....	10
1.5.3. Sürdürülebilir Araziler.....	11
1.5.4. Su Verimliliği .....	11
1.5.5. Enerji ve Atmosfer .....	12
1.5.6. Malzeme ve Kaynaklar .....	13
1.5.7. İç Ortam Hava Kalitesi .....	13
1.5.8. Yerel Önem Sırası .....	14
1.6. Türkiye'nin Enerji Durumu ve Politikaları .....	15
1.7. Türkiye'de Mevcut Enerji Mevzuatları .....	18
1.7.1. Enerji Verimliliği Kanunu .....	18
1.7.2. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı .....	18
1.7.3. Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik.....	19
1.7.4. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği .....	19

1.7.5.	Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik .....	22
1.7.6.	Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012 – 2023 .....	22
1.7.7.	Sürdürülebilir Yeşil Binalar ile Sürdürülebilir Yerleşmelerin Belgelendirilmesine Dair Yönetmelik .....	23
1.8.	Bina Enerji Performans Analizi.....	23
1.8.1.	Bina Enerji Performans Analizi Yazılımları .....	24
1.8.2.	Ulusal Bina Enerji Performansı Yöntemi ve Yazılımları .....	26
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	30
2.1.	Bina Yapısal Özellikleri .....	30
2.2.	Isıtma ve Soğutma Hesaplamaları .....	32
2.2.1.	Bina Isıtma Hesaplamaları.....	33
2.2.1.1.	MTH Programı Isı Kaybı Hesap Yöntemi.....	34
2.2.1.2.	HAP Programı ile Isı Kaybı Hesap Yöntemi .....	35
2.3.	Bina Soğutma Hesapları .....	37
2.3.1.	HAP Programı ile Isı Yükü Hesapları .....	37
2.3.1.1.	Dış Isı Yükleri .....	38
2.3.1.2.	İç Isı Yükleri.....	42
2.4.	Tam Havalı Sistemler .....	44
2.4.1.	Sabit Hava Debili Sistemler (CAV Sistemleri) .....	44
2.4.2.	Değişken Hava Debili Sistemler (VAV Sistemleri) .....	44
2.5.	HAP Bina Enerji Performansı Analizi .....	45
2.6.	Makina Mühendisliği Binasında Enerji Verimliliği için Öneriler.....	47
3.	BULGULAR .....	49
3.1.	Makina Mühendisliği Binası Isı Kaybı Hesaplamaları .....	49
3.1.1.	Bodrum Kat Isı Kaybı.....	50
3.1.2.	Zemin Kat Isı Kaybı .....	51
3.1.3.	Birinci Kat Isı Kaybı.....	53
3.1.4.	İkinci Kat Isı Kaybı .....	54
3.2.	Makina Mühendisliği Binası Isıtma Sistemi Enerji Simülasyonu Sonuçları .....	55
3.2.1.	Mevcut Bina Enerji Simülasyonu Sonuçları .....	55
3.2.2.	Alternatif 1: Çift Pencere Sistemli Binada Enerji Simülasyonu Sonuçları .....	58
3.2.3.	Alternatif 2: Çatı Yalıtımlı Binada Enerji Simülasyonu Sonuçları .....	61
3.2.4.	Alternatif 3: Çatı Yalıtımlı ve Çift Pencere Binada Enerji Simülasyonu	

Sonuçları.....	64
3.3. Makina Mühendisliği Binası HVAC Sistemi Enerji Simülasyonu Sonuçları .....	68
3.3.1. Sabit Debili (CAV) Sistem .....	68
3.3.2. Değişken Debili (VAV) Sistem.....	71
3.4. Makina Mühendisliği Binası Soğutma Havalandırma Hesap Sonuçları .....	75
4. İRDELEME .....	77
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	87
6. KAYNAKLAR.....	89
7. EKLER .....	93
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ÖRNEK BİR YAPIDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Özlem FAZLIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ertan BAYDAR  
2015,92 (Tez Sayfa), 20 (Ek Sayfalar)

Bu tezde Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Yerleşkesi'nde yer alan Makine Mühendisliği binasının ısıtma ve soğutma hesapları yapılarak mevcut ısıtma sistemi için önerilen mimari iyileştirmelerin ve yeni soğutma tesisatı için seçilen sistemlerin HAP yazılımı ile enerji simülasyonu sonucu enerji verimliliği açısından irdelenmesi konu edilmiştir. Ayrıca Türkiye'de yaygın kullanılan LEED yeşil bina sertifikasyon sistemi ile enerji verimliliği yönetmelikleri üzerinde durulmuştur.

Önerilen mimari iyileştirmelere bakıldığında mevcut bina pencerelerinin çift camlı olarak yenilenmesi durumunda binanın yıllık toplam enerji tüketiminde ve maliyetinde sırasıyla % 10,22 ve % 6,1 azalma meydana gelmiştir. Bina çatısında 10 cm taş yünü ısı yalıtımı öngörülmesiyle binanın yıllık toplam enerji tüketiminde ve maliyetinde sırasıyla % 21,86 ve % 13 tasarruf yapılabileceği belirlenmiştir. Çift camlı pencere sistemleri ile çatıda 10 cm taş yünü ısı yalıtımının beraber uygulanması durumunda ise binanın yıllık toplam enerji tüketiminde ve maliyetinde sırasıyla % 31,4 ve % 18,7 oranında düşüş olacağı saptanmıştır. Ayrıca bina için öngörülen soğutma ve havalandırma sisteminde sabit debili (CAV) ve değişken debili (VAV) sistemlerinin HAP programı ile yapılan enerji simülasyonları sonucunda, VAV sisteminin HVAC toplam yıllık elektrik tüketimi açısından bakıldığında CAV sistemine göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Verimliliği, HVAC, Enerji Simülasyonu, HAP, MTH

Master Thesis

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF ENERGY EFFICIENCY OF A SAMPLE BUILDING

Özlem FAZLIOĞLU

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mechanical Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Ertan BAYDAR  
2015,92 Pages, Appendix (20)

In this thesis, it is aimed to give information about the most preferring green building certificate system called LEED and national energy efficiency regulations and also calculated heat losses, cooling loads and the energy simulations of Mechanical Engineering Building of Karadeniz Technical University. Existing heating system of the building was examined in terms of energy efficiency by the means of simulation program called HAP and suggested architectural improvements to reduce the current energy consumptions and subsequently new cooling system alternatives for Mechanical Engineering building were evaluated in order to determine the most energy efficiency system by using energy simulation results.

According to the heat loss calculations and energy simulation results, suggestions have been made to reduce energy consumption. In case of refreshing the existing building windows as double-glazed window, the building's total annual energy consumption and total annual energy costs are decreased respectively 10,22 % and 6,1 %. While 10 cm rockwool insulation is used for the roof of building, total annual energy consumption and total annual energy costs are reduced respectively 21,86 % and 13%. In the last suggestion that consists of double-glazed windows and 10 cm rockwool insulation in the roof, energy efficiency of total annual energy consumption and total annual energy costs are respectively 31,4 % and 18,7 %.

**Key Words:** Energy Efficiency, HVAC, Energy Simulation, HAP, MTH

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Türkiye’de 2014 sonu itibariyle kaynaklara göre kurulu güç .....	15
Şekil 1.2. Enerji üretim türlerine göre CO2 emisyonu.....	17
Şekil 1.3. BEP-TR enerji performansı hesaplama akış şeması.....	27
Şekil 1.4. KEP-İYTE-ESS enerji performansı hesaplama akış şeması .....	29
Şekil 2.1. Derslikler için öngörülen taze hava ihtiyacı.....	41
Şekil 2.2. Akademisyen odaları için öngörülen taze hava ihtiyacı.....	41
Şekil 2.3. Elektrik ve doğalgaz fatura bilgileri.....	46
Şekil 2.4. HAP enerji simülasyonu raporlama sayfası.....	47
Şekil 3.1. Tüm binanın yapı bileşeni bazında artırımımsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri...49	
Şekil 3.2. Bodrum katın yapı bileşeni bazında artırımımsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri.50	
Şekil 3.3. Zemin katın yapı bileşeni bazında artırımımsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri...52	
Şekil 3.4. Birinci katın yapı bileşeni bazında artırımımsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri ..53	
Şekil 3.5. İkinci katın yapı bileşeni bazında artırımımsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri ....54	
Şekil 3.6. Mevcut binada aylık enerji tüketim maliyetleri.....	57
Şekil 3.7. Çift pencere sistemli binada aylık enerji tüketim maliyetleri .....	61
Şekil 3.8. Çatı yalıtımlı binada aylık enerji tüketim maliyetleri .....	64
Şekil 3.9. Çatı yalıtımlı ve çift pencereli binada aylık enerji tüketim maliyetleri.....	67
Şekil 3.10. Sabit debili (CAV) sistemde binada aylık enerji tüketim maliyetleri .....	71
Şekil 3.11. Değişken debili (VAV) sistemde binada aylık enerji tüketim maliyetleri ....	75
Şekil 4.1. Mevcut bina aylık enerji tüketimi.....	77
Şekil 4.2. Mevcut bina ve önerilere göre aylık doğalgaz tüketim değerleri.....	78
Şekil 4.3. Mevcut bina ve önerilere göre aylık doğalgaz tüketim maliyeti değerleri...79	
Şekil 4.4. Mevcut bina ve önerilerin yıllık enerji tüketim maliyetleri .....	80
Şekil 4.5. Enerji tüketim maliyetleri yüzdesi.....	81
Şekil 4.6. HVAC sistemi doğalgaz tüketimi karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.7. HVAC sistemi elektrik tüketimi karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.8. HVAC sistemlerinin yıllık enerji tüketimlerinin karşılaştırılması .....	84
Şekil 4.9. Isıtma tesisatı C02 salım miktarlarının karşılaştırılması .....	85
Şekil 4.10. HVAC sistemlerinin C02 salım miktarlarının karşılaştırılması .....	86

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Yeşil bina sertifika sistemleri .....	7
Tablo 1.2. Türkiye’de yeşil bina örnekleri .....	8
Tablo 1.3. LEED sertifikası puanlama sistemi .....	9
Tablo 1.4. LEED V4 Sertifika Sistemi kredi dağılımları .....	9
Tablo 1.5. Konum ve ulaşım kredi dağılımları.....	11
Tablo 1.6. Sürdürülebilir araziler kredi dağılımları.....	11
Tablo 1.7. Su verimliliği kredi dağılımları .....	12
Tablo 1.8. Enerji ve atmosfer kredi dağılımları.....	12
Tablo 1.9. Malzeme ve kaynaklar kredi dağılımları.....	13
Tablo 1.10. İç ortam kalitesi kredi dağılımları .....	14
Tablo 1.11. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı planlanan kurulu güç değerleri .....	16
Tablo 2.1. Trabzon için dış ortam tasarım koşulları.....	30
Tablo 2.2. Yapı elemanlarının toplam ısı geçirgenlik katsayısı değerleri.....	31
Tablo 2.3. Dış pencere ve dış kapıların U değerleri .....	31
Tablo 2.4. İç pencere ve iç kapıların U değerleri .....	31
Tablo 2.5. Isıtma sezonu iç ortam mahal tasarım sıcaklıkları .....	33
Tablo 2.6. Soğutma sezonu iç ortam mahal tasarım sıcaklıkları .....	38
Tablo 2.7. İnsan yükü .....	42
Tablo 2.8. Aydınlatma yükü .....	43
Tablo 2.9. Elektrikli cihaz yükleri .....	43
Tablo 2.10. Mevcut bina için seçilen kazan için karşılanamayan yük analizi.....	46
Tablo 2.11. Mevcut bina için enerji verimliliği önerileri .....	48
Tablo 3.1. KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü ısı kaybı değerleri .....	49
Tablo 3.2. Bodrum kat B009 dersliğinin TS 2164’e göre ısı kaybı.....	51
Tablo 3.3. Zemin kat Z051 amfisi ısı kaybı .....	52
Tablo 3.4. Birinci kattaki Bölüm Başkanlığı toplantı salonunun ısı kaybı.....	53
Tablo 3.5. İkinci kat akademisyen odasının ısı kaybı.....	54
Tablo 3.6. Mevcut binada sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri .....	55
Tablo 3.7. Mevcut binada enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri .....	56

Tablo 3.8.	Mevcut binada sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim maliyetleri.....	56
Tablo 3.9.	Mevcut binada sistem bileşenleri aylık enerji tüketim maliyetleri .....	57
Tablo 3.10.	Çift pencere için öneri için sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri.	58
Tablo 3.11.	Çift pencere için öneri için binada enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri.	59
Tablo 3.12.	Çift pencere sistemli binada sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim maliyetleri.....	60
Tablo 3.13.	Çift pencere sistemli binada sistem bileşenleri aylık enerji tüketim maliyetleri.....	60
Tablo 3.14.	Çatı yalıtımlı öneri için sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri .	62
Tablo 3.15.	Çatı yalıtımlı öneri için binada enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri .	62
Tablo 3.16.	Çatı yalıtımlı öneri için bina sistem bileşenlerinin yıllık enerji maliyetleri....	63
Tablo 3.17.	Çatı yalıtımlı binada sistem bileşenleri aylık enerji maliyetleri.....	63
Tablo 3.18.	Çatı yalıtımlı ve çift pencere için öneri için bina sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri.....	65
Tablo 3.19.	Çatı yalıtımlı ve çift pencere için öneri için bina enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri.....	65
Tablo 3.20.	Çatı yalıtımlı ve çift pencere için öneri için bina sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim maliyetleri.....	66
Tablo 3.21.	Çatı yalıtımlı ve çift pencere için öneri için sistem bileşenleri aylık enerji maliyetleri.....	67
Tablo 3.22.	Sabit debili (CAV) sistemde sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri.....	68
Tablo 3.23.	Sabit debili (CAV) sistemde enerji kaynaklarının aylık tüketim miktarları ...	69
Tablo 3.24.	Sabit debili (CAV) sistemde sistem bileşenlerinin yıllık enerji maliyetleri....	69
Tablo 3.25.	Sabit debili (CAV) sistemde sistem bileşenlerinin aylık enerji maliyetleri ....	70
Tablo 3.26.	Değişken debili (VAV) sistemde yıllık enerji tüketim değerleri .....	72
Tablo 3.27.	Değişken debili (VAV) sistemde enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri.....	72
Tablo3.28.	Değişken debili (VAV) sistemde sistem bileşenlerinin yıllık enerji maliyetleri.....	73
Tablo 3.29.	Değişken debili (VAV) sistemde sistem bileşenleri aylık enerji maliyetleri ..	74
Tablo 3.30.	Mevcut bina için klima santralleri kapasiteleri .....	76
Tablo 3.31.	Mevcut bina için chiller kapasiteleri .....	76

## SEMBOLLER DİZİNİ

ASHRAE	:	American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning (Amerika Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği)
BEP-TR	:	Ulusal Bina Enerji Performansı Yazılımı
CAV	:	Constant Air Volume System (Sabit Hava Debili Sistem)
CIBSE	:	Chartered Institution of Building Service Engineers (İngiltere Mekanik Tesisat Mühendisleri Birliği)
ÇEDBİK	:	Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
EPA	:	Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
EPD	:	Environmental Product Declaration (Çevresel Ürün Beyanı)
FCU	:	Fan Coil Unit (Fanlı İklimlendirme Ünitesi)
GBC	:	Green Building Certificate (Yeşil Bina Sertifikası)
Green e-Energy	:	Yeşil Enerji Sertifikası
Green e-Climate	:	Karbon Emisyon Azaltımı Sertifikası
HAP	:	Hourly Analysis Program (Saatlik Analiz Yazılımı )
HVAC	:	Heating, Ventilating and Air-Conditioning (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme)
HVAC&R	:	Heating, Ventilating, Air-Conditioning and Refrigeration (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme ve Soğutma)
LCA	:	Life Cycle Analysis (Yaşam Döngüsü Analizi)
LEED	:	Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevresel Tasarım Liderliği)
MTH	:	Mekanik Tesisat Hesapları Yazılımı
U	:	Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı [ $W/m^2K$ ]
USGBC	:	U.S. Green Building Council (Amerika Yeşil Bina Derneği)
UYBBS	:	Ulusal Yeşil Bina Bilgi Sistemi
SMACNA	:	Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association (Amerika Sac ve İklimlendirme Müteahhitleri Birliği)
VAV	:	Variable Air Volume System (Değişken hava debili sistem)
VOC	:	Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)
$\Lambda$	:	Isıl İletkenlik Hesap Değeri [ $W/mK$ ]

## 1.GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Enerji, yaşamın ve insanların ihtiyaçlarının karşılanmasında vazgeçilmez bir unsurdur. Dünya nüfus artışına paralel olarak artan enerji talebini dünyanın kısıtlı enerji kaynakları ile karşılamak git gide zorlaşmaktadır. Günümüzde fosil yakıtların daha çok kullanılması sebebiyle CO<sub>2</sub> salımı artmakta ve dolayısıyla dünya, küresel ısınma sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. Ülkemizin enerji talebinin yaklaşık %70'i ithal kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu bağımlılığı azaltmak için enerji verimliliği konusunda yayımlanan mevzuatların uygulamada yaygınlaştırılması ve enerji ihtiyacının en yoğun olduğu inşaat sektöründe dünyada olduğu gibi 'Yeşil Bina' kavramının özümsemesi gerekmektedir.

Yeşil binalarda klasik binalara göre %25-50 daha az enerji ve su harcamaktadır. Dolayısıyla yeşil bina öncelikle kullanıcıya, sonrasında ülke ekonomisine ve dünyaya fayda sağlamakta, enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> salımı sınırlı olduğu için küresel ısınmaya etkisi olabildiğince az olmaktadır. Kentsel dönüşümle 20 yılda yapılması planlanan 6,5 milyon konutta, doğru ürün ve doğru uygulamalarla sağlanacak enerji tasarrufu, ülkemizin ciddi bir kazanım elde etmesi adına bir fırsat olarak görülmelidir.

Ülkemizde de 2008 yılından beri Yeşil Binalar ve enerji verimliliği konularına ilgi artan bir ivmeyle devam etmektedir. Bu konuda Aralık 2014'te yayınlanan "Sürdürülebilir Yeşil Binalar İle Sürdürülebilir Yerleşmelerin Belgelendirilmesine Dair Yönetmelik" doğrultusunda ulusal yeşil bina değerlendirme kılavuzu hazırlanacak ve Ulusal Yeşil Bina Bilgi Sistemi (UYBBS) hayata geçirilecektir.

HAP (Hourly Analysis Program) enerji analizi programında karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş modeli oluşturulup gerçek sistemin davranışı saatlik olarak analiz edilmektedir. Bina enerji analizinde bina sisteminde bilgisayar ortamında değişiklik yapılarak bu değişikliğin enerji maliyetine etkisini çok kısa sürede ve az maliyetle görebilme şansı elde edilmektedir. Bu sayede bina için etkin konfor şartlarının sağlandığı enerji verimi yüksek sistem seçimi yapılabilmektedir.

Bu tezde yeşil bina kavramı anlatılacak, ülkemizde yaygın olarak tercih edilen LEED Yeşil Bina Sertifikası kriterleri açıklanacak; KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binası için ısıtma-soğutma hesapları HAP ve MTH (Mekanik Tesisat Hesapları) yazılımları ile

gerçekleştirilip sonuçlar incelenecektir. Ayrıca, HAP programı ile çeşitli HVAC sistemleri ve mimari alternatiflere göre KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binasının enerji analizi yapılarak yıllık enerji tüketimi ve işletme maliyetleri irdelenecektir.

## 1.2. Literatür Araştırması

Binalarda enerji verimliliği üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar, enerji etkin binaların tasarımını, cephe düzenlemelerini [1,2], binaların ısıtma, soğutma, aydınlanma durumunun analizini kapsamaktadır. Ahmet Erdoğan [3], yüksek lisans tez çalışmasında 4 katlı 7695 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahip İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi binasının enerji analizini HAP (Hourly Analysis Program) programını kullanarak yapmıştır. Üç farklı HVAC sistemi ile (2 borulu FCU, VAV ve CAV sistemleri), yalıtımlı-yalıtımsız duvar, tek-çift cam gibi durumlar için simülasyon yapılarak, enerji tüketimleri, tüketim maliyetleri ve karbondioksit salınım sonuçları değerlendirilmiş ve bu alternatiflerin geri dönüş süreleri belirlenmiştir. Sürdürülebilirlik, yıllık enerji maliyeti ve anlık değişen yüklerle cevap verme yeteneği gibi parametrelere göre, FCU sistemlerinin örnek bina için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmada; dış duvarlarda yalıtım uygulaması, pencerelerde çift camlı low-e özellikli pencere kullanılması gibi mimari alternatifler FCU sistemi uygulandığı takdirde kendisini kısa bir sürede amorti ettiğini gözlemlemiştir. Adnan Menderes Havaalanı Dış Hatlar Terminalinin enerji performans analizi ile ilgili tez çalışması Fatma Tuba Ceyhan Zeren [4] tarafından yapılmıştır. Energy Plus programı ile farklı HVAC sistemleri kullanılması veya binanın farklı yönde konumlandırılması gibi stratejiler karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarından, yıl boyunca binada soğutma ihtiyacı olduğu ve çok az oranda ısıtmaya ihtiyaç duyulduğu saptanmıştır. Ayrıca binanın batı yönünde yerleştirilmesi durumunda ısı kazancında, kış ve bahar aylarında % 2 ila % 11 azalma, yaz aylarında % 3 ila % 14 artış olduğunu ve farklı HVAC sistemleri arasında aylık soğutma enerji tüketimlerinde yüksek farklar olduğunu belirtmiştir. Gökhan Ünlü [5], Ankara'da bulunan 5.800 m<sup>2</sup> kapalı alana sahip bir ofis binasının simülasyonunu HAP programını kullanarak yapmıştır. Farklı üç HVAC sisteminin yıllık ve aylık enerji tüketimleri, kaynak enerji tüketimleri ve işletme maliyetlerini hesaplamış ve elde edilen bulguları değerlendirmiştir. Enerji tüketimleri ile doğru orantılı olarak en düşük işletme maliyetine sahip sistemin VAV olduğunu ve su kaynaklı ısı pompasının en yüksek işletme maliyeti oluşturduğunu ifade etmiştir. Fan coil-



taze hava sistemi işletme maliyetinin VAV sistemine göre biraz daha yüksek olsa bile, ilk yatırım ve bakım maliyeti açısından FCU-taze hava sisteminin daha düşük maliyetli olduğu sonucuna varmıştır.

Barış Yılmaz'ın [6], tez çalışmasında İstanbul'da 12 katlı, 27.000 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahip bir ofis binası için sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği analizi yapmıştır. Binanın mimari planlanmasında alınabilecek önlemleri, binada kullanılan HVAC ve diğer enerji kullanan sistemlerinin verimlerini artırmaya yönelik önlemler ile binada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumlarını değerlendirmiştir. Referans bina ve önerilen alternatifler için enerji simülasyonu yaparak binanın yıllık enerji tüketim değerleri, enerji maliyetleri ve bina CO<sub>2</sub> emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Mimaride yapılacak izolasyon ve cephe camlarının iyileştirilmesinin ardından, daha verimli HVAC sistemlerinin kullanılabilirliğini ve elektrik üretiminde kojenerasyon veya fotovoltaik sistem uygulamalarından da yararlanılmasını önermiştir. Power-DOE enerji simülasyon programını kullanarak bir ofis binasının enerji analizi Rıza Türkmen [7], tarafından yapılmıştır. Binanın işletim aşamasında tükettiği enerjinin azaltılmasına yönelik kullanılan pasif ve aktif enerji sistemlerinin enerji performans analizleri karşılaştırılmış ve sistemlerin amortisman süreleri tespit edilmiştir. Hamdi İlker Türkmen [8], ASHRAE'nin geçiş fonksiyonu metodunu kullanarak HAP programı ile çeşitli parametrelere bağlı olarak bir ofis binasının soğutma yükünü hesaplamış ve sabit hava debili sistem ile değişken hava debili sistemi performans ve maliyet açısından değerlendirmiştir. Değişken hava debili sistemin (VAV), sabit hava debili sisteme (CAV) göre daha iyi performansa sahip olmasına karşın fiyat analizi neticesinde değişken hava debili sistemin diğer sisteme göre ilk yatırım maliyetinin daha fazla olduğu belirtilmiştir. Gülsu Ulukavak [9], Ankara'daki bir ofis binasının tasarımını ECOTECH programı ile enerji analizini ise Power-DOE programı ile gerçekleştirmiştir. Çalışmasında içsel ısı kazancı yüksek ofis binalarının enerji performanslarının iyileştirilmesine yönelik bina modelinde yapılan değişikliklerin sonuçlarına ve karşılaştırmalarına yer vermiştir. Örnek bir bina için düşük emisivite katsayılı low-e kaplamalı cam yüzeylerle güneş kontrol mekanizmasını, iç hacimlerde gün ışığı takibi yapan algılayıcılar vasıtası ile yapay aydınlatmanın azaltılmasını ve HVAC sistemi olarak da VAV sisteminin kullanılmasını önermiştir.

Mohamad Kharseh ve diğ. [10], farklı iklim özelliklerine sahip üç şehirde farklı konut binalarında HAP programını kullanarak enerji simülasyonu sonucu küresel ısınmanın HVAC sistem kapasitelerine olan etkilerini incelemiştir. Soğuk, ılıman ve

sıcak iklimler için sırasıyla, Stockholm, İstanbul ve Doha şehirlerinde günümüzün ve 2050 yılına ait öngörülen dış hava sıcaklık değerlerine göre enerji analizi yapmışlardır. Küresel ısınmanın, HVAC sistemlerinin yıllık enerji tüketimine olan etkilerinin soğuk iklim bölgelerinde %7,4 azalmaya; sıcak iklime sahip bölgelerde ise %12,7 oranında artışa sebep olacağını belirtmişlerdir. Ilıman iklim bölgelerinde ise ısıtma ihtiyacındaki azalma, soğutma ihtiyacındaki artışı dengeleyeceğinden küresel ısınmanın yıllık bazda önemli bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir. Küresel ısınmanın bu etkisini azaltmak için bina yapı bileşenlerinin ısı kalitesinde yapılacak iyileştirmelerin önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Konut dışı binalarda mahal sıcaklıklarının enerji tüketimine etkileri, Günay Özdemir ve Nurdil Eskin [11] tarafından araştırılmıştır. Energy Plus programı ile ofis amaçlı kullanılan bir binanın enerji analizini yapmışlardır. Mahal sıcaklıklarını ısıtma sezonunda 0,5°C aralıklarla azaltarak, soğutma sezonunda ise 0,5°C aralıklarla artırarak hesapladıkları enerji tüketimlerini irdelemişlerdir. Martin Kovac ve Katarina Kovacodeva [12], örnek bir alışveriş merkezi binasının yüksek tavanlı cam çatı ve pencere kaplı orta koridoru için Design Builder programını kullanarak yapmış oldukları enerji simülasyonu sonucunda HVAC enerji tüketimi ve işletme maliyeti açısından pencereler için dış gölgelik kullanmanın pencereleri güneş filmi ile kaplamaktan daha avantajlı olduğunu belirlemişlerdir.

N.Alpay Kürekçi ve Seyit Kaplan [13], makalelerinde HAP ve REVIT programları ile örnek bir binanın ısıtma ve soğutma hesaplarını yapmış ve hesap sonuçlarını karşılaştırmıştır. Isıtma hesap sonuçlarının birbirine yakın olduğunu; soğutma hesaplarında ise HAP programının daha gerçekçi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Hani H.Sait [14], bir eğitim binasının soğutma yükünü CLTD (Cooling Load Temperature Differences) yöntemi ve HAP 4.2 programını kullanarak Transfer Fonksiyonu Yöntemi ile hesaplamış ve birbirine yakın sonuçlar elde etmiştir. Nurdil Eskin [15], bir ofis binasında ısı yalıtımının, pencere tasarımının, bina dış duvar renginin ve gölgelemenin etkisini EnergyPlus programı ile enerji performansını hesaplayarak incelemiştir. Shui Yu ve diğ. [16], Design Builder enerji simülasyonunu EnergyPlus yazılımı ile yaptıkları Shenyang/Çin'de bulunan örnek konut binasının dış duvar, çatı yapı bileşenlerinin ısı yalıtımını değiştirerek ve farklı dış pencere sistemleri kullanarak yıllık enerji simülasyonları ile bu değişimlerin toplam enerji tüketimine olan etkilerini incelemişlerdir.

Gözde Yalçın [17], tezinde yeşil bina sertifika programlarının Türkiye'de uygulanabilirliğini irdelemiş ve ulusal yeşil bina sertifikasyon sisteminin gerekliliğini

anlatmıştır. Sema Sert [18], tez çalışmasında yeşil binalar, enerji verimliliği, yaşam döngüsü analizi ve yenilenebilir enerji konularını ele almıştır. Suzi Dilara Mangan ve Gül Koçlar Oral [19], bir toplu konut projesini, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki İstanbul, Antalya ve Erzurum gibi şehirleri ele alarak kaliteli pencere sistemleri, izolasyonlu bina dış yapısı ve ilave yenilenebilir enerji sistemleri alternatiflerini ayrı ayrı kurgulayarak binanın enerji analizini yapmış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Mehmet Arısoy [20], HVAC sistemlerinin enerji tüketimi açısından karşılaştırılmasında dikkate alınacak en önemli kriterlerin, ekonomiklik ve sürdürülebilirlik olduğunu vurgulamıştır. Ekonomiklik kriteri için sistemlerin toplam maliyetin sürdürülebilirlik kriteri için ise CO<sub>2</sub> salım miktarlarının karşılaştırılması gerektiğini belirtmiştir. Pasif-bina standardının okullara uygulanması ile ilgili olarak, daha az enerji harcanarak ısı konfor ve iç mahal hava kalitesi artırmaya yönelik tasarım ilkeleri, Gert Boxem ve Wim Zeiler [21] tarafından ifade edilmiştir. Zuhul Oktay ve Can Coşkun [22], Balıkesir Üniversitesi yerleşke alanı içerisinde yer alan Mühendislik-Mimarlık Fakültesi binasının enerji taramasına yönelik çalışmalarında, bina dış kabuğuna yalıtım yapılması, ısıtma gereksinimi için daha verimli kazan kullanılması ve elektrik ve su tüketiminde tasarruf yapılması konularında iyileştirme yapılabileceği tespit etmişlerdir.

Ülkemizdeki binaların soğutma yükü hesaplanmasına yönelik yazılımlar geliştirilmektedir. M. Nazmi Aktacir ve diğ. [23] tarafından soğutma yükü hesabı için internet tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir.

### **1.3. Binalarda Sürdürülebilirlik Kavramı ve Yeşil Binalar**

Sürdürülebilirlik, doğal kaynakların sınırlı olduğu bilinciyle ve fosil yakıtların çevreye verdiği zararın farkında olarak gelecek nesillerin yaşam kalitesini bozmadan insanların ekonomik, çevresel ve toplumsal ihtiyaçlarını karşılayabilmek için kaynakların etkin kullanılmasıdır. Binalar için sürdürülebilirlik kavramı, insan sağlığından ve konforundan ödün vermeden minimum fosil yakıt ve su tüketen, karbon salımı ve atıkları azaltılmış, çevreye en az zarar veren bir yaklaşımdır. Bu kavrama uygun olarak oluşturulmuş binalar yeşil bina olarak tanımlanmaktadır.

Nüfus yoğunluğu ve insanların konfor ihtiyacı hızla artarken, doğal enerji kaynakları azalmakta ve beraberinde küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi sorunlar oluşmaktadır. İklim değişikliğinin önüne geçilmesi için enerji verimliliğinin ve yenilenebilir teknolojilerin

artırılması ve CO<sub>2</sub> salımının azaltılması gerekmektedir. Bu duruma binalar açısından yapılabilecek katkı, yeşil bina kavramının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasıdır. Yapılan araştırmalarda yeşil binaların geleneksel yöntemlerle tasarlanmış ve işletilen ortalama binalara göre enerji kullanımında %24 ile %50 arasında, CO<sub>2</sub> salımında %33 ile %39 arasında, su tüketiminde %30 ile %50 arasında, katı atık miktarında %70 oranında, bakım maliyetlerinde ise %13 oranında düşüş sağladığı görülmüştür [24].

Enerji verimliliği açısından tercih sebebi olmasına karşın ilk yatırım maliyetlerine bakıldığında yeşil binaların daha maliyetli olacağı düşünülmüştür. Yeşil binalarda daha iyi yalıtım öngörülmekte, HVAC sistemlerinde ısı geri kazanımlı cihazlar kullanılmakta, değişken debili havalandırma sistemleri ve yenilenebilir enerji sistemleri tercih edilmektedir. Bina otomasyon sistemi kurulması, su verimliliği için çoğunlukla pahalı olan az su tüketen sıhhi tesisat armatürlerinin seçilmesi, yağmur suyu geri kazanım sistemi oluşturulması gibi ilave sistemlerin binanın ilk yatırım maliyetine yük getireceği kanısı yaygındır. Ancak, enerji verimliliği için tasarlanan ilave sistemler ile binanın ısıtma, soğutma ve havalandırma enerji yükleri azaltıldığı için, binanın HVAC sistemi ana cihaz (kazan, pompa, klima santrali, fan, chiller, boyler vb.) kapasiteleri düşecek, boru ve hava kanalı metrajları azalacaktır. Bu durum, yeşil binaların ilk yatırım maliyetlerinin klasik sistemlere göre daha az olacağını göstermektedir.

Yeşil bina tasarımında mimari, mekanik ve elektrik disiplinlerin ortaklaşa çalışıp tüm tasarım faktörlerini dikkate alarak optimum mimari stratejilerin, ideal HVAC ve elektrik sistemlerinin ortaya konması önemli olmaktadır. Yeşil binaların tüketeceği enerji miktarı geleneksel binalara göre daha az olacağından işletme maliyetleri de daha düşük olacaktır. Ayrıca, enerji ve su verimliliği söz konusu olduğu için binalardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyon salımı, temiz su kaynaklarının tükenmesi gibi olumsuz çevresel etkiler de azalacaktır. Çevre ve ekonomi açısından binalar ilk yatırımın düşük olması esasına göre değil, işletme maliyetleri de göz önüne alınarak ömür boyu maliyet esasına göre tasarlanıp inşa edilmelidir [25].

#### 1.4. Yeşil Bina Standartları

Dünyada yeşil bina kavramını hayata geçirip, kendilerine ait yeşil standartlar ve bina değerlendirme sertifikası oluşturan veya yeşil bina sertifikalarından birini adapte eden birçok ülke bulunmaktadır. Amerika, İngiltere, Avustralya ve Almanya bu ülkeler arasında yer almaktadır. Dünya ölçeğinde uygulanan yeşil bina sertifika sistemlerinin başlıcaları, Tablo 1.1’de verilmektedir. Dünyada Aralık 2010 itibariyle 6 binden fazla bina LEED sertifikası sahibi, yirmi binden fazla da sertifika almaya aday bina bulunmaktadır [17].

Tablo 1.1. Yeşil bina sertifika sistemleri

Ülke	Standart		Yıl
İngiltere	BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method	1990
ABD	LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	1998
Ortak	IISBE	International Initiative for Sustainable Built Environment	1998
Avustralya	Green Star	Green Building Council Australia (GBCA)	2003
Japonya	CASBEE	Comprehensive Assessment for Building Environmental Efficiency	2004
Almanya	DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	2009

Sağlık Bakanlığı tarafından Ekim 2012 de yayınlanan ‘Mevcut ve Yeni Yapılacak Sağlık Tesislerinde Uyulması Gereken Asgari Teknik Standartlara İlişkin Genelge’de 200 yatak ve üzeri kapasiteli tüm hastanelerde uluslararası yeşil bina sertifikası olan LEED sertifikası zorunlu hale getirilmiştir [26]. Türkiye’de en çok LEED ve BREEAM sertifikasyon sistemleri tercih edilmektedir. Ulusal yeşil bina değerlendirme kılavuzu ve ulusal yeşil bina bilgi sisteminin (UYBBS) hazırlanması için çalışmalar da devam etmektedir. Ülkemizde inşaat sektöründe yaşanan hızlı gelişmeler sonucunda, Türkiye tescilli yeşil bina sayısında dünyada ilk 10 ülke arasında bulunmaktadır. Türkiye’de

mevcut yeşil bina örnekleri Tablo 1.2’de verilmiştir. Tez kapsamında yeşil bina standartlarından LEED Uluslararası Yeşil Bina Sertifikası kriterleri anlatılacaktır [27].

Tablo 1.2. Türkiye’de yeşil bina örnekleri [28]

<b>Bina</b>	<b>Sertifika Tipi</b>	<b>Kapalı alan [m<sup>2</sup>]</b>
Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, İstanbul	LEED BREEAM	7.000
Piri Reis Üniversitesi, İstanbul	BREEAM	60.000
Özyeğin Üniversitesi Çekmeköy Yerleşkesi, İstanbul	LEED	120.000
TED Rönesans Koleji, İstanbul	LEED	11.600
MEB Erkut Soyak Anadolu Lisesi, İstanbul	BREEAM	7.000
Unilever Türkiye Merkez Ofisi, İstanbul	LEED	10.000
Tekfen Oz Levent Ofis Binası, İstanbul	LEED	16.000
Rönesans Tower, İstanbul	LEED	14.000
Küçükçekmece Belediyesi Yeni Hizmet Binası, İstanbul	BREEAM	40.000
Siemens Gebze Tesisleri, Kocaeli	LEED	35.000
Eser Yeşil Binası, Ankara	LEED	7.500
Tarsu Alışveriş Merkezi, Mersin	BREEAM	24.000
Soyak Holding Merkez Ofisi, İstanbul	LEED	4.000

### 1.5. Yeşil Bina LEED V4 Sertifika Sistemi

LEED sertifikası, binaların çevre üzerindeki etkilerini ve doğal kaynakları korumadaki duyarlılıklarını ortaya çıkarmada ölçülebilir bir referans olan, bir tür sertifikasyon sürecini içeren ilk defa 1998 yılında ABD’de oluşturulmuş gönüllü başvuru bir derecelendirme sistemidir. LEED Sertifikaları, Amerika Yeşil Bina Konseyi (United States Green Building Council-USGBC) tarafından 2008’de kurulan Green Building Certification Institute (GBCI) tarafından verilmektedir. Binalar, Tablo 1.3’deki puanlama sistemine göre sertifika almaya hak kazanmaktadır [27].

