

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MALATYA’DA ÖRNEK BİR BİNADA ENERJİ SİMÜLASYONU

AHMET ERDOĞAN
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

MALATYA
TEMMUZ 2012

Tezin Başlığı: Malatya’da Örnek Bir Binada Enerji Simülasyonu

Tezi Hazırlayan: Ahmet ERDOĞAN

Sınav Tarihi: 27 Temmuz 2012

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri:

Prof. Dr. Mehmet YILMAZ (Jüri Başkanı)

Prof. Dr. Suat CANBAZOĞLU (Tez Danışmanı)

Yrd. Doç. Dr. İ. Gökhan AKSOY

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Malatya’da Örnek Bir Binada Enerji Simülasyonu” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ahmet ERDOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MALATYA'DA ÖRNEK BİR BİNADA ENERJİ SİMÜLASYONU

Ahmet ERDOĞAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

67+viii sayfa

2012

Danışman: Prof. Dr. Suat CANBAZOĞLU

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de binalar en önemli enerji tüketen unsurlardan biridir ve bu nedenle atmosfere salınan sera gazlarından da önemli ölçüde sorumludurlar. HVAC kaynaklı birimler, aydınlatma ve diğer ihtiyaçlardan gelen yükler binalarda enerji tüketen temel unsurlardır.

Bu tez çalışmasında, ülkemizde ve dünyada binaların enerji tüketimindeki yerine dikkat çekilmiştir. Yapılabilecek çalışmalarla; binalarda konfordan ödün vermeden, enerjiyi en verimli şekilde kullanmanın yolları aranmıştır. Bu sebeple Malatya ili için örnek bir binada enerji verimliliği analizi yapılmıştır. Farklı HVAC sistemleri seçilerek örnek binada enerji simülasyonları yapılmıştır. Bu farklı sistemlerin yıllık enerji tüketim miktarları ve maliyetleri, yatırım maliyetleri, basit geri ödeme süreleri ve atmosfere salınımına sebebiyet verilen karbondioksit miktarları karşılaştırılmıştır. Örnek yapı için ısı yalıtımının etkisi incelenmiştir. Dış duvarların yalıtımlı, pencerelerin çift camlı olma durumlarındaki enerji tasarrufu ve sürdürülebilirlikleri karşılaştırılmıştır. Enerji simülasyonlarını gerçekleştirmek için Carrier HAP programından faydalanılmıştır.

Bu çalışmada; yıllık enerji maliyetinin ve atmosfere salınan CO₂ miktarının düşük olması, konfor şartlarını sağlama konusundaki yeteneği, FCU sistemlerinin örnek bina için uygun olduğunu göstermiştir. Mimari alternatiflerin, önemli ölçüde enerji tasarrufu sağladıkları görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Enerji Verimliliği, Binalarda Enerji Simülasyonu, HVAC sistemleri, Carrier HAP Programı

ABSTRACT

Master Thesis

ENERGY SIMULATION IN A SAMPLE BUILDING IN MALATYA

Ahmet ERDOĞAN

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

67+viii pages

2012

Supervisor: Prof. Dr. Suat CANBAZOĞLU

As all around the world, in our country, buildings are one of the most important energy consuming factors, so they have an important responsibility for the greenhouse gases released to atmosphere. Loads such as HVAC Units, lightening, and the other outlays from the other needs are the basic energy consuming elements in the buildings.

In this thesis, it is focused on contribution of buildings on the energy-consumption both in our country and around the world. By the possible studies; it is searched to find the ways to use energy most efficiently without comprising comfort. For this reason, for Malatya city, energy efficiency analysis in a sample building has been done. By choosing different HVAC systems in the sample building, energy simulation has been performed. These systems; amount of annual energy consumption and cost, systems' investment cost, basic payback period and carbon dioxide gas caused to release into atmosphere have been compared. The effect of heat insulation has been analysed for sample building. Under the insulated outer walls and double glass windows, by energy saving and sustainability have been compared. Carrier HAP software has been used to carry out energy simulations.

In this study, annual energy cost and low amount of CO₂ emission, capability of guarantee comfort conditions have shown that FCU systems are suitable for the sample building. It has been observed that architectural alternatives considerably support energy saving.

KEYWORDS: Energy efficiency, Energy simulation in buildings, HVAC Systems, Carrier HAP software

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında bana bilgilerini ve tecrübelerini aktararak yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Suat CANBAZOĞLU'na;

Tez çalışmam boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Halil ERDOĞAN'a, annem Hülya ERDOĞAN'a ve eşim Ayşegül ERDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan yüksek lisans tezine konu olan çalışma, 2-5 Mayıs tarihleri arasında İstanbul'da düzenlenen ISK-SODEX 2012 Uluslararası Isıtma, Soğutma, Klima, Havalandırma, Yalıtım, Pompa, Vana, Tesisat, Su Arıtma ve Güneş Enerjisi Sistemleri Fuarını düzenleyen sektör kuruluşları tarafından düzenlenen Üniversitelerarası Lisans ve Lisansüstü Öğrencileri Isıtma-Soğutma-Klima-Yalıtım Tasarım ve Uygulama Proje Yarışmasına katılan yaklaşık 15 proje arasında ödül alamaya hak kazanan üç projeden biri olarak, mansiyon ödülüne layık görülmüştür. Bu tez çalışmasında kullanılan Carrier HAP programının lisanslı kullanımı ve TTMD tarafından verilen eğitim kursunun ücreti ilgili yarışmayı düzenleyen ve HVAC konusundaki sektör firmaları temsil eden ISKAV, TTMD, İSKİD, İZODER ve DOSİDER gibi vakıf ve dernek kuruluşları tarafından karşılanmıştır. İlgili kuruluşlara bu desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2012/4 proje numaralı “Binalarda Enerji Verimliliği” adlı proje kapsamında desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 Kapsam.....	2
1.3 Literatür Taraması	3
2. KURAMSAL TEMELLER.....	6
2.1 Türkiye'nin Enerji Görünümü.....	6
2.2 Enerji Verimliliği ve Binalar	7
2.3 Sürdürülebilirlik Kavramı ve Sürdürülebilir (Yeşil) Binalar	9
2.4 Türkiye'de Enerji Mevzuatı	10
2.4.1 Enerji Verimliliği Kanunu.....	10
2.4.2 TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları	11
2.4.3 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	12
2.5 Binalarda Enerji Verimliliği Amaçlı Yazılımlar	17
2.5.1 Hourly Analysis Program.....	18
2.5.2 DOE-2	19
2.5.3 EnergyPlus	20
2.5.4 E-Quest.....	21
2.5.5 TRACE 700.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Materyal	23
3.1.1 Örnek Bina: İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası.....	23
3.1.2 Malatya İli İklim Verileri	33
3.1.3 Bina Tasarım Parametreleri.....	34
3.1.4 Binada Simülasyonu Yapılacak HVAC Sistemleri	35
3.2 Yöntem	42
3.2.1 ASHRAE Transfer Fonksiyon Yöntemi	42
3.2.2 Karbondioksit Salınım Faktörleri.....	48

4. SİMÜLASYON HESAPLAMALARI	49
4.1 CAV Sistem Simülasyon Sonuçları	49
4.2 CAV Sistemi İçin Mimari Alternatif Simülasyon Sonuçları.....	52
4.3 VAV Sistem Simülasyon Sonuçları	53
4.4 VAV Sistemi İçin Mimari Alternatif Simülasyon Sonuçları	55
4.5 Fan-Coil + Taze Hava Sistem Simülasyon Sonuçları	56
4.6 Fan-Coil + Taze Hava Sistemi İçin Mimari Alternatif Çözümleri.....	58
4.7 HVAC Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	59
5. EKONOMİK ANALİZ	60
5.1 Mimari Alternatiflerin Maliyet Analizi.....	61
5.1.1 Dış Duvarlarda Yalıtımın Maliyet Analizi.....	61
5.1.2 Çift Camlı Pencere Uygulamasının Maliyet Analizi.....	62
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	63
7. KAYNAKLAR.....	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	DOE-2 Bilgi akış şeması.....	20
Şekil 2.2.	EnergyPlus simülasyon adımları.....	21
Şekil 3.1.	İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası'nın genel görünüşü.....	23
Şekil 3.2.	İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası Zemin Kat Mimarisi.....	24
Şekil 3.3.	İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası 1. Kat Mimarisi.....	25
Şekil 3.4.	İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası 2. Kat Mimarisi.....	26
Şekil 3.5.	İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası 3. Kat Mimarisi.....	27
Şekil 3.6.	İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası 4. Kat Mimarisi.....	28
Şekil 3.7.	Dış duvar-I perde beton bulunan kısımların yalıtımlı hal duvar katmanları....	29
Şekil 3.8.	Dış Duvar-I için program girdisi.....	30
Şekil 3.9.	Dış duvar-II gaz beton bulunan kısımların yalıtımlı hal duvar katmanları.....	30
Şekil 3.10.	Dış Duvar-II için program girdisi.....	31
Şekil 3.11.	Low-e özellikli yalıtım camı uygulaması.....	32
Şekil 3.12.	Çift camlı pencerenin katmanları.....	32
Şekil 3.13.	Çift camlı pencere için program girdisi.....	33
Şekil 3.14.	Mahallerin saatlere göre kullanım yüzdeleri.....	34
Şekil 3.15.	Mahallerde termostat kullanım saatleri.....	35
Şekil 3.16.	Sabit Hava Debili (CAV) Sistemin şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.17.	Sabit Hava Debili Sistem (CAV).....	37
Şekil 3.18.	Değişken Hava Debili (VAV) Sistemin şematik gösterimi.....	38
Şekil 3.19.	Değişken Hava Debili (VAV) Sistem.....	39
Şekil 3.20.	Fan-Coil (FCU) Sistemin şematik gösterimi.....	40
Şekil 3.21.	Fan-Coil (FCU) Sistemi.....	41
Şekil 3.22.	Yük hesap yöntemlerinin karışıklık-hassasiyet doğrusu.....	43
Şekil 4.1.	CAV sistemi için bileşen bazında yıllık enerji tüketim payları.....	51
Şekil 4.2.	VAV sistemi için bileşen bazında yıllık enerji tüketim payları.....	54
Şekil 4.3.	FCU sistemi için bileşen bazında yıllık enerji tüketim payları.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Türkiye’deki Enerji Kaynakları ve Rezervler.....	7
Çizelge 2.2.	Türkiye’de konutların enerji tüketimi – toplam enerji tüketimi.....	8
Çizelge 3.1.	Dış duvarların ısı geçirgenlik katsayıları.....	31
Çizelge 3.2.	Pencerelerin ısı geçirgenlik değerleri.....	33
Çizelge 3.3.	Malatya ili için iklim verileri.....	33
Çizelge 3.4.	Mahal Tasarım Parametreleri.....	34
Çizelge 3.5.	CAV Sistem karakteristikleri.....	37
Çizelge 3.6.	VAV sistem karakteristikleri.....	39
Çizelge 3.7.	FCU sistem karakteristikleri.....	41
Çizelge 3.8.	Birincil Enerji Kaynaklarının CO ₂ Dönüşüm Katsayıları.....	48
Çizelge 4.1.	Doğalgaz ve Elektrik Enerjilerinin Birim Fiyatları.....	49
Çizelge 4.2.	CAV sistemi için yıllık enerji tüketim miktarı.....	50
Çizelge 4.3.	CAV Sistemi Bileşen Bazında Yıllık Enerji Maliyeti.....	51
Çizelge 4.4.	CAV Sistemi için yıllık CO ₂ salınım miktarı.....	52
Çizelge 4.5.	CAV sistemi için mimari alternatiflerin aylık enerji tüketimleri.....	52
Çizelge 4.6.	CAV sistemi için mimari alternatiflerin yıllık CO ₂ salınım miktarları.....	53
Çizelge 4.7.	VAV Sistemi için yıllık enerji tüketim miktarı.....	53
Çizelge 4.8.	VAV Sistemi bileşen bazında yıllık enerji maliyeti.....	54
Çizelge 4.9.	VAV Sistemi için yıllık CO ₂ salınım miktarı.....	55
Çizelge 4.10.	VAV sistemi için mimari alternatiflerin aylık enerji tüketimleri.....	55
Çizelge 4.11.	VAV sistemi için mimari alternatiflerin yıllık CO ₂ salınım miktarları.....	56
Çizelge 4.12.	FCU Sistemi için yıllık enerji tüketim miktarı.....	56
Çizelge 4.13.	FCU Sistemi bileşen bazında yıllık enerji maliyeti.....	57
Çizelge 4.14.	FCU Sistemi için yıllık CO ₂ salınım miktarı.....	58
Çizelge 4.15.	FCU sistemi için mimari alternatiflerin aylık enerji tüketimleri.....	58
Çizelge 4.16.	FCU sistemi için mimari alternatiflerin yıllık CO ₂ salınım miktarları.....	59
Çizelge 4.17.	HVAC sistemlerinin bileşen bazında yıllık enerji tüketim maliyetleri.....	59
Çizelge 4.18.	Farklı FVAC sistemleri için yıllık karbondioksit salınım miktarları.....	60
Çizelge 5.1.	Yalıtım Maliyeti.....	61
Çizelge 5.2.	Farklı HVAC Sistemleri İçin Yalıtımın Geri Dönüş Süresi.....	61
Çizelge 5.3.	Çift Cam Maliyeti.....	62
Çizelge 5.4.	Farklı Sistemler İçin Çift Camlı Pencerenin Geri Dönüş Süresi.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

F_{al}	Balast katsayısı
$q_{e,t-n\Delta}$	$t-n\Delta$ zaman aralığındaki iletimle olan ısı kazancı
$q_{sp,t}$	İnsanlardan gelen duyulur ısı kazancı
$q_{win,t}$	Pencerelerden iletimle olan ısı transferi
SC	Gölgeleme katsayısı
SHG_p	Her bir insandan olan duyulur ısı kazancı
SHGF	t anında güneş ısı kazanç faktörü
$SHGF_{sh,t}$	t anında gölgeli alan için güneş ısı kazanç faktörü
$T_{o,t}$	t anındaki dış hava sıcaklığı
$T_{sol,t-n\Delta}$	$t-n\Delta$ zaman aralığındaki hava sıcaklığı
W_{lamp}	Aydınlatma Giriş Gücü
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BEP	Binalarda Enerji Performansı
CAV	Constant Air Volume (Sabit Hava Debisi)
CLF	Cooling Load Factor (Soğutma Yüğü Faktörü)
CLTD	Cooling Load Temperature Difference (Soğutma Yüğü Sıcaklık Farkları)
FCU	Fan-Coil Unit (Fan-Coil Ünitesi)
HAP	Hourly Analysis Program (Saatlik Analiz Programı)
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
VAV	Variable Air Volume (Değişken Hava Debisi)
WSHP	Water Source Heat Pump (Su Kaynaklı Isı Pompası)

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusuna ve sanayileşme oranına paralel olarak enerjiye olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Enerji, Dünya genelinde her ülke için siyasi ve ekonomik açıdan neredeyse en önemli unsur haline gelmiştir. Enerjide dışa bağımlı ülkelerin siyasi ve ekonomik güçleri de aynı oranda azalmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın son beş yıllık verilerine göre ülkemizde tüketilen enerjinin yaklaşık % 30'u üretilebilmektedir. Bu sebeple ülkemizde enerji dengesi bakımından önemli miktarda dışa bağımlılık mevcuttur. Bu dışa bağımlılığı azaltabildiğimiz oranda ekonomik ve siyasi gücümüzün artacağı aşikârdır. Bu amacı sağlamanın ilk adımı ise enerji tüketimimizi verimli hale getirmektir. Yani enerjiden sağladığımız faydada bir azalma meydana getirmeden, bu faydayı sağlayacak enerji tüketimini asgariye indirmemiz gerekmektedir [1].

Enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmakta ve fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. Fosil yakıtların hızla tükenmesi, temiz bir çevrenin ve doğal kaynakların gelecek kuşaklara aktarılmasını, yani sürdürülebilirliği zorlaştırmaktadır. Son yıllarda fosil kaynaklı yakıt tüketimindeki artış, atmosfere salınan sera gazı miktarının artmasına ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır.

Enerji tüketimini ve sera gazlarının atmosfere salınımını azaltmaya yönelik çalışmalarda binalar önemli yer tutmaktadır. IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) ülkeleri arasında yapılan bir çalışmaya göre binalar en önemli enerji tüketen kaynaklardan biri olarak toplamda kullanılan elektriğin yarısını, doğal gazın ise üçte birini tüketmektedirler ve oluşan sera gazlarının üçte birinden sorumludurlar [2]. Bu sebeple dünyada birçok ülke, binaların enerji tüketimini azaltmak için bir dizi yasal önlemler almıştır.

Ülkemizde de 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu, 2008 yılında ise Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği ve BEP (Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği) yayınlanmıştır ve yürürlüğe girmiştir. Daha sonra BEP 2010 yılında revize edilmiştir.

1.1 Amaç

Binalar; enerji tüketiminde ve bunun sonucunda atmosfere sera gazı salınımında önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple binaların enerji tüketimini ve atmosfere salınan sera gazlarının miktarını azaltmak için çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan tez çalışmasında Malatya iklim şartlarında eğitim amaçlı yapılan bir bina göz önüne alınmış, Carrier HAP paket programı kullanılarak farklı durumlar için yıllık simülasyonlar yapılmıştır. Tezde amaçlanan çalışmalar şunlardır;

- Farklı HVAC sistemleri seçilerek her bir sistemin yıllık enerji tüketim değerlerinin simüle edilerek hesaplanması, işletme maliyetleri açısından farklı sistemlerin karşılaştırılması,
- Farklı mimari seçeneklerin yatırım maliyetlerinin hesaplanması ve bu seçeneklerin her biri için enerji tüketim değerlerinin bulunarak, yatırım-işletme maliyetleri açısından karşılaştırılması,
- Farklı HVAC sistemlerinin ve farklı mimari alternatiflerin atmosfere salınan karbondioksit miktarının karşılaştırılması.

1.2 Kapsam

Yapılan tez çalışması; binaların, enerji verimliliği potansiyeli hakkında bilgi vermektedir. Seçilen bina eğitim amaçlı kullanılmakla birlikte akademik ve idari personellerin ofislerinin bulunmasıyla ofis amaçlı bina olarak da kullanılmaktadır. Tez çalışmasında farklı alternatif durumlar için karşılaştırmalar yapılacaktır. Karşılaştırılacak parametreler sırasıyla; yıllık enerji tüketim miktarları, yıllık enerji maliyetleri, yıllık CO₂ salınım miktarı ve farklı alternatifler için yatırım maliyetleridir.

Yapılan çalışmanın ikinci bölümünde; Türkiye'nin enerji dengesinden, binaların enerji verimliliği için öneminden, enerji verimliliği ile ilgili mevzuattan ve en çok kullanılan enerji simülasyon programlarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde; simülasyonu yapılacak binanın özellikleri, binaya uygulanacak HVAC sistemleri, farklı mimari durumlar ve ASHRAE Transfer Fonksiyon Yöntemi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde; farklı durumlar için simülasyon hesapları yapılmıştır. Yıllık enerji tüketimleri,

yıllık enerji maliyetleri, mimari alternatiflerin yatırım maliyetleri ve geri dönüş süreleri ve CO₂ salınım miktarları hesaplanmıştır. Tezin son bölümünde ise, sonuçlar ve tartışma yer almaktadır.

1.3 Literatür Taraması

Ünlü [3], yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Ankara ili için örnek bir ofis binasında Carrier HAP programını kullanarak farklı HVAC sistemlerinin yıllık enerji tüketim simülasyonlarını ve bu sistemlerin maliyet analizlerini yapmıştır. Farklı HVAC sistemleri olarak FCU, VAV, WSHP sistemlerini kullanmıştır. Yıllık enerji tüketim maliyeti olarak VAV sistemi düşük enerji maliyetine sahip olsa da FCU sisteminin düşük ilk yatırım maliyetine sahip olduğu belirlenmiştir.

Coşkun vd. [4], bir yerleşke dâhilindeki eğitim binasının enerji taramasını yapmışlardır. Öncelikle binanın mevcut durumu incelenmiş ve bu inceleme sonucunda alınabilecek önlemler vasıtası ile 3 ana başlıkta iyileştirme yapılabileceği tespit edilmiştir. Bunlar; bina dış kabuğuna yalıtım yapılması, Isıtma gereksinimi için daha verimli (yoğuşmalı) bir kazan kullanılması, binanın doğal aydınlatma olanakları, elektrik ve su tüketimindeki tasarruf şeklindedir. Çalışmada; binada alınabilecek önlemlerle % 32'ye varan enerji tasarrufu ve 89 ton kadar zararlı emisyonlarda azaltma olanağı sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Yılmaz [5], yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında İstanbul ili için örnek bir ofis binasında Carrier HAP programını kullanarak farklı HVAC sistemleri, farklı mimari alternatifler, fotovoltaiik sistem ve paket kojenerasyon ünitesi, bina oryantasyonunun değiştirilmesi gibi farklı unsurları kullanarak on bir ayrı alternatif durum oluşturmuştur. Her bir durum için enerji simülasyonu, maliyet analizi ve karbondioksit salınım miktarları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Milbrandt [6], yaptığı yüksek lisans tezinde Iowa Üniversitesi'nde bulunan bir laboratuvar binasının TRACE paket programını kullanarak beş farklı durum için yıllık enerji tüketiminin simülasyonunu yapmıştır.

