

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bariş YILMAZ

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Isı-Akışkan

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış YILMAZ

(503061104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Nisan 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ARISOY (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zerrin YILMAZ (İTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Erhan BÖKE (İTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

İnsanoğlu barınma, ulaşım, sanayi gibi çağın gereksinimleri haline gelmiş unsurlarda enerji kullanmaktadır, ancak artan enerji ihtiyacına paralel olarak yakıt fiyatları da artmaktadır. Kullanılan her birim yakıt için atmosfere çevre için tehlike teşkil eden gazlar salınmaktadır. Küresel ısınma kaçınılmaz hale gelmiştir.

Binalar günümüzde en çok enerji kullanan sistemlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla binalarda kullanılan yakıt ve ihtiyaç duyulan enerjinin minimize edilmesi gerekmektedir, ama bunun bir maliyeti vardır. Tezin yapılmasındaki gün geçtikçe önem kazanan sürdürülebilirlik kavramının kontrol parametresini aramak, yani sürdürülebilirlik ve enerji etkinliğinin maliyeti ile bina tekniğinde kullanılan enerji etkenliğini artırmaya yönelik unsurların araştırılmasıdır.

Yüksek lisans tez çalışması boyunca benden hiçbir zaman destek ve emeğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ahmet ARISOY'a , beni bugünlere getiren sevgili aileme, değerli çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nisan 2009

Barış YILMAZ
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 Kapsam.....	3
1.3 Literatür Taraması	4
2. GENEL KAVRAM VE TARİFLER.....	7
2.1 Sürdürülebilirlik	7
2.2 Sürdürülebilir Binalar.....	8
2.3 Enerji Verimliliği ve Binalar	10
2.4 Karbon Emisyon Faktörleri	12
2.5 Türkiye’de Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği Mevzuatı	13
2.5.1 Binalarda ısı yalıtımı yönetmeliği	13
2.5.2 Binalarda enerji performansı yönetmeliği	14
2.5.2.1 Amaç ve kapsam	14
2.5.2.2 Mimari açıdan değerlendirilmesi	14
2.5.2.3 HVAC sistemleri açısından değerlendirilmesi	14
2.5.2.4 Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından değerlendirilmesi	15
2.5.2.5 Binalar için enerji kimlik belgesi düzenlenmesi	15
2.5.3 2002/91/EC Enerji performansı direktifi	15
2.5.4 TS-825 Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı	16
2.5.5 Enerji verimliliği kanunu	16
2.6 Bina Enerji Performansı Yazılımları	17
2.6.1 Carrier HAP	17
2.6.2 E-Quest.....	18
2.6.3 EnergyPlus	18
2.6.4 RETScreen	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1 Örnek Bina Tanımlaması	21
3.1.1 Yük hesapları	22
3.1.2 Tasarım koşulları.....	22
3.1.3 Tasarım takvimleri	23
3.2 Bina Enerji Simülasyonunda Kullanılan HVAC Sistemleri	24

3.2.1 Fan-Coil sistemi	24
3.2.2 Su kaynaklı ısı pompası sistemi	26
3.2.3 Değişken hava debisi (VAV) sistemi	29
3.3 Fotovoltaik Sistemler.....	30
3.3.1 Fotovoltaik birimleri	31
3.3.2 Aküler.....	32
3.3.3 Güç şartlandırma ve jeneratörler	32
3.3.4 Karbondioksit emisyon tasarrufu	32
3.3.5 Maliyet etkinliği	33
3.3.6 Fotovoltaik sistem ile elektrik eldesi.....	33
3.4 Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemleri.....	36
3.4.1 Sistem tipleri ve özellikleri.....	37
3.4.2 Karbondioksit emisyonu tasarrufu	37
3.4.3 Maliyet etkinliği	38
3.4.4 Mini paket kojenerasyon ünitesi ile elektrik ve ısı eldesi	38
3.5 Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliğinde Mimari Unsurlar	39
3.5.1 Dış duvarlar	40
3.5.2 Pencere-camlar	41
3.5.3 Bina oryantasyonu.....	41
3.6 Klima Santrallerinde Isı Geri Kazanımı	42
3.6.1 Isı geri kazanım ünitesi tipleri	42
3.6.2 Enerji etkinliği.....	43
3.7 Değişken Devir Teknolojisi.....	43
4. SİSTEM ÇÖZÜMLERİ VE SİMÜLASYON	45
4.1 Referans Bina Simülasyon Sonuçları	46
4.2 Mimari Alternatifler	49
4.2.1 İzolasyon alternatifleri.....	49
4.2.2 Cam cephe alternatifleri	51
4.2.3 Bina yönü alternatifleri	53
4.3 HVAC Sistemi Alternatifleri.....	54
4.3.1 FCU sistemi alternatifi	54
4.3.2 WSHP sistemi alternatifi	54
4.3.3 VAV sistemi alternatifi	57
4.4 Klima Santrallerinde Isı Geri Kazanım Alternatifi	59
4.5 Değişken Devir Teknolojisi Kullanımı Alternatifi.....	61
4.6 Fotovoltaik Sistem Alternatifi	62
4.7 Kojenerasyon Sistemi.....	65
5. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE EKONOMİK ANALİZ.....	69
5.1 Mimari Alternatifler	69
5.1.1 İzolasyon alternatifleri.....	69
5.1.2 Cam alternatifleri.....	71
5.1.3 Bina oryantasyonu alternatifleri	74
5.2 HVAC Sistem Alternatifleri	75
5.3 Klima Santrallerinde Isı-Geri Kazanımı Alternatifi	77
5.4 Pompalarda VSD Teknolojisi Kullanım Alternatifi	79
5.5 Fotovoltaik Sistem Alternatifi	81
5.6 Paket Kojenerasyon Ünitesi Alternatifi.....	83
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	95
EKLER.....	99