Tablo 1.3. LEED sertifikası puanlama sistemi

Puan	0-39	40-49	50-59	60-79	80-110
Tanım	Yeşil değil	Sertifikalı	Gümüş	Altın	Platin

Tablo 1.4. LEED V4 Sertifika Sistemi kredi dağılımları

	PUAN
Entegre proses	1
Konum ve ulaşım	16
Sürdürülebilir arazi	10
Su verimliliği	11
Enerji ve atmosfer	33
Malzeme ve kaynaklar	13
İç mekan ve yaşam kalitesi	16
İnovasyon	6
Yerel önem sırası	4
<b>Toplam</b>	<b>110</b>

LEED derecelendirme sistemi sadece binalara sertifika vermektedir. LEED, ürünlere veya sistemlere sertifika vermeyeceği gibi herhangi bir ürünün ya da malzemenin kullanımına sınırlama getirmemektedir. LEED sertifika sisteminde yer alan zorunlu ön koşullar sağlanmadıkça, diğer kredilerden puan alınsa bile sertifika hakkı verilmemektedir. LEED V4 sertifika sisteminde ön koşullar ve ilgili puanlar Tablo 1.4'te verilmiştir.

### **1.5.1. Entegre Proses**

Bu kriterde amaç, yatırımcının proje taleplerini belirlemek, mimari, mekanik ve elektrik disiplinlerin koordineli çalışmasını sağlamak ve bunun sonucunda yüksek performanslı ve ekonomik çözümler bulmaktır.

Enerji ile ilgili yatırımcı ile mimari, elektrik ve mekanik disiplinler arası koordineli çalışma sonucu binanın; HVAC ölçüleri, enerji tüketimi, aydınlatma, yenilenebilir enerji sistemleri, cephe izolasyon değerleri, cephe özellikleri, gölgeleme, aydınlatma değerleri, ısı konfor tasarım aralığı, gölgeleme, dış aydınlatma, peyzaj, işletme ve bakım özellikleri, uygulama parametreleri ve operasyon takvimi hususlarında alınan tasarım ve inşaat kararları bir rapor olarak hazırlanır.

Ayrıca, tasarım bitmeden önce taslak şeklinde hazırlanan su bütçesinde, iç mekan su ihtiyacı (armatür su debileri), dış mekan su ihtiyacı (peyzaj sulaması), proses su ihtiyacı (mutfak, çamaşırhane, soğutma kulesi vb. için gerekli su) ve su tedarik kaynakları (yağmur suyu, gri su, şebeke suyu vs.) yer alır. Her iki rapor da LEED sertifikasyon merkezi olan GBCI'ye (Green Building Certification Institute) gönderilmektedir.

### **1.5.2. Konum ve Ulaşım**

Kredi dağılımları Tablo 1.5'de verilen bu kriter, inşaatların uygun arazilerde yapılmasını sağlamak, insanların ulaşımını kolaylaştırmak, günlük fiziksel aktivitelerini destekleyerek insan sağlığını iyileştirmek ve hayatı zenginleştirmekle ilgilidir.



Tablo 1.5. Konum ve ulaşım kredi dağılımları

Kredi	Konu	Puan (Yeni Bina)
KU Kredi 1	LEED yerleşkeler	8-16
KU Kredi 2	Hassas arazi konumu	1
KU Kredi 3	Yüksek öncelikli arsa	1-2
KU Kredi 4	Evrensel yoğunluk ve kentsel donatılar	5
KU Kredi 5	Ulaşıma erişim	5
KU Kredi 6	Bisiklet parkı	1
KU Kredi 7	Otopark ayak izini azaltma	1
KU Kredi 8	Yeşil Araçlar	1

### 1.5.3. Sürdürülebilir Araziler

Bu kriterin amacı, projenin planlama aşamasından başlayarak, arazi seçimi, tasarım, inşaat süreçleri kapsamında sürdürülebilir arazileri mümkün kılmaya yönelik koşulları sağlamaktır. Bu kriterle ilgili ayrıntılar Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo1.6. Sürdürülebilir araziler kredi dağılımları

Kredi	Konu	Puan
SA Ön Şart 1	İnşaat kirliliğinin önlenmesi	Zorunlu
SA Kredi 1	Arazi değerlendirilmesi	1
SA Kredi 2	Arazi geliştirme: Doğal yaşamı koruma ve yenileme	1-2
SA Kredi 3	Açık alan	1
SA Kredi 4	Yağmur suyu yönetimi	1-2-3
SA Kredi 5	Isı adası etkisinin azaltılması	1-2
SA Kredi 6	Işık kirliliğinin azaltılması	1

### 1.5.4. Su Verimliliği

Bina su kaynağının etkin kullanımını sağlamaya yönelik su verimliliği kredi dağılımları Tablo 1.7'de verilmiştir.

Tablo 1.7. Su verimliliği kredi dağılımları

Kredi	Konu	Puan
SV Ön şart 1	Dış mekan su tüketimini azaltmak	Zorunlu
SV Ön şart 2	İç mekan su tüketimini azaltmak	Zorunlu
SV Ön şart 3	Bina su seviyesi ölçümü	Zorunlu
SV Kredi 1	Dış mekan su tüketimini azaltmak	1-2
SV Kredi 2	İç mekan su tüketimini azaltmak	1-6
SV Kredi 3	Soğutma kulesi su ölçümü	1-2
SV Kredi 4	Su ölçümü	1

### 1.5.5. Enerji ve Atmosfer

Binalar için enerji ve atmosfer açısından kredi dağılımları Tablo 1.8’de verilmektedir. Tüm bu sistemlerin işletmeye alma çalışmalarında; ASHRAE Guideline 0-2005 ve ASHRAE Guideline 1.1-2007 for HVAC&R standartları rehber alınmaktadır. Minimum enerji performansını ölçmek için tasarlanan binada tüm enerji maliyetlerini ekleyerek çeşitli bina analiz programları vasıtası ile enerji simülasyonu yapılması istenmektedir. ASHRAE 90.1-2010 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings standardında belirlenen minimum verimlilik seviyelerine ulaşmak hedeflenmektedir.

Tablo 1.8. Enerji ve atmosfer kredi dağılımları

Kredi	Konu	Puan
EA Ön şart 1	Temel işletmeye alma ve doğrulama	Zorunlu
EA Ön şart 2	Minimum enerji performansı	Zorunlu
EA Ön şart 3	Bina seviyesi enerji ölçümleme	Zorunlu
EA Ön şart 4	Akışkanların temel yönetimi	Zorunlu
EA Kredi 1	Gelişmiş işletmeye alma	6
EA Kredi 2	Optimum enerji performansı	1-18
EA Kredi 3	Gelişmiş enerji ölçümleme	1
EA Kredi 4	Talep yönetimi	2
EA Kredi 5	Yenilenebilir enerji üretimi	3
EA Kredi 6	Akışkanların kapsamlı yönetimi	1
EA Kredi 7	Yeşil enerji ve karbon dengesi	2

### 1.5.6. Malzeme ve Kaynaklar

Bina yapımında kullanılan malzeme ve kaynaklarla ilgili puanlama Tablo 1.9'da verilmiştir. Atıkların geri dönüşümünün sağlanması, binalarda EPD (Environmental Product Declaration) beyannamesine sahip ürün kullanmaya teşvik edilmesi hedeflenmektedir.

Tablo 1.9. Malzeme ve kaynaklar kredi dağılımları

Kredi	Konu	Puan
MK Ön şart 1	Geri dönüştürülebilir atıkların değerlendirilmesi	Zorunlu
MK Ön şart 2	İnşaat/yıkım-atık yönetimi	Zorunlu
MK Kredi 1	Binanın yaşam döngüsü etkisinin azaltılması	2-5
MK Kredi 2	Çevresel ürün beyanları (EPD)	1-2
MK Kredi 3	Hammadde kullanımı	1-2
MK Kredi 4	Malzeme içeriği	1-2
MK Kredi 5	İnşaat/yıkım-atık yönetimi	1-2

### 1.5.7. İç Ortam Hava Kalitesi

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) farklı dönemlerde yayımladığı raporlarda, günümüz insanların zamanının %90'ını kapalı mekanlarda geçirdiğini belirtmektedir. Çevre Koruma Ajansı (EPA) ise iç ortamlardaki havanın dış ortamlara göre 2-5 kat daha kirli olduğunu açıklamıştır. İç ortam kalitesinde amaç; sağlıklı iç ortam hava kalitesinin sağlamak, iç meknlardaki kimyasal ve kirletici kaynaklarını azaltmak, ısı konfor koşullarını sağlamak, kullanıcının dış ortamla bağlantı kurmasını sağlamak, gün ışığından faydalanmak ve gürültüyü önlemektir. İç ortam kalitesi iyileştirildiğinde; çalışma hayatında verimlilik, okulda başarı artmakta, devamsızlık azalmaktadır. Hastanelerde hastaların iyileşme süreci kısalmaktadır. İç ortam kalitesi kredi dağılımları Tablo 1.10'da verilmiştir.

Tablo 1.10. İç ortam kalitesi kredi dağılımları

Kredi	Konu	Puan
İOK Ön şart 1	Minimum iç ortam hava kalitesi	Zorunlu
İOK Ön şart 2	Sigara duman kontrolü	Zorunlu
İOK Kredi 110	Gelişmiş iç ortam hava kalitesi stratejileri	1-2
İOK Kredi 112	Düşük salımlı iç mekan malzemesi	1-3
İOK Kredi 113	İnşaatta iç ortam hava kalitesi yönetim planı	1
İOK Kredi 114	İç ortam hava kalitesi değerlendirme	1-2
İOK Kredi 115	Termal (ısı) konfor	1
İOK Kredi 117	İç mekan aydınlatması	1-2
İOK Kredi 121	Gün ışığı	1-3
İOK Kredi 123	Nitelikli görünüm	1-3
İOK Kredi 124	Akustik performans	1-2

Binalarda mekanik ve/veya doğal havalandırma tesis edilerek bina kullanıcılarının sağlığı ve konforu açısından gerekli minimum iç ortam hava kalitesi elde edilmelidir. Sigara içilen tüm alanların diğer alanlardan izole edilmesi şarttır.

VOC (Volatile Organic Compound) olarak bilenen bu uçucu toksik maddeler; boyalar, inşaat malzemeleri, mobilya, ofis donanımı, fotokopi makineleri ve yazıcılar, tutkal ve yapıştırıcılar vb. ürünlerden havaya karışır ve kapalı ortamlarda birikirler. Binalarda kullanılan malzemelerden kaynaklanan normal atmosfer basıncında havaya karışan insan sağlığını olumsuz etkileyen bu toksik maddelerin etkilerinin minimuma indirilmesi teşvik edilmektedir.

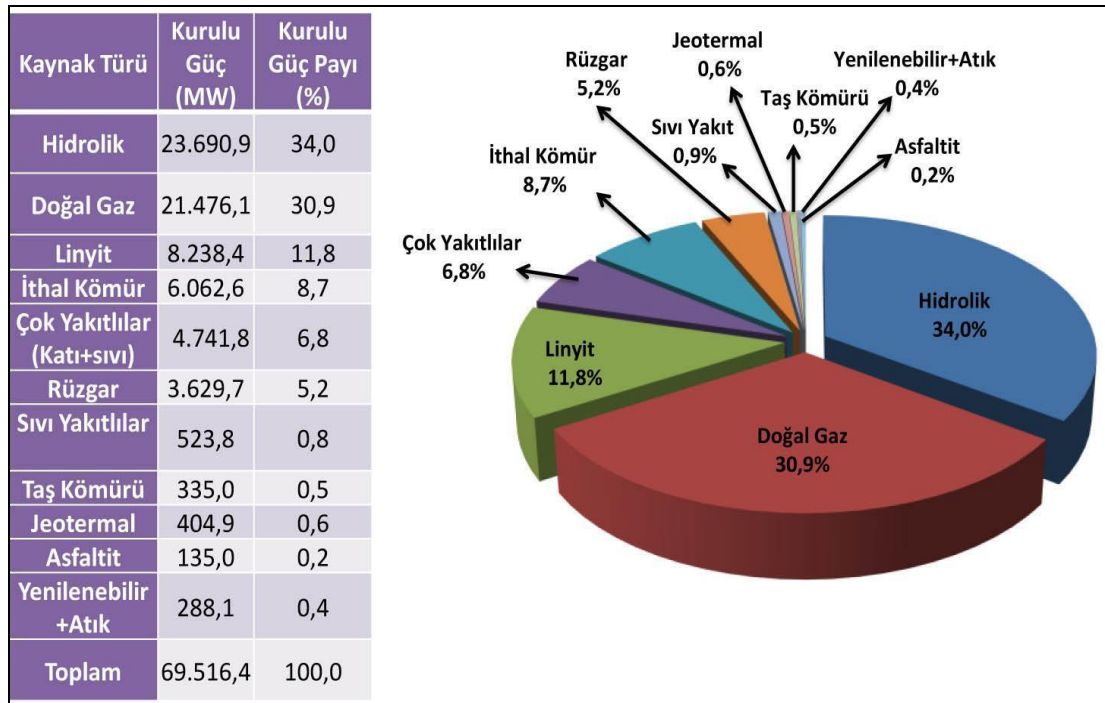
### 1.5.8. Yerel Önem Sırası

Uluslar arası projelerde LEED sertifika sisteminin uygulanmasını teşvik etmek ve sertifikanın yaygınlığını sağlamak amacıyla 'yerel önem sırasına göre puanlama' kriteri getirilmiştir. Uluslararası projeler bu kriterden 4 puana kadar toplayabilir. Her sertifika sistemi yayınlandığı ülkenin özellikleri temel alınarak kurgulandığından başka ülkelere uyum sağlaması açısından çıkabilecek zorluklar hesaba katılarak böyle bir kredinin

oluşturulmasıdır. Online başvuru yapıldığında ve proje LEED sistemine kayıt edildiğinde LEED posta koduna göre projenin yerel önem sırası puanını belirlenmektedir.

### 1.6. Türkiye'nin Enerji Durumu ve Politikaları

Gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye'nin giderek artan enerji talebini karşılamada bilinen enerji kaynakları yeterli olmamaktadır. Enerji konusunda Türkiye %70 oranında dışa bağımlı bir ülkedir. Enerji ithalatı sıralamasında dünyada 11. ülke konumunda olan Türkiye, son yıllarda enerji konusunda kurulu güç miktarını arttırmaya çalışmaktadır. Türkiye'de kaynaklara göre kurulu güç miktarları ve payları Şekil 1.1'de verilmektedir. 2014 sonu itibariyle kurulu güç 2013 yılına göre %8,6 oranında artış göstererek 69.516,4 MW değerine ulaşmıştır. Hidrolik enerjiye dayalı kurulu güç ilk sırada yer alırken doğalgaz santralleri ikinci sıradadır. Ancak katı, sıvı ve gaz olarak değişik yakıtlar yakabilen santrallerin de çoğunlukla gaz yakıt ile çalıştığı dikkate alındığında, doğalgaz yakıtlı santraller kurulu güç içerisinde ilk sırada yer almaktadır [29].



Şekil1.1. Türkiye'de 2014 sonu itibariyle kaynaklara göre kurulu güç [29]

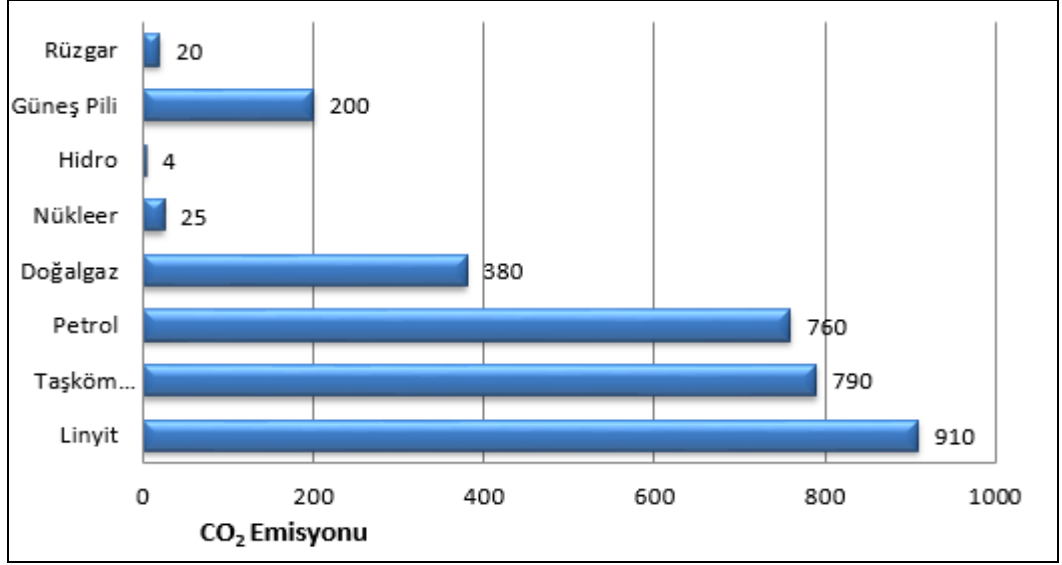
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan 2015-2019 stratejik planına bakıldığında sürdürülebilirlik ana çatısı altında enerji arz güvenliği, enerji verimliliği ve enerji tasarrufu, bölgesel ve uluslararası etkinlik, ham madde tedarik güvenliği, verimli ve etkin ham madde kullanımı konularında hedefler yer almaktadır [30]. Aynı stratejik planda yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji ve elektrik enerjisi arzı içindeki payının artırılmasına yönelik hedeflere bakıldığında Tablo 1.11'deki değerler görülmektedir.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli yüksek bir ülke olması sebebiyle bu alanda yapılan yatırımlar, enerji talebinin karşılanmasına katkı sağlayacak ve dışa bağımlılığı azaltacaktır.

Tablo 1.11. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı planlanan kurulu güç değerleri [30]

Planlanan Kurulu Güç Değerleri [MW]				
	2013	2015	2017	2019
Hidrolik	22.289	25.000	27.700	32.000
Rüzgar	2.759	5.600	9.500	10.000
Jeotermal	311	360	420	700
Güneş	-	300	1.800	3000
Biyokütle	237	380	540	700

Aynı zamanda temiz enerji olarak nitelendirilen yenilenebilir enerjilerin kullanımının yaygınlaştırılması gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakılması açısından da oldukça önemlidir. Bu durum enerji kaynaklarının CO<sub>2</sub> emisyon miktarlarını ifade eden Şekil-1.2'deki dağılımdan da açıkça görülmektedir.



Şekil 1.2. Enerji üretim türlerine göre CO<sub>2</sub> emisyonu [31]

Türkiye son yıllarda nükleer enerjiyi elektrik üretiminde kullanma konusunda önemli kararlar almıştır. Mayıs 2010 tarihinde Rusya ile yapılan “Akkuyu Sahasında Bir Nükleer Güç Santralinin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma” ile Türkiye, nükleer enerji ile elektrik üretimi konusunda önemli bir adım atmıştır. Akkuyu ve Sinop'ta kurulacak nükleer santraller dikkate alındığında, yılda yaklaşık 80 milyar kWh elektrik üretilmesi öngörülmektedir [32].

Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin artırılması, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji tüketiminin azaltılmasıdır [33]. Enerji verimliliği ile:

- Türkiye, enerji ihtiyacını karşılamada %70 oranında dışarıya bağımlı bir ülke olduğundan enerjinin tasarruflu kullanılmasının sağlanması,
- Ülkemizde enerji pahalı olduğundan binalarda enerji israfının önlenmesi,
- Enerji kaynaklarının rezervlerinin tükenmesinin önlenmesi,
- Çevrenin korunması, enerji üretilen yerlerdeki kapasitenin artırılması nedeniyle çevrenin tahrip edilmesinin önlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu hedefler doğrultusunda birçok mevzuat yayınlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Yürürlüğe giren bu mevzuatların uygulamada da yaygınlaşması ile Türkiye enerji verimliliği açısından olumlu bir konuma gelecektir.

## **1.7. Türkiye’de Mevcut Enerji Mevzuatları**

### **1.7.1. Enerji Verimliliği Kanunu**

Enerji Verimliliği Kanunu 2007 yılında yürürlüğe girmiştir. Enerji verimliliği politikaları ve önlemlerine yönelik bu kanun ile, enerji verimliliği çalışmalarının etkin olarak yürütülmesi, izlenmesi ve koordinasyonu konusunda idari yapının oluşumunu, enerji verimliliği hizmetlerinin yürütülmesi konusunda yapılacak yetkilendirmeleri, bu konuda çeşitli kuruluşların görev ve sorumluluklarını düzenlenir. Aynı zamanda toplumun eğitim ve bilinçlendirilmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırmasına yönelik çeşitli destekleme mekanizmalarını, teşviklerle ilgili konuları ve yasal gerekleri yerine getirmeyenlere uygulanacak para cezalarını içerir [33].

### **1.7.2. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı**

TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliğinin amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlayarak enerji tasarrufunu artırmak, enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap yöntemini belirlemek ve enerji verimli, konfor şartları yüksek binalar üretilmesini sağlamaktır [34]. Isı Yalıtımı Yönetmeliğinde Türkiye, ısı yalıtımı bakımından 5 bölgeye ayrılmıştır ve tüm bölgelerdeki şehirlerde yer alan binalar için ısı yalıtımı zorunlu hale getirilmiştir.

Proje aşamasında yetkili mühendis tarafından TS 825 Standardında yer alan ısı yalıtımı hesap yöntemine göre hazırlanan “Isı Yalıtımı Hesap Raporu” düzenlenir. Bu raporda yapı elemanlarının, dış pencere ve dış kapıların ısı geçiş katsayısı değerleri, binanın özgül ısı kaybı, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve ısı ihtiyacı kimlik belgesi çizelgeleri ile yoğuşma hesapları yer alır. Isı Yalıtım Hesap Raporu diğer mekanik tesisat hesapları ile beraber idari makamlara sunularak yapı ruhsatı alınır. Bina yapım aşamasında yapı elemanlarının yalıtım özelliklerinin Isı Yalıtım Hesap Raporunda yer aldığı gibi uygulanması zorunludur.



### **1.7.3. Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik**

Bu yönetmelik Enerji Verimliliği Kanunu sonucunda çıkarılmıştır. Bu yönetmelikte merkezi ısınma sistemine sahip binalarda merkezi veya lokal ısı veya sıcaklık kontrol cihazları ile ısınma maliyetlerinin kullanım miktarına bağlı olarak paylaşımı zorunlu hale getirilmiştir. Yönetmelikte, merkezi ısıtma sistemli binalarda termostatik radyatör vanası kullanılması ve bu binaların bağımsız bölümlerdeki mahal sıcaklıklarının en az 15°C olacak şekilde ayarlanması gerektiği belirtilmektedir [35].

### **1.7.4. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği**

2008 yılında yayınlanan ve 2010'da ise son şekli verilen bu yönetmeliğin amacı binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin esasları düzenlemektir. Bu yönetmelik Enerji Verimliliği Kanunu'na dayanarak çıkarılmıştır. Bu yönetmeliğinin önemli maddeleri aşağıda özetlenmiştir [36, 37]:

#### **Isı Yalıtım Esasları**

- Bina kabuğunu oluşturan, duvar, döşeme, balkon, konsol, taban, tavan, çatı ve pencere-duvar birleşimleri ısı köprüsü oluşmayacak şekilde ve TS 825 standardında belirtilen asgari ısı yalıtım şartlarına uygun olarak yalıtılır.
- Yapı ve yalıtım malzemelerinin seçiminde CE veya G uygunluk işareti ve uygunluk belgesine sahip olmasına dikkat edilir.
- TS 825 standardındaki hesap yöntemine göre 'Isı Yalıtım Projesi' hazırlanır.
- Mekanik tesisat ekipmanları, ısı ve ses yalıtım malzemeleri ile yalıtılır.
- Soğuk su ve soğutma tesisatlarındaki borular ve soğuk akışkan taşıyan klima kanalları, ısı kazançları ve yoğuşma riskini önleyecek şekilde dıştan yalıtılır.
- Bu Yönetmelikte belirtilmeyen hususlarda TS 825 standardına uyulur.

#### **Isıtma Sistemleri Esasları**

- Kullanım alanı 2,000 m<sup>2</sup> ve üstünde olan yeni binalarda merkezi ısıtma sistemi yapılır.

- Kullanım alanı 250 m<sup>2</sup> ve üstünde olan bireysel ısıtma sistemine sahip gaz yakıt kullanılan binalarda yoğunlaşmalı tip ısıtıcı cihazlar kullanılır.

- Merkezi ısıtma sistemine sahip binalarda, ısı veya sıcaklık kontrol cihazları ve ısı kullanım miktarının paylaşımını sağlayan sistemler (ısı pay ölçerler) kullanılır.

- Merkezi ısıtma sisteminde sıcaklık kontrol cihazları kullanılması durumunda ısıtma pompaları zamana, basınca veya akışkan debisine göre değişken devirli seçilir.

- Merkezi ısıtma sistemine sahip binalarda ısıtılan mahallerin iç ortam sıcaklığı 15°C'nin altına düşmeyecek şekilde tedbir alınır.

- Isıtma sistemlerinde ilgili yönetmelik ve standartlarda belirtilen periyodik kontroller, testler ve bakımlar yaptırılır.

#### Soğutma Sistemleri Esasları

- Soğutma ihtiyacı 250 kW'dan büyük olan konut dışı binalarda merkezi soğutma sistemi tasarımları yapılır.

- Soğutma sistemlerin tasarımında seçilecek olan soğutucu akışkanların TS EN 378 serisi standartlarına uygun olması gerekir.

#### Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri Esasları

- Yeni yapılacak binaların 500 m<sup>3</sup>/saat ve üzeri hava debili sistemlerinde, yaz ve kış çalışma şartlarında minimum %50 verimlilik oluşturabilen ısı geri kazanım sistemlerinin kullanılması zorunludur. Bu sistemler geçiş mevsimleri için by-pass düzeneğine de sahip olmalıdır.

- Konut dışı binalarda iklimlendirme sistemleri değişken insan yüküne bağlı olarak değişken hava debili çalışan, iç hava kontrolü sağlayan mekanik tesisatla donatılır.

- Konut dışı binalarda iklimlendirme sistemlerinde oda sıcaklığı ayar düzenekleri kullanılır.

#### Sıhhi Sıcak Su Dağıtım ve Hazırlama Sistemleri

- Kullanım alanı 2000 m<sup>2</sup>'nin üzerindeki oteller, hastaneler, yurtlar gibi konaklama amaçlı ile spor merkezlerinde merkezi sıhhi sıcak su sisteminin planlanması şarttır.

- Merkezi sıhhi sıcak su sistemlerinde cihaz ve dağıtım hatları yalıtılır.

#### Otomatik Kontrol

- Sıvı ve gaz yakıtlı kazanlarda yanma kontrolü için otomatik kontrol sistemi yapılır.
- Merkezi ısıtma ve soğutma sistemine sahip binalar, her odanın sıcaklığını ayrı düzenleyecek otomatik cihazlarla donatılır.
- Merkezi iklimlendirme sistemi olan binalarda, ayarlanan değerleri kontrol edecek otomatik kontrol sistemi bulunması zorunludur.
- 10,000 m<sup>2</sup>'nin üzerinde olan ve merkezi ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemi ve aydınlatma sistemleri birlikte bulunan binalarda bilgisayar kontrollü bina otomasyon sistemi tesis edilir.

#### Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, Isı pompası ve Kojenerasyon Sistemleri

- Yeni yapılan ve kullanım alanı 20.000 m<sup>2</sup>'nin üzerinde olan binalarda ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, ısı pompası ve kojenerasyon gibi sistemler tasarımcılar tarafından projelendirme aşamasında analiz edilir. Bu uygulamalardan biri veya birkaçı, Bakanlık tarafından yayımlanan birim fiyatlar esas alınmak suretiyle hesaplanan, binanın toplam maliyetinin en az yüzde onuna karşılık gelecek şekilde yapılır.

#### Enerji Kimlik Belgesi

- Asgari olarak binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, yalıtım özellikleri ve ısıtma ve soğutma sistemlerinin verimi ile ilgili bilgileri içerir,
- Enerji kimlik belgesi vermeye yetkili kuruluş tarafından hazırlanır ve ilgili idarece onaylanır. Bu belge, yeni binalar için yapı kullanma izin belgesi ile birlikte verilir.
- Enerji kimlik belgesi BEP-TR kullanılmak suretiyle düzenlenir. BEP-TR'ye erişim yetkisi, enerji kimlik belgesi düzenlemeye yetkili kuruluşlara verilir.

- Uygulama yeni binalarda yönetmeliğin yayınlanması ile başlarken, mevcut binalara en geç 2 Mayıs 2017 'ye kadar enerji belgesi sahibi olma süresi tanınmıştır.

- Enerji Kimlik Belgesi geçerlilik süresi 10 yıldır.

### **1.7.5. Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik**

Ekim 2008'de yürürlüğe giren bu yönetmelik, enerji verimliliğine yönelik çalışmaların yaygınlaştırılmasında üniversitelerin, meslek odalarının ve enerji verimliliği danışmanlık şirketlerinin yetkilendirilmesine; enerji yönetimi uygulamalarına, enerji yöneticileri ile enerji yönetim birimlerinin görev ve sorumluluklarına, enerji verimliliği ile ilgili eğitim ve sertifikalandırma faaliyetlerine ilişkin esasları kapsar. Ayrıca, enerji etütleri ve endüstriyel işletmelerde verimlilik artırıcı projelerin desteklenmesine ve gönüllü anlaşmalara, elektrik enerjisi üretiminde, iletiminde, dağıtımında ve tüketiminde enerji verimliliğinin artırılmasına, termik santrallerin atık ısılarından yararlanılmasına (kojenerasyon), açık alan aydınlatmaları, biyoyakıt ve hidrojen gibi alternatif yakıt kullanımının özendirilmesine ve idari yaptırımlara dair hükümler içerir [38].

### **1.7.6. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012 – 2023**

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi Şubat 2012'de yayınlanmıştır. 2012'den 2023'e kadar enerji verimliliği ile ilgili aşağıdaki stratejik amaçlar ortaya konmuştur:

- Sanayi ve hizmetler sektöründe enerji yoğunluğunu ve enerji kayıplarını azaltmak,

- Binaların enerji taleplerini ve karbon emisyonlarını azaltmak; yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmak,

- Enerji verimli ürünlerin piyasa dönüşümünü sağlamak,

- Elektrik üretim, iletim ve dağıtımında verimliliği artırmak, enerji kayıplarını ve zararlı çevre emisyonlarını azaltmak,

- Motorlu taşıtların birim fosil yakıt tüketimini azaltmak, kara, deniz ve demir yollarında toplu taşıma payını artırmak ve şehir içi ulaşımda yakıt sarfiyatını önlemek,

- Kamu kesiminde enerjiyi etkin ve verimli kullanmak,

- Kurumsal yapıları, kapasiteleri ve işbirliklerini güçlendirmek, ileri teknoloji kullanımını ve bilinçlendirme etkinliklerini artırmak, kamu dışında finansman ortamları oluşturmak

2023 yılında Türkiye'nin Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) başına tüketilen enerji miktarının 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmektedir [39].

### **1.7.7. Sürdürülebilir Yeşil Binalar ile Sürdürülebilir Yerleşmelerin**

#### **Belgelendirilmesine Dair Yönetmelik**

Bu yönetmelik, binaların çevreye olan etkilerini azaltmak için enerjiyi ve doğal kaynakları verimli bir şekilde kullanarak sürdürülebilir yeşil bina veya sürdürülebilir yerleşme olarak değerlendirilmesini ve belgelendirilmesini; görevli olanların yetki ve sorumluluklarının belirlenmesini düzenler [40]. Bu yönetmelik doğrultusunda kurulan Daimi Komite tarafından ulusal yeşil bina değerlendirme kılavuzu hazırlanarak, Ulusal Yeşil Bina Bilgi Sistemi (UYBBS) hayata geçirilecektir. Daimi Komitenin belirlediği belgelendirme kuruluşlarında verilen eğitime katılan ve sınavda başarılı olanlar, sürdürülebilirlik uzmanı veya değerlendirme uzmanı olarak görev yapabileceklerdir. Sürdürülebilirlik uzmanı, yeşil bina değerlendirme kılavuzunda belirtilen kriterlere göre bina sahibine danışmanlık hizmeti vererek, binanın veya yerleşmenin yeşil bina değerlendirme kılavuzundaki koşulları yerine getirip getirmediğine dair analizini ve puanlamayı yapacaktır.

### **1.8. Bina Enerji Performans Analizi**

Bina enerji analizi, bir binanın enerji tüketen sistemlerini bilgisayar ortamında kurgulayarak binanın enerji tüketimini ve işletme maliyetini hesaplamaktır. Binanın inşa edilmeden önce tüketeceği enerji ve işletme maliyetini hesaplayabilmek, tüketeceği

enerjiyi azaltmak için yapılacak değişikliklerin etkisini bilgisayar ortamında çabuk ve en ucuz şekilde görerek, enerji verimli bina inşa etmek oldukça önem kazanmaktadır.

### **1.8.1. Bina Enerji Performans Analizi Yazılımları**

Binaların enerji performans analizlerinde kullanılan yazılımlar aşağıda verilmiştir [27].

#### DOE2/eQuest

ABD Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş 1970'den beri kullanılan detaylı veri girişi ve fonksiyonel kullanıcı arayüzü (eQuest) olan, saatlik olarak analiz yapan ve LEED enerji simülasyonları için en çok tercih edilen yazılımdır.

#### EnergyPlus

ABD Enerji Bakanlığı tarafından DOE2 temel alınarak geliştirilmiş ve daha iyi modelleme özellikleri sunan bir yazılımdır. Isıl konfor, su tüketimi, doğal havalandırma ve çok zonlu hava akışı konularında DOE2'den daha gelişmiş bir yazılım olmasına rağmen fonksiyonel bir kullanıcı arayüzü olmaması ve analizin çok zaman alıcı olması dezavantajlarındandır.

#### EnergyPro

DOE2 temelli olarak geliştirilen kullanımı kolay, baz binayı otomatik olarak yaratabilme özelliği olan ilk proje tasarım aşamasında faydalı olan ticari paket yazılımdır.

#### HAP

Carrier firması tarafından geliştirilen HAP (Hourly Analysis Program) programı, sistem tasarımı ve saatlik bina enerji analizi konusunda gelişmiş ticari bir yazılımdır. Sistem odaklı olması, özellikle mekanik ekipmanların modellenmesi konusunda son derece esnek ve detaylı olması ile ön plana çıkmıştır. HAP programının ilk kısmında ısıtma, soğutma ve havalandırma hesapları ve tasarımı yapılmakta; ikinci kısmında ise enerji analizi gerçekleştirilmektedir. LEED projelerinde ve Türkiye'de mekanik tesisat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. HAP programı eğitimi Türk Tesisat Mühendisleri Derneği tarafından HAP Basic ve HAP Advanced (Enerji Analizi) adı altında

iki kurs olarak verilmekte ve kursa katılım neticesinde HAP yazılımını satın alınmış olmaktadır.

### Energy10

Bina alanı küçük olan projelerde kullanılan tasarımın ilk aşamasında yararlı olan bir yazılımdır.

### TRNSYS

Daha çok mekanik yüklerin hesaplanması için geliştirilmiş, kullanımı zor fakat detaylı modelleme olanağı sunan ticari paket programdır.

### Ecotect

Aydınlatma, gün ışığı, gölgeleme gibi mimari unsurların değerlendirilmesinde etkin, mekanik sistemlerin simülasyonunda yetersiz bir yazılımdır. Diğer modelleme yazılımlarına detaylı bilgi aktarımı sağlayan kullanımı ve gelişmiş 3 boyutlu modelleme arayüzü, yazılımı avantajlı hale getirmiştir. Ayrıca Revit programı ile beraber çalışabilmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

### IESVE

Çok sayıda bina analiz yazılımını içinde barındıran bütünleşik ticari paket yazılımdır. Isı analizi, gün ışığı analizi, CFD, güneş geometrisi, doğal havalandırma analizi özelliklerini içeren yazılım ayrıca 3 boyutlu modelleme özelliğine de sahiptir.

### DESIGN BUILDER

Bu yazılımda öncelikli olarak tüm mimarinin çizilip ve 3 boyutlu hale getirilerek programa tanıtılması gerekmektedir. Daha sonra mekanik tesisat sistemlerini programda detaylı bir şekilde tasarlayıp oluşturmak suretiyle enerji analizi hesabı yapabilmektedir.

### 1.8.2. Ulusal Bina Enerji Performansı Yöntemi ve Yazılımları

Bina enerji performansının belirlenmesine yönelik ulusal düzeyde geliştirilen yöntem ve yazılımlar olan BEP-TR ve KEP-SDM aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

#### BEP-TR

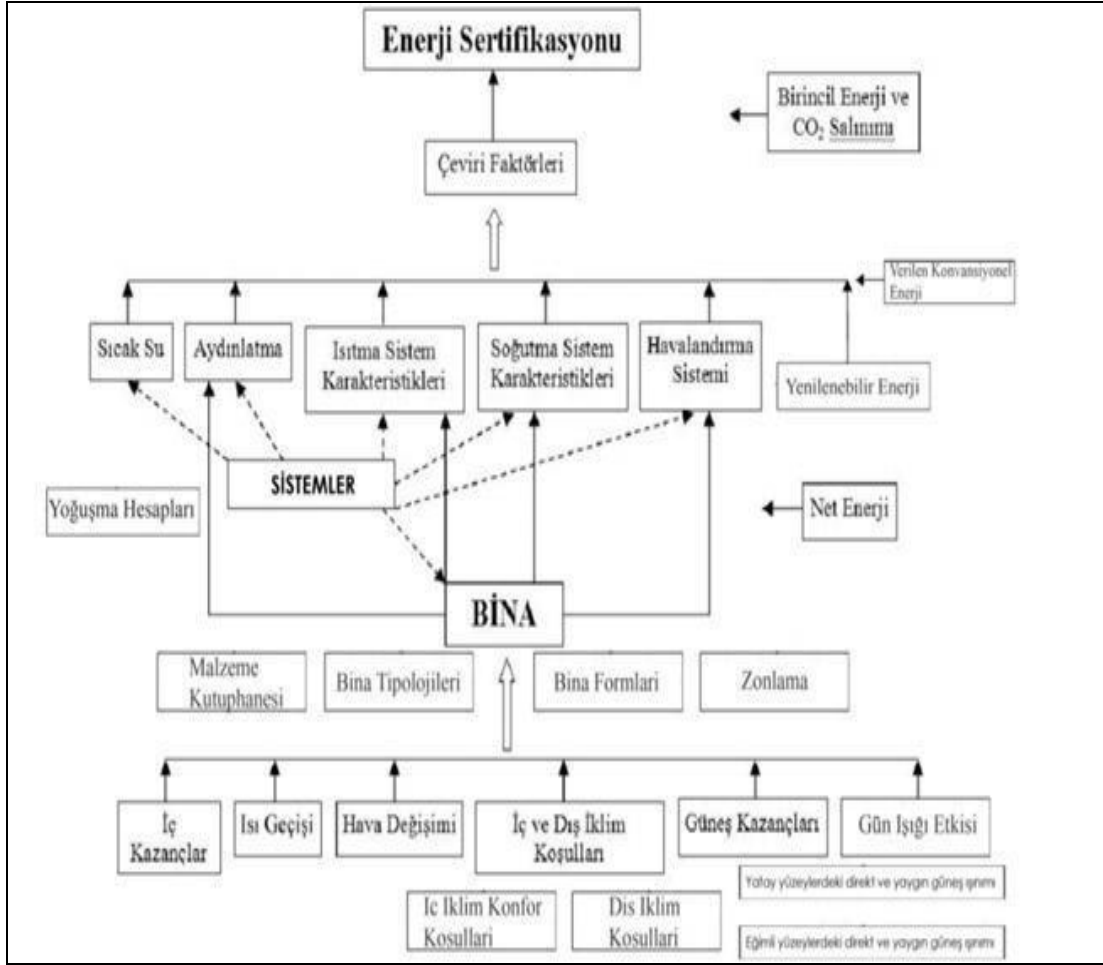
Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ, Aralık 2010 yılında yayımlanmıştır. Binaların enerji tüketimine etki eden tüm parametrelerin binanın enerji verimliliğine olan etkilerini değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için geliştirilen BEP-TR hesap yöntemi bu tebliğde detaylı olarak anlatılmaktadır [41].