Pan et al. [7], bir ofis binasında üç farklı model için EnergyPlus paket programını kullanarak enerji simülasyonu yapmışlardır ve bunu uygulayarak enerji verimliliğinin artırılması için devletler tarafından çıkarılan bina enerji etiketleme sistemlerini analiz etmişlerdir.

Eskin ve Türkmen [8], bir ofis binasında EnergyPlus paket programı yardımıyla, binalardaki iklim koşullarının, yalıtım ve ısı kütlesi, binanın konumlanışı, dış yüzey renkleri, dış gölgeleme, çeşitli cam-pencere sistemleri ile havalandırma debileri ve farklı dış hava kontrol stratejileri gibi parametrelerin yıllık ısıtma ve soğutma ihtiyacı üzerindeki etkilerini irdelemişlerdir.

Cheung et al. [9], altı farklı pasif tasarım stratejisi önererek binalarda enerji performansının artırılması için çalışma yapmışlardır. Çalışmada soğutma yüklerinde yaklaşık % 31,5 civarında bir azalma olabildiğini göstermişlerdir.

Aktacir vd. [10], yaptıkları çalışmada değişken hava debili ve sabit hava debili iklimlendirme sistemlerinin ekonomik uygunluklarını değerlendirmek için yük profil detaylarını, yatırım ve işletme maliyetlerini kullanarak ömür boyu maliyet hesabı yapmışlardır. Adana ili için örnek iki farklı binada, Şimdiki Değer Maliyet Yöntemi'ni kullanarak ömür boyu maliyet analizini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada; iki farklı bina kullanılmış, iki farklı işletme senaryosu ve iki farklı ekonomik ölçüm (gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için) dikkate alınmıştır. Bütün farklı durumlar göz önüne alındığında; yatırım maliyetinin Değişken Hava Debili Sistemler'de daha fazla olduğu görülmüştür. Fakat fan işletme maliyeti, Değişken Hava Debili Sistemler için daha düşük olduğundan, ömür boyu değerlendirmede Değişken Hava Debili Sistemler daha cazip bulunmuştur.

Koyuncuoğlu [11], yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında bir binanın dinamik soğutma yükünü hesaplamak için Visual Basic 6'da bir hesap programı yazmıştır. Soğutma yükü hesaplama uygulaması için İzmir'de bulunan bir ambalaj fabrikasının idari binasındaki 10 adet ofis odasını, hesaplama hacimleri olarak seçmiştir. Bu simülasyon programı için İzmir iline ait 1995, 1996, 1997 ve 1998 yıllarının iklim verilerinin ortalamasından oluşturulan 8760 saatlik iklim verilerini kullanmıştır. Programdaki hesaplama işleminin ardından her ofis odası için sonuçları grafikler halinde elde etmiş ve analizler yapmıştır.

Akaryıldız vd. [12], yaptıkları çalışmada farklı merkezi iklimlendirme sistemlerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada; VAV, 2 ve 4 borulu FCU ve VRF sistemleri irdelenmiştir. 4 borulu FCU sistemlerinin 2 borulu FCU sistemlerine göre daha maliyetli olduğu fakat konfor şartlarını sağlamada daha üstün olduğu görülmüştür. İlk yatırım maliyetleri açısından VRF sisteminin 110 \$, VAV sisteminin 120 \$, FCU sisteminin 135 \$ civarında olduğu gözlenmiştir.

İnanıcı vd. [13], çalışmalarında Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki beş şehirde (Erzurum, Ankara, Diyarbakır, İzmir, Antalya), binalar için, en-boy oranının ve güney cephesindeki pencere büyüklüğünün, ısı performans açısından uygun değerini bulmak için çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada bir ısı analiz programı olan SUNCODE-PC programından yararlanılmıştır. Farklı şehirlerdeki binalar için toplam enerji tüketimi ve uygun değer büyüklüklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu tarz mimari detayların enerji tüketiminde önemli rol oynadığı gözlemlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Türkiye'nin Enerji Görünümü

Türkiye; gelişmekte olan, sanayileşen bir ülke konumunda bulunmaktadır. Artan nüfus, sanayileşme oranı ve ihtiyaçlar enerji arzını da günden güne arttırmaktadır. Enerji talebindeki artış, Türkiye için yıllık ortalama olarak % 5.5–6 dolayındadır. Ancak son yıllar söz konusu olduğunda bu artışın bazı yıllar % 8'i geçtiği görülmüştür. 2010 yılı içerisinde ülkemizde tüketilen toplam enerji 112 Milyon TEP mertebelerindedir. Ülkemiz her yıl tükettiği birincil enerji kaynaklarının ancak yaklaşık % 30'unu karşılayabilmektedir. Bu sonuçlar ülkemizin enerji ithal eden ve enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı bir ülke olduğunun göstergesidir.

Çizelge 2.1 enerji kaynak potansiyelimizi ve ispatlanmış rezervlerimizi göstermektedir. Çizelgeden de görüleceği üzere, ülkemizin doğalgaz, petrol ve kömür rezervleri oldukça sınırlıdır. Petrol ve doğalgaz rezervlerine sahip ülkeler sıralandığında, Türkiye ilk 50 ülke arasında dahi yer alamamaktadır. Aynı şekilde diğer ülkelerdeki rezervlerle karşılaştırıldığında ülkemizin kömür rezervleri açısından da durumu parlak değildir. Dünya ispatlanmış kömür rezervlerinin yalnızca % 0.46'sı Türkiye'de bulunmaktadır. Dahası, sahip olduğumuz rezervlerin büyük bölümünün kalitesi, ancak kömür yakıtlı termik santrallerde yakıt olarak kullanılabilecek ölçüde düşüktür [14].

Rezerv olarak zengin olduğumuz kaynaklar; su kaynakları, rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelidir. Su kaynaklarımız hâlihazırda büyük ölçüde kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisinden faydalanma hususunda biraz gecikmiş olsak da iyi bir başlangıç yapmış bulunmaktayız. Güneş enerjisini elektrik üretiminde kullanmak için ise ilk çalışmalara başlanmış durumdadır. Bununla birlikte, bu girişimlerin gerçek anlamda yaygınlaşan yatırımlara dönüşebilmesi için biraz daha zamana ve gelişime ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye, yer altı kaynakları ve petrol bakımından her ne kadar yeterince aranmamış olsa da fakir bir ülke konumundadır. Bu sebeple enerji de yaşanan dışa bağımlılık, ülkelerarası ilişkilerde ülkemiz açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Fakat son yıllarda, enerji arzı konusunda önemli bir kavram ortaya çıkmıştır. Bu kavram enerjinin arzının güvenli yollarla sağlanmasını ifade eden Enerji Arz Güvenliği'dir.

Türkiye fosil kaynak arzı yüksek olan Avrupa ülkeleri ve fosil kaynak rezervleri yüksek olan ülkeler (Rusya, Orta Asya ve Orta Doğu ülkeleri) arasında köprü konumundadır. Bu enerji transferini sağlamak Türkiye'yi bir enerji koridoru haline getirmekte ve Türkiye Cumhuriyeti'nin siyasi gücünü arttırmaktadır.

Çizelge 2.1 Türkiye'deki Enerji Kaynak Çeşitleri ve Rezervler [14].

Kaynak Çeşidi	Rezerv/Potansiyel
Rüzgâr	Çok Verimli: 8000 MW Orta Verimli: 40000 MW
Kömür	Linyit: 12.4 Milyar Ton Taş Kömürü: 1.33 Milyar Ton
Jeotermal	650 MW
Su	13 Milyar kWh/yıl
Güneş	33 Milyon TEP/yıl
Doğalgaz	8 Milyar m ³
Asfaltit	82 Milyon ton
Petrol	43 Milyon ton
Biyokütle	8.6 Milyon TEP/yıl

2.2 Enerji Verimliliği ve Binalar

Gelişmiş ülkeler, 1974 yılındaki petrol krizine kadar, enerji ile ilgili önemli bir problem yaşamayıp ürettikleri enerjiyi kaygısızca tükettiler. 1974'e kadar enerji verimliliği ve tasarruf kavramları gündemlerine girmedi. Petrol krizinden sonra ise, bu ve bundan sonra oluşabilecek benzer krizlerin etkilerinden korunabilmek için, stratejiler geliştirdiler. Stratejilerin temel amacı, üretilen enerjinin doğru ve ekonomik kullanımını sağlayarak, sosyal ve ekonomik büyüme hedeflerine engel oluşturmayacak şekilde enerji tüketiminin azaltılması olmuştur [15].

Enerji verimliliği kavramı; enerjinin üretim, iletim ve tüketim alanlarında, kullanılan teknoloji ve önlemlerle, enerjinin en düşük kayıp ve en yüksek yarar sağlayacak şekilde kullanımı anlamını taşımaktadır. Enerji tasarrufu, enerji tüketiminin bilinçsizce azaltılmasını değil, enerji savurganlığının önlenmesini hedeflemektedir [16].

Enerji verimliliği, enerjinin tüketildiği her alanda olmakla birlikte binalar için ayrı bir öneme sahiptir. Zira giriş bölümünde bahsedildiği üzere binalar; en önemli enerji tüketen kaynaklardan biri olarak dünya genelinde, toplamda kullanılan elektriğin yarısını, doğal gazın ise üçte birini tüketmektedirler ve oluşan sera gazlarının üçte birinden sorumludurlar [2]. Bundan dolayı binalar enerji verimliliği açısından önemli bir unsur olarak dikkat çekmektedir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de binalar enerji tasarrufu anlamında büyük bir potansiyele sahiptirler. Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi ülkemizde konutların toplam enerji tüketimindeki payı % 30'lara yaklaşmıştır. Bu sebeple binalarda istenilen konfor şartlarından ödün vermeden tüketilen enerjiyi asgariye indirmek için çalışmalar yapmak enerji verimliliğinin gereğidir.

Çizelge 2.2. Türkiye’de Konutların Enerji Tüketimi – Toplam Enerji Tüketimi [1]

Yıllar	Konutların Enerji Tüketimi (Bin TEP)	Toplam Enerji Tüketimi (Bin TEP)	Konutların Toplam Enerji Tüketimindeki Payı
2000	20058	80500	% 24.9
2001	18122	75402	% 24.1
2002	18463	78331	% 23.6
2003	19634	83826	% 23.5
2004	20252	87818	% 23.1
2005	22923	91074	% 25.2
2006	23677	99642	% 23.7
2007	24623	107625	% 22.9
2008	28323	106421	% 26.6
2009	29466	106138	% 27.7
2010	28868	111893	% 25.7

Binalarda enerji tüketimine sebebiyet veren temel unsurlar şunlardır;

- Isıtma ve soğutma ihtiyacı
- Sıcak su kullanım ihtiyacı
- Elektrikli cihazlar ve aydınlatma ihtiyacı

Bir binayı enerji verimli hale getirebilmek için bu ihtiyaçları karşılarken, minimum enerji tüketimini sağlamak gerekmektedir.

2.3 Sürdürülebilirlik Kavramı ve Sürdürülebilir (Yeşil) Binalar

Sürdürülebilirlik kavramı son yıllarda hayatın birçok alanında tanımlanabilen bir kavram olarak ortaya çıkmıştır ve Birleşmiş Milletler'in 1987 yılında "Ortak Geleceğimiz" adıyla yayınlanan Brundtland Raporu'nda "Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmıştır [17].

Dünya enerji tüketiminin büyük bir kısmını konut tipi binaların oluşturduğu bilinmektedir. Bu binalarda büyük enerji israfına yol açan önemli bir husus, verimli olmayan tüketim alışkanlıkları yanında, binaların alışlagelmiş yapım teknolojisi ile üretilmeleridir. Dünyada küresel ısınmanın artmasında, iklim değişikliklerinin yaşanmasında ve enerji kaynaklarının tükenmeye başlamasında önemli pay sahibi olan inşaat sektörü, sebebiyet verdiği bu olumsuz etkileri azaltabilmek için doğayla uyumlu, sürdürülebilir, çevre dostu, doğal kaynakları verimli kullanabilen yapım anlayışı ürünü olan yeşil bina kavramıyla yenilikçi bir anlayışı geliştirmektedir [18].

Sürdürülebilir yapı; yaşam döngüsü boyunca, dünya kaynakları ve enerji tüketimini en aza indiren, yapının insan sağlığına ve çevreye etkisini azaltırken, daha iyi bir tasarıma, yerleşime ve işletmeye imkân tanıyan yapıya verilen ad olarak tanımlanır [19].

Bunu sağlamanın yolu ise bazı unsurları gerçekleştirmekten geçmekte olup; bunlar

- Yenilenemeyen kaynak kullanımının en aza indirilmesi,
- Doğal çevrenin tahrip edilmemesi,
- Toksinlerin kullanımının azaltılması veya hiç kullanılmaması şeklinde ifade edilmektedir [20].

2.4 Türkiye’de Enerji Mevzuatı

Ülkemizde son beş yılda enerji verimliliği ile ilgili önemli adımlar atılmıştır. 2007 yılında “Enerji Verimliliği Kanunu”, 2008 yılında ise “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği” ve “Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği” gibi kanun ve yönetmelikler yayınlanmıştır.

Doğal enerji kaynakların kıtlığı, enerjiye olan talebin artışı ve hammadde fiyatlarındaki yükselmeler sonucunda bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de enerjinin daha verimli kullanılmasına yönelik önlemler gündeme gelmiştir. Bu bağlamda; elektrik enerjisi öncelikli olmak üzere, enerjinin her noktada verimli ve etkin kullanılması ve israfının önlenmesi amacıyla, kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımıyla 2008 yılında "Ulusal Enerji Verimliliği Hareketi" başlatılmıştır. Bu doğrultuda; toplumun enerji kültürünün ve verimlilik bilincinin geliştirilerek, enerji arz güvenliğimizin en üst düzeyde sağlanmasına katkıda bulunmak amacıyla, 2008 yılının "Enerji Verimliliği Yılı" olarak ilan edilmesi uygun görülmüştür [21].

2.4.1 Enerji Verimliliği Kanunu

Enerji verimliliği açısından ülkemizdeki büyük çaptaki ilk düzenleme olarak sayabileceğimiz “Enerji Verimliliği Kanunu” 2007 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır. Kanun kapsamında; enerji verimliliği çalışmalarının ülke genelinde tüm ilgili kuruluşlar nezdinde etkin olarak yürütülmesi, sonuçlarının izlenmesi ve koordinasyonu amacıyla “Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu” oluşturulmuştur [21].

Bu kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşım da enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına

yönelik uygulanacak usul ve esasları kapsar. Enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik önlemlerin uygulanması ile özellik veya görünümleri kabul edilemez derecede değişecek olan sanayi alanlarında işletme ve üretim faaliyetleri yürütülen, ibadet yeri olarak kullanılan, planlanan kullanım süresi iki yıldan az olan, yılın dört ayından daha az kullanılan, toplam kullanım alanı elli metrekaresinin altında olan binalar, koruma altındaki bina veya anıtlar, tarımsal binalar ve atölyeler, bu kanun kapsamı dışındadır [22].

2.4.2 TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları

Temel olarak TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardı; ülkemizdeki enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlayarak enerji tasarrufu sağlamayı, enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve izin verilen limit enerji ihtiyacı değerlerini belirlemeyi, enerji verimli konfor şartları yüksek binalar üretilmesini sağlamayı hedeflemektedir [23].

TS 825, binaları bir bütün olarak ele alarak; çatı, duvar, döşeme ve pencere sistemlerinin enerji verimli tasarlanmasını sağlar. Yeni yapılan binaların TS 825'te verilen hesap metoduna göre, birim alan veya birim hacim başına net ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenir. Hesaplanan değerin, standartta verilen limit enerji ihtiyacı değerlerinin altında kalması gerekir. Standartta belirtilen hesap metoduyla binanın enerji ihtiyacının, bu standartta verilen sınır değerlerin altında kalmasını sağlayacak şekilde malzeme seçimi, eleman boyutlandırılması, yalıtım detaylarına ait çözümlerinin projelendirilmesi ve raporlanması gerekir. Ayrıca dış ortam ile temas halinde bulunan tüm yapı bileşenlerinde meydana gelen buhar difüzyonunun analiz edilmesi ve her bir yapı elemanının standartta verilen koşulları sağlayacak şekilde tasarlanması gerekir. TS 825'e göre yoğuşan suyun miktarının, yoğuşmanın meydana geldiği ara kesitteki malzemelere zarar vermeyeceği kabul edilen belirli bir limit değerini aşmaması ve kuruma periyodunda tamamen buharlaşması gereklidir. Enerji limitleri içerisinde kalacak şekilde tasarlanan bir binada bulunan tüm yapı bileşenleri yoğuşma kriterlerini de sağlayabiliyorsa yapılan tasarımın uygun olduğu raporlanır. Yoğuşma veya enerji

limitlerinden birini sağlayamayan tasarımlar standarda uygun olmayacağından, yapı ruhsatı alamaz [23].

2.4.3 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

2.4.3.1 Amaç

Bu yönetmelik 2008 yılında yürürlüğe girmiş olup, 2010 yılında revize edilmiştir. Bu yönetmeliğin amacı, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir.

2.4.3.2 Kapsam

Bu yönetmelik;

Mevcut ve yeni yapılacak binalarda;

- Mimari tasarım, mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı gibi binanın enerji kullanımını ilgilendiren konularda bina projelerinin ve enerji kimlik belgesinin hazırlanmasına ve uygulanmasına ilişkin hesaplama metotlarına, standartlara, yöntemlere ve asgari performans kriterlerine,
- Enerji kimlik belgesi düzenlenmesi, bina kontrolleri ve denetim faaliyetleri için yetkilendirmelere,
- Enerji ihtiyacının, kojenerasyon sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasına,
- Ülke genelindeki bina envanterinin oluşturulmasına ve güncel tutulmasına, toplumdaki enerji kültürü ve verimlilik bilincinin geliştirilmesine yönelik eğitim ve bilinçlendirme faaliyetlerine,
- Korunması gerekli kültür varlığı olarak tescil edilen binalarda, enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik önlemler ve uygulamalar ile ilgili, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulunun görüşünün alınarak bu görüş doğrultusunda yapının özelliğini ve dış görüntüsünü etkilemeyecek biçimde

enerji verimliliğini arttırıcı uygulamaların yapılmasına ilişkin iş ve işlemleri kapsar.

Sanayi alanlarında üretim faaliyetleri yürütülen binalar, planlanan kullanım süresi iki yıldan az olan binalar, toplam kullanım alanı 50 m²'nin altında olan binalar, seralar, atölyeler ve münferit olarak inşa edilen ve ısıtılmasına ve soğutulmasına gerek duyulmayan depo, cephanelik, ardiye, ahır, ağıl gibi binalar bu yönetmeliğin kapsamı dışındadır.

2.4.3.3 Bina Enerji Performansı Açısından Mimari Proje Tasarımında Uyulması Gereken Hususlar

MADDE 7 – Binaların mimari tasarımında, imar ve ada/parsel durumu dikkate alınarak ısıtma, soğutma, doğal havalandırma, aydınlatma ihtiyacı asgari seviyede tutulur, güneş, nem ve rüzgâr etkisi de dikkate alınarak, doğal ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma imkânlarından azami derecede yararlanılır.

Mimari tasarımda dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda belirtilmiştir.

- Binaların ve iç mekânların yönlendirilmesinde, o iklim bölgesindeki güneş, rüzgâr, nem, yağmur, kar ve benzeri meteorolojik veriler dikkate alınarak oluşturulan mimari çözümler aracılığı ile istenmeyen ısı kazanç ve kayıpları engellenmelidir.
- Bina içerisinde sürekli kullanılacak yaşam alanları, güneş ısı ve ışığı ile doğal havalandırmadan optimum derecede faydalanacak şekilde yerleştirilmelidir.
- Mimari uygulama projesi ve sistem detayları, ısı yalıtım projesindeki malzemeler ve nokta detayları ile bütünlük sağlamalı, ısı yalıtımında sürekliliği sağlayacak şekilde, çatı-duvar, duvar-pencere, duvar-taban ve taban-döşeme-duvar bileşim detaylarını ihtiva etmelidir.
- Binanın yapılacağı yerin yenilenebilir enerji kaynak kullanım imkânlarının araştırılması ile oluşturulacak raporlar doğrultusunda alternatif mimari çözümler değerlendirilmelidir.

2.4.3.4 Bina Enerji Performansı Açısından Mimari Proje Uygulamalarında Uyulması Gereken Hususlar

MADDE 8 – (1) Mevcut binaların dış kabuğu, binanın enerji performansını olumsuz etkileyecek şekilde değiştirilemez.

(2) Isı kaybeden düşey dış yüzeylerinin toplam alanının % 60'ı ve üzerindeki oranlarda camlama yapılan binalarda pencere sisteminin ısıl geçirgenlik katsayısının (U_p) $2.1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 'den büyük olmayacak şekilde tasarlanması ve diğer ısı kaybeden bölümlerinin ısıl geçirgenlik katsayılarının TS 825 standardında tavsiye edilen değerlerden % 25 daha küçük olmasının sağlanması durumunda, bu binalar TS 825 standardına uygun olarak kabul edilir. Söz konusu binalar için ısı yalıtım projesi ve hesaplamalar aynen yapılır, bu hesaplamalar içerisinde yukarıdaki belirtilen şartların yerine getirildiği ayrıca gösterilmelidir. Ayrıca, yaz aylarındaki istenmeyen güneş enerjisi kazançları tasarım sırasında dikkate alınabilir.