KISALTMALAR

HVAC	: Heating, Ventilation, Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme)
HAP	: Hourly Analysis Program
VAV	: Variable Air Volume (Değişken Hava Debisi)
WSHP	: Water Source Heat Pump (Su Kaynaklı Isı Pompası)
FCU	: Fan-Coil Unit (Fan Coil Ünitesi)
COP	: Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
eşd.	: Eşdeğer
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
FV	: Fotovoltaik
Alt.	: Alternatif
HR	: Heat Recovery (Isı geri kazanma)
VSD	: Variable Speed Drive (Değişken devir sürücüsü)
G.Ö.S.	: Geri ödeme süresi (basit)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kullanımı yaygın olan yenilenebilir enerji teknolojileri	9
Çizelge 2.2 : Enerji tüketimi – CO ₂ üretimi dönüşüm katsayıları	12
Çizelge 2.3 : Yalıtıma göre ısıtma ihtiyaçları	16
Çizelge 3.1 : Örnek bina tanımlaması.....	21
Çizelge 3.2 : Mahal tasarım koşulları	23
Çizelge 3.3 : FCU sistem karakteristikleri	26
Çizelge 3.4 : WSHP sistem karakteristikleri	28
Çizelge 3.5 : VAV sistem karakteristikleri	30
Çizelge 3.6 : Genel FV pil karakteristikleri	31
Çizelge 3.7 : Standart teknolojiler için FV modül karakteristikleri	34
Çizelge 3.8 : Kojenerasyon üniteleri sınıflandırması	37
Çizelge 3.9 : Pratikte kullanılan ısı geri kazanım ünitesi verimleri	42
Çizelge 3.10 : Isı geri kazanım ünitelerinden ısınmış hava çıkış sıcaklıkları.....	43
Çizelge 4.1 : Referans bina ve önerilen sistem çözümleri	45
Çizelge 4.2 : Referans bina yıllık enerji tüketim değerleri	46
Çizelge 4.3 : Bileşen bazında baz bina yıllık enerji maliyetleri	47
Çizelge 4.4 : Referans bina CO ₂ emisyon değerleri	48
Çizelge 4.5 : CIBSE tarafından önerilen enerji tüketimleri ve CO ₂ üretimleri	48
Çizelge 4.6 : BEP Yönetmeliği tarafından sınırlandırılan enerji tüketimleri ve CO ₂ üretimleri	48
Çizelge 4.7 : İzolasyon kalınlıkları – ısı geçiş katsayısı ilişkisi	49
Çizelge 4.8 : İzolasyon alternatiflerine göre senelik enerji tüketimleri	49
Çizelge 4.9 : İzolasyon alternatifleri ve aylara göre HVAC enerji tüketimleri	50
Çizelge 4.10 : İzolasyon alternatiflerine göre ana ekipman kapasiteleri	50
Çizelge 4.11 : İzolasyon alternatiflerine göre karbondioksit emisyonları	50
Çizelge 4.12 : Cam alternatifleri özellik ve fiyatları	51
Çizelge 4.13 : Cam alternatiflerine göre enerji tüketimleri	51
Çizelge 4.14 : Cam alternatifleri ve aylara göre HVAC enerji tüketimleri	52
Çizelge 4.15 : Farklı cam tipleri için ana ekipman boyutları	52
Çizelge 4.16 : Cam alternatiflerine göre bina karbondioksit emisyonları	52
Çizelge 4.17 : Bina yerleşim yönünün enerji tüketimleri üzerindeki etkisi	53
Çizelge 4.18 : Bina yerleşim yönü karbondioksit emisyonu ilişkisi	53
Çizelge 4.19 : Önerilen iklimlendirme sistemleri	54
Çizelge 4.20 : WSHP sistemi yıllık enerji tüketimleri	54
Çizelge 4.21 : WSHP sistemi aylara göre HVAC enerji tüketimleri	55
Çizelge 4.22 : Bileşen bazında WSHP sistemi yıllık enerji maliyetleri	56
Çizelge 4.23 : WSHP sistemi ana ekipman kapasiteleri	56
Çizelge 4.24 : WSHP sistemi CO ₂ üretimi	56
Çizelge 4.25 : VAV sistemi yıllık enerji tüketimi	57