BEP-TR enerji performansı yöntemi ile bir binanın enerji analizinde 5 ana aşama mevcuttur:

- a. Binanın ısıtılması ve soğutulması için gerekli olan net enerji miktarı hesaplanmalıdır.
- b. Hesaplanan net enerji miktarını karşılayacak mekanik sistemlerin kayıpları ve cihaz verimleri göz önüne alınarak ısıtma-soğutma enerji tüketimleri belirlenmelidir.
- c. Havalandırma tesisatı enerji tüketimi hesaplanmalıdır.
- d. Sıcak su ihtiyacı varsa sıcak su enerji tüketimi hesabı yapılmalıdır.
- e. Binaların aydınlatma ihtiyacı enerji tüketimi belirlenmelidir.

BEP-TR hesaplama yöntemi, basit saatlik dinamik yöntemdir. Binanın ısıtma-soğutma için gereken net enerji ihtiyacını ve bu ihtiyacın karşılanacağı sistemlerin tüketimini saatlik olarak hesaplar. Hesaplama yöntemi; konutlar, ofisler, eğitim binaları, sağlık binaları, oteller ile alışveriş ve ticaret merkezleri gibi bina türlerinde mevcut ve yeni binaların enerji performansını değerlendirmek için kullanılır. Bir binanın enerji performansının belirlenmesi için binanın m<sup>2</sup> başına düşen yıllık enerji tüketiminin belirlenmesi, bu değere göre CO<sub>2</sub> salımının hesaplanması, bu değerlerin referans bir binanın değerleri ile kıyaslanarak, binanın A-G arası bir enerji sınıfına yerleştirilmesi ve Enerji Kimlik Belgesi düzenlenmesi ile gerçekleşir [41]. Bir binaya ait yukarıda belirtilen tüm enerji tüketim değerleri belirlendikten sonra ulusal hesaplama yazılım programı olan BEP-TR kullanılarak binalara Enerji Kimlik Belgesi alınır [42]. BEP-TR enerji performansı hesaplama akış şeması Şekil 1.3'de verilmiştir.





Şekil 1.3. BEP-TR enerji performansı hesaplama akış şeması [42].

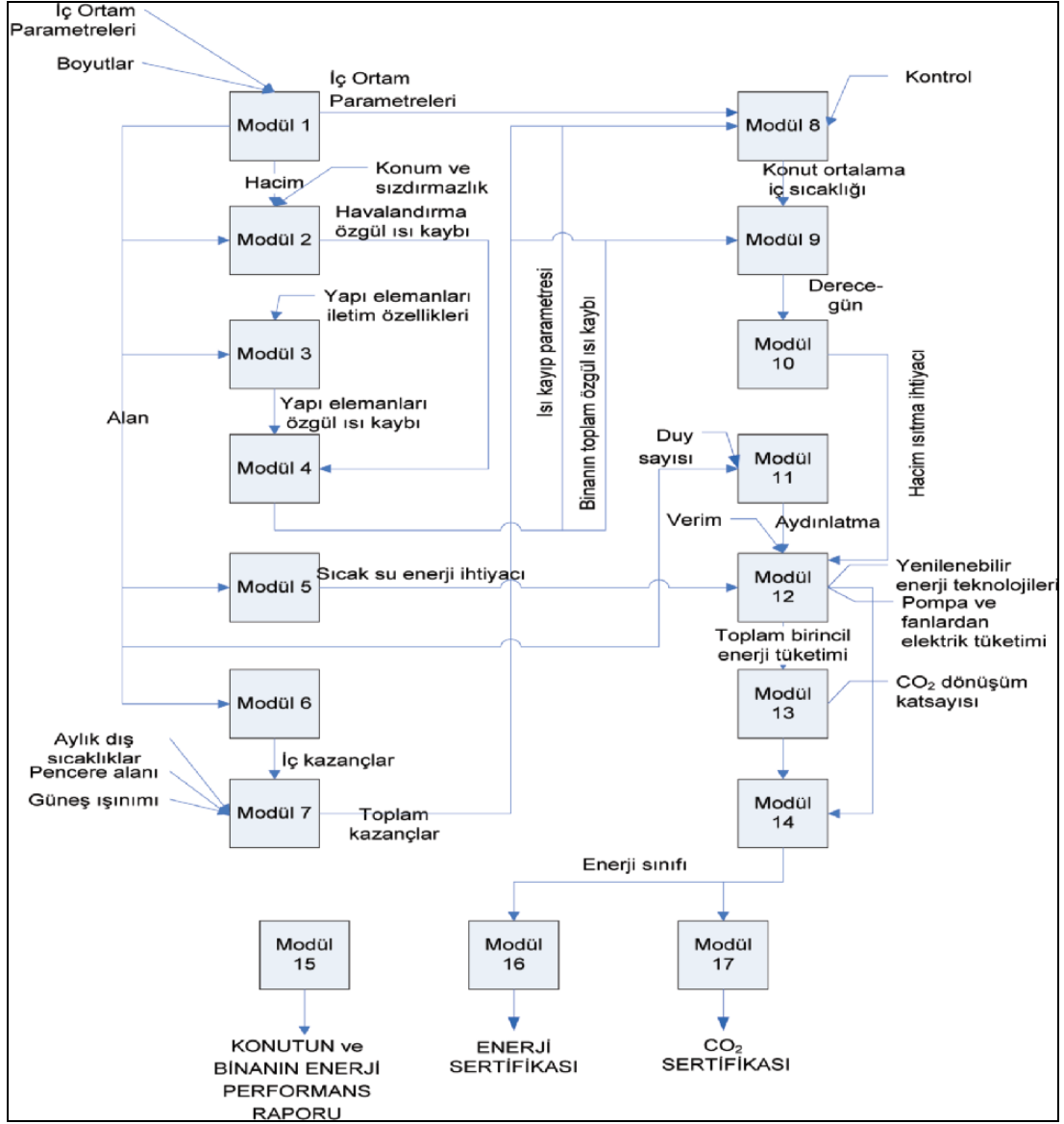
BEP-TR yazılımı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı sunucuları üzerinden internet tabanlı olarak çalışan bir programdır. Bu programa erişim yetkisi sadece Enerji Kimlik Belgesi düzenleme yetkisi olan kurumlara verilmektedir. Enerji Verimliliği Danışmanlık firmaları, Serbest Mühendis Müşavirler ve Enerji Kimlik Belgesi Uzmanları düzenlenen eğitime katılıp yetki belgesi almak suretiyle Enerji Kimlik Belgesi düzenleme hakkına sahiptir. Enerji Kimlik Belgesi adeta binanın nüfus cüzdanı gibidir. Bu belgede binanın:

- Genel bilgileri,
- Fotoğrafi veya modeli,
- Enerji tüketim sınıfı,
- CO<sub>2</sub> salımı sınıfı,
- Yenilenebilir enerji oranı,
- Isıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su, aydınlatma enerjisi tüketim sınıfları bilgileri yer almaktadır.

### KEP-SDM

KEP-SDM (Konutlarda Enerji Performansı Standart Değerlendirme Metodu), Bina Enerji Performansı Yönetmeliği doğrultusunda MMO İzmir Şube Çalışma Grubu tarafından oluşturulan ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) ile İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) öğretim üyelerinden oluşan Çalışma Grubu tarafından Haziran 2008’de yazılımı geliştirilen bir hesaplama yöntemidir. KEP-SDM, taban alanı 450 m<sup>2</sup>’nin altında olan yeni veya büyük onarım görececek müstakil konutlara veya taban alanı 450 m<sup>2</sup>’nin altında olan konutların yer aldığı apartman tarzı binalara uygulanır. Bu yöntem ısıtma, sıcak su üretimi ve aydınlatma ile ilgili enerji tüketimlerini esas alır. Soğutma ihtiyacına yönelik enerji tüketimleri yöntemin kapsamı dışındadır. KEP-SDM hesaplamalarında derece-gün yöntemini kullanmaktadır. Derece-gün, bir binanın bulunduğu bölgenin günlük ortalama dış hava sıcaklığı ile iç ortamla ilgili denge sıcaklığı arasındaki fark olarak ifade edilir. Bu değer binanın enerji ihtiyacı ile doğru orantılıdır.

Bu hesap yöntemi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü’nde “Enerji Sertifikalandırma Yazılımı (KEP-İYTE-ESS)” adı altında İYTE sunucusu ve merkezi veri tabanlarını kullanarak internet tabanlı olarak geliştirilmiştir [43]. Hesap programının sonucunda konutun ve binanın enerji performans raporu, enerji ve Karbondioksit Sertifikası verilmektedir. KEP-İYTE-ESS enerji performansı hesaplama akış şeması Şekil 1.4’te görülmektedir.



Şekil 1.4. KEP-İYTE-ESS enerji performansı hesaplama akış şeması [43]

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Bina Yapısal Özellikleri

Enerji performans analizleri için, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni yerleşkesinde bulunan geleneksel yapı yaklaşımı ile inşa edilmiş olan ve 1963'den bugüne kadar hizmet veren Makina Mühendisliği Binası seçilmiştir. Bina 6816 m<sup>2</sup> alan üzerine inşa edilmiş olup, 12485 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahiptir [44]. Bina toprak zemine oturmaktadır ve üstü kullanılmayan eğimli çatıdır. Bina girişi yüksek tavanlı olup, ortak alanlarda öğrencilerin bir araya geldikleri geniş alana sahip birleşik koridorlar mevcuttur.

Derslikler, ihtiyacı karşılayacak şekilde sınıf ve amfi olarak düzenlenmiş olup bodrum kat, zemin kat ve 1.katta yer almaktadırlar. Her bir anabilim dalı ile ilgili laboratuvarlar da binanın birinci katında bulunmaktadır. Akademisyen odalarının yer aldığı kısım zemin, 1. ve 2. kat olmak üzere 3 katlıdır. Bina mimari kat planları Ek-1'de verilmiştir. Binanın bulunduğu Trabzon ili 2. bölge derece gün illeri arasında yer almaktadır. Trabzon için dış ortam tasarım şartları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1.Trabzon için dış ortam tasarım koşulları

Enlem	41°00' Kuzey
Boylam	39° 43' Doğu
Kış kuru termometre sıcaklığı	-3 °C
Kış yaş termometre sıcaklığı	-4 °C
Günlük sıcaklık farkı	5,8 °C
Yaz kuru termometre sıcaklığı	31 °C
Yaz yaş termometre sıcaklığı	25 °C
Yaz bağıl nem	% 62

Isıtma ve soğutma hesaplarından önce binanın yapı malzemeleri tanımlanmış ve bu malzemelerden oluşan yapı elemanları hesaplanmıştır. Toplam ısı geçirgenlik katsayısı (U) değeri hesaplamalarında, TS 825 Isı Yalıtım Kuralları Standardında yer alan yapı malzeme özellikleri tablosundan (TS 825 Ek-E) alınan değerler kullanılmıştır. Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) hesaplamalarında kullanılan yapı elemanları için U değerleri Tablo 2.2'de yer almaktadır.

Tablo 2.2. Yapı elemanlarının toplam ısıl geçirgenlik katsayısı değerleri

YAPI ELEMANI	U	
	W/m <sup>2</sup> K	kcal/m <sup>2</sup> h°C
A. İç duvar 1 (10 cm tuğla duvar)	2,083	1,791
B. İç duvar 2 (20 cm tuğla duvar)	1,471	1,264
C. İç duvar 3 (betonarme duvar)	2,500	2,150
D. Dış duvar 1 (tuğla duvar)	1,688	1,451
E. Dış duvar 2 (perde-kolon)	3,200	2,752
F. Dış duvar 3 (toprak temalı duvar)	2,145	1,844
G. Toprak temalı döşeme	1,992	1,713
H. Ara kat döşeme 1 (mermer kaplı)	2,291	1,970
I. Ara kat döşeme 2 (açık çıkmalar)	3,237	2,783
İ. Çatı	1,734	1,491

Hesaplamalarda dış pencereler laboratuvar mahallerinde alüminyum doğramalı; diğer mahallerde ise plastik doğramalı tek camlı olarak alınmıştır. Dış ortama açılan bina giriş kapılarının cam kapı olmasından dolayı U değerleri dış pencereler ile aynı olarak tanımlanmıştır. U değerleri belirlenirken TS 825 Isı Yalıtım kuralları standardında yer alan pencere sistemlerinin  $U_p$  değerleri tablosundan yararlanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan dış ve iç pencere ile kapılara ait U değerleri sırasıyla, Tablo 2.3 ve 2.4’de yer almaktadır.

Tablo 2.3. Dış pencere ve dış kapıların U değerleri

Mahaller	Pencere Tipi	U [W/m <sup>2</sup> K]
Akademisyen odaları, sınıflar ve koridorlar	Plastik doğrama tek camlı pencere / Dış kapı	5,2
Laboratuvarlar	Alüminyum doğrama tek camlı Pencere / Dış kapı	5,9

Tablo 2.4. İç pencere ve iç kapıların U değerleri

Mahaller	Kapı / Pencere Tipi	U [W/m <sup>2</sup> K]
Akademisyen odaları, sınıflar ve koridorlar	Ahşap iç kapı	2
Laboratuvar iç mahalleri ve Bilgisayar lab.	Alüminyum iç kapı	2
Tüm iç pencereler	Ahşap iç pencere	2

## 2.2. Isıtma ve Soğutma Hesaplamaları

Makina Mühendisliği Bölümü binası HVAC ve enerji simülasyonu hesaplamalarında CARRIER HAP (Hourly Analysis Program) programı kullanılmıştır. Ayrıca, ısıtma ve soğutma hesaplamaları Dipro Ltd. MTH yazılımı ile de yapılmış olup, sonuçlar “Bulgular” kısmında değerlendirilmiştir.

HAP programı yük hesaplamalarında ASHRAE Transfer Fonksiyonu yöntemini kullanır. ASHRAE Transfer Fonksiyonu yönteminde, ısıtma ve soğutma yükleri en hassas şekilde hesaplanabilmekte ve bina yapı elemanlarının zamana bağlı olarak ısı depolama etkisi de göz önüne alınmaktadır. HAP programında iklim verileri, bina yapısal özellikleri, iç yükler (insan yükü, aydınlatma ve elektrikli cihaz yükleri), HVAC sistem seçimi, termostat ayar değerleri, taze hava miktarları ve besleme havası parametreleri gibi unsurlar tanımlanmıştır. HAP programı sistem odaklı olduğundan, programda HVAC sistemi tanımlanarak hesap yapılabilmektedir.

MTH programı (Mekanik Tesisat Hesapları), Türkiye’de hazırlanan ticari paket program olduğu için Türkiye’de kullanılan hesap usulleri, standartları ve katsayıları içerir. Isı yalıtım hesabında TSE 825, ısı kaybı hesabında TSE 2164 standartlarını kullanır. MTH programı, ısı yükü hesabında ASHRAE tarafından önerilen hesap yöntemi olan Toplam Eşdeğer Sıcaklık Farkı Yöntemini (Total Equivalent Temperature Differencial / Time Averaging) kullanır.

Her iki paket programın ısı yükü hesaplamalarında kullandıkları hesap yöntemleri karşılaştırıldığında, HAP programının kullandığı ASHRAE Transfer Fonksiyonu yöntemi daha gelişmiş bir yöntemdir.

Transfer Fonksiyonu yönteminde yük, ısı kazancının ve zamanın bir fonksiyonu olup matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir [45].

$$Q_0 = v_0 q_0 + v_1 q_1 + v_2 q_2 - w_1 Q_1 - w_2 Q_2 \quad (2.1)$$

Bu denklemde  $Q$ , yükü;  $q$  ise, ısı kazancını temsil eder. “0” indisi, şimdiki anı; “1” indisi, 1 saat öncesini; “2” indisi ise, 2 saat öncesini ifade eder.  $v_0$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $w_1$  ve  $w_2$  büyüklükleri ise transfer fonksiyonu katsayılarıdır. Mahal transfer fonksiyonu denklemleri şu andaki ısı yükünün önceki iki saatin ısı kazancının bir fonksiyonu olduğunu, önceki iki

saatin yükünün de ondan önceki iki saatin ısı kazancının bir fonksiyonu olduğunu ifade etmektedir.

Mahal transfer fonksiyonu denklemlerini kullanmak için öncelikle transfer fonksiyonu katsayıları hesaplanmalıdır. ASHRAE tarafından farklı ısı kazancı türleri, farklı mahal tipleri ve bina ağırlıkları için bu katsayıların yer aldığı tablolar yayımlanmıştır. 2 saatlik dilimler için ısı kazançları belirlendikten sonra bu ısı kazançlarını ve transfer metodu katsayılarını mahal transfer metodu denkleminde birlikte kullanarak ısı yükleri hesaplanır.

Mahal iç ortam sıcaklıklarını belirleyen termostat sıcaklık değeri, ortalama  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$  çalışma aralığında değişkenlik gösterir. Dolayısıyla, dış ortam sıcaklığı gibi az da olsa değişen mahal iç ortam sıcaklıkları da HAP programı hesaplamalarında dikkate alınır.

Taşınım ve iletimle ısı transferi sonucu ısı kaynağından mahal havasına geçen ısı etkisi anlaktır. Buna karşın, ışınlam ile ısı transferinde mahale yük olarak yansıyan ısı, etkisini zamana bağlı olarak gösterir. Örneğin, pencereden ışınlama ile gelen ısı, oda içerisindeki yüzeyler tarafından soğurulur ve zamanla oda içerisinde etkisini gösterir. HAP programı bu değişimleri hesaba katarak saatlik hesap yapar. Sonuç olarak, HAP programı ile bir bina için gerçek zamanlı dinamik ısı transferi hesaplamaları gerçekleştirilir [45].

### 2.2.1. Bina Isıtma Hesaplamaları

MTH ve HAP programlarının her ikisi kullanılarak KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binasının ısı kaybı hesapları yapılmış, ayrıntılar Ek 2’de verilmiştir. Her iki programın ısı kaybı hesap metodolojisi ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır.

Hesaplamalarda ısıtma sezonunda derslikler, akademisyen odaları iç ortam sıcaklıkları  $20^{\circ}\text{C}$  olarak alınırken koridorlar ve laboratuvar iç ortam sıcaklıkları  $18^{\circ}\text{C}$  olarak hesaplara katılmıştır. Isıtma sezonu için iç ortam mahal tasarım sıcaklıkları Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.5. Isıtma sezonu iç ortam mahal tasarım sıcaklıkları

Kış kuru termometre sıcaklığı (KT)	$18^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$
Kış yaş termometre sıcaklığı (YT)	$12^{\circ}\text{C} \sim 14^{\circ}\text{C}$
Kış bağıl nem	% 50

### 2.2.1.1. MTH Programı Isı Kaybı Hesap Yöntemi

Dipro MTH programı ısı kaybı hesaplarında TS 2164 esasları temel alınır. TS 2164'e göre bir mahalın toplam ısı kaybı ( $Q_h$ ); iletimsel ( $Q_i$ ) ve hava sızıntısı (enfiltrasyon) kaynaklı ısı kaybı ( $Q_s$ ) toplamına eşittir.

$$Q_h = Q_i + Q_s \quad [\text{W}] \quad (2.2)$$

İletimsel ısı kaybının temeli ısı transfer yasalarına dayanır.

$$Q = UA(T_i - T_d) \quad [\text{W}] \quad (2.3)$$

$$Q_i = Q(1 + Z_D + Z_H + Z_W) \quad [\text{W}] \quad (2.4)$$

TS 2164'te iletimsel ısı kaybı hesabına 3 farklı artırım uygulanmaktadır. Bu artırımlar; birleştirilmiş artırım katsayısı ( $Z_D$ ), yön artırım katsayısı ( $Z_H$ ) ve yüksek kat artırımı katsayısı ( $Z_W$ )'dir. Makina Mühendisliği Bölümünün 2. Öğretim programı olduğundan  $Z_D$  artırımında 2. işletme türü seçilerek % 15 artırım hesaba katılmıştır. Her bir mahal için yön artırımı TS 2164'e uygun oranlarda dikkate alınmıştır.  $Z_W$  artırım katsayısı, binanın çok yüksek olmaması nedeniyle ihmal edilmiştir. Tüm mahallerde iletimsel ısı kaybı bu şekilde hesaplanmıştır.

Hava sızıntısı kaynaklı ısı kaybında çoğunlukla, aşağıda ifade edilen fuga sızıntısı yöntemi kullanılmıştır.

$$Q_s = \Sigma(aL)_{dış} RH\Delta T Z_e \quad [\text{W}] \quad (2.5)$$

$a$  ( $\text{m}^3/\text{mh}$ ) : Pencere ve kapılar için hava sızdırma katsayısıdır. Tablodan akademisyen odaları, sınıflar ve koridorlar için 2,0; laboratuvarlar için 1,5 seçilmiştir.

$L$  (m) :Pencere ve kapıların açılan kısımlarının uzunluğudur. Ölçümle belirlenmiştir.

$R$ : Oda durum katsayısı. Her bir mahal için TS 2164'teki ilgili tablodan



seçilmiştir.

$H$  (Wh/m<sup>3</sup>°C) : Rüzgar durumuna göre TS 2164'ten seçilen yapı durum katsayısı

$\Delta T$ : İç ve dış ortam sıcaklık farkıdır.

$Z_e$ : Pencereilerin tek duvarda veya daha fazla duvarda olmasına bağlı olarak

değişen köşe artırım katsayısıdır. TS 2164'e uygun olarak dikkate alınmıştır.

Binada sadece zemin kat öğrenci hollerinde dış kapının açık kalması sebebiyle ortaya çıkan hava sızıntısı, hava değişimi hesabına göre hesaplanmıştır [46].

$$Q'_s = n\rho VC_p\Delta T \text{ [W]} \quad (2.6)$$

$n$ : Hava değişim sayısı (kez/s)

$\rho$ : Dış havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>) (0 °C'da 1,293 kg/m<sup>3</sup>)

$V$ : Isıtılan mahalın hacmi (m<sup>3</sup>)

$C_p$ : Havanın sabit basınçtaki özgül ısısı ( $C_p=1,005$  kJ/kg °C).

$\Delta T$ : ( $T_i-T_d$ ) iç ve dış hava sıcaklık farkı (°C)

### 2.2.1.2. HAP Programı ile Isı Kaybı Hesap Yöntemi

Isı kaybı hesaplarında kullanıcının programa girdiği kış ayları için tasarım verileri temel alınır. Isıtma hesapları, soğutma hesaplarında olduğu gibi belirli bir ay ve saat ile bağlantılı değildir. Hesaplar, anlık ısı kaybının cihaz yüküne dönüşmesi şeklinde kabul edilerek yapılmaktadır [45].

a) Dış duvar, çatı ve pencerelerden olan ısı kaybı

$$Q = UA(T_r - T_{oa}) \text{ [W]} \quad (2.7)$$

$U$ : Duvar, çatı ve pencere toplam ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/m<sup>2</sup>K)

$A$ : Duvar, çatı ve pencere net alanı, (m<sup>2</sup>)

$T_r$ : Mahal sıcaklığı, °C (Isıtma termostatı ayar sıcaklık değeri kullanılmaktadır.)

$T_{oa}$ : Dış hava tasarım sıcaklığı, (°C)

b) İç bölme, tavan ve döşemeden kaynaklanan ısı kaybı

$$Q = UA(T_r - T_{adj}) \quad [\text{W}] \quad (2.8)$$

$U$ : İç bölme, tavan ve döşeme toplam ısıl geçirgenlik katsayısı, (W/m<sup>2</sup>K)

$A$ : İç bölme, tavan ve döşeme alanı, (m<sup>2</sup>)

$T_{adj}$ : Şartlandırılmamış ya da kısmen şartlandırılmış komşu mahal sıcaklığı, (°C)

c) Toprak temaslı döşemeden ısı kaybı

Toprak temaslı döşemeden ısı kaybı,

$$q_f = [A(T_{oa} - T_r)] / \pi \left[ \ln \left( \frac{1}{h_o} + \frac{\pi W}{k_{soil}} + R_f + R_{si} + R_s \right) - \ln \left( \frac{1}{h_o} + R_f + R_{si} + R_s \right) \right] [\text{W}] \quad (2.9)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu ifadede,

$h_o$ : Dış yüzey taşınım katsayısı, standart olarak 34,1 W/(m<sup>2</sup>K) alınmıştır.

$k_{soil}$ : Toprağın ısıl iletkenlik değeri, (W/mK)

$A$ : Toprakla temas eden döşemenin taban çevresi, m<sup>2</sup>

$R_f$ : Dış duvar temelinin ısı direnci, standart olarak 0,289 (m<sup>2</sup>K/W) alınmıştır.

$R_{si}$ : Döşeme yalıtımının ısı direnci, (m<sup>2</sup>K/W)

$R_s$ : Döşemenin ısı direnci, (m<sup>2</sup>K/W)

$W$ : Etkin kat genişliği, (m). (Bu bileşen mahal alanının toprağa maruz kalan mahal çevresine bölünmesi ile hesaplanır.)

d) Enfiltrasyondan kaynaklanan ısı kaybı

Enfiltrasyon hava debisi miktarı ( $V_i$ ),

$$V_i = (lt/s/m^2) \times (\text{Mahaldeki toplam dış duvar alanı}) = (\text{Saatlik hava değişim sayısı}) (A_f \times H) / K$$

şeklinde lt/s birimindedir.  $A_f$ , mahalın taban alanı,  $H$ , mahal yüksekliği ve  $K$ , m<sup>3</sup>/1000 lt cinsinden birim dönüştürme faktörüdür.

Duyulur enfiltrasyon yükü,

$$Q_s = \rho_a C_p V_i K (T_{oa} - T_r) \quad [\text{W}] \quad (2.10)$$

olarak belirlenir.  $\rho_a$ , havanın yoğunluğu;  $C_p$ , havanın sabit basınçta özgül ısısı,  $T_{oa}$ , dış hava sıcaklığı ve  $T_r$ , mahal sıcaklığıdır.

Gizli enfiltrasyon yükü,

$$Q_i = \rho_a h_{fg} V_i K (\omega_{oa} - \omega_r) \quad [\text{W}] \quad (2.11)$$

olarak ifade edilir.  $h_{fg}$ , suyun buharlaşma ısısı ( $24535 \cdot 10^6$  J/kg),  $\omega_{oa}$ , dış havanın özgül nemi ve  $\omega_r$ , mahal havasının özgül nemidir.

## 2.3. Bina Soğutma Hesapları

### 2.3.1. HAP Programı ile Isı Yükü Hesapları

Bir yapının ısı yükünü etkileyen çok sayıda parametre vardır. Birbirlerine çoğunlukla karmaşık bir şekilde bağlı olan bu parametreler, soğutma periyodu boyunca sürekli bir değişim gösterirler. Soğutma yükü bileşenleri dış yükler ve iç yükler olmak üzere ikiye ayrılır. Dış yükler saydam yüzeylerden, dış duvarlardan, çatıdan, iç bölme, tavan ve döşemelerden mahal içine ısı transferi ile geçen yüklerdir. İç yükler ise insan yükü, aydınlatma ve elektrikli cihazlardan kaynaklanan yükler olarak sıralanabilir. Ayrıca enfiltrasyon ve taze hava yükü de dış yükler olarak değerlendirilmektedir.

Binada soğutma döneminde akademisyen odalarında  $24$  °C olarak öngörülen iç ortam tasarım sıcaklığı dersliklerde  $26$  °C olarak alınmıştır. Koridorlarda ve laboratuvarlarda soğutma yapılmamıştır. Soğutma sezonu iç ortam mahal tasarım sıcaklıkları, Tablo 2.6'da verilmektedir. Bu sıcaklıklara göre termostat ayar sıcaklığı  $\pm 1,5$  °C olarak seçilmiştir.

Ayrıntılı tablo Ek 3'te verilmiştir.

Tablo 2.6. Soğutma sezonu iç ortam mahal tasarım sıcaklıkları

Yaz kuru termometre sıcaklığı (KT)	(24~26) °C
Yaz yaş termometre sıcaklığı (YT)	(17~18,8) °C
Yaz bağıl nem	% 50

### 2.3.1.1. Dış Isı Yükleri

#### a) Bina saydam yüzeylerinden olan ısı kazancı

Güneşten gelen ısı, saydam yüzeylerden mahale, iletim ve ışınlım olmak üzere iki şekilde transfer olur. Sıydam yüzeylerin boyutu, yönü, cam türü (tek veya çok camlı olması), çerçeve malzemesi (plastik, metal vb.), gölgeleme durumları güneşten gelen ısının mahale ısı kazancı olarak dönüşmesini etkileyen unsurlardır.

Dış pencerelerden geçen güneş ışınlımının tamamı mahalde anlık yük oluşturmaz. Dış pencerelerin yansıtma özelliklerine göre güneş ışınlımının sadece bir kısmı mahalde iletilir. Pencere sistemlerinin cam ve çerçeve kalitesi burada önem kazanmaktadır. Kaliteli bir pencere sistemi yazın güneşten gelen ısıyı mahalde iletmekten ziyade dışarı yansıtır ve mahalın ısı kazancını azaltır.

Güneş ışınlımını ısı kazancı ise saydam yüzeyin yönüne göre, o iklim şartlarında güneş ışınlımını miktarı ile gölgeleme faktörü dikkate alınarak hesaplanır. Mahale geçen güneş ışınlımını, içerideki yüzeylerde yutulduktan sonra zaman içerisinde mahal havasına geçer ve ısı yükü bileşenini oluşturur. Binanın güneş radyasyonu yükünü azaltmak için pencere yönü dikkate alınarak mimari tasarım yapılması gerekmektedir. Ayrıca, burada güneş ışınlımını kırıcılar ve diğer gölgeleme unsurları da önem kazanmaktadır.

#### Dış Pencere İletim Yüğü Hesaplamaları

Dış pencere iletim yüğü hesaplaması, (2.7) bağıntısı ile yapılmaktadır.

#### Dış Pencere Işınım Yüğü Hesaplamaları

Dış pencerelerden olan ışınlım yükü ( $Q_R$ ) hesaplamalarında, yutulan ( $Q_y$ ) ve iletilen ( $Q_i$ ) ısı miktarları göz önüne alınır.

$$Q_y = [q_{yb}(1 - F_s) + q_{yd}]s \cdot A \text{ [W]} \quad (2.12)$$

$$Q_i = [q_{ib}(1 - F_s) + q_{id}]n_{yi} \cdot s \cdot A \text{ [W]} \quad (2.13)$$

$$Q_R = Q_y + Q_i \text{ [W]} \quad (2.14)$$

Bu ifadelerde,  $q_{yb}$ , doğrudan gelen ve yutulan güneş ışınlım akısını;  $q_{yd}$ , saçınık gelen ve yutulan güneş ışınlım akısını;  $q_{ib}$ , doğrudan iletilen güneş ışınlım akısını;  $q_{id}$ , saçınık olarak iletilen güneş ışınlım akısını;  $F_s$ , gölgelikli pencere katsayısını;  $s$ , referans cam tarafından yutulan ve iç ortama iletilen güneş ışınlım oranını (standart 0.267);  $n_{yi}$ , pencere gölgeleme katsayısını ve  $A$ , pencere alanını göstermektedir.

#### Dış Duvarlardan ve Çatıdan olan Isı Kazancı

Duvar ve çatıyı oluşturan yapı malzemeleri, ısı yalıtımının olup olmaması, ısı yalıtım türü ve kalınlığı iletimle ısı kazancını etkileyen faktörlerdendir. Isı yalıtımı hesabında ısı yalıtım cinsi belirlenerek TS 825 standardına göre hesap yapılarak optimum ısı yalıtım kalınlıkları bulunur. Binada ısı yalıtım kalınlığını artırarak enerji tüketimini azaltmak doğru bir yaklaşımdır. Ancak, ısı yalıtım kalınlıkları optimum değeri aştığında ısıtma döneminde dış cepheden olan ısı kaybını azalttığından cazip gözükse de, soğutma sezonunda ‘Termos Etkisi’ ortaya çıkmaktadır. Soğutmaya ihtiyaç olduğu dönemde bina içinde oluşan iç yükler yalıtım kalınlığının fazla olmasından dolayı mahalde birikerek ısı yükünü artırmaktadır. Ayrıca, güneş ışınlımına maruz kalan bina dış yapı elemanlarında (dış duvar, çatı vb.) yapı malzemelerinin ısı depolama özelliklerine göre dış duvarlarda ve çatıda depolanan güneş ışınlımını, zamana bağlı olarak belli bir süre sonra mahale ısı yükü olarak yansıtmaktadır. Dış duvar ve çatı yüzey sıcaklığı aşağıdaki bağıntıyla belirlenir.

$$T_{sa} = T_{oa} + \alpha \frac{I_t}{h_o} - \varepsilon \frac{\Delta r}{h_o} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.15)$$

$T_{oa}$ : Dış hava kuru termometre sıcaklığı, °C.

$\alpha$ : Duvar veya çatının dış yüzey güneş radyasyonu absorpsivite (soğurma) katsayısı

$I_t$ : Duvar veya çatı yüzeyinin toplam güneş ışınım akısı, W/m<sup>2</sup>.

$h_o$ : Dış duvar veya çatı yüzeyinden ısı taşınım katsayısı (standart 17 W/m<sup>2</sup>K)

$\varepsilon$ : Yarı küresel dış yüzeyin yayma katsayısı. Standart olarak 1,0 değeri alınmıştır.

$\Delta r$ : Dış hava kuru termometre sıcaklığında dış yüzey ile siyah cisme gelen uzun dalga radyasyonu farkı, W/m<sup>2</sup>. Düşey yüzeyler için  $\Delta r = 0$ ; yatay yüzeyler için  $\Delta r=20$  alınır.

b) İç bölme, tavan ve döşemelerden olan ısı kazancı

Sıcaklık farkı sebebiyle iklimlendirilen mahale, komşu olan ve şartlandırılmayan mahallerden iletimle gelen ısı, kazanç olarak ısı yüküne yansır.

#### İç Bölme, Tavan ve Döşeme İletim Yükü Hesapları

İç bölme, tavan veya döşemeden kaynaklanan ısı kazancı, benzer mahallerin ısı kaybının hesaplanmasında kullanılan (2.8) bağıntısı ile belirlenir.

#### Toprak Temaslı Döşeme Isı Yükü Hesapları

Döşeme ısı yükünün hesaplanması (2.9) ifadesi ile yapılmaktadır.

c) Hava Sızması (Enfiltrasyon)

Soğutma sezonunda yüksek sıcaklığa ve nem oranına sahip havanın rüzgar etkisiyle binanın kapı ve pencere etrafındaki açıklıklardan mahal içine sızmasıdır. Isı kaybı hesabında kullanılan (2.10) ve (2.11) nolu denklemler soğutma ısı yükü hesabında da kullanılır.

d) Havalandırma için dış havanın şartlandırılması

Soğutmayla beraber mahallerde mekanik havalandırma öngörüldüğü durumda mahale gönderilen taze havanın şartlandırılması gerekmektedir. Bu çalışmada havalandırma hesapları programda ASHRAE Std.62.1-2010 standardı seçilerek yapılmıştır.

DA Ventilation Requirements

Space Usage: EDUCATION: Classroom (age 9+)

DA Requirement 1: 5.0 L/s/person

DA Requirement 2: 0.60 L/(s-m²)

Space usage defaults: ASHRAE Std 62.1-2010  
Defaults can be changed via View/Preferences.

Şekil 2.1. Derslikler için öngörülen taze hava ihtiyacı [45]

DA Ventilation Requirements

Space Usage: OFFICE: Office space

DA Requirement 1: 2.5 L/s/person

DA Requirement 2: 0.30 L/(s-m²)

Space usage defaults: ASHRAE Std 62.1-2010  
Defaults can be changed via View/Preferences.

Şekil 2.2. Akademisyen odaları için öngörülen taze hava ihtiyacı [45]

ASHRAE Std.62.1-2010 standardında mahaller için taze hava ihtiyacı iki kısımda tanımlanmıştır. İlk kısım mahalde bulunan insanların konfor şartlarını sağlamak için kişi başına gerekli olan taze hava ihtiyacıdır. İkinci kısım ise mahalde halı, mobilya vb. malzemelerden kaynaklı kirletici etkilerin bertaraf edilmesi için gerekli birim alana düşen taze hava ihtiyacıdır. HAP programı bu iki değer toplamını alarak mahalın taze hava ihtiyacını hesaplamaktadır. Taze hava gereksinim miktarları için program arayüz örnekleri, Şekil 2.1 ve 2.2'de görülmektedir.

### 2.3.1.2. İç Isı Yükleri

#### a) İnsanlardan Kaynaklanan İç Yükler

İnsan metabolizmasının ürettiği ısı vücut yüzeyinden taşınım, buharlaşma ve solunum ile çevreye geçer. İnsanlardan kaynaklanan ısı kazancı kişinin metabolizmasına ve etkinlik düzeyine göre değişmekle beraber bu çalışmada kullanılan değerler ASHRAE Std.62.1-2010 değerleri olup Tablo 2.7’de verilmiştir.