(3) Her bir iklim bölgesi için bina kabuğunu oluşturan; ısıtılan hacimleri ayıran duvar, döşeme ve taban ile tavan ve çatılar için alınacak “U” değerlerinden herhangi biri veya birkaçının tavsiye edilen değerlerden % 25 daha büyük olması durumunda, diğer “U” değerlerinden biri veya birkaçı için seçilecek değer/değerler, standartta tavsiye edilen değerin/değerlerin % 25'inden daha düşük olmamalıdır. Bu durum, tavsiye edilen değerlerin % 25'inden daha düşük değerlerin seçilerek uygulanmasına engel olmaz. Ancak belirtilen bu özel durum sebebiyle, binanın ısı kaybeden söz konusu yapı bileşenlerinden herhangi birinin veya bir kaçının tavsiye edilen değerin/değerlerin % 25'inden daha düşük olarak uygulanması durumunda bile, TS 825 standardında verilen hesaplama yöntemi içerisinde kullanılacak olan değer için, tavsiye edilen değere göre % 25 oranında düşük olarak tasarlandığı varsayılarak hesaplara yansıtılır.

(4) Yeni yapılacak binalar için ısı yalıtım raporu hazırlanmasının gerektiği durumlarda ve mevcut binalara yapılan uygulamalarda, iç yüzeyden dış yüzeye doğru oluşturulan katmandaki yapı ve ısı yalıtım malzemeleri, giydirme cam cephenin iç yüzeyindeki cama yapıştırılan film tabakasının ısıl geçirgenlik katsayısı, giydirme cam cepheli binanın bulunduğu iklim bölgesindeki TS 825 standardında tavsiye edilmiş olan ısıl geçirgenlik katsayısından büyük olamaz.

(5) Mekanik iklimlendirme sistemine sahip binalarda güneş enerjisinden kaynaklanan istenmeyen ısı kazançlarının önlenmesi amacıyla, pencere sistemlerinde ısı ve güneş kontrollü yalıtım camları seçilir.

2.4.3.5 Isı Yalıtımı Esasları

MADDE 9 – (1) Binaların ısı yalıtımı hesaplamalarında aşağıda belirtilen hususlara uyulur.

a) Binanın Yıllık Isıtma Enerjisi ihtiyacının TS 825 standardında belirtilen sınır değerden küçük olması gerekir.

b) Bitişik nizam olarak yapılacak olan binaların ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı yapılırken, bitişik nizam tarafında kalan duvarlar da dış duvar gibi değerlendirilir.

(2) Binaları dış havadan, topraktan veya düşük iç hava sıcaklığına sahip ortamlardan ayıran yapı bileşenlerinin yüzeyleri, TS 825 standardında belirtilen asgari ısı yalıtım şartlarına uygun şekilde yalıtılır.

(3) Bina kabuğunu oluşturan, duvar, döşeme, balkon, konsol, taban, tavan, çatı ve pencere/duvar birleşimleri ısı köprüsü oluşmayacak şekilde yalıtılır. Mevcut binalarda ısı köprülerinin önlenememesi durumunda, ısıyı nakleden kaplama yüzeylerinde oluşan ısı köprüleri sebebiyle gerçekleşen ısı kaybı hesabı TS EN ISO 10211-1, TS EN ISO 10211-2, TS EN ISO 14683 veya TS EN ISO 6946 standardına göre yapılır ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasında dikkate alınır.

(4) Belediye hudutları ve mücavir alan sınırları dışında, köy nüfusuna kayıtlı ve köyde sürekli oturanların, köy yerleşik alanları civarında ve mezralarda 2 kata kadar olan ve toplam döşeme alanı 100 m²'den küçük (dış havaya açık balkon, teras, merdiven, geçit, aydınlık ve benzeri yerler hariç) yeni binalar ile bu alanlardaki;

a) Yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayılarının, TS 825 standardında belirtilen yapı bileşenleri değerlerine eşit veya daha küçük olması,

b) Toplam pencere alanının, ısı kaybeden dış duvar alanının % 12'sine, eşit veya daha küçük olması hallerinde konstrüksiyonların ve ayrıntıların mimari projede gösterilmesi

şartıyla, “ısı yalıtım projesi” yapılması gerekmez. Bu durumda yukarıdaki şartların sağlandığını gösteren bir “ısı yalıtım raporu” düzenlenmesi yeterlidir.

(5) Binanın farklı kullanıcılarına ait bağımsız bölümleri arasındaki duvar, taban ve tavan gibi yapı elemanlarında, ısıl geçirgenlik katsayısı $0,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ’den daha düşük olacak şekilde yalıtım uygulanır.

(6) Dış yüzeylerde yer alan bütün betonarme elemanlar (kolon, kiriş, hatıl ve perde duvar ve benzeri) 8. maddenin üçüncü fıkrasına uygun şekilde yalıtılır.

(7) Bu Yönetmelikte belirtilmeyen hususlarda TS 825 standardına uyulur.

2.4.3.6 Havalandırma ve İklimlendirme Sistemleri Tasarım Esasları

MADDE 17 – (1) Havalandırma ve iklimlendirme sistemleri tasarımında TS 3419 ve ilgili Avrupa Standartlarına uyulur.

(2) İçerisinde insan bulunan ve ısıtma döneminde içeri üflenen havanın nemlendirilmesi öngörülmüş binalarda, üflenen havanın mutlak nemini 1 kg kuru hava için 10 gram veya daha az düzeyde ayarlayabilen kalibrasyonu akredite edilmiş bir kuruluş tarafından yapılmış kontrol cihazı bulundurulur.

(3) Konut dışı amaçlı kullanılan bir binada, çok farklı kullanıma sahip mekânlar veya mekân gruplarının havalandırılması için bağımsız sistemler kurulabilir.

(4) Konut dışı amaçlı kullanılan binanın bir mekânındaki özel mekanik havalandırma sistemi, mekânda insanların bulunmadığı zamanlarda mekânın minimum iç hava kalitesini sağlayacak şekilde otomatik sistem ile donatılır.

(5) İklimlendirme sistemleri değişken insan yüküne bağlı olarak değişken hava debili çalışacak şekilde iç hava kontrolü sağlayacak mekanik tesisatla donatılır.

(6) Hava ön ısıtma ekipmanları, ısıtma dönemi dışında çalışmalarını durduran bir düzenek ile donatılır.

(7) İklimlendirme sistemine sahip ve sürekli kullanılmayan bölümler kullanılmadığı zamanlarda, ana ısıtma sistemi ile 15°C ’ye ısıtılır.

- (8) Konut harici binalarda kullanımı tasarlanan iklimlendirme sistemlerinde oda sıcaklığını ölçen oda termostatına göre otomatik ayarlanabilen debi ölçüm ekipmanları kullanılır.
- (9) Konut harici binalarda kullanımı tasarlanan iklimlendirme sisteminde; giriş havası vantilatör debisi, ana kanaldaki basıncı ölçen basınç algılayıcılarına göre değişebilir olmalıdır.
- (10) Yeni yapılacak binaların 500 m³/h ve üzeri hava debili havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde, ısı geri kazanım sistemlerinin tasarımları yapılarak, yaz ve kış çalışma şartlarında minimum %50 verimliliğe sahip olması, ilk yatırım ve işletme masrafları ile birlikte enerji ekonomisi göz önüne alındığında avantajlı olması durumunda ısı geri kazanım sistemleri yapılması zorunludur. Bu sistemler geçiş mevsimleri için by-pass düzeneğine sahip olmalıdır.
- (11) Yeni yapılacak binalar için onuncu fıkrada belirtilen çalışmanın tasarım aşamasında rapor halinde proje müellifi tarafından ilgili idarelere sunulması zorunludur.
- (12) Binalardaki ısı konfor memnuniyetinin ve enerji performansının artırılması için gerekli kriterler EN 7730 ve TS 2164 standartlarına göre belirlenir.
- (13) Klima santrallerinin sızıntı, ısı köprüsü ve ısı transfer katsayısının EN 1886 standardına uygun olması gerekir.

2.5 Binalarda Enerji Verimliliği Amaçlı Yazılımlar

Bina enerji analiz hesaplamaları ile bina yükleri belirlenerek HVAC sistem tasarımı yapılmakta ve tasarımı yapılan ekipmanların enerji tüketim miktarları belirlenerek, binanın enerji maliyeti yıllık, aylık veya saatlik olarak hesaplanmaktadır. İlk kullanılan programlar daha çok HVAC ekipman tasarımı için düşünülmüşken, günümüzde artık daha çok hem tasarım için kapasite hesaplarını hem de tasarımı gerçekleştirilen HVAC ekipmanlarının işletme maliyetlerinin hesabını gerçekleştiren detaylı hesaplama kabiliyeti yüksek programlar kullanılmaktadır. Binayı; bina geometrisi, bina kabuğu ve konumu gibi mimari ve yapı özellikleri, HVAC sistemleri ve bunların işletim şekilleri ile bütün olarak ele alan bu programlar kullanıcılara,

tasarladıkları binanın ne kadar enerji ihtiyacı olduğunu, ne kadar CO₂ salınımı yaptığını, sayısal çıktılar vererek tasarım aşamasında görüntüleyebilmektedirler. Böylece bu programların kullanımı ile alternatif sistemler arasında gerek ilk yatırım gerekse işletme açısından optimum çözüm elde edilmektedir. Temel bina hizmetleri ve HVAC sistemlerinin performanslarının iyi anlaşılması ve optimize edilmesi enerji tasarrufu elde edilebilmesi için son derece önemlidir [24].

Bir binanın enerji analizi yapılırken 5 ana unsur hesaba katılır [25]. Bunlar sırasıyla,

- Binaların ısıtılması ve soğutulması için binanın ihtiyacı olan net enerji miktarının hesaplanması,
- Net enerjiyi karşılayacak kurulu sistemlerden olan kayıpları ve sistem verimlerini de göz önüne alarak binanın toplam ısıtma-soğutma enerji tüketiminin belirlenmesini,
- Havalandırma enerjisi tüketiminin belirlenmesi,
- Binalarda günışığı etkileri göz önüne alınarak, günışığından yararlanılmayan süre ve günışığının etkili olmadığı alanlar için aydınlatma enerji ihtiyacının ve tüketiminin hesaplanması,
- Sıhhi sıcak su için gerekli enerji tüketiminin hesaplanmasıdır.

Yukarıda sıralanan öğeler; yapının mimari özellikleri, dış hava şartları, iç yükler ve HVAC sisteminden gelen yükler gibi ile anlık değişebilen dinamik yükleri oluşturmaktadır. Bu sebeple enerji simülasyon hesaplamalarında zaman dilimini düşürüp saatlik hesaplamalar yapılmaktadır.

2.5.1 Hourly Analysis Program

Hourly Analysis Program (HAP), Carrier'ın HVAC tasarım programı olan E20-II ailesinin bir parçasıdır. HAP ticari binalarda HVAC sistemlerinin tasarımı için çok yönlü özellikler sağlamaktadır. HVAC sistemlerinin tasarım ve analizleri çok rahatça yapılabilmektedir. HAP binanın ısı transferi yüklerini, hava sisteminin ve cihazların çalışmasını hesaplamak için yılın 8760 saati hava verilerini kullanarak gerçek bir saatlik enerji analizini gerçekleştirir. Bina ısı akışını hesaplamak için ASHRAE Transfer

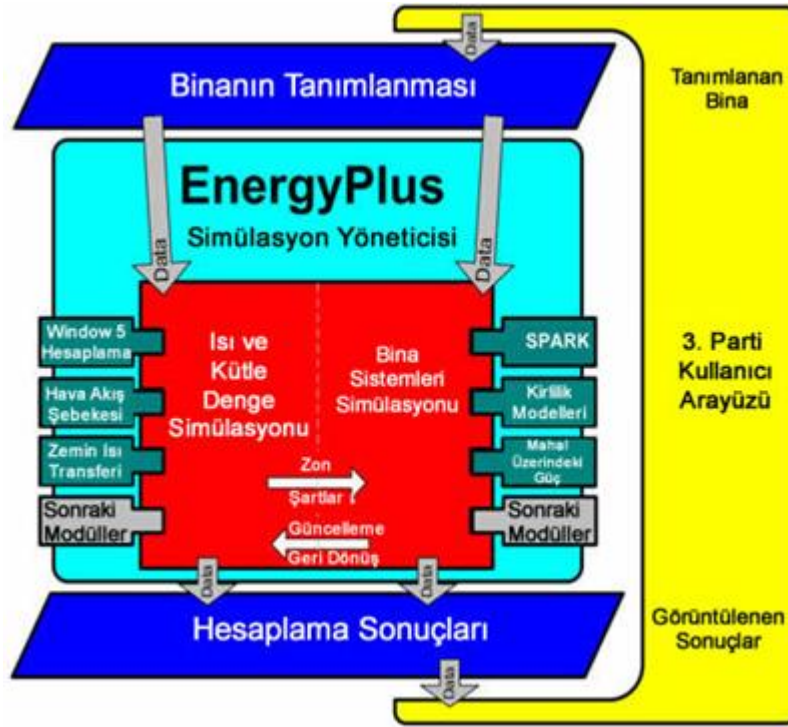
Fonksiyon Yöntemi kullanılır [26]. Bileşen yüklerini, saatlik yük profillerini, detaylı saatlik performans verilerini ve Psikometrik diyagramları sağlayan ilave raporlar da sağlanabilir. Ayrıca tasarım alternatifleri içerisinde enerji tüketimi ve çalışma maliyetlerini karşılaştırma olanağı sağlayan güçlü enerji olanakları sunmaktadır.

HAP altı adet hesaplama motoru kullanmaktadır. Yük hesaplama motoru, ASHRAE Transfer Fonksiyonu Yöntemi'ne göre bina içerisindeki dinamik ısı transferini analiz etmekte ve mahaller için ısıtma ve soğutma yüklerini hesap etmektedir. Sistem motoru, sistemlerin hava tarafındaki termomekanik işletimi simüle etmektedir. Boyutlandırma motoru bina içerisinde kullanılan difüzörler, hava terminalleri, fanlar, serpantinler ve nemlendiricileri boyutlandırmada kullanılır. Ekipman motoru su soğutma grupları ile sıcak su kazanlarını simüle etmektedir. Bina simülasyon motoru ise enerji ve yakıt tüketimini diğer motorlarla birlikte çalışarak hesap edip bina için yıllık bazda enerji tüketimini simüle etmektedir. Son olarak ise ömür bazlı bir simülasyon motoru ile toplam ömür boyunca yatırım, işletme ve bakım maliyetleri simüle edilebilmektedir [27].

2.5.2 DOE-2

DOE-2 simülasyon motoru; Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir ve en çok kullanılan simülasyon motorlarından biridir. DOE-2 tasarım evreleri boyunca bütün binaların enerji performansını ölçmek için tasarlanmıştır. DOE-2 simülasyon motoru; güneş, insan, aydınlatma ve ekipmanlardan gelen ısı yüklerine sahip bir binanın tüm mahallerinin ısı davranışlarını simüle edebilmektedir. İklimlendirme sistemleri modellenenmekte ve motor tarafından simüle edilebilmektedir. Simülasyon için ihtiyaç duyulan bina geometrisi, gerçek bina geometrisinden biraz daha basitleştirilebilmektedir. DOE-2 mahaller arası ısı transferini hesaplamak için mahal ağırlık faktörü olarak adlandırılan yöntemi kullanır. Ağırlık faktörleri simülasyon başlamadan evvel hızlı bir simülasyon işlemini sağlamak için hesaplanır. Bu ağırlık faktörü yöntemi, termodinamik eşitliklerini içermeyen DOE-2 içindeki varsayımlardan biridir [28]. Şekil 2.1'de DOE-2 yazılımı için bilgi akış şeması verilmiştir.

yöneticisi tüm simülasyon proseslerini kontrol etmektedir. Şekil 2.2 'de EnergyPlus yazılımı için simülasyon adımları verilmiştir.



Şekil 2.2. EnergyPlus simülasyon adımları [29].

2.5.4 E-Quest

E-Quest; James Hirsch tarafından geliştirilen, DOE-2.2 tabanlı bir yazılımdır. Bu enerji simülasyon programı; DOE-2 simülasyon programının bütün işlevlerini karşılayabilmektedir.

Programda binanın özellikleri sırasıyla tanımlanmakta ve bina için mimari özellikler, enerji kullanımı, HVAC ekipmanları, bina tipi ve boyutu, kullanılan malzemeler, yoğunluk ve aydınlatma gibi öğeler oluşturulmuştur. Gerekli tanımlamalardan sonra ise program, bina için detaylı bir simülasyon yaparak enerji kullanımını modellemektedir.

E-Quest programı da HAP'a benzer olarak herhangi bir binanın yıllık enerji simülasyonunu yapabilmektedir. Çeşitli iç ve dış yükler gibi unsurları göz önünde bulundurarak ısıtma ve soğutma yüklerini analiz etmektedir. Elde edilen veriler daha

sonra DOE programı vasıtasıyla su soğutma gruplarının, sıcak su kazanlarının ve diğer enerji tüketen elemanların enerji simülasyonunu yapabilmektedir.

2.5.5 TRACE 700

TRACE 700 simülasyon programı; tasarım, sistem, ekipman ve ekonomiklik gibi dört farklı hesap adımından oluşmaktadır. Tasarım kısmında program ilk olarak bina yüzeylerinden iletimle olan ısı geçişinin yanı sıra insan, aydınlatma ve enfiltrasyon kaynaklı ısı kazançlarını hesaplar. Bu hesaplamaların sonucunda maksimum yüklere göre tüm klima santrallerini ve serpantinleri boyutlandırır. Sistem hesaplaması sürecinde; binanın dinamik tepkilerini, mahallerin yük profillerini ve HVAC kaynaklı yük karakteristiklerini birleştirerek simüle eder. Ekipman hesaplama sürecinde; ısıtma, soğutma ve havalandırma ekipmanlarının tüketeceği enerjiyi belirlemek için sistem hesaplarından gelen saatlik yükler kullanılır. Ekonomiklik analizi adımı; ekipman hesaplama adımı hesaplanan enerji tüketim değerleri, enerji birim maliyet değerleri ile birleştirilerek yatırım, işletme ve ömür boyu maliyet hesabı yapılır [27].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

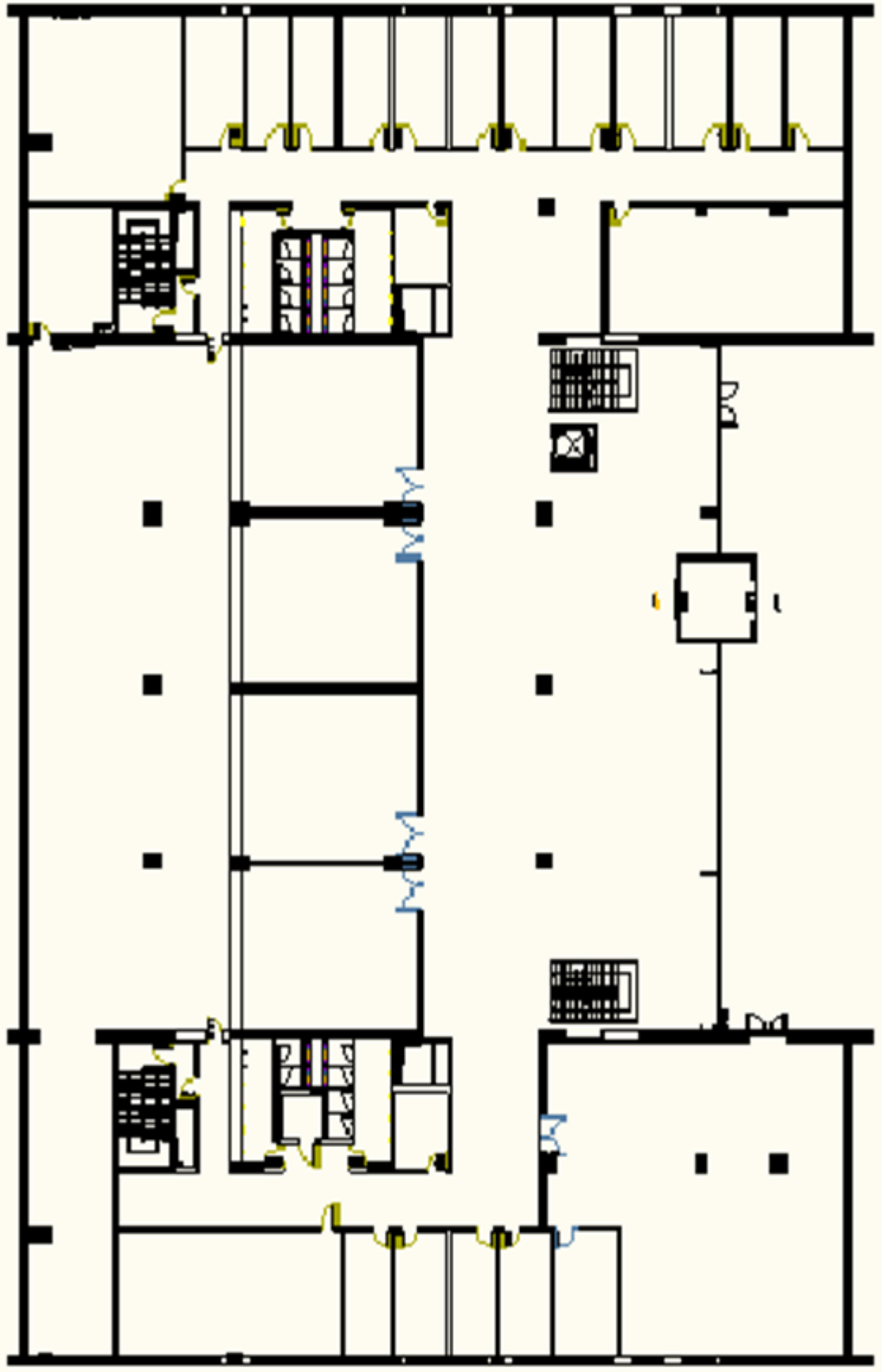
Yapılan bu tez çalışmasında Şekil 3.1’de görülen İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası’nın Carrier HAP programı yardımıyla yıllık ısı yükleri ve yıllık enerji maliyetleri saatlik bazda hesaplanmıştır. Farklı HVAC sistemleri, yalıtımlı-yalıtımsız duvar tipleri, tek-çift camlı pencereler gibi farklı durumlar göz önüne alınmıştır. Bu farklı durumların olmaları halinde yıllık enerji tüketim bedelleri, atmosfere salınan CO₂ miktarları ve yatırım maliyetleri karşılaştırılmıştır.