Çizelge 4.26 : VAV sistemi aylara göre HVAC kaynaklı enerji tüketimi.....	58
Çizelge 4.27 : Bileşen bazında VAV sistemi yıllık enerji maliyetleri.....	58
Çizelge 4.28 : VAV sistemi ana ekipman kapasiteleri	59
Çizelge 4.29 : VAV Sistemi CO ₂ Üretimi	59
Çizelge 4.30 : Isı Geri Kazanımı ile yıllık enerji tüketimleri	59
Çizelge 4.31 : Isı geri kazanımı ile aylara göre HVAC enerji tüketimleri	60
Çizelge 4.32 : Isı geri kazanımında CO ₂ emisyonları.....	60
Çizelge 4.33 : VSD pompa kullanımı yıllık enerji tüketimi.....	61
Çizelge 4.34 : VSD pompa ile aylara göre HVAC enerji tüketimleri	62
Çizelge 4.35 : Isı geri kazanımında karbondioksit emisyonları.....	62
Çizelge 4.36 : Fotovoltaik sistem karakteristikleri	63
Çizelge 4.37 : Fotovoltaik sistem ile aylara göre elektrik enerjisi üretimi	64
Çizelge 4.38 : Fotovoltaik sistem karbondioksit emisyonları.....	65
Çizelge 4.39 : Önerilen paket tip kojenerasyon ünitesi özellikleri	66
Çizelge 4.40 : Paket kojenerasyon ünitesi enerji üretim ve tüketimi.....	67
Çizelge 4.41 : Paket kojenerasyon ünitesi CO ₂ üretimi değerleri.....	67
Çizelge 5.1 : Kullanılan izolasyon maliyetleri.....	69
Çizelge 5.2 : İzolasyonda maliyet – CO ₂ emisyonu ilişkisi.....	69
Çizelge 5.3 : Cam maliyetleri – bina CO ₂ üretimi ilişkisi	72
Çizelge 5.4 : Bina oryantasyonu maliyet – CO ₂ üretimi ilişkisi.....	74
Çizelge 5.5 : HVAC sistemi için yıllık enerji maliyeti – CO ₂ üretimi ilişkisi.....	75
Çizelge 5.6 : Isı geri kazanımı ile yatırım ile enerji maliyeti ve CO ₂ emisyonu	77
Çizelge 5.7 : VSD Teknolojisi ile yatırım enerji maliyeti ve CO ₂ emisyonu	79
Çizelge 5.8 : Fotovoltaik sistem yatırım – enerji maliyetleri – CO ₂ üretimi	81
Çizelge 5.9 : Kojenerasyon ile yatırım ve enerji maliyetleri ile CO ₂ emisyonu.....	84
Çizelge 6.1 : Sistem alternatifleri özet sonuçları	87
Çizelge A.1 : Fotovoltaik sistem kullanımıyla kümülatif nakit akışı	100
Çizelge A.2 : Paket kojenerasyon sistemi kullanımıyla kümülatif nakit akışı	101
Çizelge A.3 : Referans FCU sistemi ilk yatırım maliyeti	103
Çizelge A.4 : Alt. – 9 VAV sistemi ilk yatırım maliyeti	104
Çizelge A.5 : Alternatif – 8 WSHP sistemi ilk yatırım maliyeti	105

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 2007 yılı itibari ile Türkiye’de toplam enerji temini	2
Şekil 2.1 : Dünyada bölgelere göre CO ₂ emisyonlarının gelişimi (Mt / yıl)	7
Şekil 2.2 : Binalar için ömür boyu akış şeması	8
Şekil 2.3 : Sektörlere göre enerji tüketimi oranları.....	11
Şekil 3.1 : Örnek bina tip kat mimari planı	22
Şekil 3.2 : İş günlerinde ofis binası günlük kullanım takvimi	23
Şekil 3.3 : İş günlerinde ofis binası fan termostat kullanım takvimi	24
Şekil 3.4 : (a) Sıcak su kazanı (b) Su soğutma grubu	25
Şekil 3.5 : FCU sistemi hava tarafı şematığı	25
Şekil 3.6 : FCU sistemi su tarafı şematığı	26
Şekil 3.7 : Kapalı devre soğutma kulesi (a) Su kaynaklı ısı pompası(b).....	27
Şekil 3.8 : WSHP sistemi su tarafı şematığı	28
Şekil 3.9 : VAV iklimlendirme sistemi şematığı	29
Şekil 3.10 : FV modül ve FV panel tertibatı.....	30
Şekil 3.11 : Şebeke bağımlı fotovoltaik sistem genel işletim prensibi.....	31
Şekil 3.12 : İstanbul’da FV sistem ile üretilebilecek elektrik enerjisi değerleri.....	35
Şekil 3.13 : Paket tip 400 kW _e kojenerasyon ünitesi	36
Şekil 3.14 : Enerji etkin bina tasarımında etkili olan parametreler	40
Şekil 3.15 : Tipik ısı geri kazanım üniteli klima santrali.....	42
Şekil 4.1 : Referans bina enerji tüketimi.	47
Şekil 4.2 : Referans bina elektrik tüketim profili	63
Şekil 4.3 : Referans bina senelik ısıtma ihtiyacı profili.....	66
Şekil 5.1 : Alternatif – 1 için kümülatif nakit akışı	70
Şekil 5.2 : Alternatif – 2 için kümülatif nakit akışı	70
Şekil 5.3 : İzolasyon alternatifine göre neden olunan CO ₂ üretimi	71
Şekil 5.4 : Alternatif – 3 için kümülatif nakit akışı	72
Şekil 5.5 : Alternatif – 4 için kümülatif nakit akışı	73
Şekil 5.6 : Cam alternatifine karşılık senelik CO ₂ emisyonu	73
Şekil 5.7 : Bina oryantasyonuna karşılık neden olunan CO ₂ üretimi	74
Şekil 5.8 : Alternatif – 8 için kümülatif nakit akışı	76
Şekil 5.9 : Alternatif – 9 için kümülatif nakit akışı	76
Şekil 5.10 : HVAC Sistem alternatiflerinde neden olunan CO ₂ üretimi	77
Şekil 5.11 : Alternatif – 6 için kümülatif nakit akışı	78
Şekil 5.12 : Isı geri kazanımıyla neden olunan CO ₂ üretimi	79
Şekil 5.13 : Alternatif – 7 için kümülatif nakit akışı	80
Şekil 5.14 : VSD teknolojisi kullanımı ile neden olunan CO ₂ üretimi.....	80
Şekil 5.15 : Alternatif – 10a için kümülatif nakit akışı.....	82
Şekil 5.16 : Alternatif – 10b için kümülatif nakit akışı	82
Şekil 5.17 : Fotovoltaik sistem alternatifleri ile neden olunan CO ₂ üretimi.....	83