Tablo 2.7. İnsan yükü

Aktivite	Duyulur ısı [W]	Gizli ısı [W]	Toplam ısı [W]
Ortalama bir şahıs istirahatte halinde	67,4	35,2	102,6
Ofis işi ile uğraşan	71,8	60,1	131,9

İnsanlardan kaynaklanan ısı kazancı,

$$Q = (HG)(O)F_s/100 \text{ [W]} \quad (2.16)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada,  $HG$ , birim ısı kazancı;  $O$ , maksimum kullanıcı sayısı ve  $F_s$ , saatlik planlama (maksimum kullanıcı yüzdeleri) faktörüdür.

#### b) Aydınlatma İç Yükleri

Aydınlatma cihazlarının gücü, türü (floresan/akkor), montaj türü (gömülü/asılı), havalandırma durumu (havalandırılan/havalandırılmayan) HAP programına tanıtılmıştır. Makina Binasında mahallerde çoğunlukla floresan tipi aydınlatmalar tercih edilmiştir. Hesaplarda aydınlatma yükü her bir akademisyen odasında 40 W gücüne sahip 4 adet floresan olduğu hesaba katılarak toplamda 160 Watt olarak belirlenmiştir. Diğer mahallerde ise aydınlatma yükü Bina Enerji Performansı yönetmeliğine göre BEP hesaplama yöntemi esaslarında yer alan mevcut binalar için ‘Bina tipolojilerine göre izin verilen aydınlatma güç yoğunluğu en yüksek sınır değerleri’ tablosundan seçilip  $W/m^2$  olarak Tablo 2.8’de verilmiştir.



Tablo 2.8. Aydınlatma yükü

Akademisyen odaları ve Teknik personel ofisleri	160 Watt
Derslikler, Çalışma Salonları, Koridorlar	12,9 W/m <sup>2</sup>

Aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı,

$$Q = P_1(BM)F_s/100 \text{ [W]} \quad (2.17)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada,  $P_1$ , aydınlatma cihazı maksimum gücü;  $BM$ , balast çarpanı ve  $F_s$ , yüzdeler planlama (saatlik maksimum aydınlatma gücü kullanım yüzdeleri) faktörüdür.

### c) Elektrikli Cihaz Yükleri

Programda, akademisyen odalarındaki bilgisayar ve yazıcıların, sınıflardaki bilgisayar ve projeksiyon cihazlarının, idari bölümdeki fotokopi ve fax makinasının, dinlenme odasındaki buzdolabının ısı kazançları hesaplara dahil edilmiştir. Mahallerde kullanılan elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazanç yükleri Tablo 2.9'da görülmektedir. Elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı,

$$Q = P_g F_s / 100 \text{ [W]} \quad (2.18)$$

bağıntısı ile belirlenir. Bu ifadede,  $P_g$ , elektrikli cihaz maksimum gücü ve  $F_s$ , saatlik planlama (saatlik maksimum cihaz gücü kullanım yüzdeleri) faktörüdür.

Tablo 2.9. Elektrikli cihaz yükleri

	[W]
Bilgisayar	160
Projeksiyon cihazı	400
Fotokopi makinesi	200
Bilgisayar yazıcısı	70
Faks makinesi	30
Buzdolabı	290

## 2.4. Tam Havalı Sistemler

### 2.4.1. Sabit Hava Debili Sistemler (CAV Sistemleri)

Sabit hava debili sistemlerde mahallerin şartlandırılması için gerekli hava debisi mahallere sabit debide verilir. Bu sistemlerde klima santrali hava debisi pik (en yüksek) ısı yükü ihtiyacına göre tasarlanır ve santral sürekli bu sabit debide çalışır. Mahallerde asma tavan içinde mahalın ihtiyaçlarını karşılayacak kapasite ve özelliklere sahip CAV ünitesi olarak adlandırılan mahal iç ünitesi yer alır. Ana besleme havası CAV kutusuna gelir ve hava kanalı bu kutudan sonra branşmanlara ayrılır. Mahal içinde tavanda difüzörler aracılığı ile belli bir sıcaklık ve debide hava mahale verilir ve mahalın şartlandırılması sağlanır.

Mahalın değişken olan ısı yüküne sabit debide cevap verebilmek için CAV kutusundan önce içinde ön ısıtma bataryasının yer aldığı hava dağıtım kutusu kullanılır. Isı yükü az olan durumda pik yükte sabit debide hava ortama verilirse ortam daha da soğuyacağından besleme havası öncelikle ön ısıtma bataryasından geçerek uygun sıcaklığa getirilir ve bu şekilde ortama verilir.

Ön ısıtıcı batarya, sıcak sulu sistemle veya elektrikli olarak çalışır. Sıcak sulu sistem kazandan; elektrikli sistem elektrik şebekesinden beslenir. Ön ısıtıcı batarya sıcaklık sensörlü termostat ile kontrol edilir. Ortam sıcaklığı konfor şartlarının altına düştüğünde batarya devreye girer ve mahal sıcaklığı istenen değere ulaştığında kapanır.

### 2.4.2. Değişken Hava Debili Sistemler (VAV Sistemleri)

Değişken debili sistemler, sabit debili sistemlere göre enerji verimliliği açısından daha gelişmiş sistemlerdir. Sabit hava debili sistemlerde hava debisi sabit olup besleme havası sıcaklığı değiştirilirken; değişken hava debili sistemlerde hava debisi sıcaklığı sabit olup hava debisi miktarı değişkenlik göstermektedir.

Bu sistemde 'VAV ünitesi' olarak isimlendirilen ve mahal asma tavanı içinde konumlandırılan cihazlar yer almaktadır. Sistemde her mahal için istenen konfor şartlarını sağlayan sıcaklık değerlerinin ayarlandığı termostat vardır. VAV ünitesi odanın istenen termostat sıcaklık değerinde kalması için mahale verilen hava debisini değiştirmek suretiyle mahalın ısı yükü ihtiyacını göz önüne alarak çalışır. Mahalın ihtiyacı olan en

düşük hava debisi ile en yüksek hava debisi aralığında çalışan VAV ünitesi, mahalın soğutma sezonunda ısı yükü arttığında hassas hava akış hissedicileri vasıtasıyla besleme havası debisini arttırır, mahalın ısı yükü azaldığında ise besleme havasını kısar. Mahalin ısı yüküne bağlı besleme hava debisi ihtiyacı, VAV cihazının çalışma aralığı olan mahalın minimum ve maksimum hava debisi dışında daha az olduğunda, VAV ünitesine takılabilen ısıtıcı batarya ile besleme havası ön ısıtmaya tabi olarak mahale verilir ve bu şekilde de mahalın konfor şartları sağlanmış olur.

## 2.5. HAP Bina Enerji Performansı Analizi

Simülasyon, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak gerçek sistemin davranışını tahmin ve analiz etmek üzere bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanır [47].

Bu çalışmada kullanılan HAP programı ile enerji simülasyonunda aşağıdaki adımlar uygulanır [48]:

- Tüm soğutma ve ısıtma ekipmanlarının saatlik çalışmaları analiz edilir.
- Aydınlatma ve elektrik ekipmanları gibi HVAC sistemi harici sistemlerin de saatlik çalışmaları hesaba katılır.
- Saatlik simülasyon sonuçları, toplam yıllık enerji kullanımı ve maliyetini hesaplamakta kullanılır

HAP programında iklim verileri ve tüm mahallerin ısıtma ve soğutma tasarım verileri programa girildikten sonra HVAC sistemi seçilerek mekanik tesisat mahal ekipmanlarının kapasiteleri ortaya çıkar. Daha sonra ısıtma sistemi için kazan kapasitesi, soğutma sistemi için ise chiller kapasitesi program tarafından hesaplanır. Belirlenen kapasitelere uygun üretici firma kataloglarından kazan ve chiller seçilir ve özellikleri programa yazılır. HAP programında öncelikle ana cihaz kapasitelerin tüm sistemi karşılayıp karşılamadığı kontrol edilmelidir. Her bir kazan ve chiller için karşılanamayan yük olup olmadığını belirlemek için ‘unmet load reports’ seçeneği seçilerek simülasyon yapılır. Bu simülasyonda tüm sene boyunca saatlik olarak karşılanamayan yük olup olmadığının analizi yapılır. Mevcut bina için seçilen kazanın karşılanamayan yük analizi sonuçları, Tablo 2.10’da verilmiştir.

Tablo 2.10. Mevcut bina için seçilen kazan için karşılanamayan yük analizi

Ay	Cihaz kapasitesinin yeterli olduğu zamanlar (Saat)	Kapasitenin %0-%5 oranında yetersiz olduğu zamanlar (Saat)	Kapasitenin %5-%10 oranında yetersiz olduğu zamanlar (Saat)	Kapasitenin %10'dan fazla yetersiz olduğu zamanlar (Saat)	Toplam karşılanamayan zamanlar (Saat)	Cihaz yükleri toplam saatleri
Ocak	741	0	0	0	0	741
Şubat	613	0	0	0	0	613
Mart	656	0	0	0	0	656
Nisan	321	0	0	0	0	321
Mayıs	34	0	0	0	0	34
Haziran	0	0	0	0	0	0
Temmuz	0	0	0	0	0	0
Ağustos	0	0	0	0	0	0
Eylül	0	0	0	0	0	0
Ekim	43	0	0	0	0	43
Kasım	430	0	0	0	0	430
Aralık	646	0	0	0	0	646
<b>Toplam</b>	<b>3484</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3484</b>

General

Name:

Type:  Simple  
 Complex

Energy Units:

Conversion:  kWh/kWh

Demand Units:

Flat Price:  TL/kWh

Customer Charge:  TL

Minimum Charge:  TL

Tax Rate:  %

General

Name:

Type:  Simple  
 Complex

Energy Units:

Conversion:  kWh/kWh

Demand Units:

Flat Price:  TL/kWh

Customer Charge:  TL

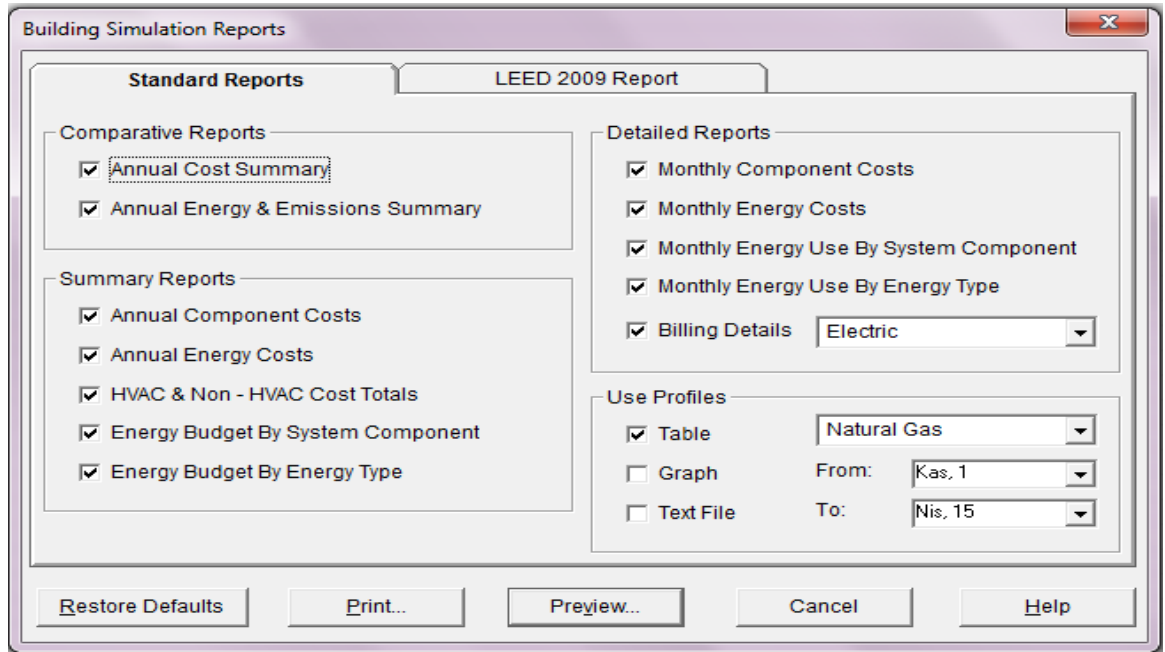
Minimum Charge:  TL

Tax Rate:  %

Şekil 2.3. Elektrik ve doğalgaz fatura bilgileri

Daha sonra yıllık işletme maliyeti analizleri için elektrik ve doğalgaz fiyat bilgileri programa tanıtılır. Bunun için KTÜ Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı'ndan alınan Şubat 2015 doğalgaz ve Mart 2015 elektrik faturalarından Şekil 2.3'te görülen, elektrik ve doğalgaz fatura bilgileri alınmıştır.

Son olarak ise programda ASHRAE Std. 62.1-2010 standardına göre enerji analizi yapılarak seçilen sistemin enerji tüketimi ve işletme maliyeti hesaplanır. Yıllık ve aylık enerji tüketimi ve işletme giderlerinin yanında yıllık enerji emisyon değerleri de elde edilir.



Şekil 2.4. HAP enerji simülasyonu raporlama sayfası [45]

HAP programı, Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, kaynak enerji tüketimi değerlerini de rapor olarak vermektedir. Kaynağında üretilen elektriğin dağıtımında kayıplar neticesinde %28 verimle tüketiciye ulaşmasından dolayı binada tüketilen enerji ile kaynağında tüketilen enerji arasında fark vardır. Bina enerji tüketiminin karşılanması için kaynağında tüketilen enerji miktarı da yıllık olarak görülebilmektedir.

## 2.6. Makina Mühendisliği Binasında Enerji Verimliliği için Öneriler

Mevcut Makina Mühendisliği Bölümü binasının ısı kaybı sonuçları genel olarak ve kat bazında incelendiğinde yapı elemanlarının ısı kayıplarına etkileri açıkça görülmektedir.

Özellikle çatı ve dış pencerelerden kaynaklanan ısı kayıpları, toplam ısı kayıpları içerisinde büyük orana sahiptir. Dolayısıyla enerji tüketimini azaltarak enerji verimliliği sağlamak için çatı ve dış pencere özelliklerinde iyileştirmeler yapmak uygun olacaktır. Tez çalışması kapsamında önerilen alternatifler üç kategoride ele alınmış olup Tablo 2.11’de yer almaktadır.

Tablo 2.11. Mevcut bina için enerji verimliliği önerileri

<b>Alternatif 1</b>	A1	Dış pencere sisteminin iyileştirilmesi
<b>Alternatif 2</b>	A2	Çatı yapı bileşeninin iyileştirilmesi
<b>Alternatif 3</b>	A1+A2	Dış pencere sistemi ve çatı yapı bileşeninin iyileştirilmesi

Alternatif 1’de yer alan dış pencere sistemi, TS 825 standartlarına uygun plastik doğramalı çift camlı pencere ( $U= 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) olarak öngörülmüştür.

Alternatif 2’de çatıda ısı yalıtımı için 10 cm kalınlığında taş yünü ( $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$ ) öngörülmüştür.

Alternatif 3 kapsamında ise plastik doğramalı çift camlı pencere ( $U= 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) ve çatıda ısı yalıtımı için 10 cm taş yünü ( $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$ ) öngörülmüştür.

Mevcut bina ve alternatif iyileştirmelerin sonuçlarını değerlendirmek için enerji simülasyonu çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, yapılan iyileştirmelerin bina enerji tüketiminin azaltılmasına ve dolayısıyla enerji verimliliğine olan etkileri değerlendirilecektir.

HAP programında enerji simülasyonu sonucunda mevcut binanın ve yapılan iyileştirme önerilerinin sonucunda ortaya çıkan enerji tüketiminin, yıllık ve aylık enerji maliyetlerinin detaylı tabloları tezin ‘Bulgular’ kısmında; mevcut bina ile diğer alternatiflerin karşılaştırma tabloları ise ‘Sonuç’ kısmında verilmektedir.

Makina Mühendisliği Binası için soğutma ve havalandırma sistemine yönelik, tam havalı sabit debili (CAV) ve değişken debili (VAV) olmak üzere iki sistem öngörülmüştür. Her iki sistemin enerji simülasyonu sonucunda, yıllık enerji tüketimleri ve işletme maliyetleri enerji verimliliği açısından karşılaştırılacaktır. Enerji simülasyonu ile ilgili ayrıntılı tablolar, tezin ‘Bulgular’ kısmında; karşılaştırma tabloları ise ‘Sonuç’ kısmında yer almaktadır.

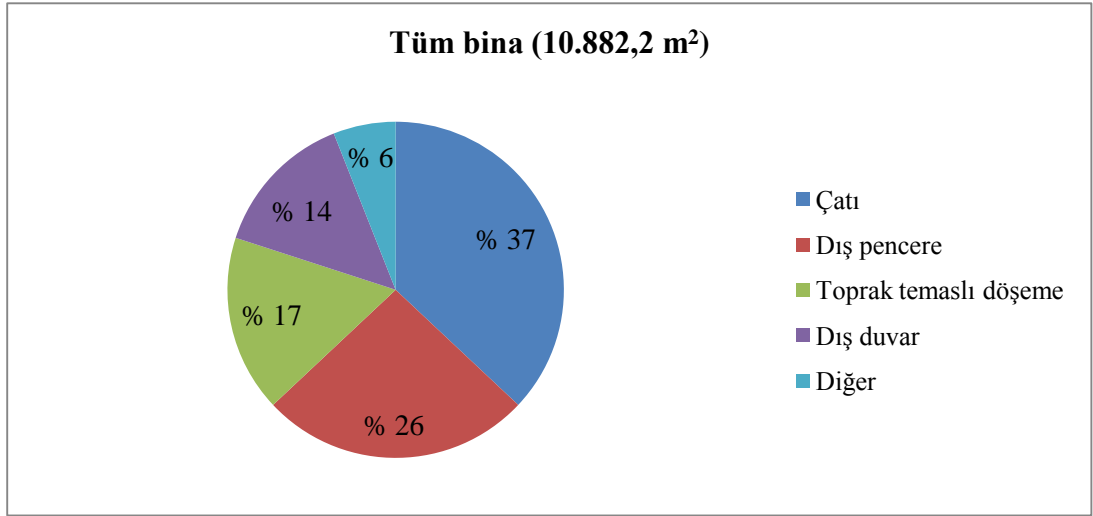
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Makina Mühendisliği Binası Isı Kaybı Hesaplamaları

MTH (Mekanik Tesisat Hesapları) programı ile TS 2164 Standardına göre yapılan ısı kaybı hesapları sonucunda kat bazında m<sup>2</sup>'ye düşen ısı kaybı değerleri, Tablo 3.1'de verilmiştir. En fazla ısı kaybının binanın bodrum ve ikinci katında olduğu görülmektedir.

Tablo 3.1. KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü ısı kaybı değerleri

	Kat alanı [m <sup>2</sup> ]	Isı kaybı [W/m <sup>2</sup> ]
Bodrum Kat	350,83	90
Zemin Kat	6732,6	79
1.Kat	3051,57	80
2.Kat	747,2	92



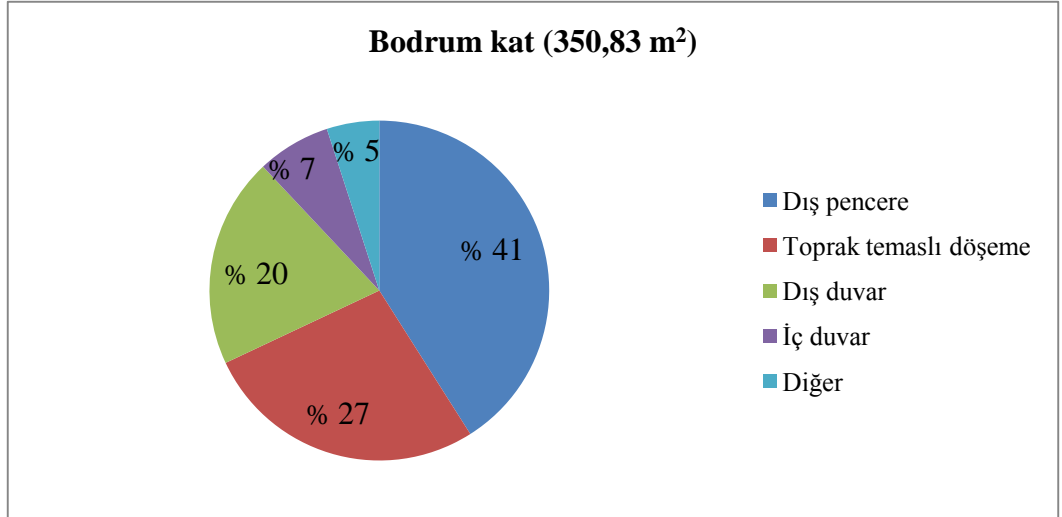
Şekil 3.1. Tüm binanın yapı bileşeni bazında artırimsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri

Binanın yapı bileşenlerine göre ısı kaybı yüzde olarak Şekil 3.1'de verilmiştir. Binanın yapı bileşenleri içinde en çok ısı kaybı bina çatısından gerçekleşmektedir. Daha sonra sırasıyla dış pencere, toprak temaslı duvar ve dış duvarlardan kaynaklanmaktadır. Bu yapı bileşenlerinde yapılacak iyileştirmeler ısı kayıplarının büyük ölçüde azalmasına ve enerji verimliliğinin artmasına olanak sağlayacaktır. Isı kaybı hesaplarında dış yapı

bileşenlerinin etkileri binada kat bazında incelendiğinde kat özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.

### 3.1.1. Bodrum Kat Isı Kaybı

Binanın bodrum katında, atmosfere açık dış duvar ve pencerelerden oluşan mahallerde ısı kaybı hesaplarında sırasıyla dış pencere, toprak temaslı döşeme ve dış duvar yapı bileşenlerinin etkileri yoğunluktadır. Dış pencere ve dış duvarlarda yapılabilecek iyileştirmeler ile bu katta birim alana düşen ısı kaybı miktarı azaltılabilmektedir. Bodrum katın yapı bileşeni bazında artırimsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri Şekil 3.2’de verilmiştir. Isı kaybının büyük ölçüde pencerelerden olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. Bodrum katın yapı bileşeni bazında artırimsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri

Bodrum katta yer alan B009 dersliğinin ısı kaybı hesabı ise Tablo 3.2’de verilmiştir.



Tablo 3.2. Bodrum kat B009 dersliğinin TS 2164'e göre ısı kaybı

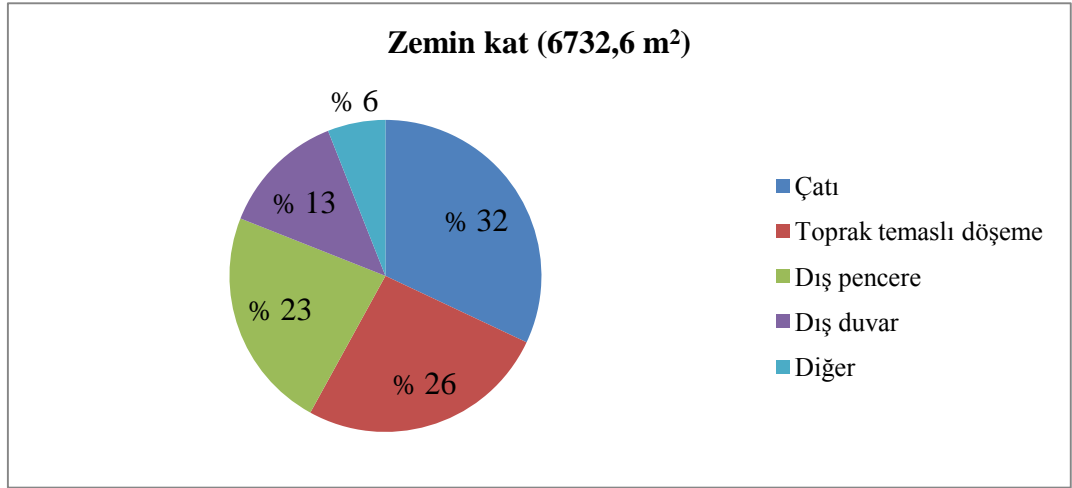
İşr.	Yö	Gen.	Uzn.	Yük.	Alan	Adet	Çıkan	Net	K	tr-to	dt	Kxd	Q	ZD	Z	ZH	Z	Toplam Q
n	W(m)	L(m)	H(m)	A(m <sup>2</sup> )	A(m <sup>2</sup> )		A(m <sup>2</sup> )	Alan	Watt/m <sup>2</sup> K	°C			Kısmi	(% W	(% W	(% W		Watt
<b>B009 DERSLİK 20 °C</b>																		
Dd1	KD	0.23	5.80	3.80	20.16	1	15.12	5.04	1.888	23	38.82	198						
Dp1	KD		5.80	2.70	15.12	1		15.12	5.200	23	119.60	1,808						
Dd2	KD	0.33	0.14	3.80	0.50	1		0.50	3.200	23	73.80	37						
Dd2	GD	0.33	2.85	3.80	9.54	1		9.54	3.200	23	73.80	702						
İd3	GD	0.32	11.44	3.80	41.18	1		41.18	2.500	8	20.00	824						
İd1	KB	0.12	13.80	3.80	48.98	1	7.48	41.48	2.083	2	4.17	173						
İk1	KB		1.70	2.20	3.74	2		7.48	2.000	2	4.00	30						
İd3	KB	0.32	1.00	3.80	3.80	1		3.80	2.500	2	5.00	18						
İd1	GB	0.12	1.45	3.80	5.22	1		5.22	2.083	2	4.17	22						
İd1	GB	0.12	3.90	3.80	14.04	1		14.04	2.083	8	16.88	234						
Dö1		0.21	0.00	0.00	0.00	1		84.82	2.291	2	4.58	388						
Tdö1		0.78	0.00	0.00	0.00	1		84.82	1.992	11	21.91	1,858						
													6,290	15	0	0	1.15	7,234
																179		
																7,413		

$$Q_{fuga} = (axd) \times R \times H \times (t_i - t_d) \times Ze$$

$$12.8 \times 0.9 \times 0.675 \times 23 \times 1$$

### 3.1.2. Zemin Kat Isı Kaybı

Binada zemin kat en büyük alana sahip olup, bir bölümünde çatı bulunmaktadır. Zemin katta ısı kaybı hesaplarında çatı, toprak temaslı döşeme ve dış pencere yapı bileşenlerinin etkileri diğer bileşenlere göre daha çok görülmektedir. Zemin katta derslik, laboratuvar ve akademisyen odalarının yer aldığı üç ana bölüm yer almaktadır. Tüm bu bölümleri çevreleyen koridorlar geniş bir alana ve yüksekliğe sahiptir. Bu katta çatı ve dış pencere sistemlerinde yapılabilecek iyileştirmeler ısı kayıplarını azalmasına ve enerji tasarrufu elde edilmesine olanak sağlayacaktır. Zemin katın yapı bileşeni bazında artırimsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Zemin katın yapı bileşeni bazında artırılmısz iletimsel ısı kaybı yüzdeleri

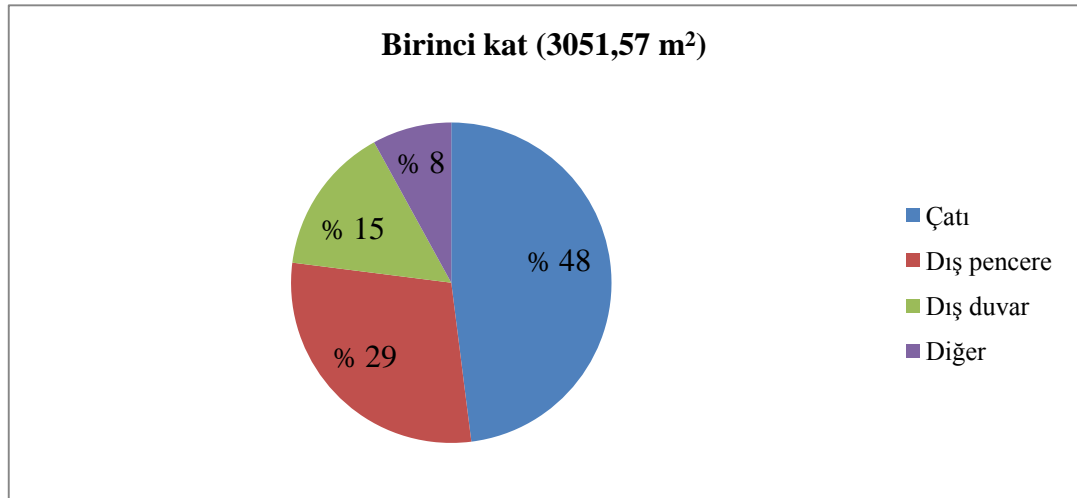
Bu katta yer alan Z051 amfisi ısı kaybı hesapları ise Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Zemin kat Z051 amfisi ısı kaybı

İşr.	Yön	Gen. W(m)	Uzn. L(m)	Yük. H(m)	Alan A(m <sup>2</sup> )	Adet	Çıkan A(m <sup>2</sup> )	Net Alan	K Watt/m <sup>2</sup> K	tr-to dt °C	Kxd	Q Kısmi	ZD (%)	Z W (%)	ZH (%)	Z	Toplam Q Watt
<b>Z051 ANFİ 20 °C</b>																	
Dd1	GD	0.23	15.00	3.90	58.50	1	16.80	41.70	1.688	23	38.82	1,619					
Dp1	GD		2.40	1.40	3.36	5		16.80	5.200	23	119.80	2,009					
Dd1	GB	0.23	14.75	2.70	39.83	1		39.83	1.688	23	38.82	1,546					
İd1	KD	0.12	4.30	3.90	16.77	1	5.72	11.05	2.083	2	4.17	46					
İk1	KD		1.30	2.20	2.86	2		5.72	2.000	2	4.00	23					
Tdö1		0.76	0.00	0.00	0.00	1		221.25	1.992	11	21.91	4,848					
Ça1		0.25	0.00	0.00	0.00	1		221.25	1.734	23	39.88	8,823					
												18,914	15	0	-5	1.10	20,805
												$Q_{fuga} = (axl) \times R \times H \times (t_i - t_d) \times Z_e$					
												$40 \times 0.7 \times 0.675 \times 23 \times 1$					
																	435
																	21,240

### 3.1.3. Birinci Kat Isı Kaybı

Birinci kat ısı kaybı hesaplarında sırasıyla çatı, dış pencere ve dış duvar yapı bileşenlerinin etkileri çok fazla olmaktadır. Çatı bileşeninde yapılacak iyileştirmeler birinci kat ısı kaybını oldukça azaltacaktır. Birinci katın yapı bileşeni bazında artırimsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Birinci katta bulunan Bölüm Başkanlığı toplantı salonunun ısı kaybı ise Tablo 3.4'te verilmiştir.



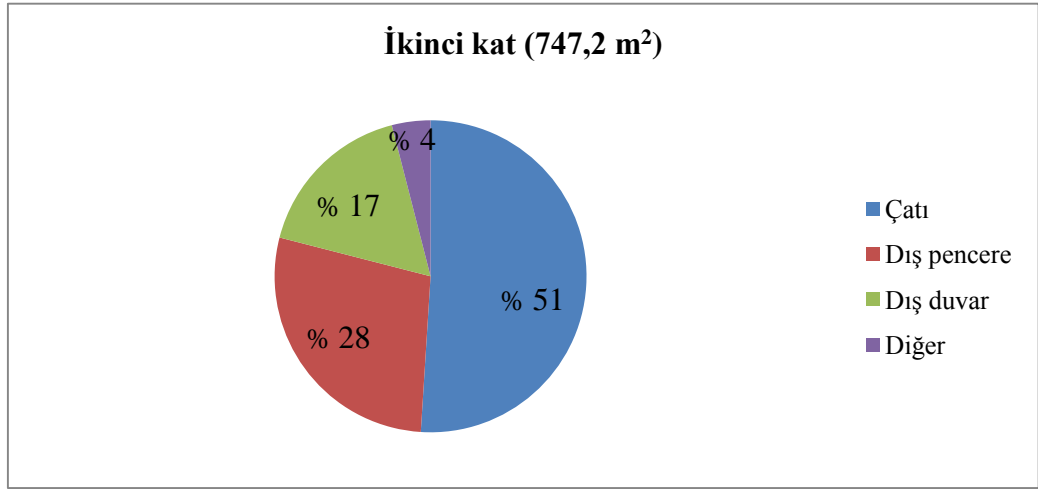
Şekil 3.4. Birinci katın yapı bileşeni bazında artırimsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri

Tablo 3.4. Birinci kattaki Bölüm Başkanlığı toplantı salonunun ısı kaybı

İşr.	Yö	Gen.	Uzn.	Yük.	Alan	Adet	Çıkan	Net	K	tr-to dt	Kxdt	Q	ZD	Z	ZH	Z	Toplam Q
n	W(m)	L(m)	H(m)	A(m <sup>2</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	Alan	Watt/m <sup>2</sup> K	°C			Kısmi	(% W)	(% W)	(% W)	(% W)	Watt
<b>1043 TOPLANTI SALONU 20 °C</b>																	
Dd1	GD	0.23	6.90	2.63	18.15	1	7.70	10.45	1.688	23	38.82	406					
Dp1	GD		4.05	1.90	7.70	1		7.70	5.200	23	119.60	921					
Dd1	KD	0.23	8.45	2.63	22.22	1	10.26	11.96	1.688	23	38.82	464					
Dp1	KD		5.40	1.90	10.26	1		10.26	5.200	23	119.60	1,227					
İd1	KB	0.12	1.80	2.63	4.73	1	3.74	0.99	2.083	2	4.17	4					
İkt1	KB		1.70	2.20	3.74	1		3.74	2.000	2	4.00	15					
Dö2		0.22	0.00	0.00	0.00	1		12.92	3.237	23	74.45	962					
Ça1		0.25	0.00	0.00	0.00	1		58.47	1.734	23	39.88	2,332					
												6,331	15	0	0	1.15	7,281
$Q_{fuga} = (axd) \times R \times H \times (t_i - t_d) \times Z_e$ $64.4 \times 0.7 \times 0.675 \times 23 \times 1.2$																	840
																	8,121

### 3.1.4. İkinci Kat Isı Kaybı

Binada ikinci katta sadece akademisyen odalarının bulunduğu blok yer almaktadır. İkinci katta sırasıyla çatı, dış pencere ve dış duvar yapı elemanlarının ısı kaybına etkisi çok olmaktadır. Birinci katta olduğu gibi çatı bileşeninde yapılacak iyileştirmeler bu kattaki ısı kayıplarını da önemli ölçüde azaltacaktır. İkinci katın yapı bileşeni bazında artırimsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri Şekil 3.5’de görülmektedir. İkinci katta yer alan akademisyen odasının ısı kaybı hesabı Tablo 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. İkinci katın yapı bileşeni bazında artırimsız iletimsel ısı kaybı yüzdeleri

Tablo 3.5. İkinci kat akademisyen odasının ısı kaybı

İşr.	Yön	Gen. W(m)	Uzn. L(m)	Yük. H(m)	Alan A(m <sup>2</sup> )	Adet	Çıkan A(m <sup>2</sup> )	Net Alan	K Watt/m <sup>2</sup> K	tr-to dt °C	Kxdt	Q Kısmi	ZD (%)	Z W (%)	ZH (%)	Z	Toplam Q Watt
<b>2020 DOĞENT ODASI 20 °C</b>																	
Dd1	KD	0.23	2.75	3.00	8.25	1	3.95	4.30	1.888	23	38.82	167					
Dp1	KD		2.75	1.50	4.13	1		4.13	5.200	23	119.60	494					
Dd2	KD	0.33	0.14	3.00	0.42	1		0.42	3.200	23	73.60	31					
İd1	GB	0.12	2.75	3.00	8.25	1	1.89	6.36	2.083	2	4.17	27					
İk1	GB		0.90	2.10	1.89	1		1.89	2.000	2	4.00	8					
İd3	GB	0.32	0.14	3.00	0.42	1		0.42	2.500	2	5.00	2					
Ça1		0.25	0.00	0.00	0.00	1		20.61	1.734	23	39.88	822					
												1,551	15	0	5	1.20	1,861
												$Q_{fuga} = (axl) \times R \times H \times (t_i - t_d) \times Z_e$					
												$6.88 \times 0.9 \times 0.675 \times 23 \times 1$				96	
																1,957	

### 3.2. Makina Mühendisliği Binası Isıtma Sistemi Enerji Simülasyonu Sonuçları

#### 3.2.1. Mevcut Bina Enerji Simülasyonu Sonuçları

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümünün mevcut durumu için HAP programı ile yapılan enerji simülasyon hesaplamalarının sonucunda, enerji kullanan bileşenlerin yıllık enerji tüketim değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6 Mevcut binada sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri

Bileşen (Kaynak)	Bina Enerji Tüketimi (kWh)	Bina Enerji Birim Tüketimi (kWh/m <sup>2</sup> )	Kaynak Enerjisi (kWh)	Kaynak Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> )
Isıtma (Doğal gaz)	1.104.704	101,812	1.104.704	101,812
Pompalar (Elektrik)	7.545	0,695	26.948	2,484
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>1.112.249</b>	<b>102,508</b>	<b>1.131.651</b>	<b>104,296</b>
Aydınlatma (Elektrik)	218.671	20,153	780.966	71,976
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	94.630	8,721	337.965	31,148
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>313.301</b>	<b>28,875</b>	<b>1.118.931</b>	<b>103,124</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>1.425.550</b>	<b>131,382</b>	<b>2.250.583</b>	<b>207,419</b>

Mevcut binada sadece ısıtma tesisatı bulunmaktadır. Isıtma tesisatı ve pompalarının yıllık enerji tüketimi, binanın toplam enerji tüketiminin %78'ini oluşturmaktadır. Isıtma sistemi dışında kalan aydınlatma ve elektrikli cihazlar ise toplam enerjinin %22'lik kısmını tüketmektedir. Binanın yıllık ısıtma tesisatı enerji tüketim değeri 102,508 kWh/m<sup>2</sup>, binanın yıllık toplam enerji tüketimi ise 131,382 kWh/m<sup>2</sup> olmaktadır. Kaynakta üretilen elektrik enerjisinin dağıtımında oluşan kayıplar neticesinde nihai verimi %28 olmaktadır. Bu sebeple nihai kullanıcı da tüketilen enerjiyi kaynağında üretmek için çok daha fazla elektrik enerjisine ihtiyaç bulunmaktadır. Binanın yıllık enerji ihtiyacını karşılamak için kaynağında 2.250.583 kWh enerji üretmek gerekmektedir.