3.1.1 Örnek Bina: İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası

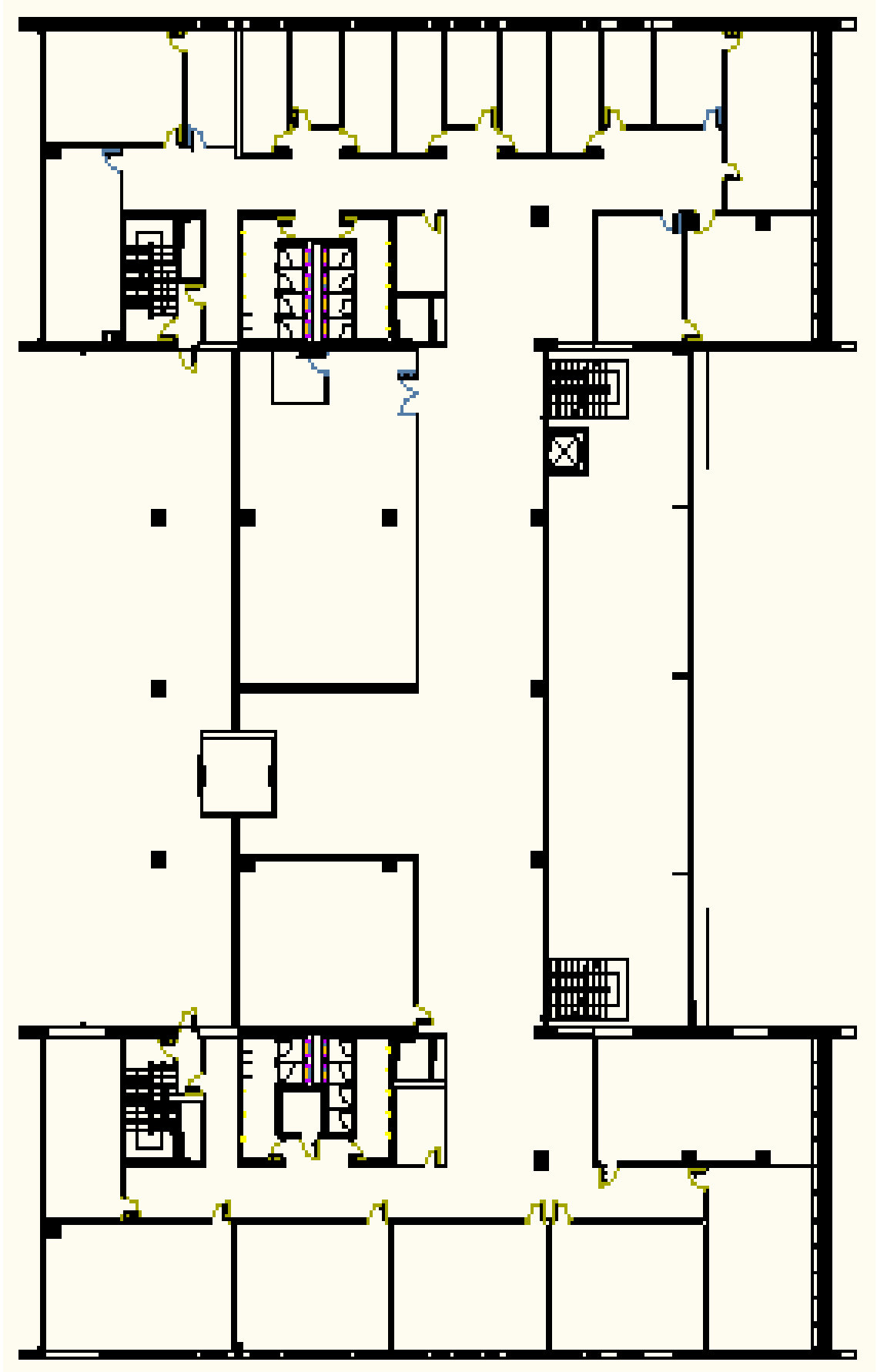
Tez çalışmasında enerji analizini yaptığımız bina; İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası’dır. Şekil 3.1’de örnek binanın genel görünüşü verilmiştir. Bina 4 katlı olup, 7695 m² kullanım alanına sahiptir. Yapı her katta farklı ve oldukça karmaşık bir mimariye sahip olup, katların kesiti Şekil 3.2-3.6 verilmiştir. Kat yüksekliği 4 m.’dir. Binada; çalışma ofisleri, derslikler, toplantı salonları, kantin ve koridor gibi ortak kullanım alanları mevcuttur. Binada iklimlendirilen toplam 110 adet mahal programda girdi olarak tanımlanmıştır.



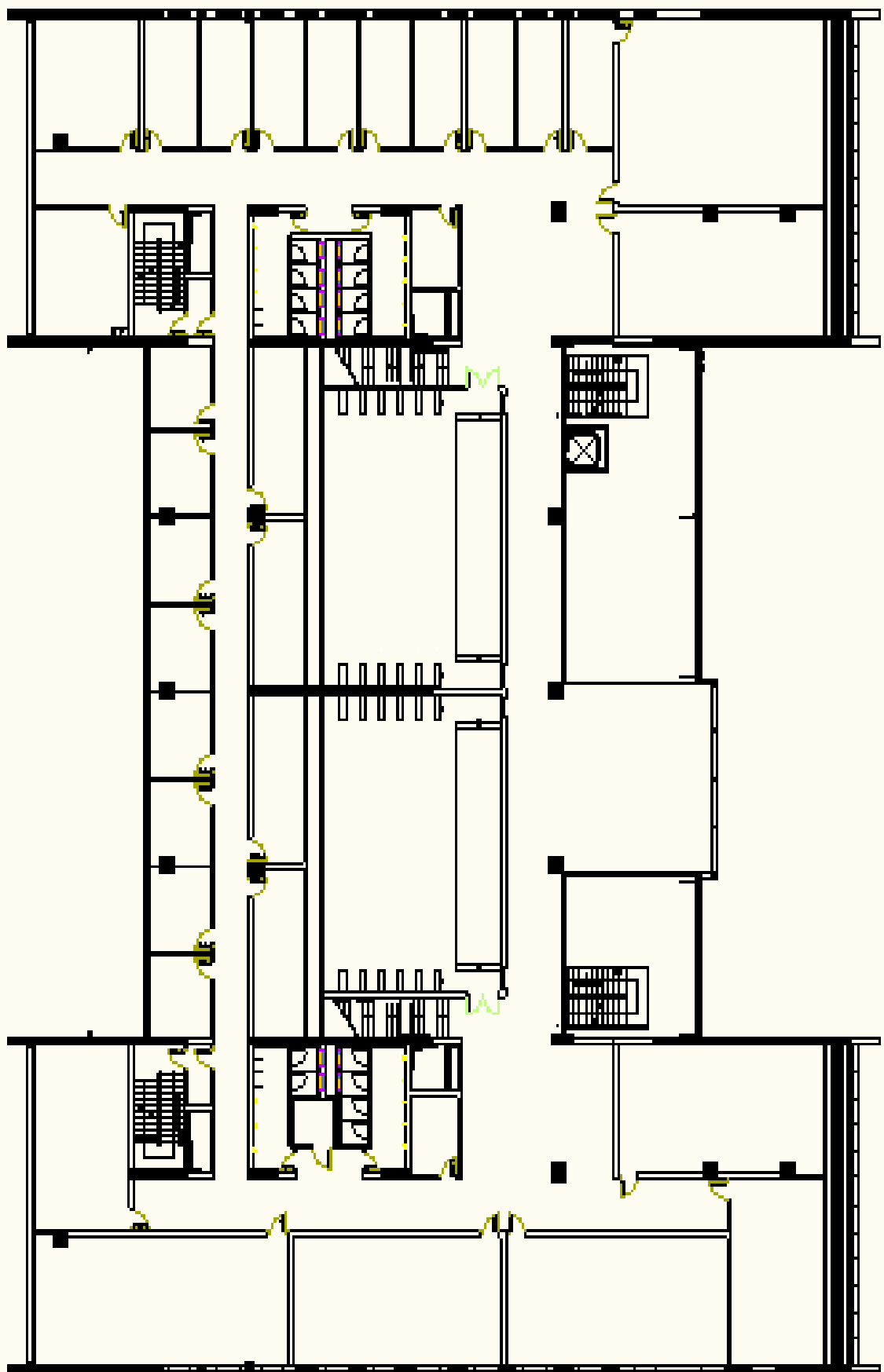
Şekil 3.1. İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası’nın genel görünüşü



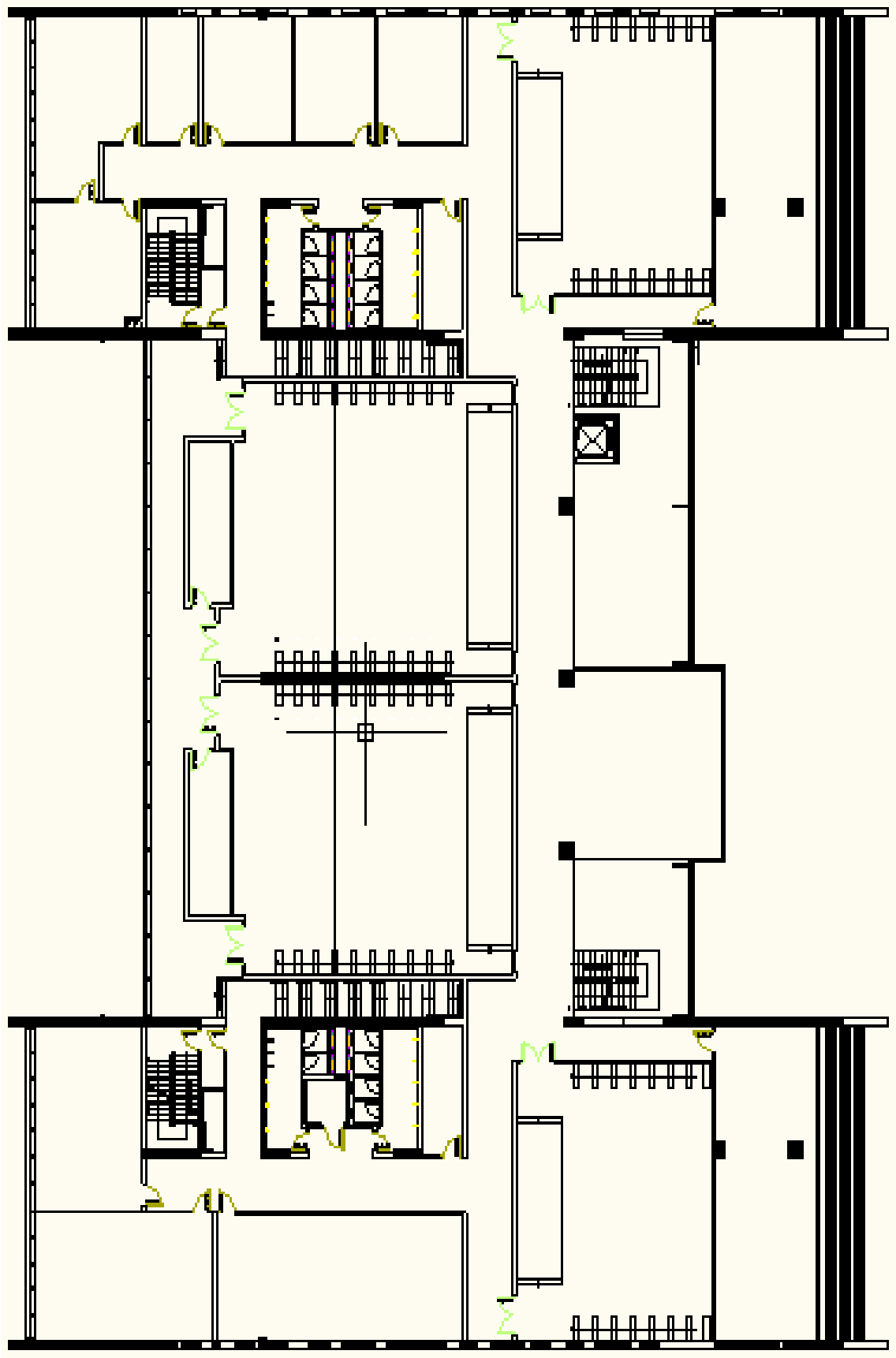
Şekil 3.2. İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası Zemin Kat Mimarisi



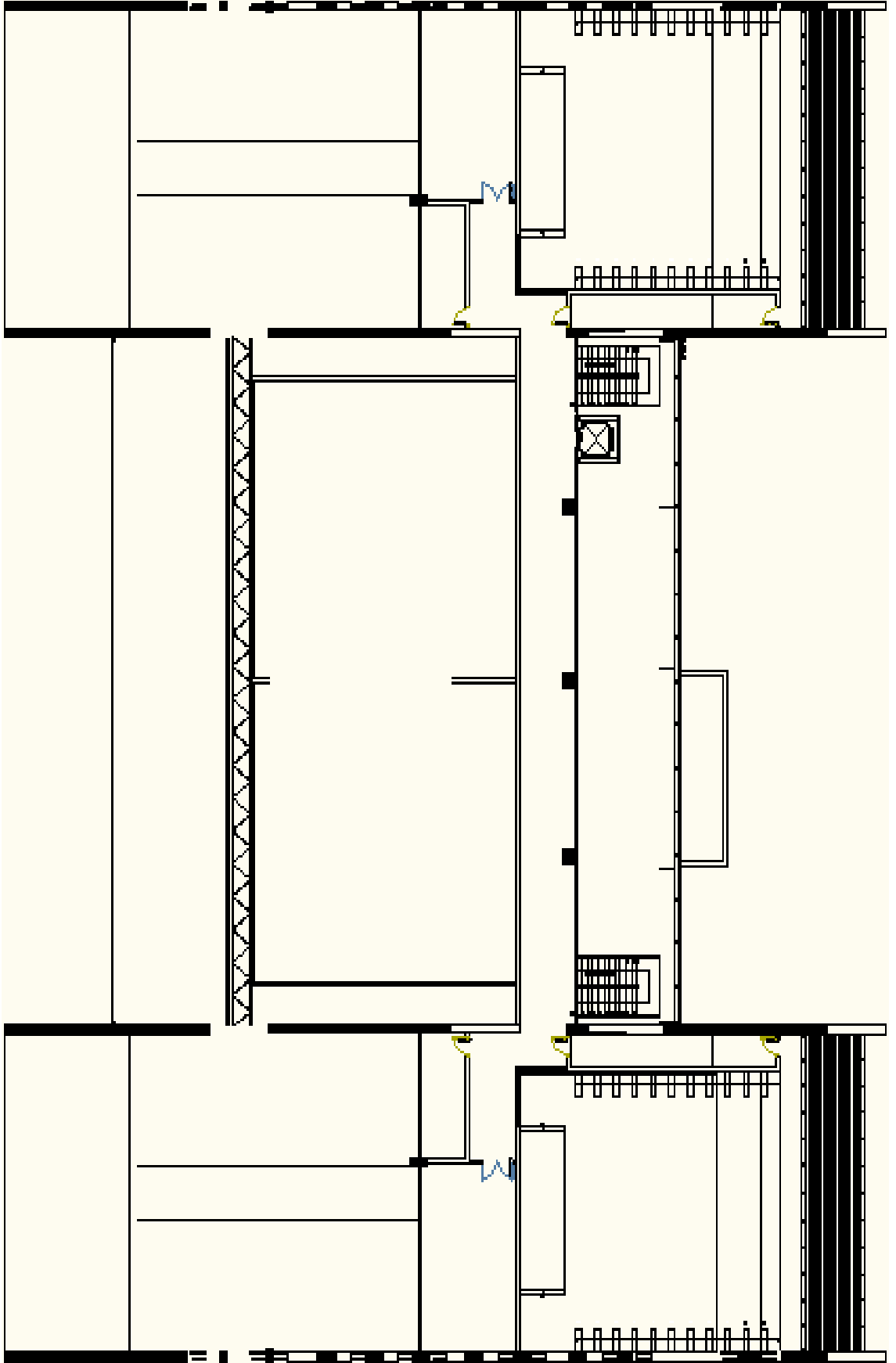
Şekil 3.3. İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası 1. Kat Mimarisi



Şekil 3.4. İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası 2. Kat Mimarisi



Şekil 3.5. İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası 3. Kat Mimarisi



Şekil 3.6. İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Binası 4. Kat Mimarisi

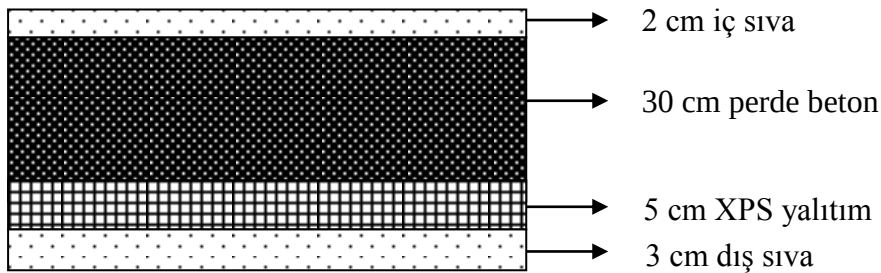
3.1.1.1 Binaların Isı Geçiş Yüzeyleri

Dış Duvarlar

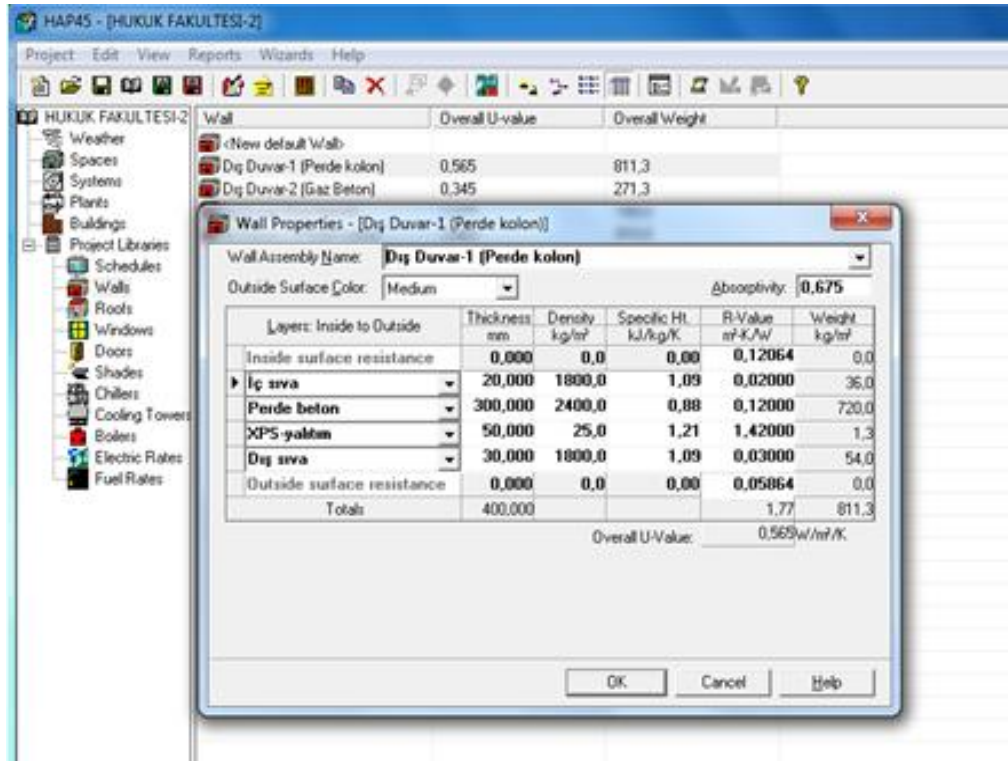
Binalarda ısı geçiş yüzeyleri olarak dış duvarlar, çatı, döşeme ve pencereler bulunmaktadır. Dış duvarların, döşemelerin ve çatıların yalıtılması; kışın iç ortamdan dış ortama olan ısı kaybını, yazın ise dış ortamdan iç ortama olan ısı kazancını azaltır. Bu sebeple ısıtma ve soğutma sezonlarında enerji maliyetini düşürmektedir.

Son yıllarda cam giydirme cepheye sahip ofis binalarının sayısı artmaktadır. Bu tip yapılarda en önemli ısı geçişi olan yüzeyler cam cephelerdir. Binaların bu kısımlarında çift camlı pencere kullanımı da ısı geçiş yönünde önemli ölçüde direnç oluşturacağından enerji tüketiminde azalmaya sebep olacaktır. Elbette ki enerji tüketimindeki azalma, enerji maliyetinde ve CO₂ salınımında azalmaya sebebiyet verecektir.