Şekil 5.18 : Alternatif – 11 kümülatif nakit akışı	84
Şekil 5.19 : Kojenerasyon kullanımında neden olunan bina CO ₂ üretimi	85
Şekil 5.20 : Kojenerasyon ile primer enerjiye göre CO ₂ üretimi	85
Şekil 6.1 : İlk yatırım maliyetine karşılık gelen yıllık enerji maliyeti	89
Şekil 6.2 : İlk yatırım maliyetine karşılık gelen bina CO ₂ üretimi	90
Şekil 6.3 : Alternatifler için 10 yıllık maliyete karşılık gelen bina CO ₂ üretimi	91
Şekil 6.4 : Alternatif 2,4,6,10b birlikte kullanımı halinde kümülatif nakit akışı	92
Şekil A.1 : Bina Enerji Kimlik Belgesi	102

SEMBOL LİSTESİ

η_P	: Fotovoltaik tertibat verimi
η_R	: Ortalama Modül verimi
β_P	: Modül verimi için sıcaklık katsayısı
T_C	: Hücre sıcaklığı , (°C)
T_A	: Aylık ortalama çevre sıcaklığı , (°C)
K_T	: Bulutluluk indeksi
NOCT	: Nominal hücre işletim sıcaklığı (°C)
E_P	: Fotovoltaik tertibat ile üretilen enerji (kWh)
S	: Fotovoltaik tertibat alanı (m ²)
H_t	: Yataya gelen güneş ışınlamı (kW/m ²)
λ_p	: Muhtelif tertibat kayıp katsayısı
λ_C	: Güç şartlandırma kayıp katsayısı
η_a	: Genel verim ifadesi
$E_{\text{şebeke}}$	: Şebekeye verilebilen elektrik enerjisi (kW)
E_{dag}	: Dağıtılan elektrik enerjisi (kW)
η_{abs}	: Fotovoltaik enerji yutma oranı
C_{FV}	: Fotovoltaik sistem kullanıldığında bina CO ₂ emisyonu (kg)
$C_{\text{şebeke}}$	: Şebeke elektrik alımında neden olunan CO ₂ emisyonu (kg)
c_{dg}	: Doğalgaz – CO ₂ Emisyonu dönüşüm katsayısı (kgCO ₂ /kWh)
$c_{\text{şebeke}}$	: Şebeke elektriği – CO ₂ emisyonu dönüşüm katsayısı (kgCO ₂ /kWh)
E_K	: Kojenerasyon ünitesi ile elde edilen elektrik enerjisi (kW)
$G_{\text{ihtiyaç}}$	: Isıtma ihtiyacıyla tüketilen doğalgaz miktarı (kW)
G_K	: Kojenerasyon ünitesi tarafından tüketilen doğalgaz miktarı (kW)
η_{ke}	: Kojenerasyon ünitesi elektriksel verimi
SC	: Pencere gölgeleme katsayısı
U	: Dış duvar ısı geçiş katsayısı (W/m ² K)
U_P	: Pencere ısı geçiş katsayısı (W/m ² K)

BİNALARDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

ÖZET

Enerji talebinin giderek arttığı dünyamızda fosil yakıtlarımızın kullanım ömrü sınırlıdır. Günümüz teknolojik düzeyinde enerji ihtiyacını fosil yakıtlar olmaksızın karşılamak imkansızdır, o halde fosil yakıtlarımızın sürdürülebilirliği için bu yakıtların tüketiminin en aza indirilmesi, sürdürülebilir bir çevre için, yanma ürünü olan bütün emisyonların en önemlisi karbondioksit emisyonlarının azaltılması hatta terk edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde binalar, en önemli enerji tüketen unsurlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada örnek bir ofis binası için, bilgisayar yardımıyla saatlik bazda enerji simülasyonu yapılarak, binada farklı amaçlarla tüketilen enerji miktarı, enerji maliyeti ile neden olunan karbondioksit emisyonları elde edilmiştir. Bina için yıl boyunca, ısıtma,soğutma, havalandırma, aydınlatma, ofis ekipmanları ve pişirme amaçlı enerji tüketimi dikkate alınmıştır. Saatlik enerji simülasyonu için Carrier HAP paket programından yararlanılmıştır.

Referans binada tüketilen enerjinin ve üretimine neden olunan karbondioksit miktarının en aza indirilmesi amacıyla, farklı çözüm alternatifleri geliştirilerek her bir alternatif için, tüketilen enerji miktarı ile üretimine neden olunan karbondioksit miktarları karşılaştırılmıştır. Her alternatif için ekonomik etkenler göz önünde bulundurulmuştur. Referans binanın maliyeti baz değer kabul edilip, her alternatifin getirdiği fazla maliyet bunun üzerine eklenmiştir.

Referans bina için önerilen alternatifler, binanın mimari planlanmasında uygulanabilecek alternatifler, binanın mevcut HVAC sisteminin iyileştirilmesi veya değiştirilmesine yönelik alternatifler, binada elektrik ve ısıtma ihtiyacını aynı anda karşılamaya yönelik kojenerasyon uygulaması ve yenilenebilir enerji teknolojisi olan fotovoltaik sistem uygulamasının kullanımıdır.

Bina mimarisine ilişkin alternatifler ile, binada kullanılan HVAC sistemindeki iyileştirme veya değişime yönelik alternatiflerin simülasyonu Carrier HAP programı vasıtası ile yapılmıştır. Kojenerasyon ve fotovoltaik uygulamalarının simülasyonu ise, Carrier HAP programından alınan saatlik verilerin MS Excel ile hazırlanan bir hesap sayfasına entegrasyonu ile yapılabilmektedir.

Önerilen alternatifler için elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sürdürülebilirlik ile maliyet arasındaki ilişki verilmeye çalışılmıştır. Alternatifler arasından binanın mimarisine ilişkin olanları ekonomik olurken, binada uygulanabilecek yenilenebilir enerji kullanan teknoloji ekonomik olmayan bir çözüm olarak karşımıza çıkmıştır. Önerilen farklı HVAC sistemleri ile de maliyet fazla artırılmaksızın karbondioksit üretimi ve enerji tüketimi azaltılabilmektedir. Fosil yakıt kullanan kojenerasyon uygulaması sürdürülebilir bir yaklaşım olmasa da enerji maliyetini azaltılabilmektedir.

ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN BUILDINGS

SUMMARY

The life time of fossil fuels is limited in the world with continuously increasing energy demands. In today's technological level, it is impossible to supply energy demands without fossil fuels. To maintain the sustainability of fossil fuels, it is necessary to reduce their consumption to minimum. On the other hand, reduction or even elimination of all combustion emissions, specially carbon dioxide, is necessary for a sustainable environment.

Today, buildings appear to be one of the major contributors to energy consumption. In this study, consumption level of energy for various reasons, the cost of energy, and the carbon dioxide emissions were obtained for a model office building by making hourly computer simulations. Yearly energy consumption due to heating, cooling, ventilation, lighting, office equipments, and cooking were considered for the model. Carrier HAP software was used to simulate the energy consumption of the building.

In order to minimize the consumed energy and emitted carbon dioxide by the building, alternative solutions were developed and compared on the basis of consumed energy and carbon dioxide emissions. The economical factors were also taken into account for each alternative. The cost of the reference building was taken as the base and the cost increase demanded by each alternative was added onto it.

The suggested alternatives for the building are those that can be applied on the current architectural plan, enhancement or replacement of the current HVAC system of the building, application of cogeneration for supplying electric and heating demands of the building, and application of renewable energy technology, fotovoltaic system.

The simulation of the alternatives for building architecture and enhancement or replacement of the current HVAC system of the building were simulated using Carrier HAP software. On the other hand, simulations of cogeneration and fotovoltaic applications were performed by integrating the hourly data obtained from Carrier HAP software to a calculation spreadsheet prepared in MS Excel.

The correlation between sustainability and cost are presented for the suggested alternatives. While the alternatives related to the architecture of the building are cost effective, sustainable energy technologies applicable to building appear to be uneconomical solutions. The suggested HVAC systems can minimize carbon dioxide emissions and energy consumption without adding significant cost. Although not a sustainable approach, application of fossil fuel based cogeneration can decrease the cost of energy at a respectable level.

1. GİRİŞ

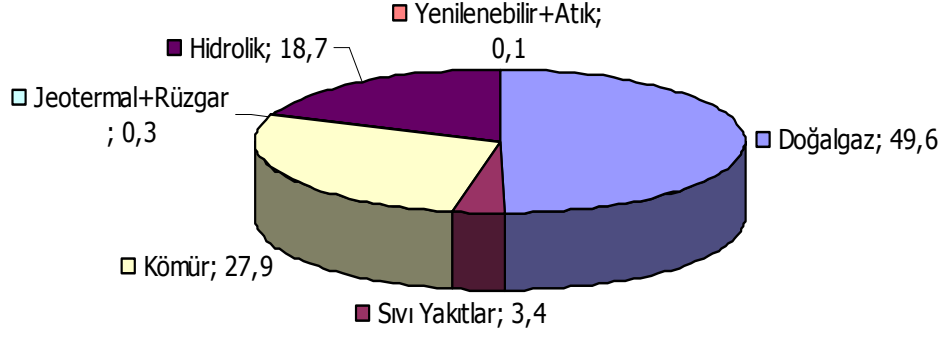
Dünyamız, artan enerji ihtiyaçlarına paralel olarak son yıllarda ciddi bir küresel ısınma tehdidiyle karşı karşıya kalmıştır. Küresel ısınma için bir an önce bir dizi önlem alınmalıdır. Fosil yakıtların kullanım ömürlerinin kısıtlı olduğu düşünüldüğünde, alternatif enerjilere yönelmek önem arz etmekte ve mevcut fosil yakıt kullanımının derhal terk edilmesi gerekmektedir. Çevremizin ve doğal kaynaklarımızın sürdürülebilirliği gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Sürdürülebilirlik kelimesi her anlamda insan hayatına girer olmuştur.

Uluslararası Enerji Ajansı'na göre araştırmalar göstermektedir ki binalar, en önemli enerji tüketen unsurlardan biri olarak, dünyada toplamda kullanılan elektriğin yarısını, doğalgazın ise üçte birini tüketirken, ayrıca, toplamda atmosfere salınan sera gazlarının da üçte birinden sorumludurlar [1].

Binalar enerji tüketimi ve sera gazları emisyonlarına neden olduklarından, son zamanlarda işletme maliyetleri ve salınan sera gazları emisyonlarını düşürme amaçlı çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye'nin de aralarında bulunduğu birçok dünya ülkesinde konu ile ilgili denetleme ve sınırlandırmaları içeren yönetmelikler, standartlar gibi mevzuatlar yürürlüğe girmiştir.

2007 yılı itibari ile ülkemizde enerji temini için kullanılan kaynaklar ve yüzdeleri Şekil 1.1'de verilmiştir. Burada dikkati çeken husus yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarının çok düşük değerlerde kalıyor olmasıdır [2].

Sürdürülebilir bir çevre için mevcut fosil yakıt tüketen sistemlerin terk edilmesi gerekmektedir. Alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirlikleri çok yüksek, yani neden oldukları karbondioksit salınımları çok düşük veya sıfırdır.