Mevcut binada tüm yıl boyunca aylık olarak harcanan enerji miktarları Tablo 3.7'de belirtilmiştir. Isıtma sisteminde en çok enerji harcanan aylar Aralık, Ocak ve Şubat aylarıdır. Trabzon ilinin geçiş mevsimlerinde oldukça yağışlı olduğu düşünülürse bahar dönemlerinde de ısıtmaya ihtiyacı olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 3.7. Mevcut binada enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri

Ay	HVAC Sistemleri		HVAC Dışı Sistemler
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)
Ocak	1.604	266.608	32.748
Şubat	1.327	262.736	31.188
Mart	1.420	192.606	34.307
Nisan	697	46.651	32.748
Mayıs	74	2.818	29.629
Haziran	0	0	7.269
Temmuz	0	0	7.269
Ağustos	0	0	6.939
Eylül	0	0	29.855
Ekim	93	5.522	32.748
Kasım	931	108.321	32.748
Aralık	1.399	219.440	35.867
<b>Toplam</b>	<b>7.545</b>	<b>1.104.704</b>	<b>313.314</b>

Tablo 3.8. Mevcut binada sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim maliyetleri

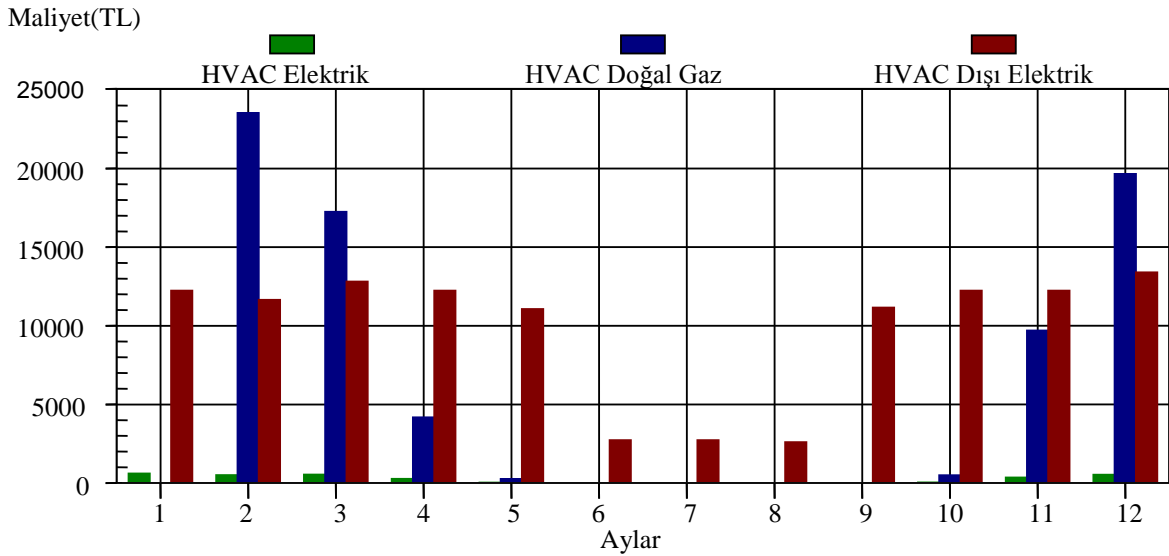
Bileşen (Kaynak)	Maliyet (TL)	Birim Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )	Toplam Maliyet (%)
Isıtma (Doğal gaz)	98.926	9,117	45,2
Pompalar (Elektrik)	2.818	0,260	1,3
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>101.744</b>	<b>9,377</b>	<b>46,5</b>
Aydınlatma (Elektrik)	81.666	7,527	37,3
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	35.351	3,258	16,2
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>117.016</b>	<b>10,785</b>	<b>53,5</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>218.760</b>	<b>20,162</b>	<b>100,0</b>

Binanın sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim maliyetleri, Tablo 3.8'de verilmiştir. Enerji simülasyonu sonucu mevcut binanın ısıtma tesisatının toplam yıllık enerji tüketim maliyeti 101.744 TL olarak belirlenmiş olup, toplam enerji tüketim maliyetinin yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Isıtma tesisatında kullanılan doğalgazın maliyetinin, toplam enerji maliyetine oranı %45,2 olduğu görülmektedir. Isıtma pompa grubu, aydınlatma ve elektrikli cihazların tükettiği elektrik enerjisinin ise toplam maliyeti 11,045 TL/m<sup>2</sup> olmaktadır.

Mevcut binanın enerji tüketim maliyet miktarları aylık olarak detaylı şekilde Tablo 3.9 ve Şekil 3.6'da yer almaktadır. İşletme maliyetlerinin en yoğun olduğu aylar Ocak, Şubat, Mart, Kasım ve Aralık aylarıdır. Yaz aylarında ve Eylül ayında ısıtma tesisatı ihtiyacı söz konusu değildir. Yine aynı aylarda üniversitede eğitim-öğretim yapılmadığından, aydınlatma ve elektrikli cihaz enerji tüketiminde diğer aylara göre azalma görülmektedir.

Tablo 3.9. Mevcut binada sistem bileşenleri aylık enerji tüketim maliyetleri

Ay	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Aydınlatma (TL)	Elektrikli Cihazlar (TL)	Genel Toplam (TL)
Ocak	23.875	599	8.847	3.381	36.703
Şubat	23.528	496	8.426	3.220	35.671
Mart	17.248	530	9.268	3.542	30.589
Nisan	4.178	260	8.847	3.381	16.667
Mayıs	252	27	8.005	3.060	11.344
Haziran	0	0	832	1.888	2.720
Temmuz	0	0	832	1.888	2.720
Ağustos	0	0	795	1.802	2.597
Eylül	0	0	8.427	2.722	11.149
Ekim	495	35	8.848	3.381	12.759
Kasım	9.700	348	8.847	3.381	22.277
Aralık	19.651	522	9.689	3.703	33.566
<b>Toplam</b>	<b>98.926</b>	<b>2.818</b>	<b>81.666</b>	<b>35.351</b>	<b>218.760</b>



Şekil 3.6. Mevcut binada aylık enerji tüketim maliyetleri

Şekil 3.6’da ısıtma tesisatının tükettiği enerji HVAC doğalgaz olarak; ısıtma dolaşım pompa grubunun tükettiği enerji HVAC elektrik olarak; aydınlatma ile elektrikli cihazların tükettiği enerji ise HVAC dışı elektrik olarak nitelendirilmiş ve aylık tüketim miktarları gösterilmiştir.

### 3.2.2. Alternatif 1: Çift Pencere Sistemli Binada Enerji Simülasyonu Sonuçları

Makina Mühendisliği Bölümü binasında çok sayıda pencere bulunmaktadır. Bina enerji verimliliği açısından ilk öneri, mevcut pencerelerin, çift camlı pencere sistemleri ( $U_p=2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) ile değiştirilmesidir. HAP programı ile bu öneri için yapılan enerji simülasyon hesaplamaların sonuçları, yıllık ve aylık enerji tüketim değerleri şeklinde sırasıyla, Tablo 3.10 ve Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.10. Çift pencereli öneri için sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri

Bileşen (Kaynak)	Bina Enerji Tüketimi (kWh)	Bina Enerji Birim Tüketimi (kWh/m <sup>2</sup> )	Kaynak Enerjisi (kWh)	Kaynak Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> )
Isıtma (Doğal gaz)	959.930	88,470	959.930	88,470
Pompalar (Elektrik)	6.614	0,610	23.623	2,177
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>966.544</b>	<b>88,079</b>	<b>985.552</b>	<b>90,647</b>
Aydınlatma (Elektrik)	218.671	20,153	780.966	71,976
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	94.630	8,721	337.965	31,148
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>313.301</b>	<b>28,875</b>	<b>1.118.931</b>	<b>103,124</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>1.279.845</b>	<b>117,954</b>	<b>2.102.484</b>	<b>193,770</b>

Çift pencere sistemli öneriye göre, ısıtma tesisatı yıllık enerji tüketiminin, toplam yıllık enerji tüketiminin %75,52’ini kapsayacağı görülmektedir. Bir başka deyişle birim alana düşen ısıtma tesisatı yıllık enerji tüketimi yaklaşık 88,079 kW olarak değişmektedir. Bu öneri ile ısıtma tesisatı enerji tüketiminin %13,1 azalacağı görülmektedir. Aydınlatma ve elektrikli cihaz enerji tüketim miktarlarında herhangi bir değişme söz konusu değildir. Bina için önerilen iyileştirmeler ısıtma tesisatı enerji tüketim ve maliyetlerini kapsamaktadır. Isıtma tesisatının ihtiyaç duyduğu 966.544 kWh enerjiyi karşılamak için kaynakta 985.552 kWh enerji üretmek gerekmektedir. Binanın toplam enerji ihtiyacına



bakıldığında ise 1.279.845 kWh değerindeki enerjiyi karşılamak için kaynakta 2.102.484 kWh enerji üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Aradaki fark elektrik enerjisinin nihai kullanıcıya dağıtım sonucunda veriminin %28'e düşmesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.11. Çift pencereleli öneri için binada enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri

Ay	HVAC Sistemleri		HVAC Dışı Sistemler
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)
Ocak	1.419	231.868	32.748
Şubat	1.174	228.077	31.188
Mart	1.250	165.104	34.307
Nisan	580	38.799	32.748
Mayıs	59	2.034	29.629
Haziran	0	0	7.269
Temmuz	0	0	7.269
Ağustos	0	0	6.939
Eylül	0	0	29.855
Ekim	73	4.544	32.748
Kasım	823	96.480	32.748
Aralık	1.237	193.024	35.867
<b>Toplam</b>	<b>6.615</b>	<b>959.929</b>	<b>313.314</b>

Aylara göre enerji tüketim miktarlarını gösteren Tablo 3.11'e bakıldığında, çift pencereleli sistemde mevcut binaya göre enerji tüketiminde azalma olsa da enerji tüketiminin en yoğun olduğu aylar kış ayları ve mevsim geçiş dönemleri (Kasım ve Mart ayları) olmaktadır.

Çift pencereleli sistem önerisinde toplam yıllık enerji tüketim maliyetleri Tablo 3.12'de verilmiştir. Bu öneride toplam yıllık işletme maliyeti ve dolayısıyla enerji tüketim maliyeti 205.449 TL olmaktadır. Isıtma tesisatı yıllık işletme maliyeti 88.432 TL olup, toplam işletme maliyetinin % 43'lük kısmına denk gelmektedir. Çift pencereleli durumda ısıtma tesisatı işletme maliyeti mevcut binaya göre %13 daha ekonomik olduğu görülmektedir.

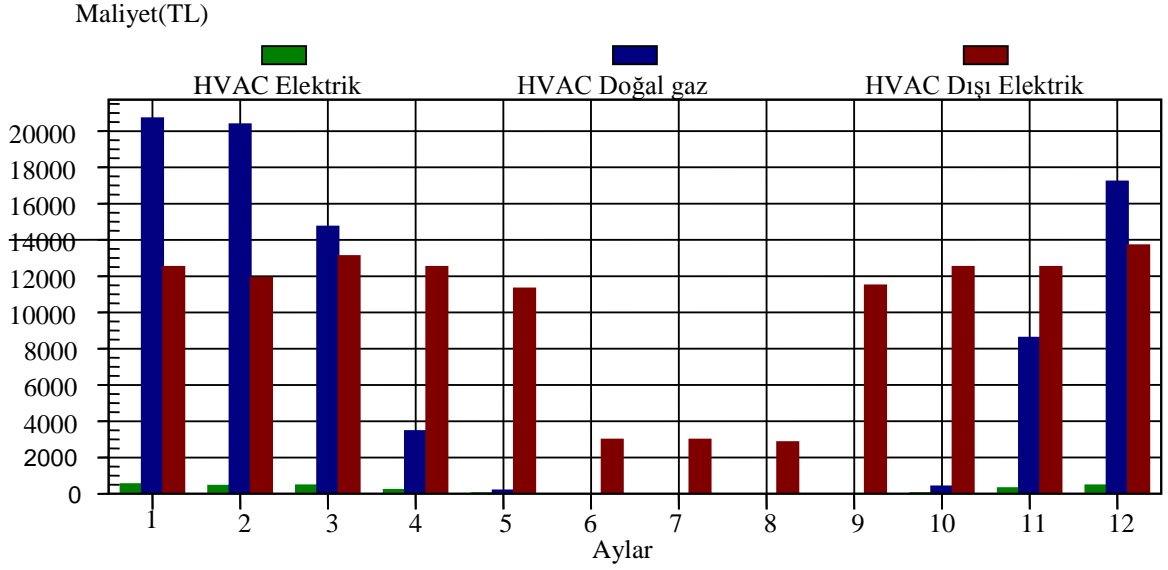
Tablo 3.12. Çift pencere sistemli binada sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim maliyetleri

Bileşen (Kaynak)	Maliyet (TL)	Birim Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )	Toplam Maliyet (%)
Isıtma (Doğal gaz)	85.962	7,923	41,8
Pompalar (Elektrik)	2.470	0,228	1,2
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>88.432</b>	<b>8,150</b>	<b>43,0</b>
Aydınlatma (Elektrik)	81.666	7,527	39,7
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	35.351	3,258	17,2
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>117.017</b>	<b>10,785</b>	<b>57</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>205.449</b>	<b>18,935</b>	<b>100,0</b>

Çift pencere sistemli binada aylık enerji tüketim maliyetleri, Tablo 3.13 ve Şekil 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.13. Çift pencere sistemli binada sistem bileşenleri aylık enerji tüketim maliyetleri

Ay	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Aydınlatma (TL)	Elektrikli Cihazlar (TL)	Genel Toplam (TL)
Ocak	20.764	530	8.847	3.381	33.523
Şubat	20.424	438	8.426	3.220	32,509
Mart	14.785	467	9.268	3.542	28.063
Nisan	3.474	217	8.847	3.381	15.920
Mayıs	182	22	8.005	3.060	11.269
Haziran	0	0	832	1.888	2.720
Temmuz	0	0	832	1.888	2.720
Ağustos	0	0	795	1.802	2.597
Eylül	0	0	8.427	2.722	11.149
Ekim	407	27	8.848	3.381	12.663
Kasım	8.640	307	8.847	3.381	21.176
Aralık	17.285	462	9.689	3.703	31.140
<b>Toplam</b>	<b>85.962</b>	<b>2.470</b>	<b>81.666</b>	<b>35.351</b>	<b>205.448</b>



Şekil 3.7. Çift pencere sistemli binada aylık enerji tüketim maliyetleri

Şekil 3.7’de ısıtma tesisatının elektrik ve doğalgaz tüketimine bağlı aylık işletme maliyetlerinin (HVAC doğalgaz ve HVAC elektrik) ve bina aydınlatması ile elektrikli cihazlardan kaynaklanan enerji tüketiminin aylık maliyetlerinin (HVAC dışı elektrik) oranları görülmektedir. Kış aylarında ısıtma ihtiyacından dolayı artan doğalgaz ve ısıtma pompasından kaynaklı elektrik tüketimi, mevcut binadan daha düşük oranlarda seyretmektedir. HVAC dışı elektrik olarak kategorize edilen aydınlatma ve elektrikli cihaz tüketim oranları ise mevcut binaya göre değişmemektedir.

### 3.2.3. Alternatif 2: Çatı Yalıtımlı Binada Enerji Simülasyonu Sonuçları

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binasının çatı yapı bileşenininin 10 cm taş yünü ısı yalıtımlı ( $\lambda= 0,040$  W/mK) olarak iyileştirilmesi önerisi için HAP programı ile enerji simülasyonu yapılmıştır. Bu öneride amaç ısı kayıplarını azaltarak binanın enerji tüketimini ve dolayısıyla işletme maliyetlerini en aza indirmektir. Tablo 3.14’te, 10 cm çatı yalıtımı öngörülen mevcut binanın hesaplanmış yıllık enerji tüketimi değerleri yer almaktadır. Binanın toplam enerji tüketimi 1.113.965 kWh olarak belirlenirken bu enerjiyi sağlamak için kaynağında üretilen enerji 820.500 kWh daha fazla olmaktadır. Aradaki bu fark elektriğin dağıtımında kaybedilen enerjiden dolayı, kaynakta daha fazla enerji üretimi yapılarak binanın ihtiyacının karşılanmasının sonucudur. Çatı yalıtımlı bina önerisi ile ısıtma tesisatı enerji tüketiminde, mevcut binaya göre % 28 enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Tablo 3.14. Çatı yalıtımlı öneri için sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri

Bileşen (Kaynak)	Bina Enerji Tüketimi (kWh)	Bina Enerji Birim Tüketimi (kWh/m <sup>2</sup> )	Kaynak Enerjisi (kWh)	Kaynak Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> )
Isıtma (Doğal gaz)	794.881	73,258	794.881	73,258
Pompalar (Elektrik)	5.783	0,533	20.652	1,903
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>800.664</b>	<b>73,791</b>	<b>815.533</b>	<b>75,162</b>
Aydınlatma (Elektrik)	218.671	20,153	780.966	71,976
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	94.630	8,721	337.965	31,148
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>313.301</b>	<b>28,875</b>	<b>1.118.931</b>	<b>103,124</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>1.113.965</b>	<b>102,666</b>	<b>1.934.465</b>	<b>178,285</b>

Tablo 3.15’de ise binanın 10 cm yalıtımlı çatısı olması durumunda enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri yer almaktadır. Çatıdan kaynaklanan ısı kayıplarının önlenmesi için tercih edilen ısı yalıtımı sayesinde mevcut binaya ile kıyaslandığında doğalgaz enerji tüketiminde % 28 azalma olacaktır.

Tablo 3.15. Çatı yalıtımlı öneri için binada enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri

Ay	HVAC Sistemleri		HVAC Dışı Sistemler
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)
Ocak	1.216	185.244	32.748
Şubat	1.006	185.816	31.188
Mart	1.093	141.805	34.307
Nisan	571	41.103	32.748
Mayıs	57	3.232	29.629
Haziran	0	0	7.269
Temmuz	0	0	7.269
Ağustos	0	0	6.939
Eylül	0	0	29.855
Ekim	77	4.976	32.748
Kasım	702	79.116	32.748
Aralık	1.060	153.588	35.867
<b>Toplam</b>	<b>5.783</b>	<b>794.881</b>	<b>313.314</b>

Tablo 3.16. Çatı yalıtımlı öneri için bina sistem bileşenlerinin yıllık enerji maliyetleri

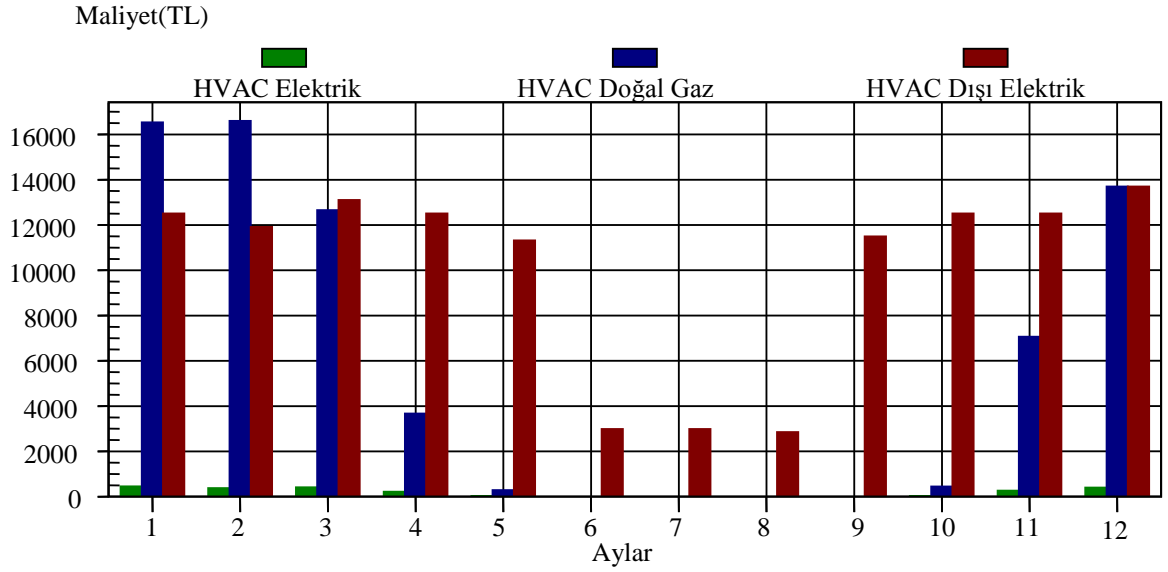
Bileşen (Kaynak)	Maliyet (TL)	Birim Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )	Toplam Maliyet (%)
Isıtma (Doğal gaz)	71.182	6,560	37,4
Pompalar (Elektrik)	2.159	0,199	1,1
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>73.341</b>	<b>6,759</b>	<b>38,5</b>
Aydınlatma (Elektrik)	81.666	7,527	42,9
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	35.351	3,258	18,6
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>117.017</b>	<b>10,785</b>	<b>61,5</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>190.358</b>	<b>17,544</b>	<b>100,0</b>

10 cm yalıtımlı çatı bileşeninden oluşan binanın yıllık enerji tüketim maliyetleri Tablo 3.16’da verilmiştir. Isıtma tesisatının toplam maliyete oranı % 38,5 olarak hesaplanmıştır. Enerji simülasyonu sonucu birim alana düşen yıllık ısıtma tesisatı maliyeti 6,759 TL olurken yıllık toplam maliyet 17,544 TL/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Isıtma işletme maliyetlerinde %28, pompa giderlerinde ise % 23,4 azalma olacağı görülmektedir.

Tablo 3.17. Çatı yalıtımlı binada sistem bileşenleri aylık enerji maliyetleri

Ay	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Aydınlatma (TL)	Elektrikli Cihazlar (TL)	Genel Toplam (TL)
Ocak	16.589	454	8.847	3.381	29.272
Şubat	16.640	376	8.426	3.220	28.663
Mart	12.699	408	9.268	3.542	25.918
Nisan	3.681	213	8.847	3.381	16.123
Mayıs	289	21	8.005	3.060	11.375
Haziran	0	0	832	1.888	2.720
Temmuz	0	0	832	1.888	2.720
Ağustos	0	0	795	1.802	2.597
Eylül	0	0	8.427	2.722	11.149
Ekim	446	29	8.848	3.381	12.704
Kasım	7.085	262	8.847	3.381	19.576
Aralık	13.754	396	9.689	3.703	27.543
<b>Toplam</b>	<b>71.182</b>	<b>2.159</b>	<b>81.666</b>	<b>35.351</b>	<b>190.358</b>

Tablo 3.17 ve Şekil 3.8’de çatı yalıtımlı binada ısıtma tesisatı, aydınlatma ve elektrikli cihazların tükettikleri enerji miktarlarının aylara göre maliyetleri görülmektedir. Isıtma tesisatının en yoğun olduğu aylar Ocak ve Şubat ayları olup işletme maliyetleri sırasıyla, 16.589 TL ve 16.640 TL olmaktadır. Çatı yalıtımlı bina önerisi ile mevcut binaya göre, ısıtma maliyetinin yüksek olduğu Aralık Ocak ve Şubat aylarında ortalama % 30 oranında azalma ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.8. Çatı yalıtımlı binada aylık enerji tüketim maliyetleri

### 3.2.4. Alternatif 3: Çatı Yalıtımlı ve Çift Pencere Binada Enerji Simülasyonu

#### Sonuçları

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binasının çatı yapı bileşeninin 10 cm taş yünü ( $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$ ) ısı yalıtımlı olarak ve mevcut pencerelerinin çift pencere olarak ( $U_p = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) iyileştirilmesi önerisi için HAP programı ile yapılan enerji simülasyonu yapılmıştır. Tablo 3.18 ve Tablo 3.19’da çatı yalıtımlı ve çift pencere önerisi için binada sistem bileşenlerinin enerji kaynaklarının sırasıyla, yıllık ve aylık enerji tüketim değerleri verilmiştir.

Bina toplam enerji tüketim değeri 978.398 kWh olarak hesaplanmıştır. Isıtma tesisatının toplam enerji tüketimi 665.097 kWh olup toplam enerji tüketimi içerisinde oranı %68 olarak belirlenmiştir. Bina toplam enerji tüketim miktarını karşılamak için enerji

kaynağında üretilen enerji miktarı 1.796.290 kWh olmaktadır. Aradaki fark elektriğin dağıtımında kaybedilen enerjiden dolayı kaynaktan daha fazla enerji üretimi yapılarak binanın ihtiyacının karşılanmasının sonucudur.

Tablo 3.18. Çatı yalıtımlı ve çift pencere için öneri bina sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri

Bileşen (Kaynak)	Bina Enerji Tüketimi (kWh)	Bina Enerji Birim Tüketimi (kWh/m <sup>2</sup> )	Kaynak Enerjisi (kWh)	Kaynak Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> )
Isıtma (Doğal gaz)	660.329	60,858	660.329	60,858
Pompalar (Elektrik)	4.768	0,44	17.029	1,570
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>665.097</b>	<b>61,297</b>	<b>677.359</b>	<b>62,427</b>
Aydınlatma (Elektrik)	218.671	20,153	780.966	71,976
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	94.630	8,721	337.965	31,148
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>313.301</b>	<b>28,875</b>	<b>1.118.931</b>	<b>103,124</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>978.398</b>	<b>90,172</b>	<b>1.796.290</b>	<b>165,551</b>

Tablo 3.19. Çatı yalıtımlı ve çift pencere için öneri bina enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri

Ay	HVAC Sistemleri		HVAC Dışı Sistemler
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)
Ocak	1.011	153.342	32.748
Şubat	838	153.481	31.188
Mart	905	116.444	34.307
Nisan	449	33.190	32.748
Mayıs	45	2.561	29.629
Haziran	0	0	7.269
Temmuz	0	0	7.269
Ağustos	0	0	6.939
Eylül	0	0	29.855
Ekim	55	3.774	32.748
Kasım	583	68.316	32.748
Aralık	883	129.221	35.867
<b>Toplam</b>	<b>4.768</b>	<b>660.329</b>	<b>313.314</b>

Çatı yalıtımı ve çift camlı pencere sistemlerinin beraber kullanılması ile yapılan iyileştirme enerji verimliliği açısından en avantajlı alternatiftir. Isıtma tesisatı enerji tüketimi mevcut bina ile kıyaslandığında %40,2 oranında enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Isıtma tesisatı pompası elektrik tüketiminde ise %36,8; azalma meydana gelecektir.

Yıllık enerji tüketim maliyetleri Tablo 3.20’de verilmiştir. Toplam yıllık işletme maliyeti 177.930 TL olup, mevcut binaya göre %18,7 oranında azalmaktadır. Isıtma tesisatı toplam işletme maliyeti ise 60.913TL olarak %40,1 daha tasarruflu olmaktadır.

Tablo 3.20. Çatı yalıtımlı ve çift pencereli öneri için bina sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim maliyetleri

Bileşen (Kaynak)	Maliyet (TL)	Birim Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )	Toplam Maliyet (%)
Isıtma (Doğal gaz)	59.133	5,450	33,2
Pompalar (Elektrik)	1.781	0,164	1
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>60.913</b>	<b>5,614</b>	<b>34,2</b>
Aydınlatma (Elektrik)	81.666	7,527	45,9
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	35.351	3,258	19,9
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>117.017</b>	<b>10,785</b>	<b>65,8</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>177.930</b>	<b>16,398</b>	<b>100,0</b>

Çatı yalıtımlı ve çift pencereli öneri ile mevcut binaya göre elektrik tüketim maliyetinde %36,8, doğalgaz tüketim maliyetinde ise %40,2 oranında tasarruf sağlanacaktır.

Çatı yalıtımlı ve çift pencereli öneri için sistem bileşenleri aylık enerji maliyetleri Tablo 3.21 ve Şekil 3.9’da verilmiştir.

Şekil 3.9’a bakıldığında, ısıtma sistemi dolaşım pompalarının tükettiği elektrik maliyetini temsil eden HVAC elektrik maliyeti, aydınlatma ve elektrikli cihazların tüketim maliyetlerini temsil eden HVAC dışı elektrik maliyetlerinin yanında oldukça düşük bir dağılım göstermektedir. Bina ısı kayıplarının azalmasına yönelik yapılan iyileştirmeler sonucu ısınma ihtiyacı ve buna paralel olarak doğalgaz ve ısıtma elektrik tüketim maliyetlerinin azaldığı görülmektedir.

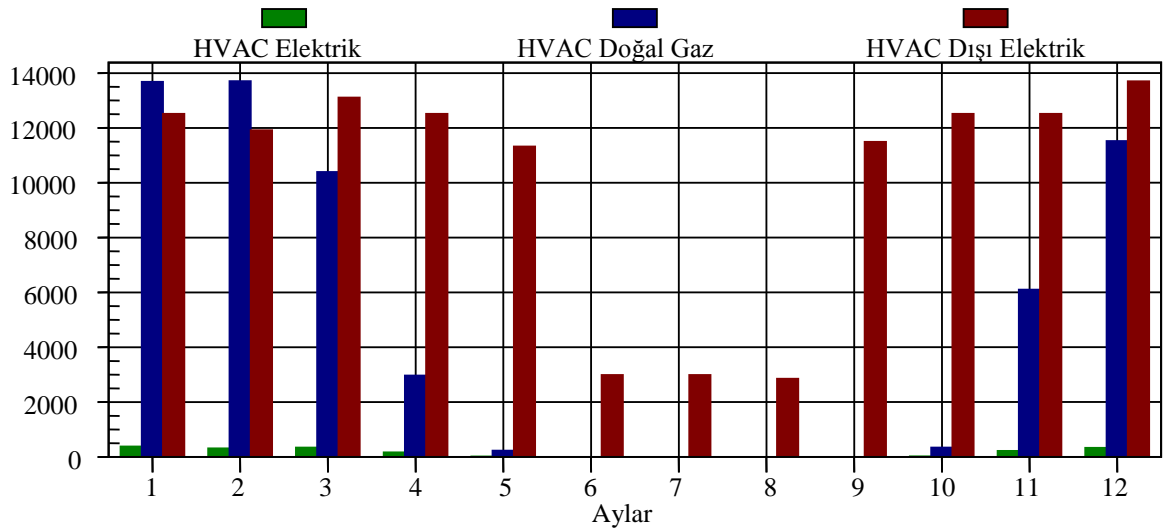


Tablo 3.21. Çatı yalıtımlı ve çift pencereli öneri için sistem bileşenleri aylık enerji maliyetleri

Ay	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Aydınlatma (TL)	Elektrikli Cihazlar (TL)	Genel Toplam (TL)
Ocak	13.732	377	8.847	3.381	26,338
Şubat	13.744	313	8.426	3.220	25.704
Mart	10.428	338	9.268	3.542	23.577
Nisan	2.972	167	8.847	3.381	15.368
Mayıs	229	17	8.005	3.060	11.311
Haziran	0	0	832	1.888	2.720
Temmuz	0	0	832	1.888	2,720
Ağustos	0	0	795	1.802	2.597
Eylül	0	0	8.427	2.722	11.149
Ekim	338	20	8.848	3.381	12.587
Kasım	6.118	218	8.847	3.381	18.565
Aralık	11.572	330	9.689	3.703	25.295
<b>Toplam</b>	<b>59.133</b>	<b>1.781</b>	<b>81.666</b>	<b>35.351</b>	<b>177.930</b>

Çatı yalıtımlı ve çift pencereli öneri için, ısıtma tesisatı enerji maliyetleri mevcut binaya göre Aralık, Ocak ve Şubat aylarında ortalama % 41,5 oranında tasarruf sağlamaktadır.

Maliyet(TL)



Şekil 3.9. Çatı yalıtımlı ve çift pencereli binada aylık enerji tüketim maliyetleri

### 3.3. Makina Mühendisliği Binası HVAC Sistemi Enerji Simülasyonu Sonuçları

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binası soğutma ve havalandırma sistemi olarak önerilen tam havalı sistemlerin HAP programı ile enerji simülasyonları yapılmıştır. HVAC sistem, sabit debili (CAV) ve değişken debili (CAV) olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmıştır.

#### 3.3.1. Sabit Debili (CAV) Sistem

Sabit debili CAV sisteminde sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri Tablo 3.22'de verilmiştir. Yıllık olarak, havalandırma fanları 234.036 kWh, soğutma 73.158 kWh, ısıtma 1.074.854 kWh, ısıtma-soğutma pompa grubu ise 29.006 kWh enerji tüketmektedir.

Tablo 3.22.Sabit debili (CAV) sistemde sistem bileşenlerinin yıllık enerji tüketim değerleri

<b>Bileşen (Kaynak)</b>	<b>Bina Enerji Tüketimi (kWh)</b>	<b>Kaynak Enerjisi (kWh)</b>
Havalandırma Fanları (Elektrik)	234.036	835.842
Soğutma (Elektrik)	73.158	261.278
Isıtma (Doğal gaz)	1.074.854	1.074.854
Pompalar (Elektrik)	29.006	103.592
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>1.411.053</b>	<b>2.275.567</b>
Aydınlatma (Elektrik)	218.035	778.695
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	94.452	337.327
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>312.486</b>	<b>1.116.022</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>1.723.540</b>	<b>3.391.589</b>

Kaynağında üretilen elektrik enerjisinin veriminin nihai kullanıcıya ulaştığında %28 olması sebebiyle binanın yıllık toplam enerji tüketiminin karşılanması için kaynaktan 3.391.589 kWh/yıl enerji üretmek gerekmektedir.

Sabit debili (CAV) sisteminde enerji kaynaklarının aylık tüketim miktarlarına baktığımızda havalandırma ve soğutma ihtiyaçlarının da dâhil olması ile HVAC sistemlerinde elektrik tüketimlerinin arttığı Tablo 3.23'den gözlemlenmektedir. HVAC

elektrik sistemlerinde enerji tüketimini oluşturan bileşenler kazan dolaşım pompa grubu ile hava soğutmalı chiller pompa gruplarıdır. Enerji verimliliğinin artırılması için bu pompa gruplarının ihtiyaca göre çalışan frekans konvertörlü tip seçilmesi önerilir.

Tablo 3.23. Sabit debili (CAV) sistemde enerji aylık tüketim miktarları

Ay	HVAC Sistemleri		HVAC Dışı Sistemler
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)
Ocak	23.272	258.624	32.726
Şubat	22.251	255.937	31.168
Mart	24.877	184.833	34.284
Nisan	26.292	48.249	32.726
Mayıs	32.288	4.883	29.609
Haziran	29.832	0	7.061
Temmuz	35.767	0	7.061
Ağustos	33.810	0	6.740
Eylül	28.632	0	29.828
Ekim	29.894	7.851	32.726
Kasım	24.093	106.908	32.726
Aralık	25.207	207.567	35.843
<b>Toplam</b>	<b>336.214</b>	<b>1.074.854</b>	<b>312.499</b>

Tablo 3.24. Sabit debili (CAV) sistemde sistem bileşenlerinin yıllık enerji maliyetleri

Bileşen	Maliyet (TL)	Toplam Maliyet (%)
Isıtma (Doğal gaz)	96.253	28,4
Havalandırma Fanları (Elektrik)	87.378	25,8
Soğutma (Elektrik)	27.315	8,1
Pompalar (Elektrik)	10.830	3,2
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>221.777</b>	<b>65,5</b>
Aydınlatma (Elektrik)	81.402	24,1
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	35.264	10,4
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>116.666</b>	<b>34,5</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>338.443</b>	<b>100,0</b>

Sabit Debili (CAV) sistemde sistem bileşenlerinin toplam yıllık işletme maliyeti 338.443 TL olmaktadır. Tablo 3.24'e göre ısıtma ve havalandırma sistemleri toplam işletme maliyetinin yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Soğutma maliyetlerinin toplam işletme maliyeti içindeki payı %8,1, ısıtma ve soğutma pompa gruplarının payı ise %3,2 olmaktadır.

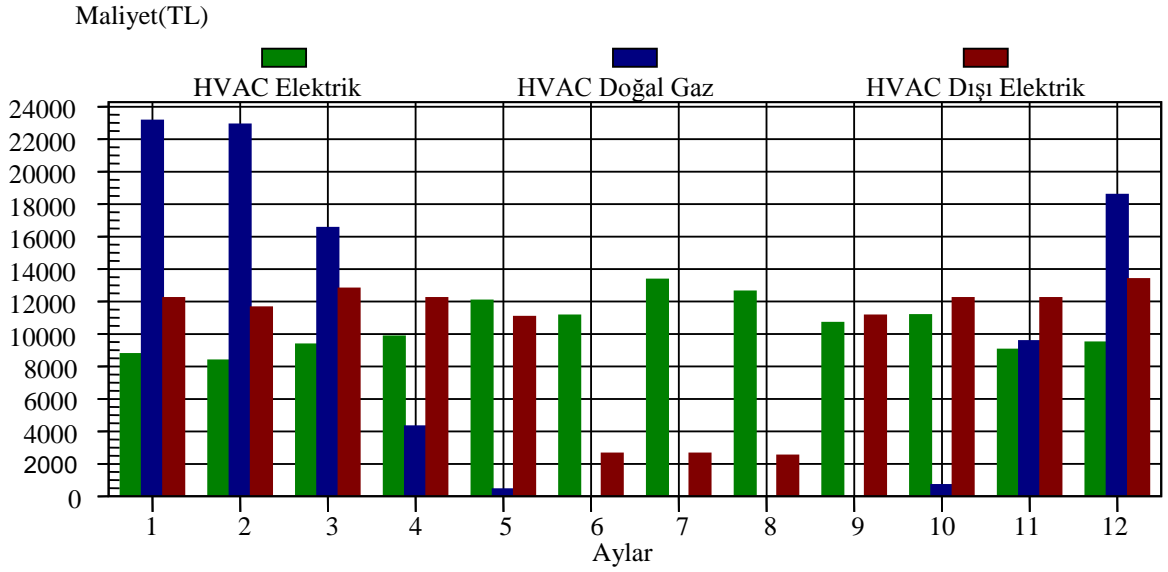
Sabit debili sistemde yıllık toplam enerji tüketim maliyeti, enerji simülasyonu hesapları sonucu 338.443 TL/yıl olarak belirlenmektedir. HVAC sistemi enerji maliyetleri toplam maliyetin % 65,5'ine denk gelmektedir. HVAC sisteminde doğalgaz yıllık tüketim maliyeti binanın ısıtma ihtiyacından dolayı 96.253 TL olarak oluşurken yıllık elektrik tüketimi 125.524 TL olup soğutma, havalandırma ve HVAC pompalarından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.25. Sabit debili (CAV) sistemde sistem bileşenlerinin aylık enerji maliyetleri

Ay	Havalandırma Fanları (TL)	Soğutma (TL)	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Aydınlatma (TL)	Elektrikli Cihazlar (TL)	Genel Toplam (TL)
Ocak	8.135	0	23.160	552	8.843	3.374	44.065
Şubat	7.763	24	22.919	520	8.422	3.214	42.862
Mart	8.516	131	16.552	640	9.264	3.535	38.638
Nisan	8.103	784	4.321	929	8.843	3.374	26.355
Mayıs	7.271	3.401	437	1.381	8.001	3.053	23.544
Haziran	5.802	4.213	0	1.125	758	1.879	13.777
Temmuz	5.848	6.378	0	1.128	757	1.879	15.990
Ağustos	5.587	5.960	0	1.077	723	1.794	15.141
Eylül	5.268	4.399	0	1.022	8.419	2.717	21.825
Ekim	8.061	1.833	703	1.266	8.843	3.374	24.080
Kasım	8.117	191	9.574	687	8.843	3.374	30.787
Aralık	8.907	0	18.588	503	9.685	3.696	41.379
<b>Toplam</b>	<b>87.378</b>	<b>27.315</b>	<b>96.253</b>	<b>10.830</b>	<b>81.402</b>	<b>35.264</b>	<b>338.443</b>

Tablo 3.25'deki bina aylık enerji maliyetlerine bakıldığında, mahallerin maksimum ihtiyacına göre belirlenen sabit debili havalandırma sisteminin işletme maliyetleri, değişken debili havalandırma sistemine göre yüksek olmaktadır. Aydınlatma ve elektrikli cihazlardan oluşan HVAC dışı enerji tüketim maliyetleri ise her iki sistemde sabittir.