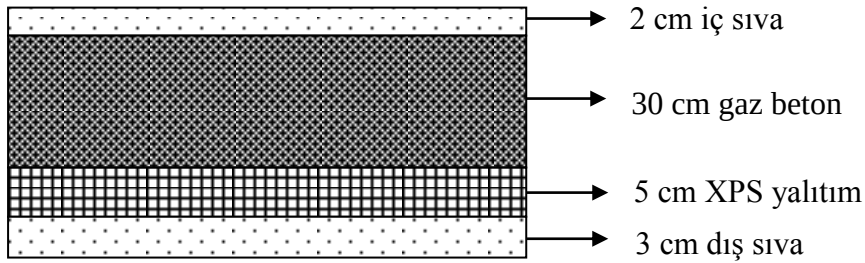
Simülasyonu yapılacak binada iki ayrı dış duvar tipi mevcuttur. Yalıtımlı duvarlardan birinci dış duvar tipi olarak; perde kolonların olduğu kısımlarda 2 cm iç sıva, 30 cm perde beton, 5 cm XPS yalıtım ve 3 cm dış sıva mevcuttur (Şekil 3.7). İkinci dış duvar tipi olarak; gaz beton bulunan kısımlar; 2 cm iç sıva, 30 cm gaz beton, 5 cm XPS yalıtım ve 3 cm dış sıva ihtiva etmektedirler (Şekil 3.9). Her iki duvar tipi için de yalıtımlı-yalıtımsız olma durumlarındaki enerji tüketimleri ve enerji maliyetleri analiz edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.7-3.9) her iki duvar tipinin yalıtımlı olma durumlarındaki duvar katmanları ve program girdileri resmedilmiştir.



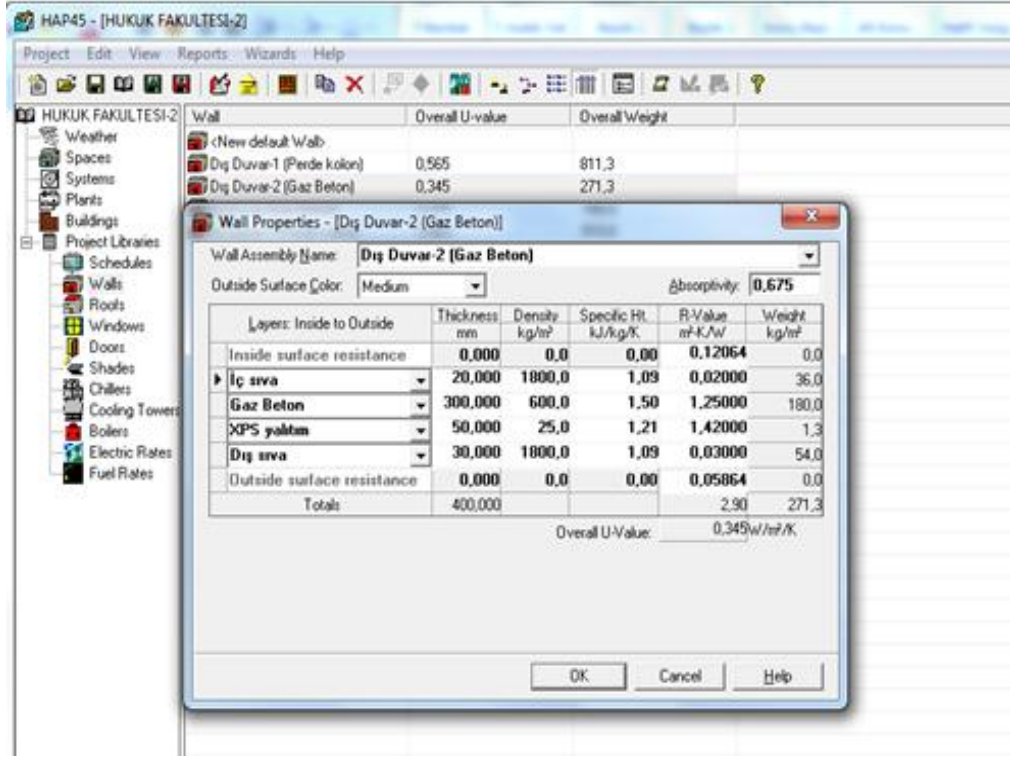
Şekil 3.7. Dış duvar-I, perde beton bulunan kısımların yalıtımlı hal duvar katmanları



Şekil 3.8. Dış Duvar-I için program girdisi



Şekil 3.9. Dış duvar-II, gaz beton bulunan kısımların yalıtımlı hal duvar katmanları



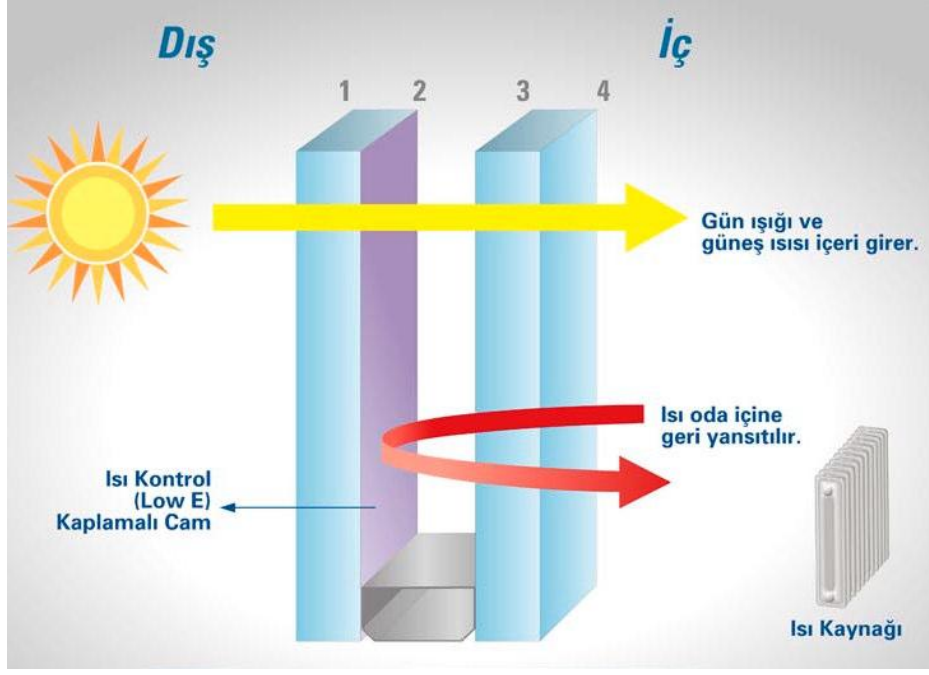
Şekil 3.10. Dış Duvar-II için program girdisi

Çizelge 3.1. Dış duvarların ısıl geçirgenlik katsayıları

	U-Isıl geçirgenlik katsayısı (W/m ² .K)	
	Dış Duvar-I (Perde Kolon)	Dış Duvar-II (Gaz Beton)
Yalıtımlı Duvar	0,565	0,345
Yalıtımsız Duvar	2,863	0,676

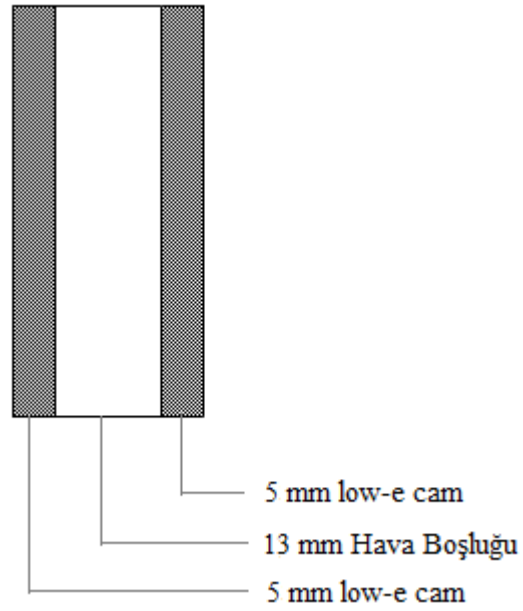
Pencereler

Enerji analizi yapılacak binada pencere olarak tek cama ve çift cama sahip olma durumlarına göre iki ayrı pencere tipi tariflenmiştir. Kullanılan pencerelerde low-e adıyla anılan düşük yayınlımlı ısı kontrollü yalıtım camları kullanılmıştır. Düşük yayınlımlı ısı kontrol (low-e) kaplamalı camlarla üretilen yalıtım camları iç mekânda bulunan ısı kaynaklarından yayılan ısıyı tekrar içeriye yansıtarak bina içinden dışarıya olan ısı kaçışını azaltmaktadır. Low-e özellikli cama sahip pencerenin resmedilişi Şekil 3.11’de verilmiştir.

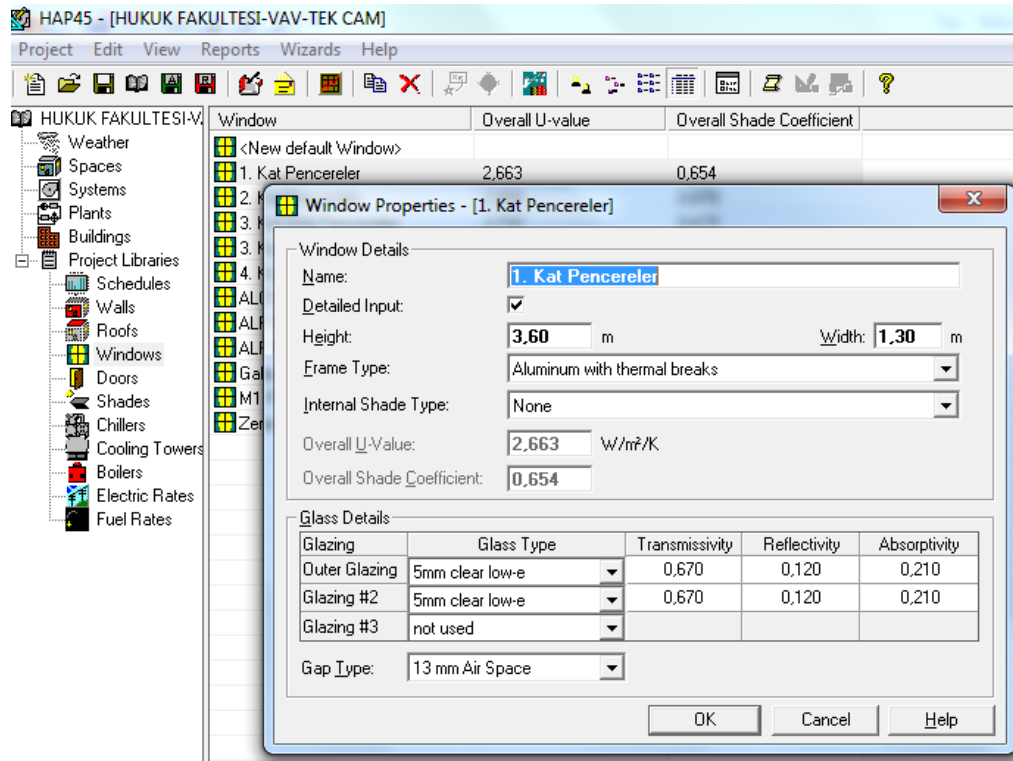


Şekil 3.11. Low-e özellikli yalıtım camı uygulaması

Çift camlı pencerenin katmanları Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Çift camlı pencerenin katmanları



Şekil 3.13. Çift camlı pencere için program girdisi

Çizelge 3.2. Pencerelerin ısıl geçirgenlik değerleri

Pencere Tipi	U (W/m ² .K)
Tek Camlı Pencere	4.623
Çift Camlı Pencere	2.663

3.1.2 Malatya İli İklim Verileri

İklim verileri HVAC sistemlerinin yük hesaplamasında en önemli unsurlardan bir tanesidir. HAP programının veri tabanında Türkiye’den üç şehir (İstanbul, Ankara ve İzmir) için iklim verileri mevcuttur. Bu üç şehrin dışındaki şehirler için bir hesaplama yapılacağı zaman iklim verilerini kendimiz tanımlamamız gerekmektedir. Malatya ili için programda tanımlanan iklim verileri Çizelge 3.3.’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Malatya ili için iklim verileri [31]

Kış: Kuru Termometre Sıcaklığı	-8.4 °C
Yaz: Kuru Termometre Sıcaklığı	36 °C
Yaz: Yaş Termometre Sıcaklığı	20.7 °C
Enlem	37.2°
Boylam	-39.2°
Rakım	998 m

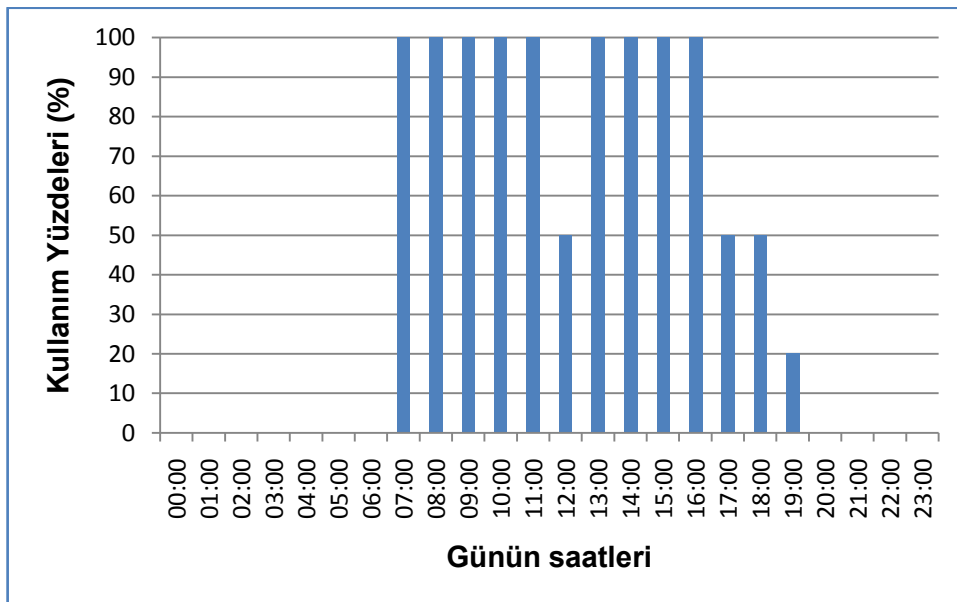
3.1.3 Bina Tasarım Parametreleri

Simülasyonu yapılacak binanın tasarım parametreleri Çizelge 3.4.'te verilmiştir. HAP programı mahaller için gerekli taze hava ihtiyacını ASHRAE 62.1-2004 standardından almaktadır.

Çizelge 3.4. Mahal Tasarım Parametreleri

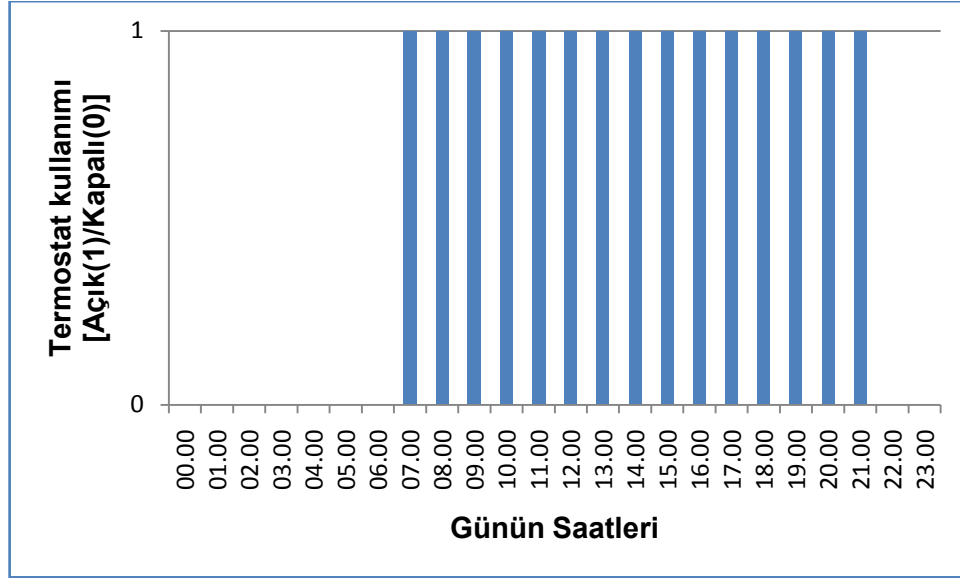
Mahal Tipi	Taze Hava İhtiyacı	Sıcaklık Set Değerleri		İç Kazançlar	
		Isıtma Sezonu (°C)	Soğutma Sezonu (°C)	İnsanlar	Aydınlatma
Ofisler	2,5 L/s-kişi	20	26	130 W/kişi	10 W/m ²
Derslikler	5 L/s-kişi	20	26	130 W/kişi	10 W/m ²
Koridorlar	0,3 L/s-m ²	20	26	220 W/kişi	10 W/m ²
Kantin	0,9 L/s-m ²	20	26	130 W/kişi	10 W/m ²

Yıllık enerji simülasyonu yapılacak binanın yılın hangi günlerinde ve günün hangi saatlerinde kullanılacağına dair bir tasarım takvimi belirlenmiştir. Şekil 3.14'te binanın günün hangi saatlerinde insanlar tarafından ne kadar kullanılacağına dair bir tasarım sunulmuştur. Resmi tatillerde kullanım oranı % 0 alınmış ve iklimlendirme yapılmadığı kabul edilmiştir.



Şekil 3.14. Mahallerin saatlere göre kullanım yüzdeleri

Değişken Hava Debili Sistemler ve Fan-Coil Sistemleri için mahaller iklimlendirilirken, termostatla mahallerdeki sıcaklıklar belli aralıklarda tutulmaya çalışılır. İklimlendirme için termostat kullanımı günün belli saatlerinde yapılmaktadır. Şekil 3.15'te hangi saatlerde mahallerde termostat kontrolü yapıldığı belirtilmiştir.



Şekil 3.15. Mahallerde termostat kullanım saatleri

3.1.4 Binada Simülasyonu Yapılacak HVAC Sistemleri

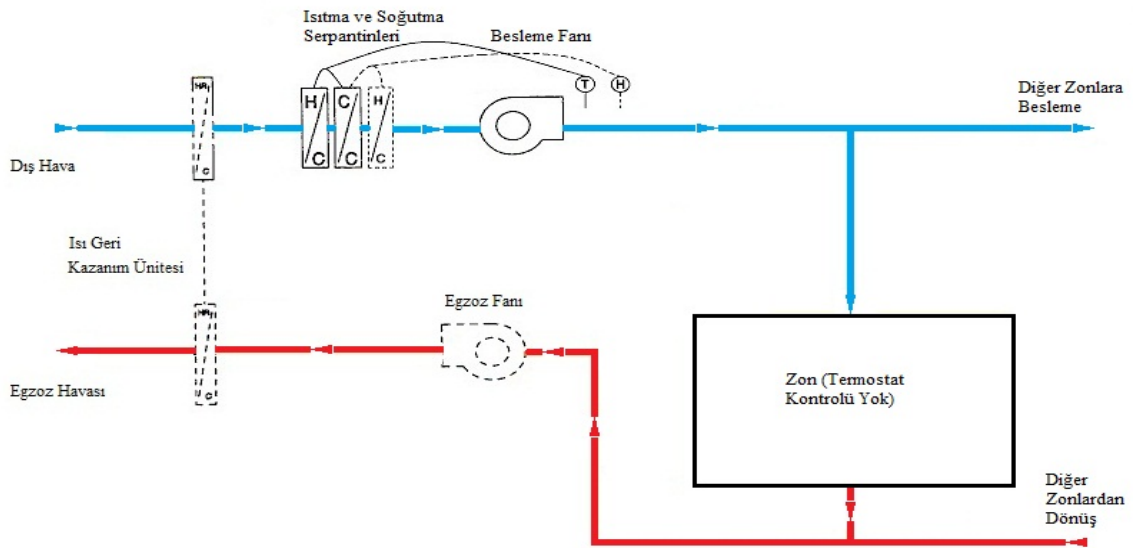
HVAC sistemleri, taze hava, ısıtma, soğutma ihtiyacı ve nem kontrolünün hepsini veya birini sağlamak için yapılarda kullanılan ekipmanları, dağıtım ağlarını ve terminalleri ifade etmektedir. HVAC sistemlerinin en temel amacı istenilen iç hava koşullarını korumak ve sağlamaktır. HVAC sistemleri enerji tüketimi bakımından oldukça önemlidir ve bu yüzden önemli enerji tasarruf imkânlarına sahiptir. Enerji verimliliği yüksek bir HVAC sisteminin, istenilen amaçları gerçekleştirmek için gerekli olan miktar kadar enerji tüketmesi gerekir. Verimli bir HVAC sistemi sadece mühendislik işi değil, aynı zamanda disiplinlerarası çalışmayı (mimarlık, ekonomi, çevre vb. bilimler) gerektiren bir tasarım problemidir. En uygun çözümü bulabilmek için, bazı yapı ve çevre bilgilerine sahip olmak gerekir. Örneğin yapı karakteristiği, iklim ve bölge verileri bilinmelidir. Enerji verimliliği çalışmalarının HVAC sistemleri açısından bir başka avantajı da HVAC cihaz ve ekipmanlarının boyutlarını ve

kapasitesini düşürmesi, böylelikle yatırım ve işletme maliyetlerinde azalma meydana getirmesidir [32].