Şekil 1.1 : 2007 yılı itibari ile Türkiye’de toplam enerji temini [2]

Binalarda yıllık enerji ihtiyacını hesaplamak için simülasyon programları geliştirilmiştir. Bu hesaplamalar; en uygun bina tasarımını yapabilmeyi, işletme ve enerji giderlerini en aza indirmeyi, en uygun konfor şartlarını yakalayarak, sürdürülebilir bir çevre ve kaynaklara katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

1.1 Amaç

Artan enerji maliyetleri ve küresel ısınma göz önüne alınarak binalarda kullanılan enerjilerin ve atmosfere salınan karbondioksit gazlarının minimize edilmesi gerekmektedir. Mühendislik optimizasyonunun devreye girdiği bu noktada, bunun maliyetlerinin de araştırılması gerekmektedir. Karbondioksit salınımı minimize edilirken enerji tüketimi de azalmaktadır, fakat artan ilk yatırım maliyetleri kaçınılmaz olacaktır.

Tez çalışması kapsamında İstanbul şartlarında bir ofis binası için bilgisayar yardımıyla enerji simülasyonu yapılarak ;

- Farklı mekanik sistemler kullanılarak bir yıl boyunca tüketilen toplam enerjinin hesabı
- Farklı sistemler halinde ilk yatırım maliyetleri kıyaslaması
- Mimari etkenlerin göz önüne alınması
- Yapılan her alternatif sistem simülasyonunda salınan karbondioksitin kıyaslaması
- Fotovoltaik ve kojenerasyon gibi uygulamalarla destekli olarak elektrik üretimi yapıldığı durumda enerji simülasyonu ve sürdürülebilirlik analizi.

Seçilen binanın ofis binası olması bir yıl için simülasyon yapıldığından önemlidir, çünkü kullanım amacı ile sıklığı belirlidir. Ofis binaları prestijli binalar olduklarından ciddi mekanik sistemlere sahiptirler ve bu tip binalarda ısıtma soğutma ve havalandırma ile mimari parametreler önem haiz etmektedir. Konut veya otel binalarında enerji ihtiyacı daha düşük kalmakla beraber kullanım sıklığı hakkında çok fazla bilgi bulunmamaktadır.

Simülasyon için bu çalışmada piyasada kabul görmüş bir paket program kullanılmıştır ve kullanılan paket program çeşitli standartlar tarafından kabul gören enerji simülasyonu kriterlerine uygundur. Simülasyon için kullanılan Carrier HAP programı bina enerji simülasyonunda en çok kullanılan programlardan bir tanesidir[3].

Simülasyonun ikinci kısmında ise HAP'tan alınan saatlik analiz verileri, MS Excel vasıtası ile oluşturulan bir hesap sayfasına entegre edilerek, fotovoltaiik ve kojenerasyon gibi sürdürülebilir sistemlerin analizi yapılmıştır.

1.2 Kapsam

Aranan kontrol değeri binadaki enerji tüketimi karşılanırken atmosfere salınan veya salınımına sebebiyet verilen karbondioksit miktarıdır. Binanın kendi HVAC veya HVAC harici sisteminde ürettiği ya da üretimine sebebiyet verdiği karbondioksit miktarı, tükettiği veya tüketimine neden olduğu fosil yakıtlar ile ilgilidir. Bir şekilde sürdürülebilir bir bina için karbondioksit üretiminin minimize edilmesi gerekmektedir. Bina projesi yapılır iken bina ve bina HVAC tesisatı için farklı kontrol parametreleri üzerinde değışik sistem çözümleri üretilerek kıyaslama yapılmalıdır. Ayrıca binada yenilenebilir enerji teknolojilerinin de uygulanabilirliğinin araştırılması gerekmektedir.

Tezin ikinci bölümünde, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği ile genel kavramlar ve tarifler açıklanarak bunların bina ve bina HVAC sektöründeki uygulamalarına yer verilmiştir. Ülkemizdeki binalara ilişkin enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik mevzuatıyla, piyasada yaygın olarak kullanılan enerji performans yazılımlarının birkaçından da bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde örnek bina tanımlaması, binadaki farklı mimari ve HVAC sistem model önerileri sunulmuş, binada kullanılabilecek yenilenebilir enerji teknolojileri açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde simülasyonlar ve hesaplamaların çözümleri sunulmuş, beşinci bölümde ise sürdürülebilirliğin maliyetine yer verilmiştir. Altıncı bölümde ise genel sonuç ve öneriler bulunmaktadır.

1.3 Literatür Taraması

Eskin ve Türkmen [4] , bir ofis binasında bilgisayar yardımıyla ve deneysel analizler yaparak, 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 bina enerji ihtiyacı üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Dalton ve diğ. [5] çeşitli vaka analizlerinde, bağımsız yenilenebilir enerji sağlayan teknolojilerin turist konaklama amacıyla kullanılan binalardaki performanslarını ve ekonomik fizibilitelerini incelemişlerdir. İncelenen sistemlerden bir tanesi de fotovoltaik sistemlerdir.

Pehnt[6] ,ömür boyu maliyet hesabını kullanarak binalardaki yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımını irdedelemişlerdir. Çalışmadan görülmüştür ki sera gazı emisyonları konvansiyonel sistemlere oranla çok düşük değerlerde kalmıştır. Yenilenebilir enerji kullanımı teknolojinin konfigürasyonuna, enerji kaynağı çeşidine, ve iklimsel koşullara büyük ölçüde bağlı kalmaktadır.

Ren ve diğ. [7] çalışmada, şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemin, konut tipi binalar için analizi yapılmıştır. Fotovoltaik sistem kullanımının enerji maliyetlerindeki ve karbondioksit emisyonlarındaki düşmelerde büyük rol oynadığı, sistem kapasitesinin, ilk yatırım maliyeti, faiz oranları, sistem verimi ve elektrik satış maliyetine büyük oranda bağlı olduğu, ve geri ödeme sürelerinin, ilk yatırım maliyet, verim ve elektrik satış maliyetinden büyük oranda etkilendiği sonuçlarına varılmıştır.