Şekil 3.10’da binanın tüm enerji tüketim maliyetlerinin aylık olarak dağılım oranları gösterilmektedir. Isınma ihtiyacının yoğun olduğu Ocak ve Şubat aylarında doğalgaz tüketim maliyeti artmaktadır. Yaz döneminde sadece akademisyen için öngörülen soğutma ve soğutma için kullanılan havalandırma sistemi çalışır durumda olacağından yaz dönemi elektrik tüketim maliyetleri diğer aylara göre fazladır. Üniversitenin eğitim ve öğretime ara verdiği yaz aylarında HVAC dışı elektrik oranları minimum değerlere düşmektedir.



Şekil 3.10. Sabit debili (CAV) sistemde binada aylık enerji tüketim maliyetleri

### 3.3.2. Değişken Debili (VAV) Sistem

Değişken debili sistemlerde mahallerin anlık soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için klima santrallerinde mahal ısı yüküne göre şartlandırılan besleme havası ile soğutma yapılır. Değişken debili sistemde besleme havası sıcaklığı sabit olup hava debisi değişkendir. HAP programı ile yapılan enerji simülasyonu sonucunda VAV sistemine göre enerji tüketim değerleri, Tablo 3.26’da verilmiştir.

Yıllık enerji tüketim değerlerine göre HVAC sistemi enerji tüketimi 1.338.362 kWh olup, toplam yıllık enerji tüketiminin % 81’lik kısmını oluşturmaktadır. Binanın tükettiği yıllık toplam 1.651.529 kWh’lık enerjiyi sağlamak için kaynağında 1.462.410 kWh daha fazla enerji üretmek gerekmektedir. Bunun nedeni elektrik enerjisinin dağıtım veriminin %28 olmasıdır.

VAV sisteminde HVAC toplam elektrik tüketim değeri Tablo 3.27’de belirtildiği gibi 256.692 kWh olmaktadır. Tam havalı sistemlerde HVAC toplam elektrik tüketim değerini karşılaştırdığımız zaman VAV sisteminin enerji tasarrufu açısından % 23,7 daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Tablo 3.26. Değişken debili (VAV) sistemde yıllık enerji tüketim değerleri

Bileşen (Kaynak)	Bina Enerji Tüketimi (kWh)	Kaynak Enerjisi (kWh)
Havalandırma Fanları (Elektrik)	169.532	605.471
Soğutma (Elektrik)	56.235	200.837
Isıtma (Doğalgaz)	1.081.682	1.081.682
Pompalar (Elektrik)	30.913	110.404
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>1.338.362</b>	<b>1.998.395</b>
Aydınlatma (Elektrik)	217.967	778.455
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	94.385	337.089
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>312.352</b>	<b>1.115.544</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>1.651.529</b>	<b>3.113.939</b>

Tablo 3.27. Değişken debili (VAV) sistemde enerji kaynaklarının aylık tüketim değerleri

Ay	HVAC Sistemleri		HVAC Dışı Sistemler
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)
Ocak	15.728	259.819	32.717
Şubat	14.705	256.562	31.159
Mart	16.707	186.011	34.275
Nisan	18.012	48.491	32.717
Mayıs	26.693	4.881	29.601
Haziran	25.499	0	7.036
Temmuz	30.388	0	7.036
Ağustos	28.449	0	6.716
Eylül	25.132	0	29.839
Ekim	22,556	7.858	32.717
Kasım	15.847	108.019	32.717
Aralık	16.975	210.040	35.833
<b>Toplam</b>	<b>256.692</b>	<b>1.081.682</b>	<b>312.365</b>

Değişken debili (VAV) sistemin aylık tüketim değerleri sabit debili (CAV) sistem ile HVAC elektrik tüketimleri açısından kıyaslandığında Aralıkta %32,7 Ocakta %32,4; Şubat % 33,9 oranında enerji verimliliği sağlamaktadır. Yaz aylarına bakıldığında VAV sistemi tercih edildiğinde Haziranda %14,5, Temmuzda % 15; Ağustosta % 15,7'lik enerji tasarrufu olmaktadır.

VAV sisteminin elektrik tüketimi açısından CAV sisteminden daha avantajlı olmasının sebebi havalandırma ve soğutma sisteminde ana cihazların maksimum yük yerine hitap ettiği bölgenin anlık ihtiyaçlarına göre çalışmasıdır.

Binanın doğalgaz tüketimi mevcut ısıtma sisteminden kaynaklandığı için her iki sistemde de yaklaşık olarak eşdeğer tüketim değerleri ortaya çıkmaktadır. HVAC dışı elektrik tüketimine bakıldığında aydınlatma ve elektrikli cihaz yüklerinden dolayı ortaya çıkan tüketim her iki sistemde de aynı olmaktadır.

Değişken debili sistem ile mevcut ısıtma sisteminin toplam enerji maliyeti, Tablo 3.28'de belirtildiği gibi 309.326 TL olmaktadır. VAV sisteminin yer aldığı HVAC toplam işletme maliyeti 192.704 TL olup CAV sistemi ile karşılaştırıldığında VAV sistemli önerinin %13,1 oranında daha ekonomik olduğu görülmektedir. Ayrıca, enerji maliyeti bakımından VAV sistemi havalandırma fanları %27,6, soğutma sistemi ise % 23,1 oranında CAV sistemine göre daha avantajlı olmaktadır. VAV sistemli önerinin yıllık enerji tüketim maliyet verileri CAV sistemli öneriye göre elektrik tüketimleri açısından % 23,7 oranında tasarruf sağlamaktadır.

Tablo 3.28. Değişken debili (VAV) sistemde sistem bileşenlerinin yıllık enerji maliyetleri

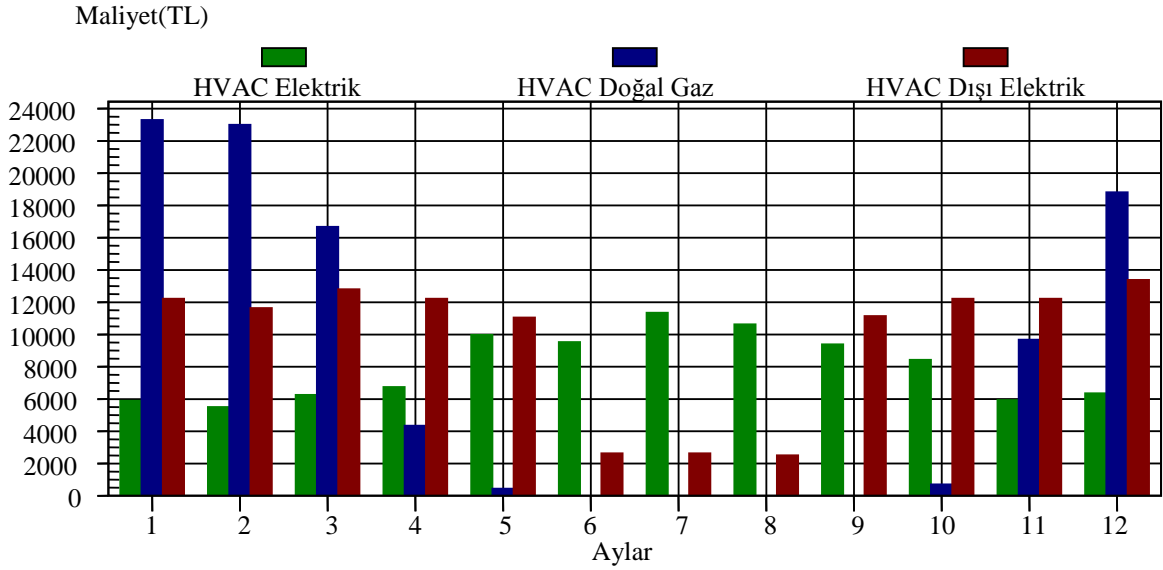
<b>Bileşen (Kaynak)</b>	<b>Maliyet (TL)</b>	<b>Toplam Maliyet (%)</b>
Isıtma (Doğal gaz)	96.865	31,3
Havalandırma Fanları (Elektrik)	63.299	20,5
Soğutma (Elektrik)	20.998	6,8
Pompalar (Elektrik)	11.542	3,7
<b>HVAC Ara Toplam</b>	<b>192.704</b>	<b>62,3</b>
Aydınlatma (Elektrik)	81.381	26,3
Elektrikli Cihazlar (Elektrik)	35.241	11,4
<b>HVAC Dışı Ara Toplam</b>	<b>116.622</b>	<b>37,7</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>309.326</b>	<b>100,0</b>

Değişken debili sistem önerisinde aylık enerji maliyetlerini gösteren Tablo 3.29'a göre havalandırma fanları ve soğutma sistemi işletme maliyetleri tüm aylarda sabit debili sistem önerisine göre daha ekonomiktir. VAV sistemli öneride soğutma sisteminin akademisyen odaları için devrede olduğu yaz aylarında havalandırma fanları ve soğutma sistemi işletme maliyeti toplamı 28.159 TL olup, CAV sistemli öneriye göre %16,7 oranında daha ekonomiktir.

Tablo 3.29. Değişken debili (VAV) sistemde sistem bileşenleri aylık enerji maliyetleri

Ay	Havalandırma Fanları (TL)	Soğutma (TL)	Isıtma (TL)	Pompalar (TL)	Aydınlatma (TL)	Elektrikli Cihazlar (TL)	Genel Toplam (TL)
Ocak	4.964	71	23.296	838	8.842	3.373	41.384
Şubat	4.729	58	22.995	704	8.421	3.212	40.120
Mart	5.255	126	16.670	856	9.263	3.534	35.704
Nisan	5.373	471	4.343	880	8.842	3.373	23.282
Mayıs	6.233	2.424	437	1.309	8.000	3.052	21.453
Haziran	4.901	3.493	0	1.128	753	1.874	12.149
Temmuz	5.369	4.850	0	1.128	753	1.874	13.974
Ağustos	5.075	4.471	0	1.077	719	1.789	13.131
Eylül	4.907	3.454	0	1.022	8.421	2.719	20.523
Ekim	6.002	1.370	704	1.049	8.842	3.373	21.340
Kasım	5.056	132	9.676	729	8.842	3.373	27.808
Aralık	5.436	78	18.817	824	9.684	3.694	38,533
<b>Toplam</b>	<b>63.300</b>	<b>20.998</b>	<b>96.938</b>	<b>11.542</b>	<b>81.381</b>	<b>35.241</b>	<b>309,400</b>





Şekil 3.11. Değişken debili (VAV) sistemde binada aylık enerji tüketim maliyetleri

Değişken debili sistemde aylık enerji tüketim maliyetleri dağılım oranları Şekil 3.11’de verilmiştir. Isıtma ihtiyacının olduğu kış aylarında doğalgaz tüketim maliyetleri fazla çıkarken yaz aylarında soğutma ve dolayısıyla havalandırma sisteminden dolayı elektrik tüketim maliyetleri fazla çıkmaktadır. Sabit debili sistem önerisi ile kıyaslandığında HVAC elektrik tüketim maliyeti oranları daha düşük olmaktadır. HVAC dışı elektrik tüketim maliyetleri oranları ise her iki sistem önerisinde aynı olmaktadır.

#### 3.4. Makina Mühendisliği Binası Soğutma Havalandırma Hesap Sonuçları

Makina Mühendisliği Bölümü binasında akademisyen odaları, derslikler ve teknik ofisler için tam havalı soğutma sistemleri hesapları yapılmıştır. Aynı kullanım amacı ve tasarım şartlarına sahip, mimari özellikleri açısından benzerlik gösteren mahaller için zonlama (bölgelendirme) yapılarak, mahallerin duyulur soğutma kapasiteleri elde edilmiştir. HAP programı tarafından hesaplanan tüm mahallerin duyulur soğutma kapasiteleri tablosu Ek 2’de yer almaktadır. Binanın soğutma kapasitelerini karşılayacak klima santralleri ve chiller kapasiteleri, sabit hava debili (CAV) ve değişken hava debili (VAV) sistemler için hesaplanmış ve sırasıyla, Tablo 3.30 ve Tablo 3.31 de verilmiştir.

Tablo 3.30. Mevcut bina için klima santralleri kapasiteleri

	Etki bölgesi	CAV			VAV		
		Toplam soğutma kapasitesi [kW]	Toplam hava debisi [lt/s]	Taze hava karışım oranı [%]	Toplam soğutma kapasitesi [kW]	Toplam hava debisi [lt/s]	Taze hava karışım oranı [%]
<b>Klima Santrali-1</b>	Akademisyen odaları Kısım 1 ve Bölüm Başkanlığı	123,6	6590	18,2	90,2	6200	19,4
<b>Klima Santrali-2</b>	Akademisyen odaları Kısım 2	96,5	5289	5,7	102,8	5397	5,56
<b>Klima Santrali-3</b>	1. kat derslikler	243,7	8201	48,3	246,2	8292	47,8
<b>Klima Santrali-4</b>	Zemin ve bodrum kattaki derslikler, çalışma salonu ve bilgisayar laboratuvarı	273	9845	49,6	277,6	9878	49,4
<b>Klima Santrali-5</b>	Laboratuvarlardaki teknik ofisler ve akademisyen odaları	48,3	2534	8,1	51,5	2543	8,1

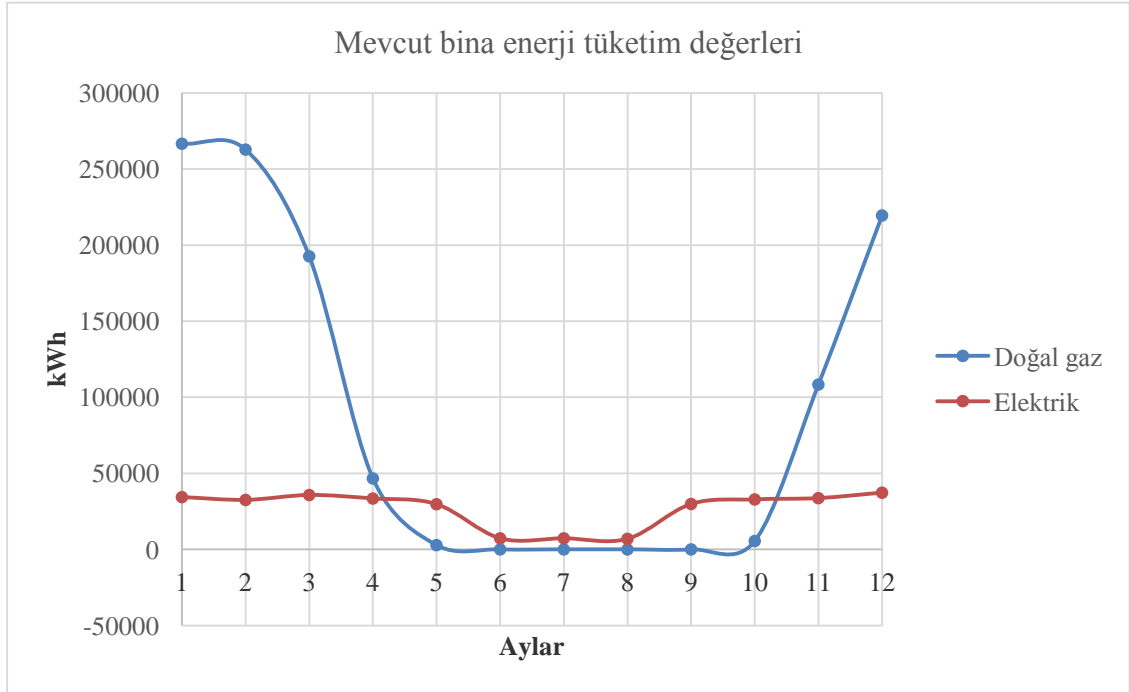
Tablo 3.31. Mevcut bina için chiller kapasiteleri

	Etki bölgesi	CAV		VAV	
		Maksimum kapasite [kW]	Chiller tipi	Maksimum kapasite [kW]	Chiller tipi
<b>Chiller-1</b>	Akademisyen ofis bölümleri ve Bölüm Başkanlığı	210,7	Hava soğutmalı vidalı kompresörlü	179,7	Hava soğutmalı vidalı kompresörlü
<b>Chiller-2</b>	Tüm derslikler, laboratuvarlardaki teknik ofisler, çalışma salonu, bilgisayar lab.	553,2	Hava soğutmalı vidalı kompresörlü	563,9	Hava soğutmalı vidalı kompresörlü
<b>Toplam</b>		<b>763,9</b>		<b>743,6</b>	

#### 4. İRDELEME

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binası mekanik tesisatının, mevcut haline ve enerji verimliliğini iyileştirici önerilere göre HAP programı ile enerji simülasyonu yapılmış, elde edilen bulgular aşağıda irdelenmiştir.

Mevcut binada elektrik enerjisi ısıtma pompa grubu, aydınlatma ve elektrikli cihazlar için kullanılmaktadır. Şekil 4.1’de yer alan aylık enerji tüketim değerlerine bakıldığında; elektrik tüketiminin sadece yaz aylarında belirgin bir azalma gösterdiği, bu aylar dışındaki dönemlerde küçük dalgalanmalar dışında yaklaşık olarak aynı miktarlarda kaldığı görülmektedir.

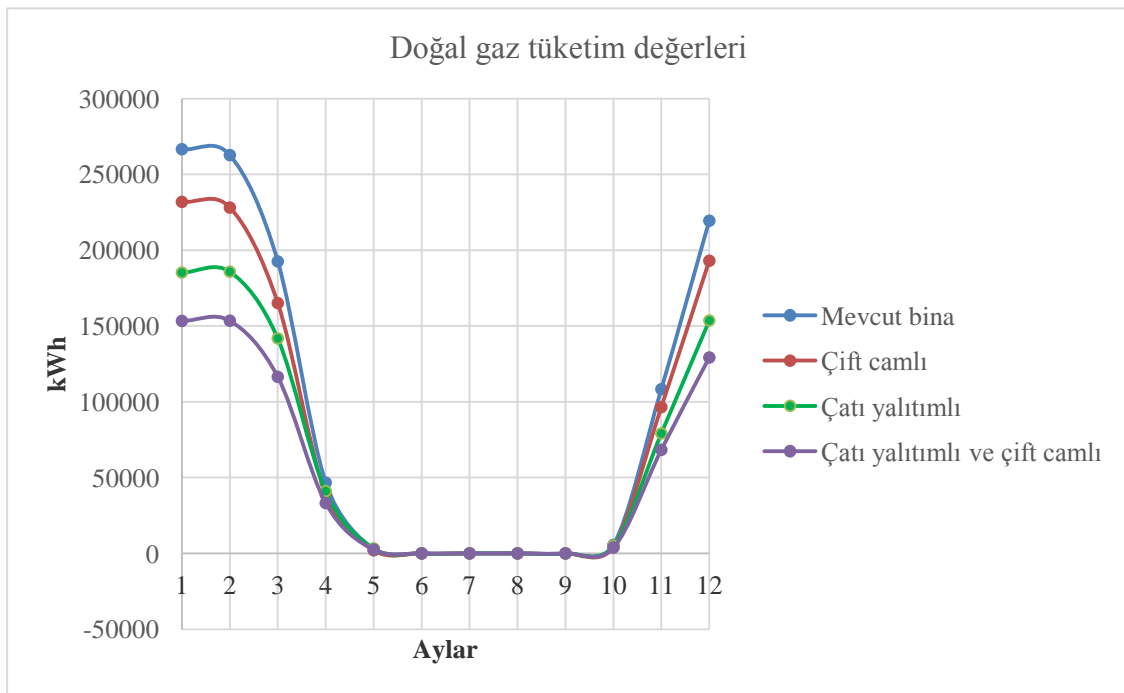


Şekil 4.1 Mevcut bina aylık enerji tüketimi

Mevcut binanın ısıtılmasında kullanılan doğalgaz tüketimine bakıldığında ise elektrik tüketiminin aksine ısıtma ihtiyacına göre yıl içinde büyük oranda değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Isıtma ihtiyacının yoğun olduğu kış ayları aynı zamanda doğalgaz tüketiminin de en fazla olduğu aylar olmaktadır. Mart ve Kasım ayları, kış mevsimi geçiş dönemleri olup Trabzon ilinin iklim şartlarından dolayı oldukça yağışlı ve serin geçtiği için

doğalgaz tüketiminin diğer bahar aylarına göre daha fazla olduğu aylardır. Yaz mevsimi ve Eylül ayında ısıtma ihtiyacı olmamasından dolayı doğal gaz tüketimi de olmamaktadır.

Bu çalışmada, mevcut binanın enerji tüketimini azaltmak ve dolayısıyla binanın enerji verimliliğini arttırmak için çeşitli alternatifler önerilmiştir. Mevcut bina ve alternatifler için HAP programı ile yapılan enerji simülasyonu sonuçları, Şekil 4.2’de verilmiştir. Enerji verimliliğini artırmaya yönelik önerilerin doğalgaz tüketim değerlerinde azalmayı sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.2 Mevcut bina ve önerilere göre aylık doğalgaz tüketim değerleri

Aralık ayında doğalgaz tüketimi, çift camlı pencere sistemleri tercih edilirse % 12; çatı ısı yalıtımı önerisi uygulanırsa % 30; binada hem çift camlı pencere hem de çatı ısı yalıtımı öngörülürse % 41,1 oranında azalmaktadır.

Ocak ayında doğalgaz tüketimi, çift camlı pencere sistemleri tercih edilirse % 13; çatı ısı yalıtımı önerisi uygulanırsa % 30,3; binada hem çift camlı pencere hem de çatı ısı yalıtımı öngörülürse % 42,5 oranında düşmektedir.

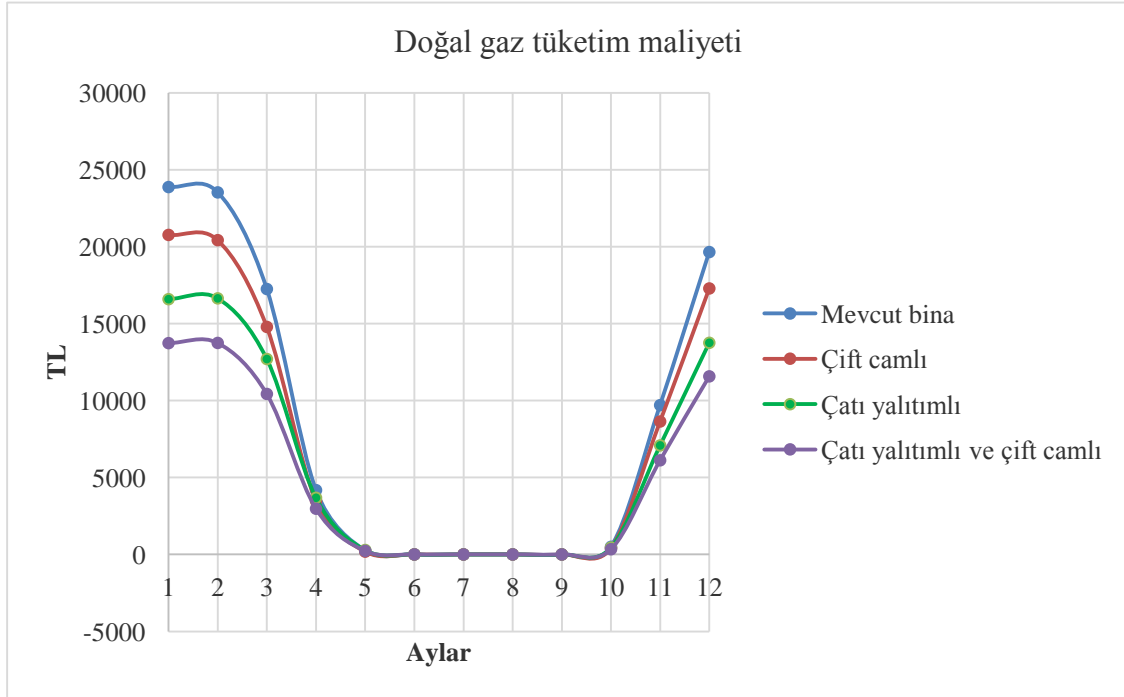
Şubat ayında doğalgaz tüketiminde, çift camlı pencere sistemleri uygulanırsa %13,2; çatı ısı yalıtımı önerisi tercih edilirse % 29,3;binada çift camlı pencere ve çatı ısı yalıtımı beraber kullanılırsa % 41,6’lık azalma olmaktadır.

Binanın yıllık toplam doğalgaz tüketimine baktığımızda dış pencerelerinin çift camlı pencere sistemi ile değiştirilmesi sonucunda % 13,1 azalma meydana gelecektir. Barış Yılmaz [6] tarafından yapılan benzer çalışmada enerji simülasyonu yapılan binada çift camlı pencere sistemi kullanılması durumunda %9,37 oranında bir enerji tasarrufu sağlanacağı ifade edilmiştir.

Mevcut bina çatı bileşeninin 10 cm taş yünü ısı yalıtımlı olarak iyileştirilmesi sonucunda yıllık toplam doğalgaz tüketim değerinde % 28 oranında düşüş ortaya çıkmıştır. Toplu konut binaları için yapılan bir çalışmada, pencerelerin çift camlı olması durumunda enerji tüketiminin %6,9, duvar ve çatı yalıtımının olması durumunda %9,9 civarında azalacağı belirtilmiştir [15].

Dış pencerelerin çift camlı pencere olarak değiştirildiği ve mevcut binanın çatısında 10 cm taş yünü ısı yalıtımı öngörüldüğü takdirde ise yıllık toplam doğalgaz tüketim değerinde sağlanan enerji tasarrufu % 40,23 oranında olmaktadır.

Bu sonuçlara bakıldığında çatı yapı bileşeninin ısı yalıtımlı olarak iyileştirilmesi, dış pencere sistemlerinin çift camlı olarak değiştirilmesinden daha fazla enerji verimliliği sağlayacaktır. Fakat enerji tasarrufu açısından en avantajlı öneri çift camlı pencere sistemi ile çatı ısı yalıtımının beraber uygulandığı alternatiftir.



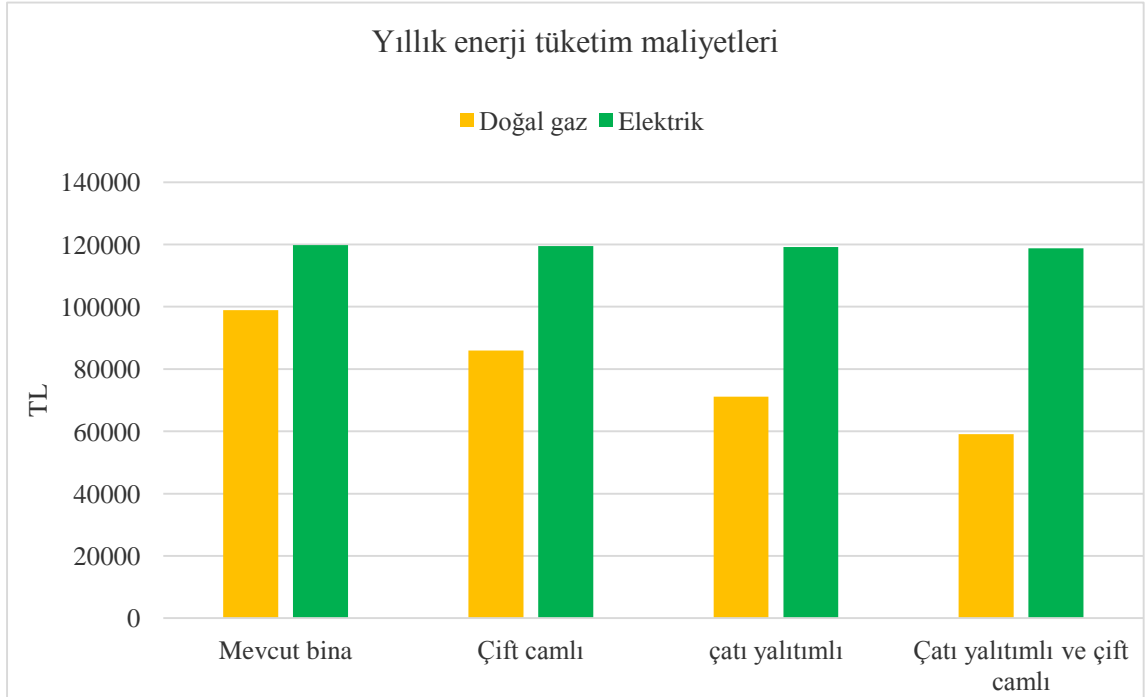
Şekil 4.3 Mevcut bina ve önerilere göre aylık doğalgaz tüketim maliyeti değerleri

Makina Mühendisliği binasının enerji verimliliğini arttırmak için önerilen alternatiflerin doğalgaz tüketim maliyetine olan etkileri de Şekil 4.3’de verilmiştir. Binada ısıtma ihtiyacından dolayı doğalgaz tüketim maliyetinin en çok olduğu Aralık, Ocak ve Şubat aylarının binada yapılan iyileştirmeler sonucundaki değişimler Şekil 4.3’de gözükmemektedir.

Aralık ayında doğalgaz tüketim maliyetinde dış pencerelerinin çift camlı pencere sistemi ile değiştirilmesi sonucunda % 12; çatı için 10 cm ısı yalıtımı öngörülmesi durumunda % 30; hem çift camlı pencere sistemi hem de çatıda 10 cm ısı yalıtımı olması durumunda ise % 41,1 oranında işletme maliyeti tasarrufu sağlanacaktır.

Ocak ayında doğalgaz tüketim maliyetinde dış pencerelerinin çift camlı pencere sistemi ile değiştirilmesi sonucunda % 13; çatı için 10 cm ısı yalıtımı öngörülmesi durumunda % 30,5; hem çift camlı pencere sistemi hem de çatıda 10 cm ısı yalıtımı olması durumunda ise % 42,5 oranında işletme maliyeti tasarrufu sağlanacaktır.

Şubat ayında doğalgaz tüketim maliyetinde dış pencerelerinin çift camlı pencere sistemi ile değiştirilmesi sonucunda % 13,2; çatı için 10 cm ısı yalıtımı öngörülmesi durumunda % 29,3; hem çift camlı pencere sistemi hem de çatıda 10 cm ısı yalıtımı olması durumunda ise % 41,6 oranında işletme maliyetinde azalma olmaktadır.

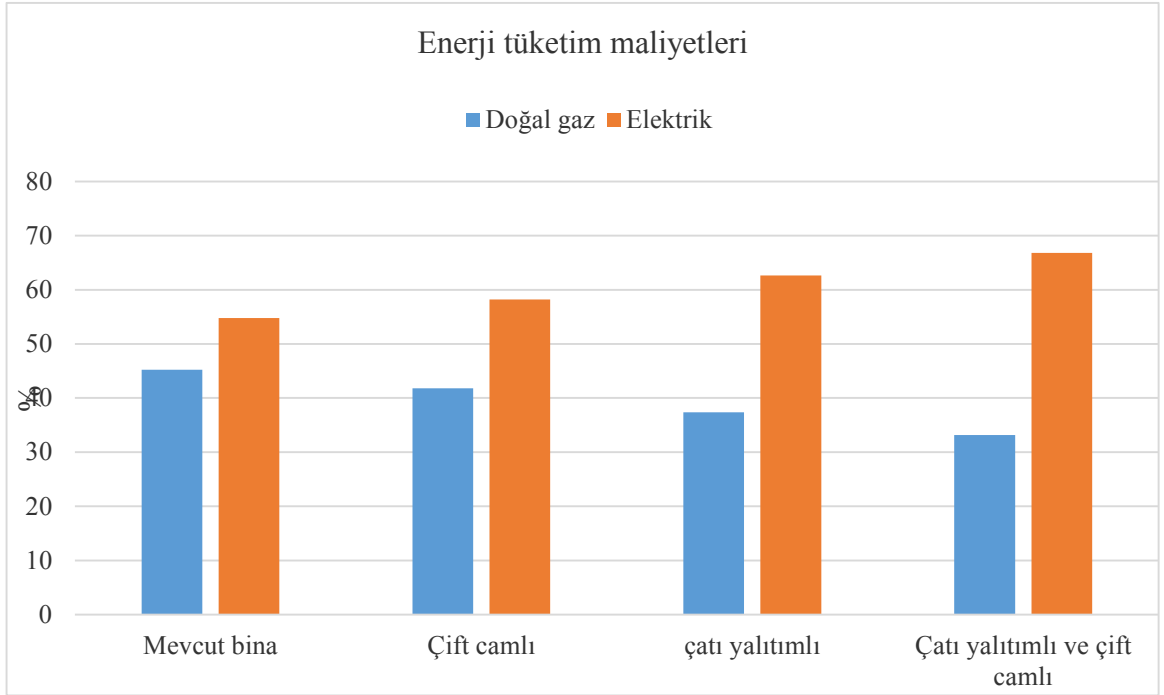


Şekil 4.4 Mevcut bina ve önerilerin yıllık enerji tüketim maliyetleri

Makina Mühendisliği Bölümü binası için Şekil 4.4'te verilen, yıllık enerji tüketim maliyetlerine bakıldığında, önerilen tüm alternatiflerin binanın ısı kaybı miktarını azaltmaya ve dolayısıyla doğalgaz tüketim maliyetlerini düşürmeye yönelik olduğu görülmektedir. Shui Yu ve diğ.[16] yazmış oldukları makalelerinde, bina yapı bileşenlerinin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı değerleri (U) ne kadar düşük olursa bina enerji tüketim maliyetinin de buna bağlı olarak düşük olacağını ifade etmiştir.

Her bir öneride binanın aydınlatma ve elektrikli cihazlardan kaynaklanan enerji tüketim maliyetleri sabittir. Tüm alternatiflerde ısıtma ihtiyacı azalırken, ısıtma pompa grubunun kapasitesi de azalmaktadır. Dolayısıyla, ısıtma dolaşım pompasının tükettiği enerji de azalmaktadır. Sonuç olarak, elektrik enerjisi maliyetinde çok az olarak görülen fark ısıtma pompasının tüketim maliyetindeki azalmadan kaynaklanmaktadır.

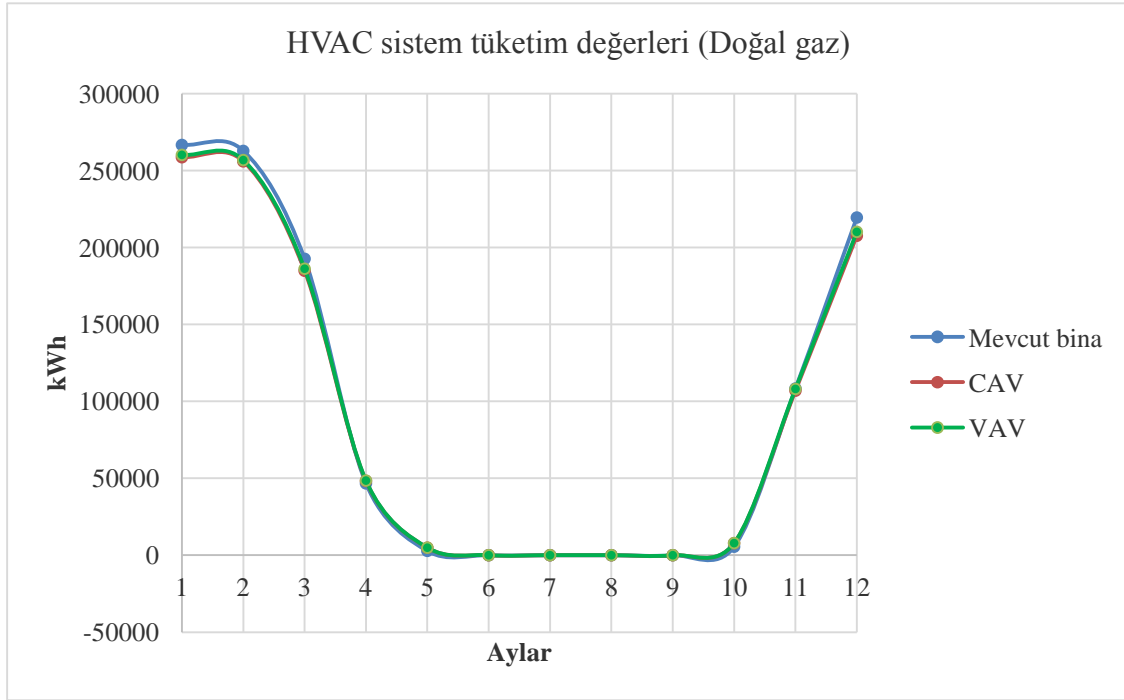
Bu sonuçlara göre çatı yapı bileşeninin ısı yalıtımlı olarak iyileştirilmesi, dış pencere sistemlerinin çift camlı pencere sistemi ile değiştirilmesinden daha çok avantaj sağlamaktadır. Tüm alternatifleri karşılaştırdığımız zaman doğalgaz ve elektrik maliyetlerinin en düşük olduğu durum, çift camlı pencere sistemi ile çatı ısı yalıtımının beraber uygulandığı öneri olmaktadır.