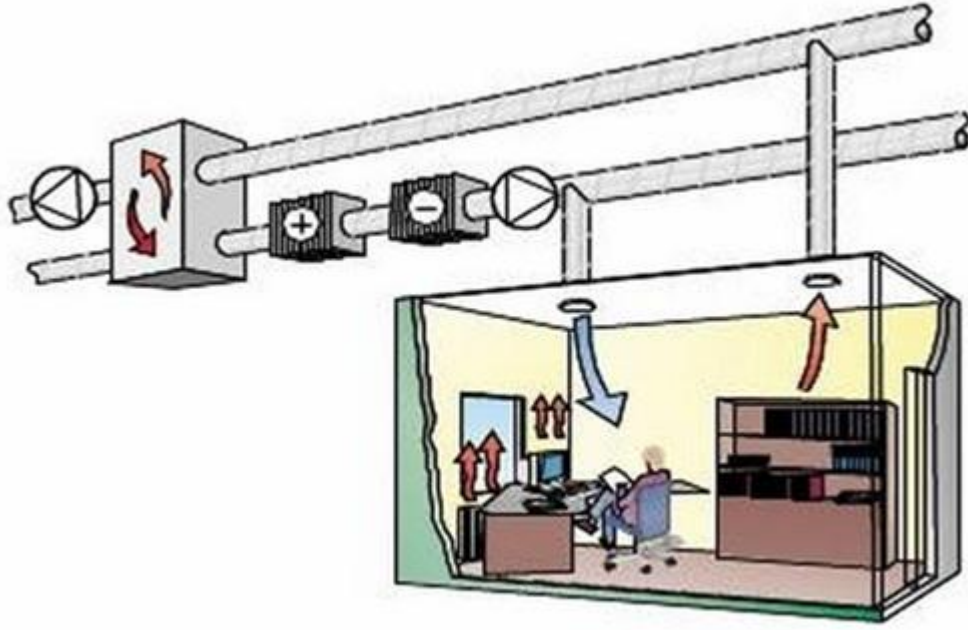
Yapılan tez çalışmasında enerji analizi için üç çeşit merkezi iklimlendirme sisteminin analizi yapılacaktır. Bunlar sırasıyla; Sabit Hava Debili (CAV) Sistemler, Değişken Hava Debili (VAV) ve Fan-Coil (FCU) sistemleridir.

3.1.4.1 Sabit Hava Debili Sistemler (CAV)

CAV sistemlerde fanlar mahallere sabit debide hava göndermektedirler. İç ortam sıcaklığı her ne olursa olsun, klima santralinde hava belirli bir sıcaklığa getirilir ve mahalle üflenir. Mahalle gönderilen hava % 100 dış hava (taze hava) olabileceği gibi egzoz gazını belirli bir oranda, taze hava ile karıştırarak elde edilecek karışım havası da olabilir. Bu tür sistemler aynı yapıda farklı zonların farklı ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadırlar. Bir yapıda aynı anda bir mahallin ısıtma ihtiyacı varken, diğer mahallin soğutma ihtiyacı olabilir. Mesela bir alış-veriş merkezinde kış aylarında bir mahal ısıtma ihtiyacı duyarken; aydınlatma, insanlar ve elektrikli cihazların etkisiyle iç yüklerin arttığı bir başka mahalde ise soğutma ihtiyacı olabilmektedir. Bu gibi durumlarda CAV sistemler ihtiyacı karşılayamamaktadır. CAV sistemler genellikle tek bir mahalli iklimlendirmek için projelendirilir. Sabit hava debili (CAV) bir sistemin şematik gösterimi ve sistem resmi Şekil 3.16'da ve Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.16. Sabit Hava Debili (CAV) Sistemin şematik gösterimi [33]



Şekil 3.17. Sabit Hava Debili Sistem (CAV)

Sabit Hava Debili (CAV) sistem için belirlenen sistem karakteristikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

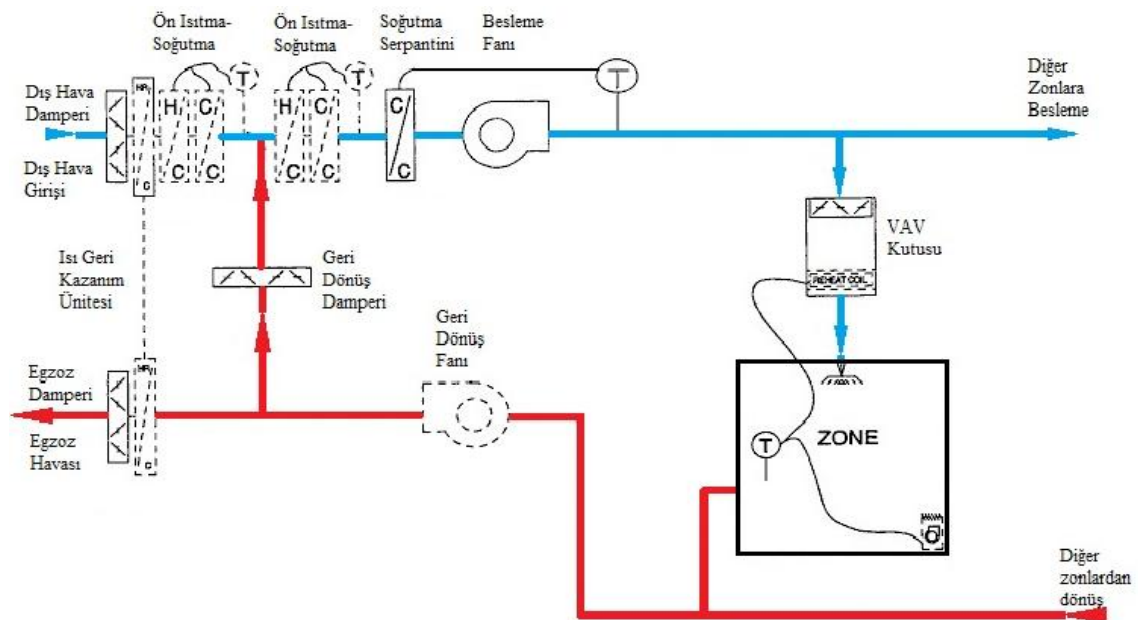
Çizelge 3.5. CAV Sistem karakteristikleri

Besleme Hava Sıcaklığı	Yaz	13 °C
	Kış	35 °C
Isıtma Kaynağı	Sıcak Su Kazanı 80-60 °C	
Soğutma Kaynağı	Hava soğutmalı su soğutma grubu 7-12 °C	

Sabit Hava Debili (CAV) sistem, örnek binada tasarlanırken, teshin merkezinde farklı zonları besleyen 7 adet karışım havalı klima santrali olduğu varsayılmıştır. Programda, 7 adedi besleme fanı ve 7 adedi egzoz fanı olmak üzere toplam 14 adet öne eğik kanatlı fan seçilmiştir.

3.1.4.2 Değişken Hava Debili Sistemler (VAV)

Birden fazla zonun farklı ihtiyaçlarını karşılayabilmek için değişken devir (frekans invertörü) teknolojisi geliştirilmiştir. VAV sistemlerinde hava klima santrallerinde belirli bir sıcaklığa getirilir ve her mahallin ihtiyacına göre farklı debilerde üflenir. Mahallerdeki sıcaklık değişimlerine göre termostat kontrolüyle odaya üflenilen havanın debisi ayarlanır. Bu işlemler VAV kutuları ve değişken devirli bir fan aracılığıyla gerçekleşir. Değişken hava debili (VAV) sistemlerin şematik gösterimi ve sistem resmi Şekil 3.18’de ve Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.18. Değişken Hava Debili (VAV) Sistemin şematik gösterimi [33]

Değişken Hava Debili (VAV) sistem, örnek binada tasarlanırken teshin merkezinde farklı zonları besleyen 7 adet karışım havalı klima santrali olduğu varsayılmıştır. Programda, 7 adedi besleme fanı ve 7 adedi egzoz fanı olmak üzere toplam 14 adet frekans konvertörlü fan seçilmiştir.



Şekil 3.19. Değişken Hava Debili (VAV) Sistem [34]

Değişken Hava Debili (VAV) sistem için tasarlanan sistem karakteristikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

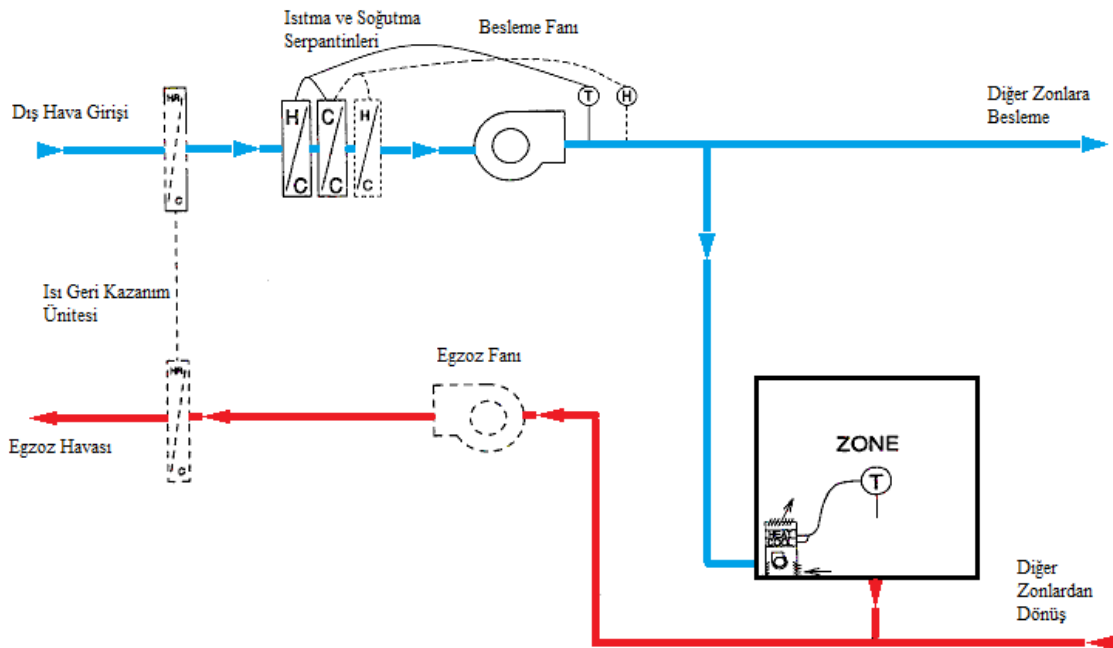
Çizelge 3.6. VAV sistem karakteristikleri

Klima Santrali Üfleme Sıcaklığı	Yaz	13 °C
	Kış	13 °C
Isıtma Kaynağı	Sıcak Su Kazanı (80-60 °C)	
Tekrar ısıtma	Sıcak Su Kazanı	
Soğutma Kaynağı	Hava soğutmalı su soğutma grubu 7-12 °C	

3.1.4.3 Fan-Coil + Taze Hava Sistemleri (FCU)

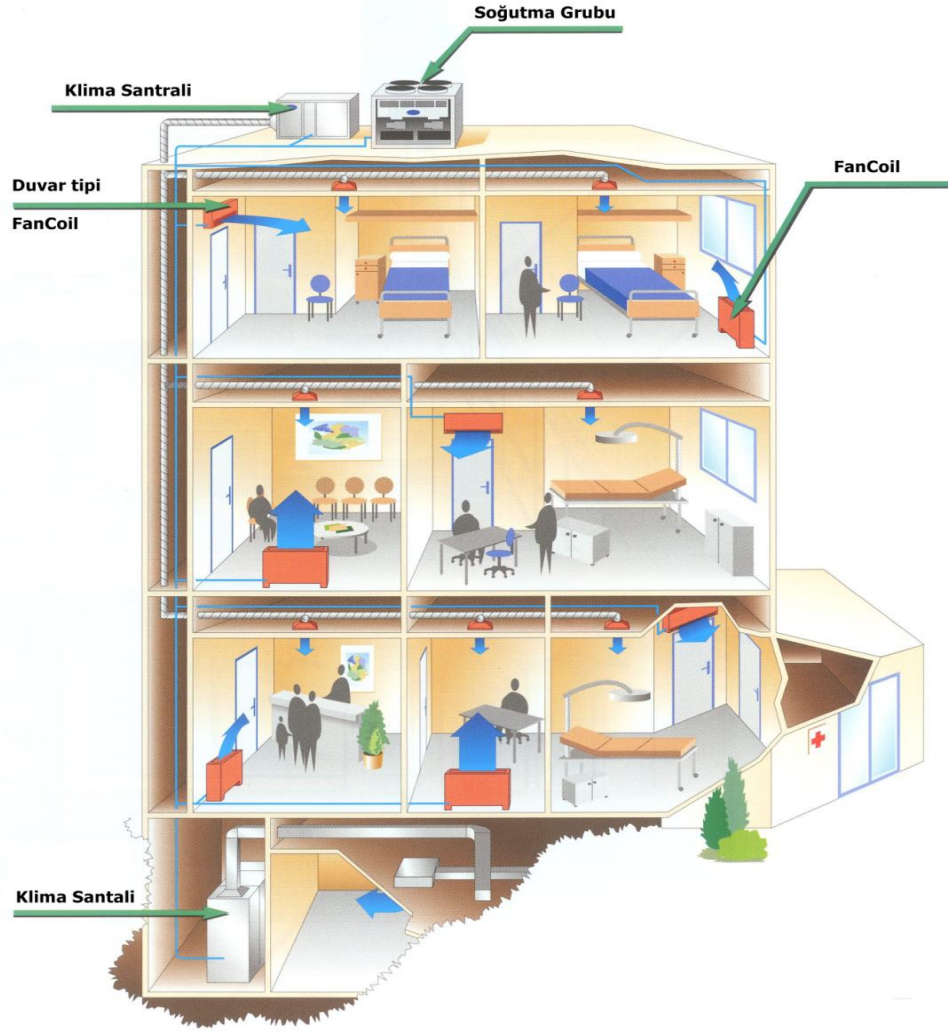
FCU sistemleri bir fan, ısıtma ve soğutma serpantinlerinden oluşmaktadır. Taze hava; merkezi klima santralinde belirli bir sıcaklığa getirilir ve mahallere gönderilir. Mahallerde bulunan FCU sistemleri havayı istenilen sıcaklığa getirir. FCU sistemleri her mahal için birbirlerinden bağımsız termostat kontrolü yapabilme yeteneğine sahiptir. Merkezi klima santralinden gelen hava, Fan-Coil cihazında fan tarafından üflenir ve serpantin üzerinden geçirilir. Isıtma sezonu için, merkezi klima santralinde kazandan gelen sıcak su, soğutma sezonu için ise su soğutma grubundan (Chiller) gelen soğuk su serpantinden geçerek havayı şartlandırır.

FCU sistemleri basit yerel kontrol sağlamakta ve ilk yatırım maliyetinin düşük olması sebebiyle tercih edilmektedir. Örnek bir FCU sisteminin şematik gösterimi ve sistem resmi Şekil 3.20’de ve Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Fan-Coil (FCU) Sistemin şematik gösterimi [33]

Fan-Coil (FCU) sistemi programda, farklı zonları beslemek üzere 3 adet karışım havalı klima santrali, 3 adet besleme fanı ve 3 adet egzoz fanı olmak üzere toplam 6 adet öne eğik kanatlı fan içerecek şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 3.21. Fan-Coil (FCU) Sistemi [34]

Fan-coil (FCU) Sistemleri için belirlenen sistem karakteristikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. FCU sistem karakteristikleri

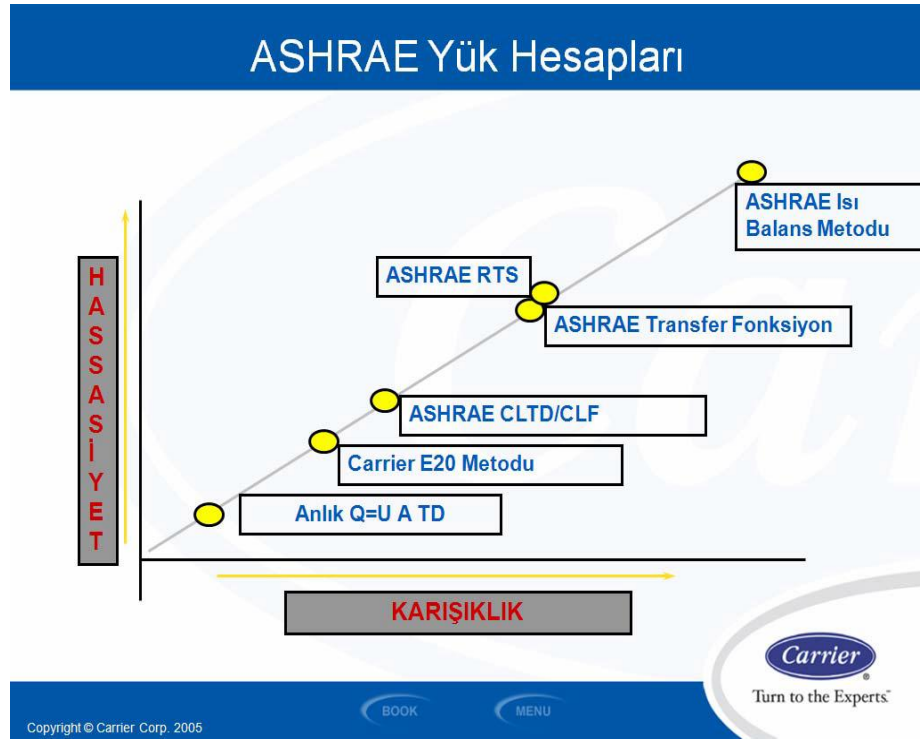
Klima Santrali Üfleme Sıcaklığı	Yaz	19 °C
	Kış	23 °C
Fan-coil Cihaz Çıkış Sıcaklığı	Yaz	13 °C
	Kış	35 °C
Isıtma Kaynağı	Sıcak Su Kazanı 80-60 °C	
Soğutma Kaynağı	Hava soğutmalı su soğutma grubu 7-12 °C	

3.2 Yöntem

3.2.1 ASHRAE Transfer Fonksiyon Yöntemi

Bu tez çalışmasında örnek bir binanın enerji verimliliği analizi Carrier HAP programı ile yapılmıştır. HAP programının; ısı yükleri hesaplarırken ASHRAE Transfer Fonksiyon Yöntemini kullandığından 2. Kuramsal Temeller bölümünde bahsedilmiştir.

Genel olarak yapıların ısı yükleri hesaplanırken farklı yöntemler kullanılabilir. Isı yükleri ilk olarak elle ve anlık hesap yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır ve ısı kazançlarının anlık soğutma yükü olarak karşımıza çıktığı kabul edilmiştir. Bu şekilde yapılan hesaplar kolay ve hızlı olmasına rağmen, ısı depolama, radyasyon transferi gibi işlemler göz önüne alınmadığından hassasiyet düşüktür. Isı kazançlarının soğutma yüküne dönüşmesinde çok etkili olan, ısı depolama, radyasyon transferi gibi işlemler, ilk olarak 1960'da Carrier Sistem Dizayn El Kitabı'nda yayınlanmıştır. Bu yayında eşdeğer sıcaklık farkları (Equivalent Temperature Difference-ETD) ve depolama yük faktörleri (Storage Load Factors-SLF) yer almıştır. Bu faktörler soğutma yükü tahmininde kullanılmıştır. Yapı elemanları tarafından ısı depolamasının etkilerinin birleşimi, binanın yön ve doluluk değerinin etkileri ise 1970'lerde ASHRAE CLTD/CLF yönteminde dikkate alınmıştır. Her iki yöntem de, elle yapılan hesap işlemindeki gibi karmaşıklık ve doğruluk dengelemesi yapabilmesine rağmen, esnek bir hesap yöntemi değildir. Bina yükleri; yapı, çevre ve bina kullanımını içeren geniş ve değişik faktörlerden etkilenir. Tablo esaslı el hesabı yöntemi, tipik olarak temel şartları sabit ayarlamak ile hesaplanır (39° kuzey enlemi için Eylül ayı yük hesaplaması gibi) ve sonra diğer koşulları elde etmeyi düzeltme faktörleri kullanarak yapar. Sonuçta bu yaklaşım hata ve gerçekliğin azalmasına sebep olmaktadır [35].



Şekil 3.22. Yük hesap yöntemlerinin karışıklık-hassasiyet doğrusu [35]

Bu yöntemler; daha karmaşık yöntemler ile karşılaştırıldığında, yüklerin her farklı tasarım için farklı bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Isı balans yöntemi, bina yük hesapları için bu probleme çözüm sağlamış çok titiz bir yöntemdir. Isı balans yöntemi tüm iletim, taşınım, radyasyon ve ısı depolama gibi farklı etmenleri bir arada değerlendirir. Isı transferi ve termodinamiğin temel kanunlarını kullanarak, binada yük oluşumunu inceler.

Binadaki tüm ısı transferleri, tüm yüzeyler ve kütleler için, her biri ayrı yazılmış denklemler ile tüm işlemi içerir şekilde değerlendirilir. Tüm ısı balans denklemleri eş zamanlı çözümlenerek, mahal havasına transfer edilmesi gereken ısı miktarı bulunur. Böylece mahaldeki ısı akışı doğru bir şekilde değerlendirilebilir. Isı balans yöntemi ile yüksek doğruluk elde edilebilir. Ancak karmaşık ve güçlü bilgisayar donanımları gerektirir. Oldukça teferruatlı girdiler yapılmasına ve hesaplama zamanının uzun olmasına sebep olur.