Li ve diğ. [8] çalışmalarında yarı transparan bir amorf silikon fotovoltaik sistemin sana ölçümleri yapılarak elektriksel verimin %6 civarında seyrettiği ve sera gazları

emisyollarında büyük ölçüde azalmaya sebep olduğu görmüşlerdir. Finansal açıdan, basit bir analizle 15 yılda geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Pan ve diğ. [9] Energyplus yazılımı yardımıyla, bir ofis binasında, üç farklı model için enerji simülasyonu yaparak enerji verimliliğinin artırılması yönünde devletler tarafından çıkarılan bina enerji etiketleme sistemlerini irdelemi lerdir.

Cheung ve diğ. [10] altı farklı model önererek pasif dizayn stratejileri ile, binalarda enerji performansının artırılması yönünde bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada soğutma yüklerinin %30 lara kadar d   rebildiği, ve mimarlarla  n proje safhasında yapılan çalışmaların enerji etkinliğini artırmada kilit unsur olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Possidente ve diğ. [11] çalışmada konut sektöründe birleşik ısı güç  ret m  için kullanılması mikro kojenerasyon paket cihazlarının sürdürülebilirlik perspektifiyle analizi yapılarak, birincil enerji temininde %25, sera gazları emisyonlarında ise %40 a kadar azalma yapılabildiği kaydedilmiş, h k metlerin bu tip kojenerasyon ünitelerini desteklemesi gerektiği vurgulanmıştır.

Dalton ve diğ. [12,13] şebekeye bağlı ve şebekeden bağmsız iki model üzerinde, büyük bir otel işletmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji temin alternatiflerini değerlendirmişlerdir. Kullanılan enerji teminleri güneş ve rüzgardan elektrik elde eden sistemlerdir. Çalışmanın sonucunda yüz yatak kapasiteli bir otel için rüzgar veya güneş kaynaklı ya da her ikisinin bir kombinasyonu olan enerji temin alternatifinin, elektrik ihtiyacını karşıladığı ve geri ödeme sürelerinin düşük seviyelerde kaldığı görülmüştür.

Akaryıldız ve diğ. [14], binalarda çeşitli merkezi klima sistemlerinin karşılaştırılması hakkındaki çalışmalarında, VAV gibi tekrar ısıtma (reheat) yapan sistemlerin işletme giderlerinin yüksek, 4 borulu FCU sistemlerinin 2 borulu FCU sistemlerine göre daha pahalı fakat, daha konforlu olduğu sonuçlarına varmışlardır. İlk yatırım maliyetlerinde FCU sisteminin 135\$, VAV sisteminin 120\$, VRV sistemlerinin ise 110\$ mertebelerinde kaldığı görülmüştür.

 nanıcı ve diğ. [15] çalışmalarında Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki be  şehirde, binalar için, en boy oranı ve güney cephesindeki pencere büyüklüğünün , ısıtma performansı optimizasyonu yapmışlardır. Bina enerji verimliliğinde bu tip pasif solar parametrelerin büyük rol oynadığı sonucuna varmışlardır.

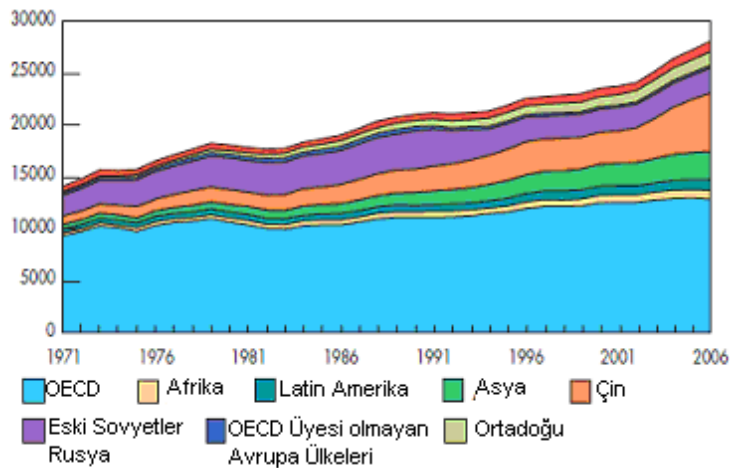
2. GENEL KAVRAM VE TARİFLER

2.1 Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlikten ilk defa 1987 yılında Birleşmiş Milletler tarafından *Ortak Geleceğimiz* adıyla yayınlanan Bruntland Raporu'nda bahsedilmiştir. Sürdürülebilir kalkınma bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma olarak tanımlanmıştır [16].

Son yıllarda sürdürülebilirlik kavramı daha çok konuşulur hale gelmiştir. Fosil yakıtlar mevcut teknolojik düzeyimizde elimizdeki en değerli enerji kaynağıdır. Fosil yakıtlar olmadan gelecekte insanların enerji talebini karşılamak mümkün değildir. O halde fosil yakıt kaynaklarımızı gelecek nesillere de kalacak biçimde kullanılması gerekir. Sürdürülebilirlik kavramı sadece enerji kaynakları için değil yaşanan çevre için de geçerlidir.

Türkiye' nin de üyesi olduğu Uluslararası Enerji Ajansı'nın verdiği istatistiksel bilgilere göre Şekil 2.1'de karbondioksitin üretildiği bölgeler ve karbondioksit üretiminin yıllara bağlı değişimi gösterilmiştir. Son otuz yıl içerisinde CO₂ emisyonları iki kat artmıştır [1].