Şekil 4.5 Enerji tüketim maliyetleri yüzdesi

Makina Mühendisliği Bölümü binasında mekanik tesisat için kullanılan enerjiler elektrik ve doğalgazdır. Şekil 4.5'te görüleceği üzere, çeşitli öneriler sunarak binanın ısı kayıplarını azaltmak suretiyle toplam enerji tüketim maliyetleri içerisinde doğalgaz tüketim maliyeti payı azaldığı zaman elektrik tüketim maliyetlerinin yüzdelik payı otomatik olarak artmaktadır.

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binası için ısıtma, soğutma ve havalandırma hesapları ve enerji simülasyonu tam havalı sistemler tercih edilerek yapılmıştır. HAP programı ile yapılan hesaplamalarda sabit hava debili (CAV) ve değişken hava debili (VAV) sistemler öngörülmuş ve enerji verimliliği açısından havalandırma tesisatı ısı geri kazanımlı olarak seçilmiştir. Havalandırma tesisatını oluşturan ve mahallerin istenen tasarım sıcaklığında olmasını sağlamak için mahallere besleme havasını gönderen klima santralleri %50 oranında ısı geri kazanımlı olarak seçilmiştir.

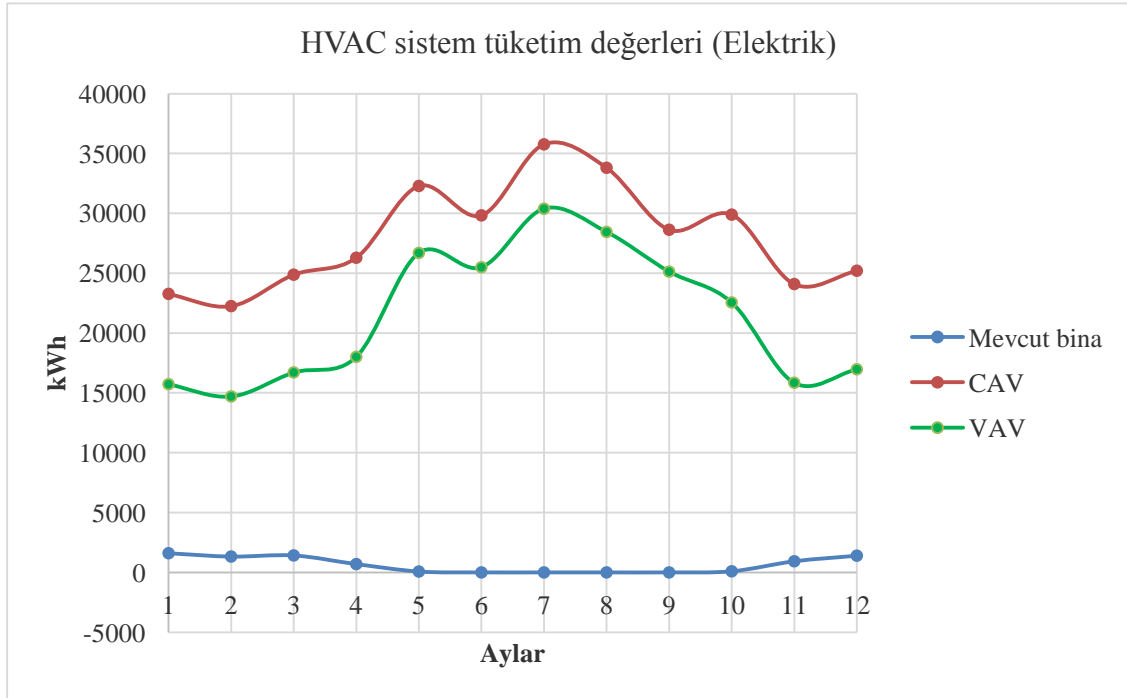


Şekil 4.6 HVAC sistemi doğalgaz tüketimi karşılaştırılması

KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binasında CAV ve VAV sistemleri tercih edildiğinde ısıtma miktarı, yapı bileşenlerinin iletimsel ısı kaybı ve mahallere verilen taze havanın ısıtma ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Bu sistemlerde havalandırma çalıştığında mahallerde oluşacak pozitif basınç sebebi ile enfiltrasyon yükü oluşmayacaktır. Mevcut



binada ise ısıtma miktarına etki eden etmenler yapı bileşenlerinin iletimsel ısı kaybı ve enfiltrasyon (hava sızıntısı) yükleridir. Mevcut binada havalandırma olmadığından taze hava ısıtma yükü de ortaya çıkmayacaktır. Mahallerin ısıtmasında mevcut binada ve tam havalı sistem önerili binada mevcut radyatörlü sistem kullanılmaktadır. Isıtma sezonunda CAV veya VAV sistemleri sadece taze havanın ısıtılarak ortama verilmesinde kullanılmaktadır. Sonuç olarak Şekil 4.6'da görülebileceği gibi, tam havalı sistemlerin ısı geri kazanımlı seçilmesi durumu ile mevcut bina ısıtma sistemi karşılaştırıldığında, doğalgaz tüketim değerlerinde çok fazla bir değişme olmamaktadır.

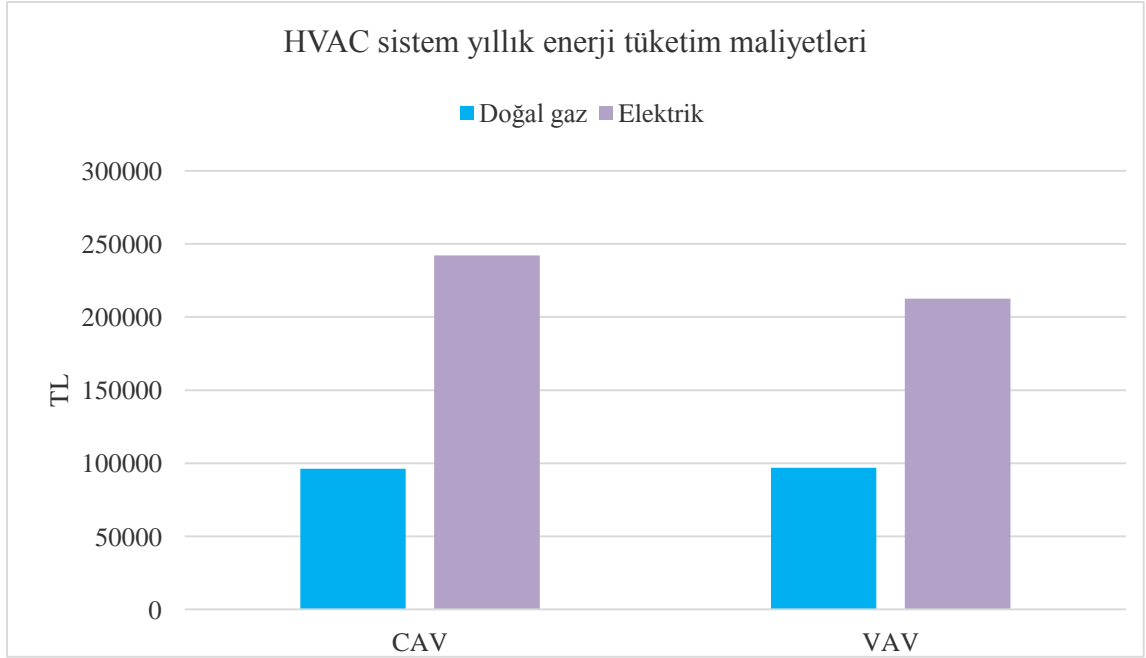


Şekil 4.7 HVAC sistemi elektrik tüketimi karşılaştırılması

Mevcut binada elektrik tüketimi; bina aydınlatmasından, elektrikli cihazlardan ve ısıtma dolaşım pompa grubundan kaynaklanmaktadır. Tam havalı sistemlerde ise havalandırma ve soğutma cihazları (klima santralleri, hava soğutmalı chiller cihazları, soğutma tesisatı dolaşım pompaları vb.), ısıtma dolaşım pompa grubu, aydınlatma ve elektrikli cihazlar binada elektrik tüketen bileşenlerdir. Dolayısıyla, Şekil 4.7'de görüleceği, gibi tam havalı sistemlerin elektrik tüketimi mevcut binada tüketilenden fazla olmaktadır.

CAV sistemlerinin elektrik tüketimi, VAV sistemlerinden daha fazladır. CAV sistemlerinde hava debisi sabit ve mahal pik yüklerine göre belirlendiğinden, HVAC sistem cihazları daha yoğun çalışmaktadır. VAV sisteminde ise, mahallere gönderilen hava debisi ihtiyaca göre değişebilen ve klima santralinde ihtiyaca göre şartlandırılan besleme havası olduğundan ihtiyaç oranında elektrik tüketilecektir. Ahmet Erdoğan [3] tarafından yapılan CAV ve VAV sistemlerinin karşılaştırıldığı çalışmada, anlık değişen yüklere tepki verme arttıkça tüketilen enerji miktarının artması nedeniyle CAV sisteminin VAV sistemine göre daha avantajlı olduğu ifade edilmektedir. Benzer çalışmalarda, VAV sistemin CAV sisteme göre daha iyi bir performansa sahip olduğu ancak, ilk yatırım maliyetinin yüksek olduğu belirtilmiştir [5, 8].

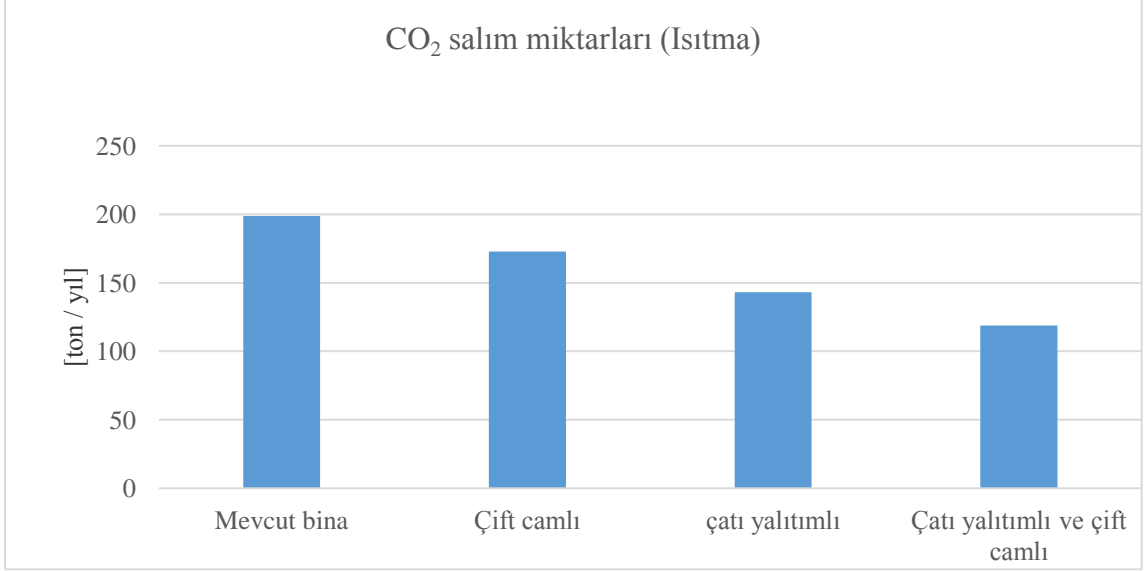
CAV ve VAV sistemlerinin bu durumu, normal split klima ile inverter split klima (ihtiyaca göre çalışan) gibi veya klasik kazan sistemi ile kaskad kazan sistemi (ihtiyac doğrultusunda devreye giren kazan gruplarından oluşan sistem) karşılaştırılması gibi düşünülebilir.



Şekil 4.8 HVAC sistemlerinin yıllık enerji tüketimlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.8’de tam havalı sistemlerin yıllık enerji tüketim değerlerine bakıldığında ısıtma tesisatında binadaki mevcut radyatörlü ısıtma sistemi kullanıldığından ve her iki sistemde de mahallere verilen taze hava miktarları eşit olduğundan taze hava ısıtma

miktarları yaklaşık olarak aynı olmakta ve dolayısıyla doğalgaz tüketim maliyetlerinin birbirine çok yakın; buna karşın soğutma sisteminde sürekli pik mahal yüküne göre çalışan CAV sisteminin elektrik tüketiminin, mahal ihtiyacına göre çalışan VAV sisteminden fazla olduğu görülmektedir.

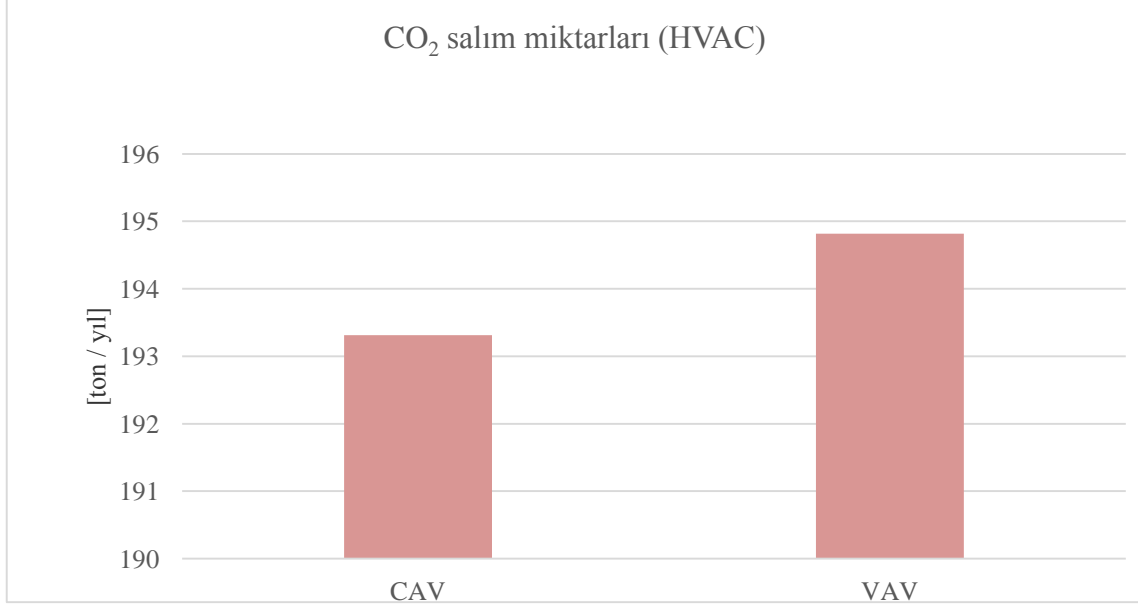


Şekil 4.9 Isıtma tesisatı CO<sub>2</sub> salım miktarlarının karşılaştırılması

Mevcut bina ve öneriler için yapılan enerji simülasyonu sonuçlarına göre, ısıtma tesisatında kullanılan doğalgazdan kaynaklanan karbondioksit salım miktarları, Şekil 4.9'da verilmektedir. CO<sub>2</sub> salım miktarları yılda, mevcut bina için 198,851 ton, çift camlı pencere sistemli öneri için 177,791 ton, çatısı 10 cm ısı yalıtımlı öneri için 143,082 ton ve çift camlı ve çatısı ısı yalıtımlı öneri için ise 118,862 ton olarak hesaplanmıştır. Doğalgaz tüketimini azaltmaya yönelik öneriler aynı zamanda CO<sub>2</sub> salım miktarının azaltılmasını da sağlamaktadır. CO<sub>2</sub> salım miktarı oranları karşılaştırılmış önerilere bakıldığında en çevreci öneri mevcut binanın çift camlı ve çatısı ısı yalıtımlı olacak şekilde iyileştirilmesidir. Bu öneri ile CO<sub>2</sub> salımı %40 oranında azalmaktadır.

Şekil 4.10, Makina Mühendisliği Bölümü binası için öngörülen HVAC sistemlerinin CO<sub>2</sub> salım miktarlarını göstermektedir. Enerji simülasyonu sonucunda CAV sisteminde yılda 193.312 ton, VAV sisteminde ise 194.819 ton CO<sub>2</sub> salımı ortaya çıkmaktadır. Havalandırma sistemi ısı geri kazanımlı olarak seçilmiş olup mahallere verilen taze havanın ısıtma miktarları da eşit olduğundan ve ayrıca mahallerin ısıtma ihtiyacı mevcut

radyatörlü sistemden karşılandığından, ısıtma sezonunda doğalgaz tüketim miktarları birbirine yakın olduğu için CO<sub>2</sub> salım miktarlarının da önemli bir fark olmamaktadır.



Şekil 4.10 HVAC sistemlerinin CO<sub>2</sub> salım miktarlarının karşılaştırılması

Çalışmada enerji verimliliği için yapılan simülasyonlar için MTH (Mekanik Tesisat Hesapları) ve HAP (Hourly Analysis Program) ile ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Binanın toplam ısı kaybı miktarını MTH programı, HAP programına göre %2.33 daha fazla vermektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, ülkelerin siyasi ve ekonomik gücünü belirleyen en önemli unsurdur. Enerji kaynakları kısıtlı olan ülkelerin alabileceği en önemli tedbir, enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasıdır. Bu nedenle, enerji tüketiminde yüksek paya sahip olan binalarda enerjinin tasarruflu kullanılması ve özellikle enerji etkin yeşil bina yapımı birçok ülke politikasında önemli bir yer almaktadır. Diğer ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de enerji verimliliği mevzuatları çıkarılmış, ulusal yeşil bina sertifika sisteminin oluşturulması ve uygulamaya konulması öncelik kazanmıştır. Binalarda ilk tasarım aşamasından itibaren enerjinin etkin kullanımını sağlamak için enerji simülasyonu yapılarak mimari, mekanik ve elektriksel parametrelerin bina enerji tüketimine etkilerinin incelenmesi ve mümkün olduğunca az enerji harcayan, kendine yetebilen yüksek enerji performanslı bina yapımına ağırlık verilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada HAP ve MTH programları kullanılarak, KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü binasının ısı kaybı ve ısı yükü hesaplanmış, HAP yazılımı ile binanın enerji simülasyonu yapılarak, mevcut binada uygulanabilecek mimari iyileştirmelerin ve ısı yalıtımının enerji tüketimi ve maliyetine olan etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Isı kaybı hesabında TS 2164 standardını kullanan MTH programı, ısı yükü hesaplamalarında ise ASHRAE Eşdeğer Sıcaklık Farkı yöntemini kullanır. HAP yazılımı ısı yükü hesaplamalarında, detaylı veri tanımlamasına olanak sağlayan ve sistem odaklı olan ASHRAE Transfer Fonksiyonu yöntemini kullanır. HAP yazılımının temel amacı soğutma yüklerini hesaplamak olduğundan, ısı kaybı hesabında işletme zammı, yön artırımı gibi hesap unsurlarını içermemektedir. HAP programı ile bulunan ısı kaybı değerleri, MTH programı ile bulunanlardan %2,3 civarında daha düşük çıkmaktadır.
- Binanın ısı kaybı ve enerji simülasyonu sonuçlarına göre, enerji tüketimini azaltmaya yönelik öneriler getirilmiştir. Mevcut bina pencerelerinin çift camlı olarak yenilenmesi durumunda binanın yıllık toplam enerji tüketiminde % 10,22, yıllık toplam enerji maliyetinde ise % 6,1 azalma meydana gelecektir. Bina çatısında 10 cm taş yünü ısı yalıtımı öngörülmesiyle binanın yıllık toplam enerji tüketiminde %21,86, yıllık toplam enerji maliyetinde ise %13 tasarruf yapılabileceği belirlenmiştir. Çift camlı

pencere sistemleri ile çatıda 10 cm taş yünü ısı yalıtımının beraber uygulanması durumunda ise binanın yıllık toplam enerji tüketiminde %31,4, yıllık toplam enerji maliyetinde ise %18,7 oranında düşüş olacağı saptanmıştır.

- Bina ısıtılmasında kullanılan doğalgaz tüketimi açısından bakıldığında; çift camlı pencere kullanılması durumunda %13,1, çatıda 10 cm yalıtım uygulandığında %28, hem çift camlı pencere hem de çatı yalıtımlı durumda ise %40,23 oranında yakıt tasarrufu sağlanabilecektir.
- Bina için öngörülen soğutma ve havalandırma sisteminin tasarımı için tam havalı sistemler tercih edilmiştir. Sabit debili (CAV) ve değişken debili (VAV) sistemlerinin HAP programı ile yapılan enerji simülasyonları sonucunda, VAV sisteminin kullanılması durumunda HVAC toplam yıllık elektrik tüketim değerinin CAV sistemine göre %23,7 daha avantajlı olduğu görülmektedir.
- Mimari iyileştirmeler ve HVAC sistemlerinin enerji verimliliği ve işletme maliyetleri karşılaştırıldığında; VAV sistemi enerji verimliliği açısından CAV sisteminden daha üstün olmasına karşın, ilk yatırım maliyeti CAV sisteminden oldukça fazladır.
- Mevcut binanın ısıtılmasında kullanılan doğal gazdan kaynaklanan CO<sub>2</sub> salımı açısından bakıldığında; çift camlı pencere kullanılması durumunda %10,6, çatıda 10 cm yalıtım uygulandığında %28 ve çift camlı ve çatısı ısı yalıtımlı olacak şekilde iyileştirilmesi durumunda %40 oranında azalma meydana gelecektir.
- Kanuni Yerleşkesindeki diğer binalar için de bu tür iyileştirmelerinin uygulanması durumunda kurumsal olarak yıllık toplam enerji tüketiminde ve özellikle doğalgaz tüketim maliyetlerinde ve CO<sub>2</sub> salım miktarlarında önemli azalmalar sağlanabilecektir.

Bu tez çalışmasında enerji verimliliğinin önemi vurgulanmakta, binalarda yapılabilecek mimari iyileştirmeler ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabileceği anlatılmaktadır. Ayrıca seçilecek HVAC sisteminin enerji simülasyonu yapılarak enerji verimliliği açısından en uygun sistemin seçilmesi ve bina enerji analizinin tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçası olması gerektiği vurgulanmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda bu tezde ele alınmayan mimari iyileştirmelerin veya farklı HVAC sistemlerinin incelenmesi yararlı olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

1. Yalkı, H., Enerji Etkin Bina Tasarım Temelleri, Termodinamik, 10 (2013) 82-88.
2. İnan, T., Başaran, T., Çift Cidarlı Cepheler: Avantajları ve Dezavantajları, MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 146 (2015) 80-86.
3. Erdoğan, A., Malatya’da Örnek Bir Binada Enerji Simulasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2012.
4. Ceyhan Zeren, F.T., Energy Performance Analysis of Adnan Menderes International Airport, Master of Science, Izmir Institute of Technology, The Graduate School of Engineering and Science , İzmir, 2010.
5. Ünlü, G., Sürdürülebilir Binalar İçin HVAC Sistemleri Seçimi, Tasarımı ve Enerji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
6. Yılmaz, B., Binalarda Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
7. Türkmen, R., Enerji Etkin Bina Tasarımı ve Enerji Performans Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
8. Türkmen, H.İ., Konut Dışı Binalarda Değişken Hava Debili İklimlendirme Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
9. Ulukavak,G., Bina Simulasyon Programları ve Enerji Performans Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
10. Kharseh, M., Altorkmany,L., Al-Khawaj,M. ve Hassani,F., Warming Impact on Energy Use of HVAC System in Buildings of Different Thermal Qualities and in Different Climates, Energy Conversion and Management 81 (2014) 106–111.
11. Özdemir, G. ve Eskin, N., Konut Dışı Binalarda Mahal Sıcaklıklarının Enerji Tüketimine Etkileri, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 90 (2014) 35-43.
12. Kovac, M.ve Kovacova, K., Simulation of Energy Demand for HVAC in a Shopping Centre –Case Study, Energy Procedia 78 ( 2015 ) 1105 – 1110.
13. Kürekçi, N.A. ve Kaplan, S., Örnek Bir Bina İçin Farklı Enerji Performans Programlarının Isıtma-Soğutma Yük Hesaplarının Karşılaştırılması, MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 148 (2015) 49-66.

14. Sait, H. H., Estimated Thermal Load and Selecting of Suitable Air-Conditioning Systems for a Three Story Educational Building, Procedia Computer Science 19 (2013) 636 – 645.
15. Eskin, N., Konut Dışı Binaların Yıllık Enerji İhtiyaçlarının İncelenmesi, MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 122 (2011) 5-10.
16. Yu,S., Cui,Y., Xu,X. ve Feng, G., Impact of Civil Envelope on Energy Consumption Based on EnergyPlus, Procedia Engineering 121 (2015) 1528 – 1534.
17. Yalçın,G.,Yeşil Bina Sertifikasyon Programları ve Türkiye’deki Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2013.
18. Sert,S.,Bina Yaşam Döngüsünde Enerji Analizi ve Yeşil Binalar, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2010.
19. Mangan, S.D., Koçlar Oral,G., Türkiye’nin Farklı İklim Bölgelerinde Bir Konut Binasının Enerji Etkin İyileştirilmesi, MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 143 (2014) 37-46.
20. Arısoy, M., HVAC Sistemlerinin Enerji Tüketimi Açısından Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılmasında Kriter Ne Olmalıdır?, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 80 (2012) 28-32.
21. Boxem,G. ve Zeiler,W., Passive House Schools, an Inventory off Ventilation & Comfort, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi,73 (2011) 35-39.
22. Oktay,Z. ve Coşkun,C., Enerji Tasarrufu Perspektifinde Bir Kampüs Binası Enerji Taraması Çalışması, MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 115 (2010) 49-55.
23. Aktacir,M.A., Nacar,M.A., Yeşilata,B., Tenekeci,M.E., Yenigün,B. ve Kaya,E., Türkiye’deki Binalara Yönelik Soğutma Yükü Hesabı İçin Web Tabanlı Yazılım Geliştirilmesi, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi,84 (2013) 45-49
24. [http://cedbik.org/yesil-bina-nedir\\_p1\\_tr\\_3\\_.aspx](http://cedbik.org/yesil-bina-nedir_p1_tr_3_.aspx) Yeşil Bina nedir? 8 Mayıs 2015.
25. Çakmanus,İ. ve Göksal Özbalta,T., Binalarda Sürdürülebilirlik:Ömür Boyu Maliyete İlişkin Yaklaşımlar, 1.Basım, Doğa Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, 2008.
26. T.C. Sağlık Bakanlığı, Mevcut ve Yeni Yapılacak Sağlık Tesislerinde Uyulması Gereken Asgari Teknik Standartlara İlişkin Genelge, Kasım 2012.
27. Çevre Dostu Yeşil Binalar Leed Versiyon 4 Eğitimi Notları, İstanbul, 27 Mart 2015.
28. <http://www.altensis.com/projeler> Projeler 8 Mayıs 2015.



29. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ocak 2015 İtibarıyla Türkiye'nin Enerji Görünümü Raporu, Yayın no:200, Ankara, 2015.
30. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,2015-2019 Stratejik Plan, Ankara,2014.
31. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Temiz-Enerji> T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Temiz Enerji. 3 Mayıs 2015.
32. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji> T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Temiz Enerji Nükleer Enerji. 3 Mayıs 2015.
33. T.C. Resmi Gazete, Enerji Verimliliği Kanunu.(26510) , 18.4.2007,8
34. TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, T.S.E., Ankara, 2008.
35. T.C. Resmi Gazete, Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına ilişkin Yönetmelik. (26847), 14.04.2008, 5.
36. T.C. Resmi Gazete, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. (27075), 5.12.2008, 19.
37. T.C. Resmi Gazete, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. (27539), 1.4.2010, 16.
38. T.C. Resmi Gazete, Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik. (28097),27.10.2011,38.
39. T.C. Resmi Gazete, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023. (28215), 20.2.2012,15.
40. T.C. Resmi Gazete, Sürdürülebilir Yeşil Binalar İle Sürdürülebilir Yerleşmelerin Belgelendirilmesine Dair Yönetmelik. (29199), 8.12.2014,17.
41. T.C. Resmi Gazete, Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ.(27778), 7.11.2010, 423.
42. [www.bep.gov.tr](http://www.bep.gov.tr) Binalarda Enerji Verimliliği. 5 Mayıs 2015.
43. Gökçen,G.,Yaman,M.C.,Akın,S.,Aytaş,B.,Poyraz,M.,Kala,M.E.,Toksoy,M., Konutlarda Enerji Performansı Standart Değerlendirme Metodu (KEP-SDM) İçin Geliştirilen Enerji Sertifikalandırma Yazılımı(KEP-İYTE-ESS),IX.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi,Mayıs 2009,İzmir, DTK (Doğalgaz-Tesisat-Klima) Dergisi 13, 113-123.
44. <http://www.ktu.edu.tr/makina-bolumtanitimi> Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü.20 Nisan 2015.
45. Carrier, Hourly Analysis Program 4.60, Carrier, 2008, USA.

46. Çuhadaroğlu, B., Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Ders Notları, 2015.
47. Ulukavak, G., Bina Enerji Performansı Değerlendirme Araçları: Enerji Simulasyonu, MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 144 (2014) 23-29.
48. Isın N. K., Alalođlu M., Erdoğan A. ve Acar L., Saatlik Analiz Programı, TTMD Dergisi Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki, Yayın no: 73, Ankara, 2011.

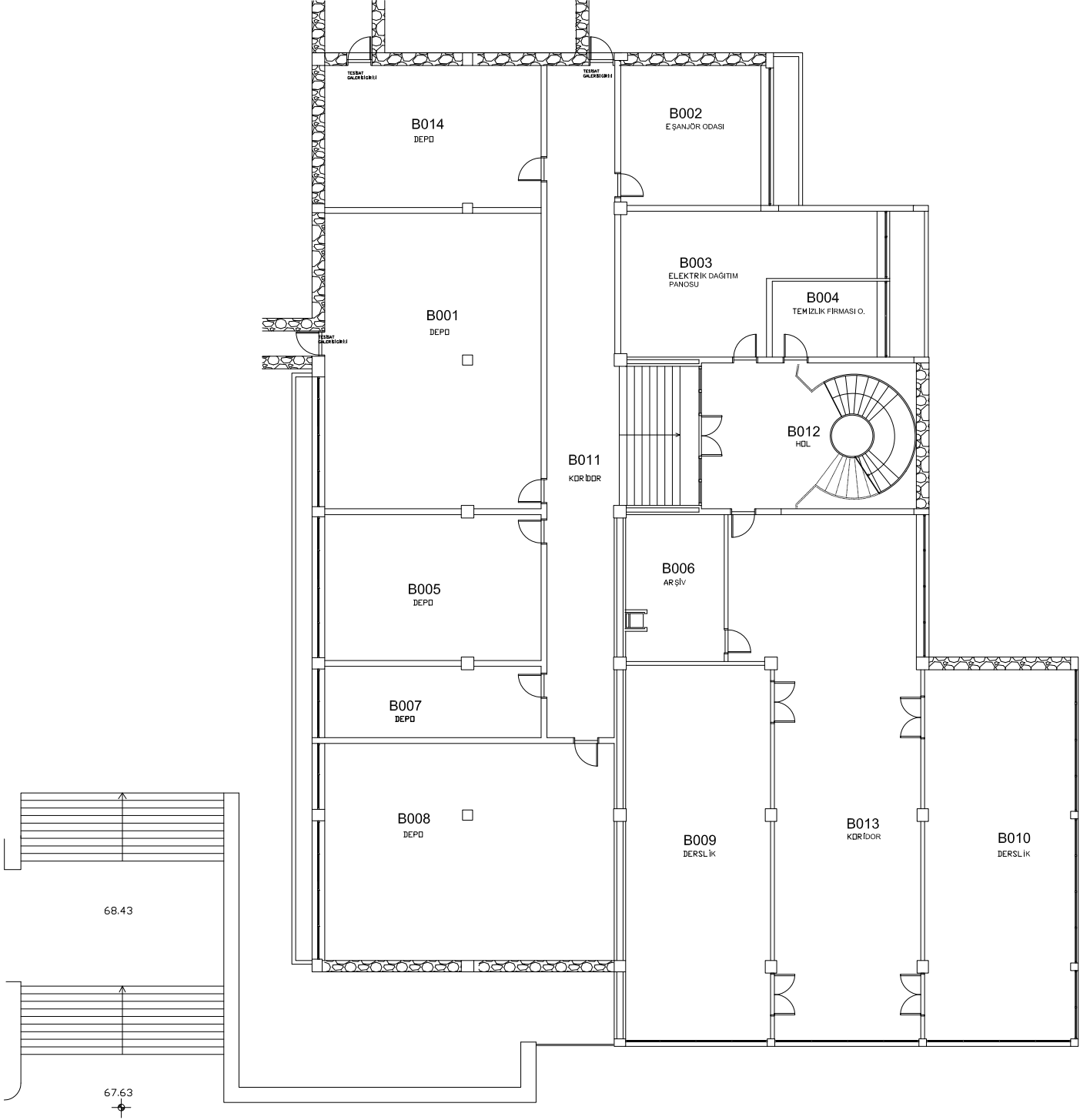
## **7.EKLER**

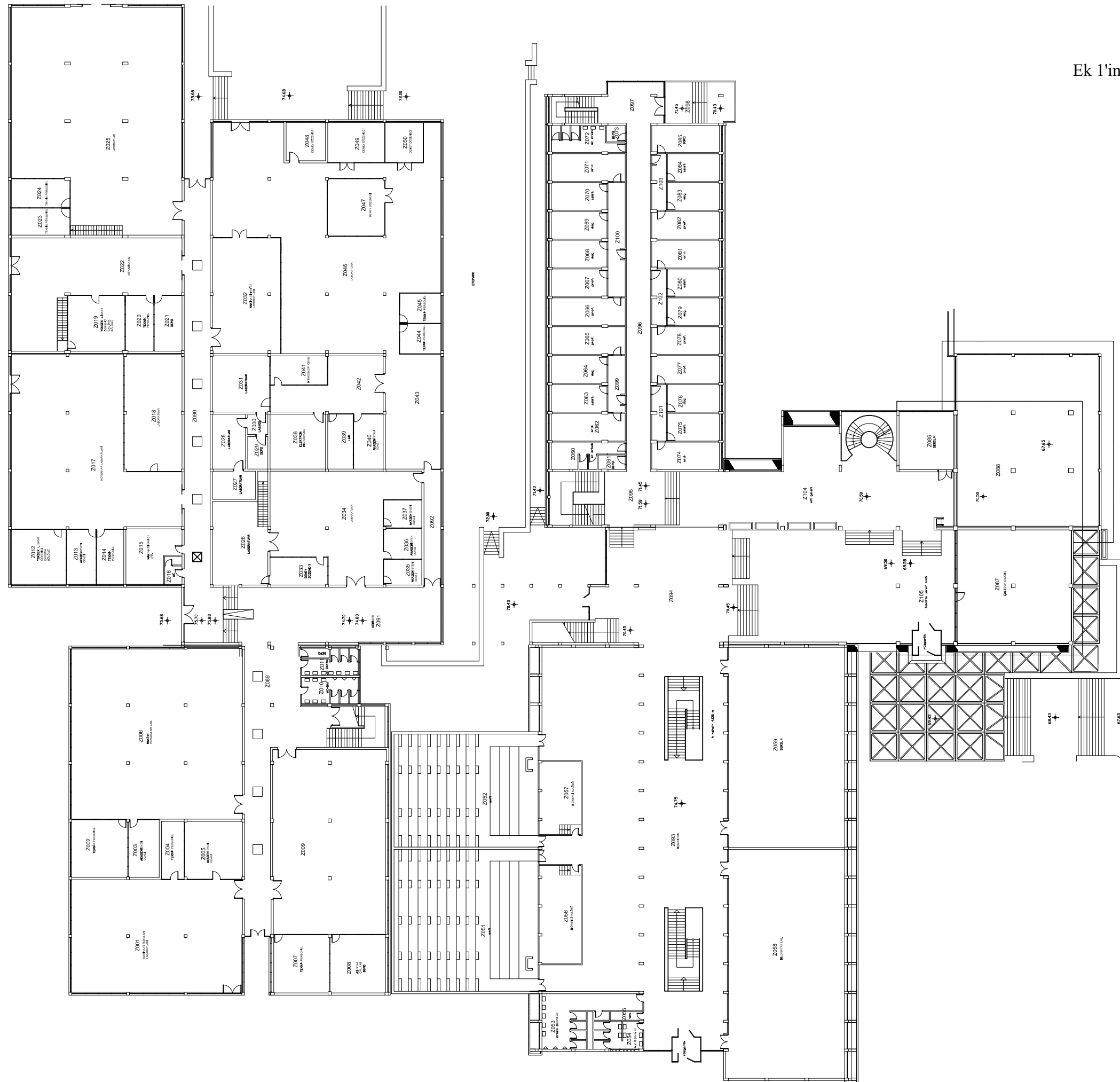
Ek 1 KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Binası Mimari Kat Planları