Transfer Fonksiyonu Yönteminde, ısı balansı yönteminin basitleştirmesi için matematiksel denklemler kolaylaştırılarak kullanılır. Böylece verimli hesaplama zamanları, ısı balans yönteminin doğruluğundan çok ödün vermeden daha hızlı gerçekleştirilir. Transfer Fonksiyonu hesapları ısı kaynaklarından, sıcak çevre havası, güneş radyasyonu, aydınlatmalar, insanlar vb. gibi ısı kazançlarının iletim, taşınım,

radyasyon ve ısı depolama işlemlerinden geçerek nasıl yüke dönüştüğünü inceler. Böylece gerçek zamanlı olarak bir bina için dinamik ısı transferlerini hesaplar. Hacimlerdeki ve sistemlerdeki yük değişimini saatlik olarak ele alır. Ayrıca özel tasarım, yapı, çevre, bina kullanım şartları için de hesaplamalar yapılır ki, hesaplamalar her değişik bina uygulamasına özelleştirilmiş olur. Bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılması sayesinde, transfer fonksiyonları karmaşıklığı ve doğruluk arasında iyi bir uzlaşma sağlar. Program kullanılırken, Transfer Fonksiyonu Yöntemi kullanılarak, tüm yük kaynakları dinamik ısı akışını içerecek şekilde hesaplanır [35].

Transfer Fonksiyonu Yöntemi; iklimlendirilen bir ortamın soğutma yükünün saat-saat bulunmasını, ortamda uygulanacak farklı sistem tipleri, kontrol stratejileri ve işletme şekilleri için son ortam şartlarının tespit edilmesini mümkün kılmaktadır [36].

HAP programı, tabanındaki ASHRAE Transfer Fonksiyonu Yöntemi eşitliklerine göre aşağıda verilen üç adımda ısı yükleri hesaplamaktadır.

1. Program ilk aşamada; iletimle gerçekleşen ısı geçişlerini duvarlar, çatılar ve döşeme için hesaplar. Duvarlar, çatılar ve döşemelerdeki katmanlar arası ısı geçişini inceler.
2. İkinci aşamada; tüm elemanlar için taşınım, ışıınım ve ısı depolama süreçlerinin analizlerini yapmaktadır. Işıınım yoluyla elemanların soğurduğu enerji daha sonraki bir zamanda odaya yayılır.
3. Üçüncü adımda program; mahal sıcaklık transferi fonksiyon eşitliklerini kullanarak, binadan odaya geçen ısı geçişlerini dikkate alır ve oda sıcaklığındaki değişimi inceler.

ASHRAE Transfer Fonksiyon Yöntemi'ne göre yapılan hesaplamalarda çatılar ve duvarlardan olan ısı kazancı;

$$q_{e,t} = \left(\sum_{n=0} b_n T_{sol,t-n\Delta} - \sum_{n=1} d_n \frac{q_{e,t-n\Delta}}{A} - T_r \sum_{n=0} C_n \right) A \quad (3.1)$$

Burada;

t: Zaman (saat)

Δ : Zaman aralığı (saat)

n: Toplam zaman aralığı indeksi

$T_{sol,t-n\Delta}$: t-n Δ zamanındaki hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

$q_{e,t-n\Delta}$: t-n Δ zamanındaki, iletimle olan ısı kazancı (W)

b_n, c_n, d_n : İletim transfer fonksiyon katsayıları

A: Çatı veya duvarın iç yüzey alanı (m^2) olarak ifade edilmektedir.

Işınım ve iletimle pencerelerden olan ısı geçişi;

$$q_{so,t} = A_{s,t} (SC) (SHGF_t) + A_{sh,t} (SC) (SHGF_{sh,t}) \quad (3.2)$$

Burada;

$A_{s,t}$: t anında, pencerelerin aydınlık alanı (m^2)

$A_{sh,t}$: t anında, pencerelerin gölgeli alanı (m^2)

SC: Gölgeleme katsayısı

SHGF: t anında güneş ısı kazanç faktörü (W/m^2)

$SHGF_{sh,t}$: t anında gölgeli alan için güneş ısı kazanç faktörü (W/m^2) olarak ifade edilmektedir.

İç ve dış ortam sıcaklık farkı sebebiyle pencerelerden iletimle olan ısı transfer miktarı;

$$q_{win,t} = U_{win} A_{win} (T_{o,t} - T_r) \quad (3.3)$$

Burada;

U_{win} : Pencerenin toplam ısı transfer katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)

A_{win} : Pencerenin toplam yüzey alanı (m^2)

$T_{o,t}$: t anındaki dış hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) olarak ifade edilmektedir.

Isı kazançları hesaplanırken aşağıdaki gibi formülüze edilirler.

İnsanlar

Duyulur ısı kazancı;

$$q_{sp,t} = N_{p,t} (SHG_p) \quad (3.4)$$

Burada;

$N_{p,t}$: t anında, şartlandırılma mahalindeki insan sayısını,

SHG_p : Her bir insandan olan duyulur ısı kazancı (W) olarak ifade edilmektedir.

Gizli ısı kazancı;

$$q_{lp,t} = N_{p,t} (LHG_p) \quad (3.5)$$

Burada;

$N_{p,t}$: t anında, şartlandırılma mahalindeki insan sayısını,

LHG_p : Her bir insandan olan gizli ısı kazancı (W) olarak ifade edilmektedir.

Aydınlatma:

$$\begin{aligned} q_{s,l} &= 3.413 W_{lamp} F_{usi} F_{al} \quad (3.6) \\ &= 3.413 W_A A_{fl} \end{aligned}$$

Burada;

W_{lamp} : Aydınlatmanın giriş gücü (W)

W_A : Birim alana düşen aydınlatma gücü (W/m^2)

F_{usi} : Kullanma faktörü

F_{al} : Balast katsayısı (40 W'lık bir floresan aydınlatma için 1.18 ile 1.3 arasında bir değer alınır.) olarak ifade edilmektedir.

Cihazlar:

$$q_{\text{duyulur}}: q_{\text{is}} F_{\text{ua}} F_{\text{ra}} / F_{\text{fl}} \quad (3.7)$$

$$q_{\text{gizli}}: q_{\text{il}} F_{\text{ua}} \quad (3.8)$$

Burada;

$q_{\text{is}} - q_{\text{il}}$: Cihazlardan gelen duyulur ve gizli ısı kazançları

$F_{\text{ua}} F_{\text{ra}} F_{\text{fl}}$: Kullanım, ışıınım ve kayıp faktörleri olarak ifade edilmektedir.

Havalandırma ve enfiltrasyon havası

$$q_{\text{duyulur}}: 1.23 Q (t_o - t_i) \quad (3.9)$$

$$q_{\text{gizli}}: 3010 Q (W_o - W_i) \quad (3.10)$$

$$q_{\text{toplaml}}: 1.20 Q (H_o - H_i) \quad (3.11)$$

Burada;

Q : Havalandırma debisi (m^3/h)

t_o, t_i : dış ve iç ortam sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)

W_o, W_i : Dış ve iç ortam havasının nem değerleri (g/kg)

H_o, H_i : Dış ve iç ortam havasının entalpi değerleri (kJ/kg)

Yapılan tüm bu hesaplamalardan sonra soğutma yükü hesabı aşağıdaki gibi hesaplanır.

Duyulur

$$Q_{\theta} = Q_{if} + Q_{sc} \quad (3.12)$$

$$Q_{if} = \sum_{i=1} (v_0 q_{\theta,i} + v_1 q_{\theta,i-\delta} + v_2 q_{\theta,i-2\delta} + \dots) \\ - (w_1 Q_{\theta-\delta} + w_2 Q_{\theta-2\delta} + \dots) \quad (3.13)$$

$$Q_{sc} = \sum_{j=1} q_{c,j} \quad (3.14)$$

Q_{if} : ısıtım ve taşınılma ısı kazancı sağlayan her yapı elemanından kaynaklanan duyulur soğutma yükü

V, w : Salon geçiş fonksiyonu katsayıları

δ : Zaman adımı (1 saat)

q_0 : Işıtım bileşeni olan her i elemandan olan ısı kazancı

Q_{sc} : Taşınım ısı kazancı sağlayan yapı elemanlarından olan duyulur soğutma yükü

q_c : Taşınım ısı kazancı sağlayan j kadar yapı elemanından olan ısı kazancı olarak ifade edilmektedir.

Gizli

$$Q_l = \sum_{n=1} (q_{c,n}) \quad (3.15)$$

$q_{c,n}$: Gizli ısı kazancı sağlayan n kadar bileşenin her birinden olan ısı kazancı

3.2.2 Karbondioksit Salınım Faktörleri

Binalarda tüketilen fosil kaynaklı yakıtlar ve üretimi sırasında atmosfere sera gazı salınan elektrik enerjisi karbondioksit salınımının sebebidir. Isıtma sezonunda, sıcak su üretimi için doğalgaz tüketilirken; soğutma sezonunda ise, çillerde soğuk su üretimi, fanların sağladığı havalandırma, pompalama, aydınlatma ve elektrikli ekipmanların çalışması için elektrik enerjisi tüketilir. Birincil enerji kaynakları ve sera gazı salınım faktörleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Birincil Enerji Kaynaklarının CO₂ Dönüşüm Katsayıları [5]

Birincil Enerji Çeşidi	CO ₂ Dönüşüm Katsayısı (kg CO ₂ /kWh)
Elektrik	0,354
Doğalgaz	0,202
Sıvı Yakıtlar	0,286
Hidrojen	0

4. SİMÜLASYON HESAPLAMALARI

Yapılan çalışmanın bu kısmında farklı durumlar için enerji simülasyonu sonuçları incelenmiştir. Üç farklı HVAC sistemi seçilmiş olup, her bir sistem için yalıtımlı-yalıtımsız duvar, tek-çift cam gibi durumlar için simülasyon yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda farklı durumlar için enerji tüketimleri, tüketim maliyetleri ve karbondioksit salınımları hesaplanmıştır.

Enerji maliyeti hesapları yapılırken doğalgaz enerjisi ve elektrik enerjisi için bir birim fiyat tayin edilmiştir. Çizelge 4.1’de doğalgaz ve elektrik enerjileri için birim fiyat verilmiştir.

Çizelge 4.1. Doğalgaz ve Elektrik Enerjilerinin Birim Fiyatları

	Birim Fiyat
Doğalgaz	0.182 TL/kWh
Elektrik	0.643 TL/m ³

4.1 CAV Sistem Simülasyon Sonuçları

CAV sistemler için yapılan simülasyon hesaplamalarında belirlenen ilk parametre; sistemlerin aylar baz alınarak verilen enerji tüketim değerleridir. Çizelge 4.2.’de HVAC kaynaklı ve HVAC dışı enerji tüketim değerleri verilmiştir. Hesabı yapılan yapıda duvarlar 5 cm XPS yalıtım malzemesi, camlar ise 5 cm + 5 cm çift katlı low-e özellikli ısı cam ihtiva etmektedirler.

Çizelge 4.2. CAV sistemi için yıllık enerji tüketim miktarı

Ay	HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi		HVAC Dışı Enerji Tüketimi
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)
Ocak	11168	43903	26498
Şubat	5647	17827	24089
Mart	2552	5600	25294
Nisan	13136	0	25294
Mayıs	30342	0	24089
Haziran	44204	0	25294
Temmuz	66429	0	27703
Ağustos	54860	0	25294
Eylül	41562	0	26498
Ekim	14637	374	26498
Kasım	3910	10261	24089
Aralık	9710	36499	27703
Toplam (kWh/yıl)	298157	114464	308342
Toplam (kWh/m²/yıl)	44.92	17.24	46.45

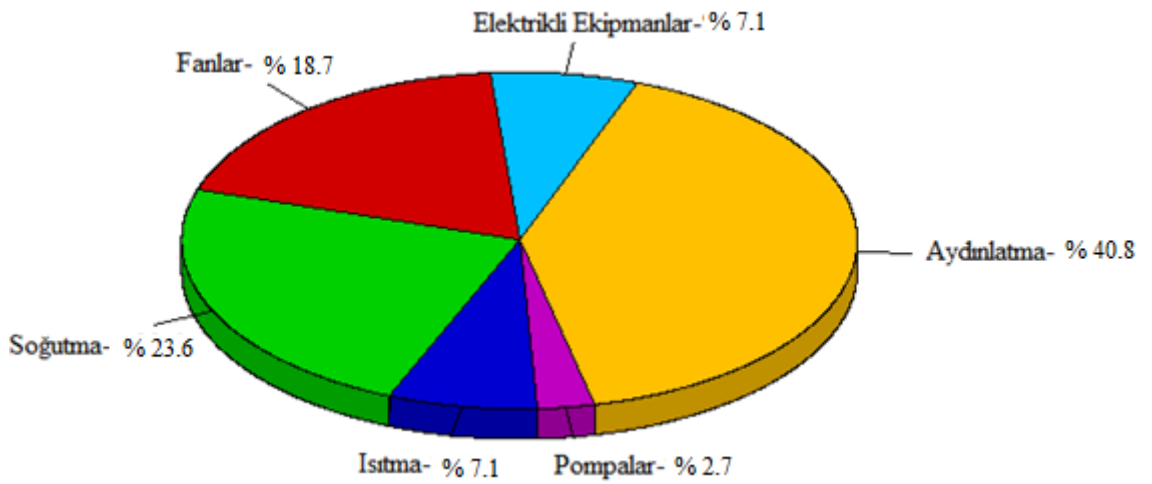
CAV sistemi için hesaplanan değerlerde HVAC kaynaklı elektrik enerjisi tüketiminin doğalgaz enerjisi tüketimine oranla yüksek olduğu görülmüştür. Yapıda gerekli soğutmayı sağlamak için elektrik enerjisi tüketilir. Ayrıca ısıtma ve soğutma sezonları için, sıcak ve soğuk su dolaşımı pompalarla sağlanmaktadır ki pompalar hatırı sayılır miktarda elektrik enerjisi tüketirler. HVAC dışı enerji tüketimi ise aylara göre yaklaşık bir değerde seyretmiştir.

Çizelge 4.3'te yıllık enerji maliyetleri, HVAC kaynaklı ve HVAC dışı durumlar için enerjinin tüketildiği birimlerle birlikte sunulmuştur. Yapının HVAC kaynaklı yıllık enerji maliyeti, HVAC dışı yıllık enerji maliyetinden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.3 CAV Sistemi Bileşen Bazında Yıllık Enerji Maliyeti

Bileşen	CAV Sistemi (TL)
Fanlar	21931
Soğutma	27524
Isıtma	7674
Pompalar	4705
HVAC Toplam	61834
Aydınlatma	47724
Elektrikli Ekipmanlar	8286
HVAC Dışı Toplam	56010
Toplam	117844

Şekil 4.1’de CAV sisteminin kullanıldığı binanın, enerji tüketen bileşenlerin yüzdelik payı verilmiştir. Yüzdelik paylara bakıldığında en önemli HVAC kaynaklı tüketimi, binanın toplam enerji tüketiminin % 52.1’ini oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. CAV sistemi için bileşen bazında yıllık enerji tüketim payları

Yapıda CAV sistemi kullanıldığı takdirde binada enerji tüketen tüm unsurların salınımına sebebiyet verdiği karbondioksit miktarı Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. CAV Sistemi için yıllık CO₂ salınım miktarı

Sistem	CO ₂ Salınım Miktarı (ton/yıl)
CAV	214.7

4.2 CAV Sistemi İçin Mimari Alternatif Simülasyon Sonuçları

Bu kısımda CAV sisteminin kullanıldığı yapı için duvar ve pencere yalıtımının etkisi incelenmiştir. Duvarın yalıtımlı, yalıtımsız olma durumuyla, pencerelerin çift cam tek cam olma durumları incelenmiştir. Alternatif çözümler için enerji tüketim değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. CAV sistemi için mimari alternatiflerin aylık enerji tüketimleri

	Çift Cam-Yalıtım		Tek Cam-Yalıtımlı		Çift Cam-Yalıtımsız	
	HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi		HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi		HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	
Ay	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ocak	11168	43903	26980	175736	15090	92955
Şubat	5647	17827	16809	104195	8246	46578
Mart	2552	5600	12392	750700	4978	25423
Nisan	13136	0	954	0	8333	0
Mayıs	30342	0	15413	0	25527	0
Haziran	44204	0	32632	0	41127	0
Temmuz	66429	0	60723	0	65990	0
Ağustos	54860	0	48601	0	53985	0
Eylül	41562	0	30120	0	38300	0
Ekim	14637	374	2629	13732	724	3193
Kasım	3910	10261	13226	78417	6034	31436
Aralık	9710	36499	22911	145077	12983	77918
Toplam (kWh/yıl)	298157	114464	283390	592228	281317	277493
Toplam (kWh/m²/yıl)	44.92	17.24	43.09	89.22	42.38	41.8

CAV sistemi için farklı mimari alternatifler olmaları halinde atmosfere salınan karbondioksit miktarları Çizelge 4.6’da karşılaştırılmıştır. Pencere ve duvarların yalıtımsız olmaları halinde; tüketilen enerji miktarının (özellikle ısıtma amaçlı) artması sebebiyle, atmosfere salınacak karbondioksit miktarının arttığı görülmüştür.

Çizelge 4.6. CAV sistemi için mimari alternatiflerin yıllık CO₂ salınım miktarları

Sistem	CO ₂ Salınım Miktarı (ton/yıl)
CAV (Çift Cam-Yalıtım)	214.7
CAV (Tek Cam-Yalıtım)	219.5
CAV (Çift Cam-Yalıtımsız)	215.2

4.3 VAV Sistem Simülasyon Sonuçları

VAV sistemlerinin kullanıldığı bina örneği için aylık ve yıllık, HVAC kaynaklı ve HVAC harici birimlerin enerji tüketim miktarları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. VAV Sistemi için yıllık enerji tüketim miktarı

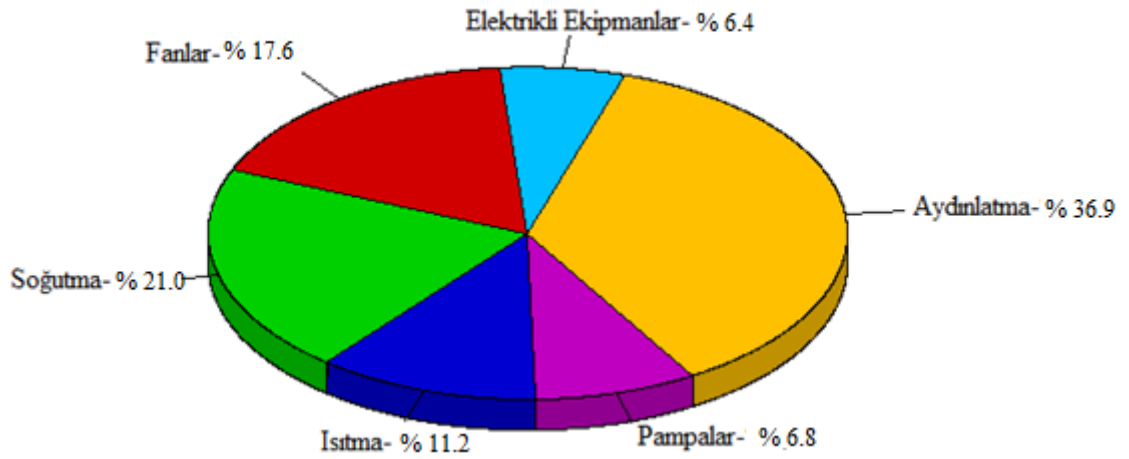
Ay	HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi		HVAC Dışı Enerji Tüketimi
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)
Ocak	16852	70083	26498
Şubat	13780	35751	24089
Mart	13242	20340	25294
Nisan	10807	0	25294
Mayıs	24717	0	24089
Haziran	41361	0	25294
Temmuz	68872	0	27703
Ağustos	57778	0	25294
Eylül	36332	0	26498
Ekim	10768	4200	26498
Kasım	13188	28290	24089
Aralık	16032	59160	27703
Toplam (kWh/yıl)	323729	217824	308342
Toplam (kWh/m²/yıl)	48.77	32.81	46.45

Çizelge 4.8’de VAV iklimlendirme sisteminin kullanıldığı örnek binanın bileşen bazında yıllık enerji maliyetleri sunulmuştur.

Çizelge 4.8. VAV Sistemi bileşen bazında yıllık enerji maliyeti

Bileşen	VAV Sistemi (TL)
Fanlar	22762
Soğutma	27182
Isıtma	14603
Pompalar	8861
HVAC Toplam	73408
Aydınlatma	47724
Elektrikli Ekipmanlar	8286
HVAC Dışı Toplam	56010
Toplam	129418

VAV sistemi için enerji tüketen birimlerin, yıllık enerji tüketimlerindeki payları Şekil 4.2’te verilmiştir.