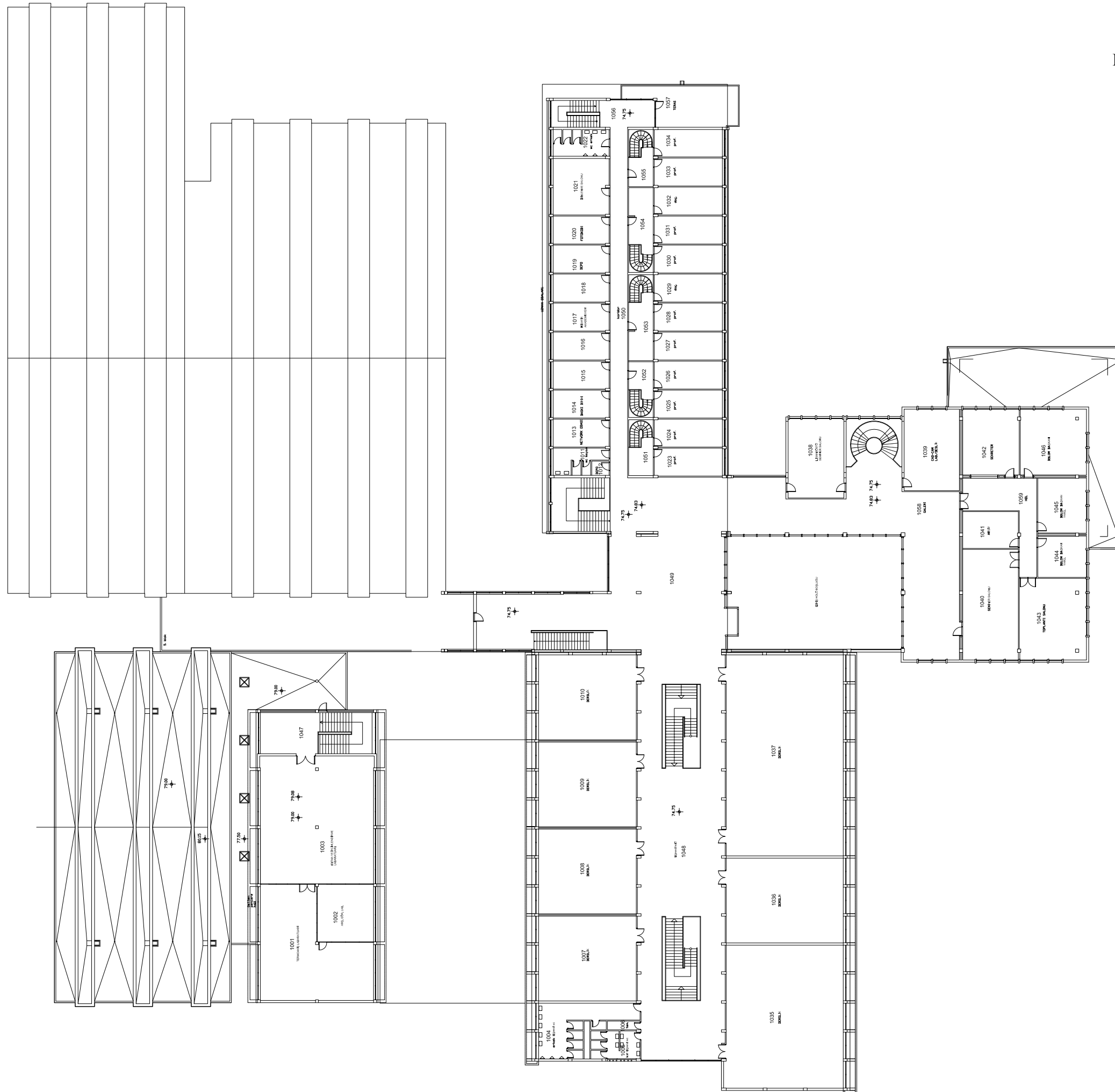
Ek 2 KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Binası Isı Kaybı Hesabı Karşılaştırmaları

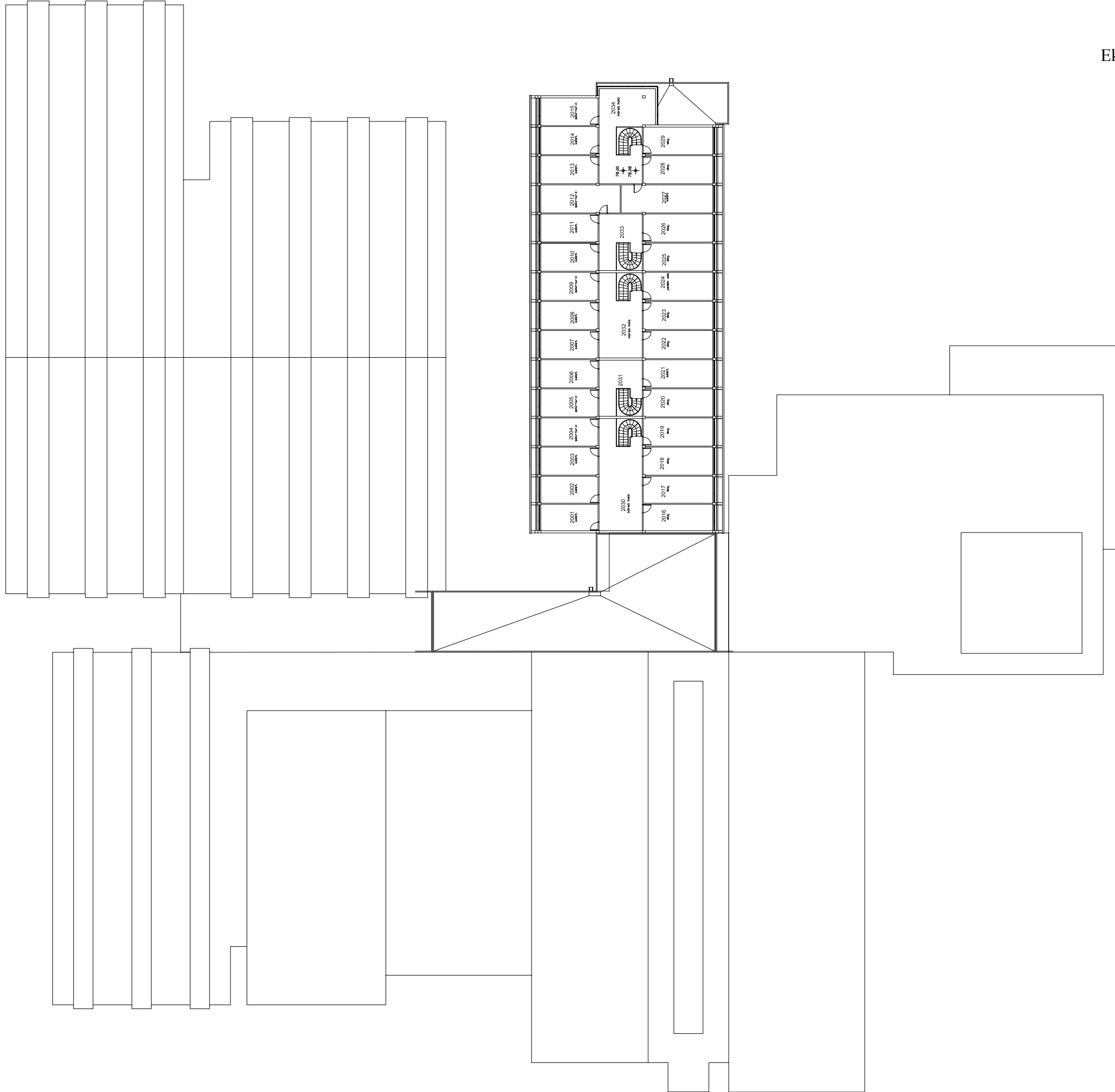
Ek 3 KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Binası Mahal Isı Kazancı Karşılaştırmaları

## Ek 1. Makina Müh. Binası Bodrum Kat Planı









Ek 2. KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü Binası Isı Kaybı Hesabı Karşılaştırmaları

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Isı Kaybı (kWatt)	HAP Isı kaybı (kWatt)	Isı Kaybı Fark (%)
B009	DERSLİK	-1	84.82	3.6	7.413	6.90	0.93
B010	DERSLİK	-1	87.03	3.6	14.241	12.10	0.85
Z002	TEKNİK PERSONEL	0	34.94	3.3	4.703	4.00	0.85
Z003	AKADEMİSYEN ODASI	0	19.33	3.3	1.461	1.30	0.89
Z004	TEKNİK PERSONEL	0	14.24	3.3	1.074	1.00	0.93
Z005	AKADEMİSYEN ODASI	0	36.02	3.3	2.797	2.50	0.89
Z007	TEKNİK PERSONEL	0	34.97	3.3	3.824	3.50	0.92
Z012	Y. LİSANS ÖĞRENCİ ÇALIŞMA BÖL.	0	32.5	3.3	5.464	5.00	0.92
Z013	AKADEMİSYEN ODASI	0	17.44	3.3	2.087	2.00	0.96
Z014	TEKNİK PERSONEL	0	16.07	3.3	1.986	1.90	0.96
Z019	Y.LİSANS ÖĞRENCİ ÇALIŞMA BÖL.	0	34.24	3.3	2.723	2.50	0.92
Z020	TEKNİK PERSONEL	0	16.95	3.3	1.523	1.40	0.92
Z023	TEKNİK PERSONEL	0	17.05	3.3	2.056	1.90	0.92
Z024	TEKNİK PERSONEL	0	18.19	3.3	2.209	2.10	0.95
Z035	AKADEMİSYEN ODASI	0	10.47	3.3	0.866	0.80	0.92
Z036	AKADEMİSYEN ODASI	0	12.6	3.3	0.980	0.90	0.92
Z037	AKADEMİSYEN ODASI	0	11.41	3.3	0.948	0.90	0.95
Z040	AKADEMİSYEN ODASI	0	17.47	3.3	1.473	1.30	0.88
Z044	TEKNİK PERSONEL	0	13.26	3.3	2.010	1.70	0.85
Z045	TEKNİK PERSONEL	0	13.26	3.3	2.042	1.70	0.83
Z051	ANFİ (225 kişilik)	0	221.25	3.9	21.240	21.20	1.00



## Ek 2'nin devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Isı Kaybı (kWatt)	HAP Isı kaybı (kWatt)	Isı Kaybı Fark (%)
Z052	ANFI (186 kişilik)	0	176.25	3.9	19.302	17.90	0.93
Z056	ÖĞRENCİ KULÜBÜ	0	44.57	3	1.387	1.30	0.94
Z057	ÖĞRENCİ KULÜBÜ	0	33.03	3	1.066	1.00	0.94
Z058	BİLGİSAYAR LAB.	0	288.81	4	21.815	21.40	0.98
Z059	DERSLİK	0	251.7	4	16.769	16.50	0.98
Z063	ASİSTAN ODASI	0	16.62	3	1.516	1.40	0.92
Z064	DOÇENT ODASI	0	16.62	3	1.351	1.20	0.89
Z065	PROFESÖR ODASI	0	22.12	3	1.535	1.40	0.91
Z066	PROFESÖR ODASI	0	22.12	3	1.535	1.40	0.91
Z067	PROFESÖR ODASI	0	16.62	3	1.351	1.20	0.89
Z068	DOÇENT ODASI	0	16.62	3	1.560	1.40	0.90
Z069	DOÇENT ODASI	0	16.62	3	1.435	1.30	0.91
Z070	ASİSTAN ODASI	0	16.62	3	1.433	1.30	0.91
Z075	ASİSTAN ODASI	0	15.62	3	1.517	1.30	0.86
Z076	DOÇENT ODASI	0	15.62	3	1.438	1.20	0.83
Z077	PROFESÖR ODASI	0	20.23	3	1.574	1.30	0.83
Z078	PROFESÖR ODASI	0	20.23	3	1.574	1.30	0.83
Z079	DOÇENT ODASI	0	15.62	3	1.438	1.20	0.83
Z080	ASİSTAN ODASI	0	15.62	3	1.493	1.30	0.87
Z082	PROFESÖR ODASI	,	20.23	3	1.692	1.40	0.83
Z083	DOÇENT ODASI	0	15.62	3	1.438	1.20	0.83

## Ek 2'nin devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Isı Kaybı (kWatt)	HAP Isı kaybı (kWatt)	Isı Kaybı Fark (%)
Z084	ASİSTAN ODASI	0	15.62	3	1.438	1.20	0.83
Z085	BÜRO	0	19.92	3	2.375	2.00	0.84
Z086	DERSLİK	0	34.1	3.5	3.451	4.00	1.16
Z087	ÇALIŞMA SALONU	0	139.17	4.85	19.116	20.90	1.09
1007	DERSLİK	1	88.65	3.3	7.103	7.50	1.06
1008	DERSLİK	1	88.45	3.3	7.099	7.40	1.04
1009	DERSLİK	1	88.45	3.3	6.985	7.40	1.06
1010	DERSLİK	1	88.7	3.3	7.541	7.80	1.03
1013	NETWORK ODASI	1	16.68	3	1.216	1.40	1.15
1014	BASKI BİRİMİ	1	16.68	3	0.927	1.10	1.19
1015	UZMAN ODASI	1	16.68	3	0.927	1.10	1.19
1016	UZMAN ODASI	1	16.68	3	0.927	1.10	1.19
1017	MİSAFİR AKADEMİSYEN	1	16.68	3	0.927	1.10	1.19
1018	UZMAN ODASI	1	16.68	3	1.008	1.20	1.19
1020	FOTOKOPİ	1	16.68	3	0.810	1.10	1.36
1021	DİNLENME SALONU	1	33.68	3	1.966	2.40	1.22
1023	PROF. ODASI	1	20.29	3	1.219	1.40	1.15
1024	PROF. ODASI	1	20.29	3	1.026	1.20	1.17
1025	PROF. ODASI	1	20.29	3	1.025	1.20	1.17
1026	PROF. ODASI	1	20.29	3	1.002	1.20	1.20
1027	PROF. ODASI	1	20.29	3	1.002	1.20	1.20

## Ek 2'nin devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Isı Kaybı (kWatt)	HAP Isı kaybı (kWatt)	Isı Kaybı Fark (%)
1028	PROF. ODASI	1	20.29	3	1.026	1.20	1.17
1029	DOÇENT ODASI	1	20.29	3	1.026	1.20	1.17
1030	PROF. ODASI	1	20.29	3	1.002	1.20	1.20
1031	PROF. ODASI	1	20.29	3	1.002	1.20	1.20
1032	DOÇENT ODASI	1	20.29	3	1.026	1.20	1.17
1033	PROF. ODASI	1	20.29	3	1.026	1.20	1.17
1034	PROF. ODASI	1	19.96	3	1.986	2.00	1.01
1035	DERSLİK	1	179.83	3.3	16.308	15.60	0.96
1036	DERSLİK	1	106.19	3.3	8.153	8.00	0.98
1037	DERSLİK	1	251.77	3.3	19.569	19.10	0.98
1038	LİSANSÜSTÜ SEMİNER SA.	1	47.48	2.8	6.427	6.30	0.98
1039	CAD-CAM / DERSLİK	1	48.15	2.8	4.164	4.50	1.08
1040	SEMİNER SALONU	1	65.74	2.63	6.074	5.80	0.95
1042	SEKRETER	1	39.77	2.63	4.144	4.00	0.97
1043	TOPLANTI SALONU	1	58.47	2.63	8.121	7.50	0.92
1044	BÖLÜM BAŞKAN YRD.	1	21.39	2.63	2.658	2.40	0.90
1045	BÖLÜM BAŞKAN YRD.	1	21.39	2.63	2.515	2.70	1.07
1046	BÖLÜM BAŞKANI	1	46.42	2.63	5.935	5.80	0.98
2001	ASİSTAN ODASI	2	16.05	3	2.406	2.50	1.04
2002	ASİSTAN ODASI	2	16.33	3	1.655	1.80	1.09
2003	ASİSTAN ODASI	2	17	3	1.722	1.90	1.10

## Ek 2'nin devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Isı Kaybı (kWatt)	HAP Isı kaybı (kWatt)	Isı Kaybı Fark (%)
2004	SEKRETER+ARŞİV	2	17	3	1.636	1.80	1.10
2005	SEKRETER+ARŞİV	2	17	3	1.636	1.80	1.10
2006	ASİSTAN ODASI	2	17	3	1.636	1.80	1.10
2007	ASİSTAN ODASI	2	17	3	1.636	1.80	1.10
2008	ASİSTAN ODASI	2	17	3	1.636	1.80	1.10
2009	SEKRETER+ARŞİV	2	17	3	1.636	1.80	1.10
2010	ASİSTAN ODASI	2	17	3	1.722	1.90	1.10
2011	ASİSTAN ODASI	2	17	3	1.722	1.90	1.10
2012	SEKRETER+ARŞİV	2	25.57	3	2.061	2.40	1.16
2013	ASİSTAN ODASI	2	17	3	1.636	1.80	1.10
2014	ASİSTAN ODASI	2	17	3	1.722	1.90	1.10
2015	SEKRETER+ARŞİV	2	16.71	3	2.579	2.60	1.01
2016	DOÇENT ODASI	2	19.45	3	3.057	3.00	0.98
2017	DOÇENT ODASI	2	19.8	3	1.964	2.00	1.02
2018	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02
2019	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02
2020	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02
2021	ASİSTAN ODASI	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02
2022	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02
2023	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02
2024	YEDEK ODA	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02

## Ek 2'nin devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yütk. (m)	MTH Isı Kaybı (kWatt)	HAP Isı kaybı (kWatt)	Isı Kaybı Fark (%)
2025	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02
2026	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02
2027	ASİSTAN ODASI	2	27.18	3	2.324	2.20	0.95
2028	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.957	2.00	1.02
2029	DOÇENT ODASI	2	20.26	3	2.737	2.70	0.99
B012	HOL	-1	49.36	3.6	3.39	3.2	0.94
B013	KORIDOR	-1	129.62	3.12	6.527	5.7	0.87
Z001	MAKİNA ELEMANLARI LAB.	0	207.49	3.3	23.004	20.5	0.89
Z006	MAKİNA ELEMANLARI LAB.	0	314.73	3.3	27.363	25.6	0.94
Z008	ASİSTAN ÇALIŞMA LAB.	0	34.76	3.3	3.465	3.8	1.10
Z009	TERMODİNAMİK LAB.	0	225.3	3.3	13.047	11.6	0.89
Z010	WC BAY	0	16.2	3	1.581	1.4	0.89
Z011	WC BAYAN	0	13.2	3	1.404	1.2	0.85
Z015	MAKİNA DİNAMIĞI LAB.	0	27.9	3.3	2.626	2.6	0.99
Z016	WC	0	5.3	3	0.625	0.7	1.12
Z017	MOTORLAR LAB.	0	246.6	3.3	19.668	19.3	0.98
Z018	LABORATUAR	0	72.7	3.3	4.622	4.4	0.95
Z022	MEKANİK LAB.	0	139.4	3.3	11.811	11.4	0.97
Z025	LABORATUAR	0	383.9	3.3	39.795	35.3	0.89
Z026	LABORATUAR	0	53.7	3.3	3.364	3.2	0.95
Z027	LABORATUAR	0	13.1	3.3	0.833	0.8	0.96

## Ek 2'nin devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yütk. (m)	MTH Isı Kaybı (kWatt)	HAP Isı kaybı (kWatt)	Isı Kaybı Fark (%)
Z028	LABORATUAR	0	19.7	3.3	1.333	1.3	0.98
Z030	LABORATUAR HOLÜ	0	4.4	3.3	0.276	0.3	1.09
Z031	LABORATUAR	0	34.8	3.3	2.277	2.1	0.92
Z032	MAKİNA DİNAMIĞI LAB.	0	85.5	3.3	5.344	5.1	0.95
Z033	DENEY DÜZENEGİ	0	17.2	3.3	1.076	1	0.93
Z034	LABORATUAR	0	133.8	3.3	8.358	7.9	0.95
Z038	ELEKTRON MIKROSKOPU	0	33	3.3	2.06	2	0.97
Z039	LABORATUAR	0	15.1	3.3	0.943	0.9	0.95
Z041	MIKROSKOP ODASI	0	17.9	3.3	1.116	1.1	0.99
Z042	LABORATUAR HOLÜ	0	51.4	3.3	3.213	3.1	0.96
Z043	HOL	0	69	3.3	7.738	6.9	0.89
Z046	LABORATUAR	0	358.7	3.3	32.699	29.3	0.90
Z047	DENEY DÜZENEGİ	0	35.2	3.3	2.202	2.1	0.95
Z048	DENEY DÜZENEGİ	0	16.3	3.3	2.157	1.9	0.88
Z049	DENEY DÜZENEGİ	0	24.5	3.3	3.233	2.8	0.87
Z050	DENEY DÜZENEGİ	0	16.3	3.3	2.125	1.9	0.89
Z053	ERKEK ÖĞRENCİ WC	0	38.9	3	2.385	2.4	1.01
Z054	KIZ ÖĞRENCİ WC	0	15	3	1.161	1.1	0.95
Z060	WC ERKEK	0	17.1	3	0.827	0.7	0.85
Z061	DEPO	0	4.2	3	0.086	0	0.00
Z062	ARŞİV	0	22.1	3	1.267	1.2	0.95

## Ek 2'nin devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Isı Kaybı (kWatt)	HAP Isı kaybı (kWatt)	Isı Kaybı Fark (%)
Z071	ARŞİV	0	22.1	3	1.267	1.1	0.87
Z072	WC ERKEK	0	17.8	3	0.873	0.8	0.92
Z073	DEPO	0	3.4	3	0.069	0	0.00
Z074	ARŞİV	0	19.9	3	1.462	1.3	0.89
Z081	ARŞİV	0	20.2	3	1.334	1.2	0.90
Z089	KORİDOR	0	133.9	3.3	6.328	6.4	1.01
Z090	KORİDOR	0	138	3.3	12.431	11.5	0.93
Z091	KORİDOR	0	133.3	3.3	12.012	11.2	0.93
Z092	KORİDOR	0	21.2	3.3	4.367	3.9	0.89
Z093	ÖĞRENCİ HOLÜ	0	668.2	4	26.908	27.5	1.02
Z094	KORİDOR	0	152.1	4	7.394	8.3	1.12
Z095	KORİDOR	0	43.9	3	3.799	3.7	0.97
Z096	AKADEMİSYEN KORİDOR	0	92.1	3	1.899	1.9	1.00
Z097	KORİDOR	0	41.1	3	6.408	5.5	0.86
Z099	AKADEMİK İÇ KORİDOR	0	10.6	3	0.219	0.1	0.46
Z100	AKADEMİK İÇ KORİDOR	0	21.4	3	0.442	0.2	0.45
Z101	AKADEMİK İÇ KORİDOR	0	8.7	3	0.179	0.1	0.56
Z102	AKADEMİK İÇ KORİDOR	0	8.7	3	0.179	0.1	0.56
Z103	AKADEMİK İÇ KORİDOR	0	8.6	3	0.178	0.1	0.56
Z104	ALT GALERİ	0	205.1	3.885	11.669	12.3	1.05
Z105a	ŞEREF HOLÜ KISIM 1	0	208.7	8.35	18.717	19.7	1.05

## Ek 2'nin devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Isı Kaybı (kWatt)	HAP Isı kaybı (kWatt)	Isı Kaybı Fark (%)
Z105b	ŞEREF HOLÜ KISIM 2	0	65.9	5.33	6.039	5.7	0.94
1001	TERMOAKIŞ LAB.	1	105.2	3.3	13.157	12.5	0.95
1002	ARŞ. GÖR. LABORATUAR	1	34.5	3.3	3.564	3.4	0.95
1003	ISITMA VE İKLİMLENDİRME LAB.	1	154.8	3.3	15.54	15.3	0.98
1004	ERKEK ÖĞRENCİ WC	1	38.8	3	3.162	3.6	1.14
1005	KIZ ÖĞRENCİ WC	1	14.7	3	1.563	1.6	1.02
1011	WC BAYAN	1	13.4	3	0.559	0.7	1.25
1022	WC ERKEK	1	16	3	0.49	0.7	1.43
1041	ARŞİV	1	21.8	3.3	0.913	1	1.10
1047	MERDİVEN HOLÜ	1	50.6	3.3	8.321	7.8	0.94
1048	ÖĞRENCİ HOLÜ	1	377.8	3	17.5	19.6	1.12
1049	KORIDOR	1	298.5	3	22.653	24.9	1.10
1056	KORIDOR	1	30	3	3.839	3.7	0.96
1058	GALERİ	1	206.4	2.8	15.734	16.4	1.04
1059	HOL	1	38	2.63	1.592	1.7	1.07
2030	KÜRSÜ HOLÜ	2	51.4	3	2.581	2.9	1.12
2031	HOL	2	25.7	3	1.075	1.2	1.12
2032	KÜRSÜ HOLÜ	2	39	3	1.634	1.8	1.10
2033	HOL	2	25.9	3	1.084	1.2	1.11
2034	KÜRSÜ HOLÜ	2	50.7	3	6.036	6	0.99

Genel Toplam:

875.518

855.10

0.977



Ek 3. KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü Binası Mahal Isı Kazancı Karşılaştırmaları

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Duyulur		HAP Duyulur		Soğutma Farkı (%)
					Soğutma (kWatt)	Soğutma (kWatt)	Soğutma (kWatt)	Soğutma (kWatt)	
B009	DERSLİK	-1	84.82	3.6	7.612	Mayıs 17.00	8.3	Mayıs 17.00	1.09
B010	DERSLİK	-1	87.03	3.6	18.139	Mayıs 17.00	16.2	Mayıs 18.00	0.89
Z002	TEKNİK PERSONEL	0	34.94	3.3	4.438	Ağustos 16.00	3.5	Temmuz 16.00	0.79
Z003	AKADEMİSYEN ODASI	0	19.33	3.3	1.156	Temmuz 16.00	1.1	Haziran 16.00	0.95
Z004	TEKNİK PERSONEL	0	14.24	3.3	0.933	Temmuz 16.00	0.9	Mayıs 16.00	0.96
Z005	AKADEMİSYEN ODASI	0	36.02	3.3	2.268	Temmuz 16.00	2.1	Haziran 16.00	0.93
Z007	TEKNİK PERSONEL	0	34.97	3.3	3.937	Ağustos 16.00	3.6	Eylül 16.00	0.91
Z012	Y. LİSANS ÖĞRENCİ ÇALIŞMA BÖL.	0	32.5	3.3	4.879	Ağustos 16.00	4.8	Ağustos 16.00	0.98
Z013	AKADEMİSYEN ODASI	0	17.44	3.3	1.387	Eylül 10.00	1.6	Temmuz 16.00	1.15
Z014	TEKNİK PERSONEL	0	16.07	3.3	1.511	Eylül 10.00	1.7	Temmuz 16.00	1.13
Z019	Y.LİSANS ÖĞRENCİ ÇALIŞMA BÖL.	0	34.24	3.3	2.581	Temmuz 16.00	2.4	Temmuz 16.00	0.93
Z020	TEKNİK PERSONEL	0	16.95	3.3	1.303	Temmuz 16.00	1.2	Temmuz 16.00	0.92
Z023	TEKNİK PERSONEL	0	17.05	3.3	2.237	Ağustos 16.00	1.8	Ağustos 16.00	0.80
Z024	TEKNİK PERSONEL	0	18.19	3.3	2.37	Ağustos 16.00	1.9	Ağustos 16.00	0.80
Z035	AKADEMİSYEN ODASI	0	10.47	3.3	0.922	Temmuz 16.00	0.9	Mayıs 16.00	0.98
Z036	AKADEMİSYEN ODASI	0	12.6	3.3	0.926	Temmuz 16.00	0.9	Mayıs 16.00	0.97
Z037	AKADEMİSYEN ODASI	0	11.41	3.3	1	Temmuz 16.00	0.9	Temmuz 16.00	0.90
Z040	AKADEMİSYEN ODASI	0	17.47	3.3	1.455	Temmuz 16.00	1.3	Temmuz 16.00	0.89
Z044	TEKNİK PERSONEL	0	13.26	3.3	1.284	Temmuz 16.00	1.5	Haziran 16.00	1.17
Z045	TEKNİK PERSONEL	0	13.26	3.3	1.299	Temmuz 16.00	1.5	Haziran 16.00	1.15

## Ek 3'ün devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Duyulur		HAP Duyulur		Soğutma Farkı (%)
					Soğutma (kWatt)	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Soğutma (kWatt)	Soğutma (kWatt)	
Z051	ANFİ (225 kişilik)	0	221.25	3.9	27.762	Mayıs 18.00	27	Mayıs 21.00	0.97
Z052	ANFİ (186 kişilik)	0	176.25	3.9	26.907	Mayıs 17.00	22.8	Mayıs 19.00	0.85
Z056	ÖĞRENCİ KULÜBÜ	0	44.57	3	1.163	Mart 15.00	1.2	Eylül 18.00	1.03
Z057	ÖĞRENCİ KULÜBÜ	0	33.03	3	0.984	Mart 15.00	1	Eylül 18.00	1.02
Z058	BİLGİSAYAR LAB.(100 kişilik)	0	288.81	4	20.026	Mayıs 09.00	22.7	Mayıs 16.00	1.13
Z059	DERSLİK (120 kişilik)	0	251.7	4	17.516	Mayıs 09.00	17.5	Mayıs 16.00	1.00
Z063	ASİSTAN ODASI	0	16.62	3	2.652	Eylül 15.00	2.3	Eylül 16.00	0.87
Z064	DOÇENT ODASI	0	16.62	3	2.341	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.90
Z065	PROFESÖR ODASI	0	22.12	3	2.457	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.85
Z066	PROFESÖR ODASI	0	22.12	3	2.457	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.85
Z067	PROFESÖR ODASI	0	16.62	3	2.341	Eylül 15.00	2	Eylül 16.00	0.85
Z068	DOÇENT ODASI	0	16.62	3	2.535	Eylül 15.00	2.2	Eylül 16.00	0.87
Z069	DOÇENT ODASI	0	16.62	3	2.535	Eylül 15.00	2.2	Eylül 16.00	0.87
Z070	ASİSTAN ODASI	0	16.62	3	2.458	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.85
Z075	ASİSTAN ODASI	0	15.62	3	1.451	Haziran 9.00	1.4	Haziran 09.00	0.96
Z076	DOÇENT ODASI	0	15.62	3	1.345	Haziran 9.00	1.3	Haziran 09.00	0.97
Z077	PROFESÖR ODASI	0	20.23	3	1.381	Haziran 9.00	1.4	Haziran 09.00	1.01
Z078	PROFESÖR ODASI	0	20.23	3	1.381	Haziran 9.00	1.4	Haziran 09.00	1.01
Z079	DOÇENT ODASI	0	15.62	3	1.345	Haziran 9.00	1.3	Haziran 09.00	0.97
Z080	ASİSTAN ODASI	0	15.62	3	1.396	Haziran 9.00	1.4	Haziran 09.00	1.00

## Ek 3'ün devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Duyulur		HAP Duyulur		Soğutma Farkı (%)
					Soğutma (kWatt)		Soğutma (kWatt)		
Z082	PROFESÖR ODASI	,	20.23	3	1.648	Haziran 9.00	1.5	Haziran 15.00	0.91
Z083	DOÇENT ODASI	0	15.62	3	1.345	Haziran 9.00	1.3	Haziran 09.00	0.97
Z084	ASİSTAN ODASI	0	15.62	3	1.268	Haziran 9.00	1.3	Haziran 09.00	1.03
Z085	BÜRO	0	19.92	3	1.169	Haziran 9.00	1.5	Haziran 16.00	1.28
Z086	DERSLİK	0	34.1	3.5	7.321	Mayıs 9.00	7.8	Mayıs 18.00	1.07
Z087	ÇALIŞMA SALONU (40 kişilik)	0	139.17	4.85	24.244	Mayıs 09.00	17.3	Mayıs 15.00	0.71
1007	DERSLİK	1	88.65	3.3	13.329	Mayıs 16.00	11.9	Eylül 18.00	0.89
1008	DERSLİK	1	88.45	3.3	13.328	Mayıs 16.00	11.8	Eylül 18.00	0.89
1009	DERSLİK	1	88.45	3.3	13.173	Mayıs 16.00	11.8	Eylül 18.00	0.90
1010	DERSLİK	1	88.7	3.3	13.638	Mayıs 16.00	12.2	Eylül 18.00	0.89
1013	NETWORK ODASI	1	16.68	3	2.665	Eylül 15.00	2.4	Eylül 16.00	0.90
1014	BASKI BİRİMİ	1	16.68	3	2.642	Eylül 15.00	2.4	Eylül 17.00	0.91
1015	UZMAN ODASI	1	16.68	3	2.202	Eylül 15.00	2	Eylül 16.00	0.91
1016	UZMAN ODASI	1	16.68	3	2.202	Eylül 15.00	2	Eylül 16.00	0.91
1017	MİSAFİR AKADEMİSYEN	1	16.68	3	2.202	Eylül 15.00	2	Eylül 16.00	0.91
1018	UZMAN ODASI	1	16.68	3	2.386	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.88
1020	FOTOKOPI	1	16.68	3	2.322	Eylül 15.00	2.1	Eylül 17.00	0.90
1021	DİNLENME SALONU	1	33.68	3	4.812	Eylül 15.00	4	Eylül 16.00	0.83
1023	PROF.ODASI	1	20.29	3	1.371	Temmuz 16.00	1.7	Haziran 15.00	1.24
1024	PROF.ODASI	1	20.29	3	0.926	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.40

## Ek 3'ün devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Duyulur		HAP Duyulur		Soğutma Farkı (%)
					Soğutma (kWatt)		Soğutma (kWatt)		
1025	PROF. ODASI	1	20.29	3	0.925	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.41
1026	PROF. ODASI	1	20.29	3	0.875	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.49
1027	PROF. ODASI	1	20.29	3	0.872	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.49
1028	PROF. ODASI	1	20.29	3	0.926	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.40
1029	DOÇENT ODASI	1	20.29	3	0.926	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.40
1030	PROF. ODASI	1	20.29	3	0.872	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.49
1031	PROF. ODASI	1	20.29	3	0.872	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.49
1032	DOÇENT ODASI	1	20.29	3	0.926	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.40
1033	PROF. ODASI	1	20.29	3	0.926	Temmuz 16.00	1.3	Haziran 09.00	1.40
1034	PROF. ODASI	1	19.96	3	1.173	Temmuz 16.00	1.5	Haziran 16.00	1.28
1035	DERSLİK	1	179.83	3.3	19.298	Mayıs 17.00	19.8	Mayıs 20.00	1.03
1036	DERSLİK	1	106.19	3.3	12.584	Mayıs 17.00	12.7	Mayıs 21.00	1.01
1037	DERSLİK	1	251.77	3.3	21.485	Mayıs 17.00	22.4	Mayıs 19.00	1.04
1038	LİSANSÜSTÜ SEMİNER SA.	1	47.48	2.8	9.522	Mayıs 17.00	7.1	Mayıs 18.00	0.75
1039	CAD-CAM / DERSLİK	1	48.15	2.8	9.297	Mayıs 17.00	7.8	Mayıs 18.00	0.84
1040	SEMİNER SALONU	1	65.74	2.63	8.716	Temmuz 16.00	9.2	Mayıs 19.00	1.06
1042	SEKRETER	1	39.77	2.63	5.424	Temmuz 16.00	5.1	Haziran 16.00	0.94
1043	TOPLANTI SALONU	1	58.47	2.63	6.643	Temmuz 16.00	8.4	Haziran 16.00	1.26
1044	BÖLÜM BAŞKAN YRD.	1	21.39	2.63	1.678	Temmuz 16.00	2.2	Haziran 16.00	1.31
1045	BÖLÜM BAŞKAN YRD.	1	21.39	2.63	1.705	Temmuz 16.00	2.4	Haziran 16.00	1.41

## Ek 3'ün devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Duyulur		HAP Duyulur		Soğutma Farkı (%)
					Soğutma (kWatt)		Soğutma (kWatt)		
1046	BÖLÜM BAŞKANI	1	46.42	2.63	5.005	Temmuz 16.00	5.2	Haziran 16.00	1.04
2001	ASİSTAN ODASI	2	16.05	3	2.842	Eylül 15.00	2.6	Eylül 16.00	0.91
2002	ASİSTAN ODASI	2	16.33	3	2.543	Eylül 15.00	2.2	Eylül 16.00	0.87
2003	ASİSTAN ODASI	2	17	3	2.644	Eylül 15.00	2.2	Eylül 16.00	0.83
2004	SEKRETER+ARŞİV	2	17	3	2.519	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.83
2005	SEKRETER+ARŞİV	2	17	3	2.519	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.83
2006	ASİSTAN ODASI	2	17	3	2.449	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.86
2007	ASİSTAN ODASI	2	17	3	2.449	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.86
2008	ASİSTAN ODASI	2	17	3	2.449	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.86
2009	SEKRETER+ARŞİV	2	17	3	2.519	Eylül 15.00	2.1	Eylül 16.00	0.83
2010	ASİSTAN ODASI	2	17	3	2.644	Eylül 15.00	2.2	Eylül 16.00	0.83
2011	ASİSTAN ODASI	2	17	3	2.644	Eylül 15.00	2.2	Eylül 16.00	0.83
2012	SEKRETER+ARŞİV	2	25.57	3	2.863	Eylül 15.00	2.6	Ağustos 16.00	0.91
2013	ASİSTAN ODASI	2	17	3	2.449	Eylül 15.00	2.1	Eylül 17.00	0.86
2014	ASİSTAN ODASI	2	17	3	2.644	Eylül 15.00	2.2	Eylül 16.00	0.83
2015	SEKRETER+ARŞİV	2	16.71	3	2.866	Eylül 15.00	2.3	Eylül 16.00	0.80
2016	DOÇENT ODASI	2	19.45	3	2.261	Temmuz 16.00	2.5	Temmuz 16.00	1.11
2017	DOÇENT ODASI	2	19.8	3	1.781	Temmuz 16.00	2	Haziran 16.00	1.12
2018	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.597	Temmuz 16.00	1.8	Haziran 16.00	1.13
2019	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.597	Temmuz 16.00	1.8	Haziran 16.00	1.13

Ek 3'ün devamı.

Mahal No	Mahal Adı	Kat No	Mahal Alanı (m <sup>2</sup> )	Mahal Yük. (m)	MTH Duyulur		HAP Duyulur		Soğutma Farkı (%)
					Soğutma (kWatt)		Soğutma (kWatt)		
2020	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.597	Temmuz 16.00	1.8	Haziran 16.00	1.13
2021	ASİSTAN ODASI	2	20.61	3	1.52	Temmuz 16.00	1.7	Haziran 16.00	1.12
2022	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.597	Temmuz 16.00	1.8	Haziran 16.00	1.13
2023	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.597	Temmuz 16.00	1.8	Haziran 16.00	1.13
2024	YEDEK ODA	2	20.61	3	1.52	Temmuz 16.00	1.8	Haziran 16.00	1.18
2025	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.597	Temmuz 16.00	1.8	Haziran 16.00	1.13
2026	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.597	Temmuz 16.00	1.8	Haziran 16.00	1.13
2027	ASİSTAN ODASI	2	27.18	3	1.883	Temmuz 16.00	1.9	Haziran 16.00	1.01
2028	DOÇENT ODASI	2	20.61	3	1.597	Temmuz 16.00	1.8	Haziran 16.00	1.13
2029	DOÇENT ODASI	2	20.26	3	1.872	Temmuz 16.00	2	Haziran 16.00	1.07

Genel Toplam:

471.569

451

## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Trabzon'un Of ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini Özel Bilfen Lisesi'nde tamamladı. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2004 yılında mezun oldu. 2005-2013 yılları arasında özel sektörde mekanik tesisat proje mühendisi olarak çalıştı. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Of Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümüne ÖYP kadrosu ile atanmış olup halen bu görevini sürdürmektedir. 2013-2014 Eğitim-Öğretim Güz Yarıyılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek Lisans eğitimine devam etmekte olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.