Şekil 4.2. VAV sistemi için bileşen bazında yıllık enerji tüketim payları

Yapıda VAV sistemi kullanıldığı takdirde, yapının salınımına sebebiyet verdiği karbondioksit miktarı Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. VAV Sistemi için yıllık CO₂ salınım miktarı

Sistem	CO ₂ Salınım Miktarı (ton/yıl)
VAV	225.7

4.4 VAV Sistemi İçin Mimari Alternatif Simülasyon Sonuçları

VAV sistemi için duvarların yalıtımlı-yalıtımsız ve camların tek-çift cam olma halleri göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 4.10'da VAV sistemi için aylık ve yıllık enerji tüketim değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10. VAV sistemi için mimari alternatiflerin aylık enerji tüketimleri

	Çift Cam-Yalıtım		Tek Cam-Yalıtımlı		Çift Cam-Yalıtımsız	
	HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi		HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi		HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	
Ay	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ocak	16852	70083	17953	198618	18004	114332
Şubat	13780	35751	15262	125830	14917	65307
Mart	13242	20340	15231	96935	14666	43778
Nisan	10807	0	8268	0	10156	0
Mayıs	24717	0	16971	0	22865	0
Haziran	41361	0	30532	0	39056	0
Temmuz	68872	0	57368	0	67247	0
Ağustos	57778	0	47725	0	55969	0
Eylül	36332	0	28189	0	33983	0
Ekim	10768	4200	11753	27273	11246	9791
Kasım	13188	28290	14557	103792	14667	52697
Aralık	16032	59160	16565	166578	17069	96379
Toplam (kWh/yıl)	323729	217824	280376	719036	319846	382274
Toplam (kWh/m²/yıl)	48.77	32.81	42.24	108.32	48.18	57.59

VAV sistemi için mimari alternatif çözümlerinde, atmosfere salınan karbondioksit miktarı Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. VAV sistemi için mimari alternatiflerin yıllık CO₂ salınım miktarları

Sistem	CO ₂ Salınım Miktarı (ton/yıl)
VAV (Çift Cam-Yalıtım)	225.7
VAV (Tek Cam-Yalıtım)	240.4
VAV (Çift Cam-Yalıtımsız)	232.8

VAV sistemi için yapılan mimari alternatif çözümlerinde, yıllık enerji tüketim miktarı artmıştır, bu sebeple atmosfere salınımına sebebiyet verilen karbondioksit miktarı da artmıştır.

4.5 Fan-Coil + Taze Hava Sistem Simülasyon Sonuçları

Fan-Coil sistemlerinin kullanıldığı bina örneği için aylık ve yıllık, HVAC kaynaklı ve HVAC harici birimlerin enerji tüketim miktarları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. FCU Sistemi için yıllık enerji tüketim miktarı

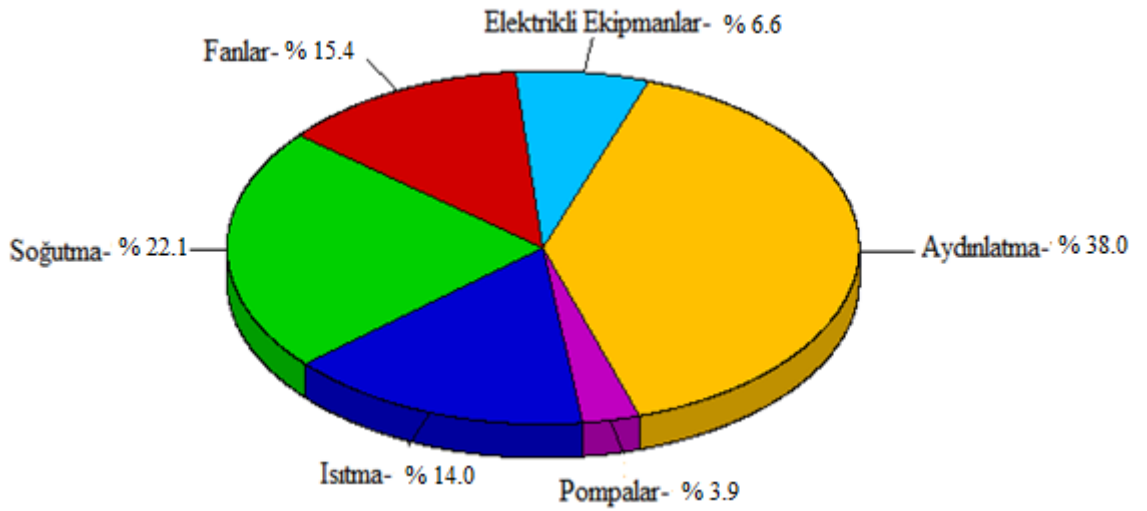
Ay	HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi		HVAC Dışı Enerji Tüketimi
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)
Ocak	11322	79702	26498
Şubat	9884	44823	24089
Mart	10055	29565	25294
Nisan	18482	0	25294
Mayıs	29140	0	24089
Haziran	39753	0	25294
Temmuz	53822	0	27703
Ağustos	46126	0	25294
Eylül	36257	0	26498
Ekim	10261	10328	26498
Kasım	9772	29172	24089
Aralık	11643	69632	27703
Toplam (kWh/yıl)	286515	263222	308342
Toplam (kWh/m²/yıl)	43.16	39.50	46.45

Çizelge 4.13’te FCU sisteminin bileşen bazında yıllık enerji maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 4.13. FCU Sistemi bileşen bazında yıllık enerji maliyeti

Bileşen	FCU Sistemi (TL)
Fanlar	19414
Soğutma	27746
Isıtma	17647
Pompalar	4886
HVAC Toplam	69693
Aydınlatma	47724
Elektrikli Ekipmanlar	8286
HVAC Dışı Toplam	56010
Toplam	125703

FCU sistemi için enerji tüketen birimlerin, yıllık enerji tüketimlerindeki payları Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. FCU sistemi için bileşen bazında yıllık enerji tüketim payları

Yapıda FCU iklimlendirme sistemi kullanılması durumunda atmosfere salınacak karbondioksit miktarı Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. FCU Sistemi için yıllık CO₂ salınım miktarı

Sistem	CO ₂ Salınım Miktarı (ton/yıl)
FCU	213.7

4.6 Fan-Coil + Taze Hava Sistemi İçin Mimari Alternatif Çözümleri

Yapıda iklimlendirmeyi sağlamak için FCU sistemi kullanılan örnek bina için duvarların yalıtımsız olma durumu ve camların tek cam olma durumu için yıllık enerji tüketimleri Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.15. FCU sistemi için mimari alternatiflerin aylık enerji tüketimleri

	Çift Cam-Yalıtım		Tek Cam-Yalıtımlı		Çift Cam-Yalıtımsız	
	HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi		HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi		HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	
Ay	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ocak	11322	79702	8511	213377	8371	128707
Şubat	9884	44823	7619	135851	7445	75592
Mart	10055	29565	7797	103763	7639	51862
Nisan	18482	0	8028	0	12707	0
Mayıs	29140	0	17642	0	23820	0
Haziran	39753	0	29015	0	35096	0
Temmuz	53822	0	47354	0	51048	0
Ağustos	46126	0	39597	0	43150	0
Eylül	36257	0	27803	0	31953	0
Ekim	10261	10328	7737	29067	7697	14950
Kasım	9772	29172	7461	106103	7339	56463
Aralık	11643	69632	8727	181068	8587	111829
Toplam (kWh/yıl)	286515	263222	217290	769238	244851	437946
Toplam (kWh/m²/yıl)	43.16	39.50	32.73	115.89	36.88	65.98

FCU sistemi için mimari alternatif çözümlerinde, atmosfere salınan karbondioksit miktarı Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. FCU sistemi için mimari alternatiflerin yıllık CO₂ salınım miktarları

Sistem	CO ₂ Salınım Miktarı (ton/yıl)
FCU (Çift Cam-Yalıtım)	213.7
FCU (Tek Cam-Yalıtım)	215.9
FCU (Çift Cam-Yalıtımsız)	216.4

4.7 HVAC Sistemlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 4.17’de CAV, VAV ve FCU sistemlerinin bileşen bazında yıllık enerji tüketim maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 4.17. HVAC sistemlerinin bileşen bazında yıllık enerji tüketim maliyetleri

Bileşen	CAV Sistemi (TL)	VAV Sistemi (TL)	FCU Sistemi (TL)
Fanlar	21931	22762	19414
Soğutma	27524	27182	27746
Isıtma	7674	14603	17647
Pompalar	4705	8861	4886
HVAC Toplam	61834	73408	69693
Aydınlatma	47724	47724	47724
Elektrikli Ekipmanlar	8286	8286	8286
HVAC Dışı Toplam	56010	56010	56010
Toplam	117844	129418	125703

Çizelge 4.18’de yapıda CAV, VAV ve FCU sistemlerinin kullanılmaları halinde atmosfere salınan karbondioksitin yıllık miktarları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.18. Farklı sistemler için yıllık karbondioksit salınım miktarları

Sistem	CO₂ Salınım Miktarı (ton/yıl)
CAV	214.7
VAV	225.7
FCU	213.7

5. EKONOMİK ANALİZ

5.1 Mimari Alternatiflerin Maliyet Analizi

5.1.1 Dış Duvarlarda Yalıtımın Maliyet Analizi

Dış duvarlarda kullanılan 5 cm XPS yalıtım uygulamasının malzeme, sıva ve işçilik masrafları dâhil maliyeti Yapı ve Teknik İşler Daire Başkanlığı'ndan temin edilen maliyet icmallerinden alınmıştır. Çizelge 5.1'de yalıtım uygulamasının toplam maliyeti verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yalıtım Maliyeti

Toplam Dış Duvar Alanı (m ²)	Birim Fiyat (TL/m ²)	Maliyet (TL)
1982	44.76	88714.2

Farklı HVAC sistemlerin uygulanması halinde yalıtım uygulamasının basit geri dönüş süresi hesaplamaları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Farklı HVAC Sistemleri İçin Yalıtımın Geri Dönüş Süresi

	CAV	VAV	FCU
Enerji Maliyeti (Yalıtımlı) (TL/yıl)	117844	129418	125703
Enerji Maliyeti (Yalıtımsız) (TL/yıl)	129756	138664	135657
Yatırım Maliyeti (TL)	88714	88714	88714
Geri Ödeme Süresi (yıl)	7.44	9.59	8,91

5.1.2 Çift Camlı Pencere Uygulamasının Maliyet Analizi

Dış duvarlarda kullanılan çift cam uygulamasının maliyeti Yapı ve Teknik İşler Daire Başkanlığı'ndan temin maliyet icmalleri dosyasından alınmıştır. Çizelge 5.3 low-e özellikli çift cam uygulamasının maliyetini göstermektedir.

Çizelge 5.3. Çift Cam Maliyeti

Toplam Cam Yüzey Alanı (m ²)	Birim Fiyat (TL/m ²)	Maliyet (TL)
2148	111,9	240.530

Çizelge 5.4. Farklı HVAC Sistemleri İçin Çift Camlı Pencerenin Geri Dönüş Süresi

	CAV	VAV	FCU
Enerji Maliyeti (Çift Camlı) (TL/yıl)	117844	129418	125703
Enerji Maliyeti (Tek Camlı) (TL/yıl)	151843	154948	153432
Yatırım Maliyeti (TL)	240530	240530	240530
Geri Ödeme Süresi (yıl)	7.07	9.42	8.67

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Farklı HVAC sistemleri için yapılan enerji simülasyonunda CAV sistemi; yıllık enerji tüketimi, yıllık enerji maliyeti bakımından VAV ve FCU sistemlerine nazaran avantajlı bir sistem olarak görülmüştür. Bunun sebebi VAV ve FCU sistemlerinin anlık değişken yüklere cevap verme yeteneğinin CAV sistemlerine göre daha yüksek olmasıdır. Anlık değişen yüklere cevap verme yeteneği arttıkça, tüketilen enerji miktarı da artmaktadır.

Sürdürülebilirlik açısından yapılan değerlendirmede FCU sistemlerinin yıllık karbondioksit salınım miktarı, diğer iki sisteme oranla daha düşük olduğu görülmüştür.

Dış duvarlara 5 cm XPS yalıtım uygulanması halinde, yıllık enerji maliyetlerinde, CAV sistemi için; % 9.1, VAV sistemi için % 6.6, FCU sistemi için % 7.3 tasarruf sağladığı gözlemlenmiştir.

Pencere tipi olarak 5 cm + 5 cm low-e özellikli ısı cam kullanılması, yıllık enerji maliyetlerinde, CAV sistemi için % 22.3, VAV sistemi için % 16.4, FCU sistemleri için % 18.1 tasarruf sağladığı gözlemlenmiştir.

Sürdürülebilirlik, yıllık enerji maliyeti ve anlık değişen yüklere cevap verme yeteneği gibi parametreler göz önünde bulundurulduğunda FCU sistemleri örnek bina için uygun görünmektedir. 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 ettiği gözlemlenmiştir.

Örnek binada daha etkin bir enerji verimliliği sağlamak için uygun HVAC iklimlendirme sisteminin seçilmesine ilave olarak; önem sırasıyla egzoz havası ile taze hava arasında duyulur ve gizli ısı transferini sağlayabilen etkinlik katsayısı yüksek (bu çalışmada 0.75 alınmıştır) ısı tekeri tipinde bir döner ısı geri kazanım ünitesinin kullanılması , uygun mahal içi kuru termometre sıcaklığı ve bağıl neminin referans alınması, soğutucu eşanjör için uygun by-pass faktörünün (bu çalışmada 0.10 alınmıştır) seçilmesi, pompalama elemanlarının (fanlar, pompalar ve kompresörler) frekans invertörleriyle tahrik edilmesi, klima santrallerinde geçiş mevsimlerinde serbest soğutma uygulamasının yapılması, oransal brülörlü-baca gazı analiziyle yanma

verimliliği kontrol altında tutulan yoğunlaşmalı kazanların kullanılması yanında bina ve tüm mekanik tesisatta ısı yalıtımı uygulamalarının optimum bir biçimde yapılması gereklidir.

Yapılacak olan fizibilite çalışmasından elde edilecek sonuçlara göre, çevreci ve enerji verimliliği yüksek bir sistem olduğu bilinen yatay borulamalı toprak kaynaklı bir ısı pompasının örnek binada ısıtma ve soğutma maksatlı kullanılması yanında, kısa sürelerde kendilerini amorti ettikleri bilinen bir mini veya küçük ölçekli kojenerasyon (veya trijenerasyon) sisteminin kullanılması uygun olabilecektir [37].

Örnek binanın ısı kazan ve kayıplarını minimize etmek için fotoselli kayar kapılarda hava perdeli sistemlerin kullanılması, binanın kuzey yönüne iğne yapraklı ağaçların dikilmesi (kışın yapıyı soğuk kış rüzgârlarına karşı kısmen korur) ve yaprağını döken ağaçların ise binanın güney yönüne dikilmesi (yazın güneş etkilerini azaltırken, kışın da güneş ışınları engellenmemiş olur) gibi uygulamaların enerji verimliliği bakımından önemli ölçüde yararı olacağı söylenebilir.

Malatya gibi gündüz yüksek ve gece ise düşük sıcaklıklarla karşılaşılan iklimlerde parafin mumu vb. faz değiştiren uygun maddelerde gizli ısı depolaması yoluyla soğutma ve ısıtma yapılması [38] yanında, gelecekte maliyet azalması sonucunda PV (güneş pilleri) ve yakıt pilleri kullanılarak örnek binanın elektrik ve hatta ısıtma ihtiyacının bir kısmının karşılanması [39] vb. yenilikçi uygulamalar alternatif çözümler olarak düşünülebilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Anonim, http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar, Ankara, 2011.
- [2] Anonim., *Key world energy statistics, International Energy Agency Report*, Paris, 2009 (http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/key_stats_2008.pdf)
- [3] G. Ünlü, *Sürdürülebilir Binalar İçin Hvac Sistemleri Seçimi, Tasarımı ve Enerji Verimliliği Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2010.
- [4] Coşkun C., Oktay Z., *Enerji Tasarrufu Perspektifinde Bir Kampüs Binasının Enerji Taraması Çalışması*, Tesisat Mühendisliği Dergisi, s. 49-55, 2010.
- [5] B. Yılmaz, *Binalarda Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009.
- [6] R. M. Milbrandt, *Simulating Energy Efficiency In Laboratory Buildings*, Master of Science, Iowa State University, Iowa, 2008.
- [7] Pan, Y., Yin, R. and Huang, Z., *Energy modeling of two Office buildings with data center for gree nbuilding design*, Energy and Buildings, 40, s. 1145-1152, 2008.
- [8] Eskin, N. and Türkmen, H., *Analysis of annual heating and cooling energy requirements for Office buildings in different climates in Turkey*, Energy and Buildings, 40, s. 763-773, 2008.
- [9] Cheung, C.K., Fuller, R. and Luther, M., *Energy-efficient envelope design for high-rise apartments*, Energy and Buildings, 37, s. 37-48, 2005.
- [10] Aktacir M. A., Büyükalaca O., Yılmaz T., *Life-cycle cost analysis for constant-air-volume and variable-air-volume air-conditioning systems*, Applied Energy, pp. 606-627, 2005.
- [11] H. Koyuncuoğlu, *Dynamic Energy Analysis In Buildings*, İzmir, 2004.
- [12] Akaryıldız, E. ve Ergin, G.A., *Merkezi Klima Sistemlerinin Karşılaştırılması*, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 58, s. 65-72, 2000.
- [13] İnancı, M. N. and Demirbilek, F. N., *Thermal performance optimization of building aspect ratio and South window size in five cities having different climatic characteristics of Turkey*, Building and Environment, s. 41-52, 2000.
- [14] Yazar Y., *Türkiye'nin Enerjideki Durumu ve Geleceği*, Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırma Vakfı Dergisi, Aralık 2010.
- [15] Çilingiroğlu, K., *Yalıtım Dergisi*, Sayı 7, İstanbul, 1997.
- [16] Öztürk H. K., Atalay O., Yılancı A., *Yapılarda Kullanılan HVAC Sistemlerinde Kontrol ve Enerji Verimliliği*, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 90, s. 69-76, 2005.
- [17] Anonim., 1987. *Our common future, Brundtland report, United Nations World Commission on Environment and Development*, Stockholm. (http://en.wikipedia.org/wiki/Our_Common_Future), Ekim 2008).
- [18] Anbarcı M., Giran Ö., Demir İ. H., *Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ile Türkiye'deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması*, NWSA Engineering Science, 7,1, 2012.
- [19] Frej, A. B., *"Green Office Buildings: A Practical Guide to Development"*, Urban Land Institute, Washington, D.C., 115 – 155, 2005.
- [20] Karaosman S. K., *Yeşil Çatılar ve Sürdürülebilir Bina Değerlendirme Sistemleri*, 2. Ulusal Çatı Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, 2006
- [21] Anonim, *T.C. Başbakanlık Personel ve Prensipler Genel Müdürlüğü Genelge 2008/2*, Ankara, 2008.

- [22] Anonim, Enerji Verimliliği Kanunu, http://www.eie.gov.tr/duyurular/EV/EV_kanunu/EnVerKanunu_Temmuz2008.pdf, Ankara, 2007.
- [23] TS-825. *Binalarda ısı yalıtım kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [24] Aktacir M. A., Nacar M.A., Yeşilata B., *Binalarda Enerji Verimliliği Amaçlı Yazılımlar Üzerine Kısa Bir Değerlendirme*, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir, s. 853-862.
- [25] Bayındırlık İskân Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Binalarda Enerji Verimliliği Şube Müdürlüğü, *Binalarda enerji performansı yönetmelik, hesaplama yöntemi, referans bina ve enerji sınıflandırması, yazılım, süreçler*, Aralık 2009.
- [26] “8760 saatlik bina enerji analizi”, Alarko Carrier Teknik Bülten, Mayıs 2007 sayı 21.
- [27] Crawley, D., Hand, J., Kummert, M., Griffith, B., *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs*, Building and Environment, 43, pp. 661–673, 2008.
- [28] Maile T., Fischer M., Bazjanac V., *Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective*, CIFE Working Paper, 2008
- [29] Anonim, EnergyPlus, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.
- [30] Crawley D.B., Lawrie L.K., Winkelmann F.C., Buhl W.F., Huang Y.J., Pedersen C.O., STRAND R.K., Liesen R.J., Fisher D.E., Witte M.J., Glazer J., *EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program*, Energy and Buildings, 33, 2001, pp. 319-331.
- [31] Yılmaz T., Bulut H., Türkiye İçin Yeni Dış Ortam Sıcaklık Tasarım Değerleri, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2001, İzmir, s. 293-311.
- [32] Hui, S. C. M., *Web-Based Information System for Energy Efficient Technologies in HVAC and the Built Environment*, In Proc. Of The 1999 Asia-Pacific Conference on Built Environment, 29 November - 2 December 1999, Taipei, Taiwan.
- [33] Carrier, Hourly Analysis Program 4.50, Carrier, 2008, USA.
- [34] "Catalogue 2009", Carrier, 2009.
- [35] Isın N. K., Alaloğlu M., Erdoğan A., Acar L., “*Saatlik Analiz Programı*”, TTMD Dergisi Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki, Sayı 73, 2011.
- [36] "Fundamentals", TTMD - Ashrae, Ankara, 1996.
- [37] Pennycook, K.; *The Illustrated Guide to Renewable Technologies*, BSRIA Guide, London, (2008).
- [38] Günerhan, H.; Faz Değişim Malzemeli Bir Soğutucunun Isıl Tasarımı, Binalarda Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik, IX Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 201-208, İstanbul, 3-5 Mayıs 2010.
- [39] Ural, Z., Gençoğlu, M.T.; Konutsal Uygulama İçin Bir Yakıt Pili Sisteminin Tasarımı, Kaynak Elektrik, 246, 98-103, Kasım, (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet ERDOĞAN; 1987 Malatya doğumlu olup, 2004 yılında İstanbul K.çekmece Marmara Lisesi'nden, 2009 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2010 yılında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı Anabilim Dalı'nda 2011 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.