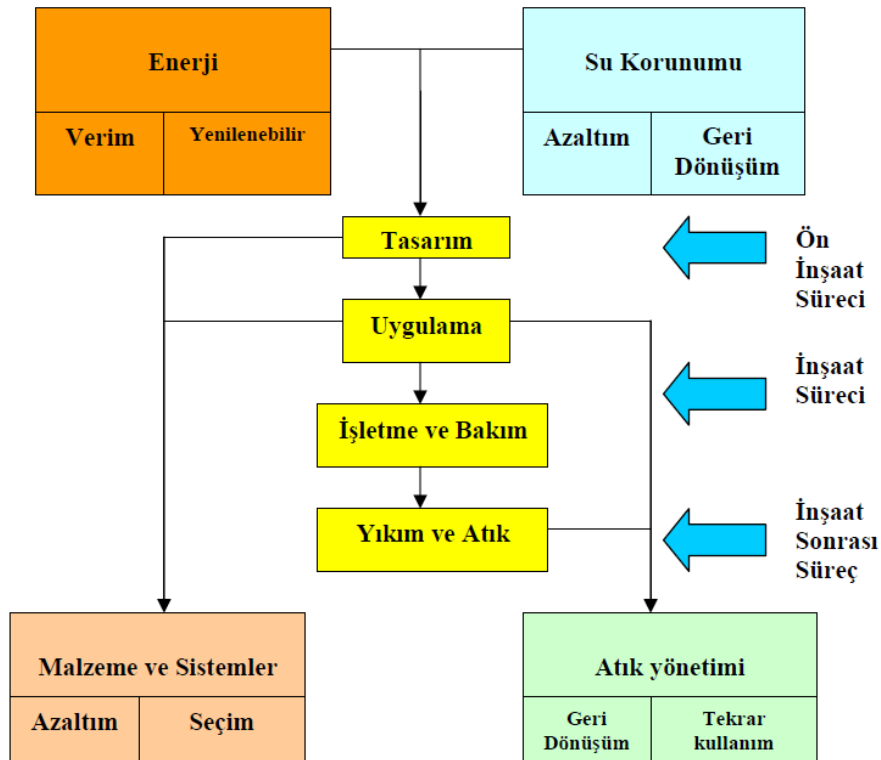
Şekil 2.1 : Dünyada bölgelere göre CO₂ emisyonlarının gelişimi (Mt / yıl) [1]

Sürdürülebilir olarak tanımlanan bir çevre için salınımına sebep olunan tehlikeli sera gazları emisyonları ile içerisinde en büyük tehlike teşkil eden karbondioksit salınımının azaltılması gereklidir. Oysa, binalarda enerji temini, ısınma, soğutma, elektrik üretimi ve her türlü ihtiyaç için kullanılan fosil yakıtlar karbondioksit üretimine sebep olmaktadır.

2.2 Sürdürülebilir Binalar

Enerji ekonomisi yapan, sürdürülebilir enerji kullanan ve sürdürülebilir bir çevre için fosil yakıt tüketimini minimize eden binalara sürdürülebilir binalar adı verilir. Sürdürülebilir binalar aynı zamanda çevre dostu olduklarından dolayı, yeşil binalar olarak da adlandırılmaktadır.

En basit terimlerle ifade edilecek olursa, yeşil bir bina, inşaatı, işletmesi ve yıkımı esnasında çevreyi kirletmeyen ve su, enerji, atık ile malzeme kaynaklarını en uygun biçimde kullanan binalardır. Şekil 2.2'deki akış diyagramı binalar için ömür boyu yaşam konsepti ile sürdürülebilirliğin dört ana ilkesi özetlemektedir [17].



Şekil 2.2 : Binalar için ömür boyu akış şeması [17]

Sürdürülebilir binaların tasarlanmasında üç esas fikir göz önüne alınmalıdır. Bunlar binanın mimari tasarım esnasında alınabilecek önlemler, HVAC tesisatının ve genel olarak binada kullanılan sistemlerin verimlerini yükseltmek yönündeki önlemler ile yenilenebilir enerji kaynaklarını binada kullanılan hem ısı hem de elektrik enerjisinin üretiminde kullanmak şeklinde sıralanabilir.

Günümüzde, binalarda kullanılan bazı yenilenebilir enerji teknolojileri Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 : Kullanımı yaygın olan yenilenebilir enerji teknolojileri [18]

Teknoloji	Karakteristik	Maliyet Etkinliği	CO₂ Tasarrufu
Biyokütle	Organik malzemeler kullanılarak, ısıtma veya biyogaz üretimi yapılır.	Orta - Konvansiyonel kazanlardan daha pahalı	Yüksek
Kojenerasyon	Fosil veya yenilenebilir yakıtlar kullanarak hem ısı hem elektrik üretimi yapılır.	Orta - Atık ısınn tamamen geri kazanılması gerekir	Orta - Biyokütle yakıt olarak kullanılabilirse yükselebilir.
Yakıt Pilleri	Elektrokimyasal cihaz yardımıyla sahada elektrik enerjisi üretimi yapılır.	Düşük - Pahalı ve pazarda sınırlı sayıda bulunabiliyor	Orta
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	Isıyı, topraktan alarak, mahal ısıtma ve sıcak su temini için daha yüksek sıcaklıkta bir yere gönderir	Orta - Maliyet kazı çalışmalarına büyük oranda bağlı	Orta - Yüksek COP'ler ısıtma modunda düşük üfleme sıcaklığında elde edilebilir.
Fotovoltaik Sistemler	Güneş ışığını direk olarak doğru akıma çevirir. Alternatif akım için invertör gereklidir	Orta - Fakat maliyetler hızla iyileşiyor.	Düşük - Yüksek maliyete göre
Rüzgar	Türbin/jeneratör rüzgar enerjisini elektrik enerjisine çevirir	Düşük - Rüzgar koşullarına büyük oranda bağlı	Düşük/Orta - Kentsel yerleşim dışındaki türbinler daha enerji etkin
Yağmur Suyu Geri Kazanımı	Tuvaletler için kullanılmak üzere yağmur suyunun toplanması	Düşük – İşletme ve bakım giderleri tasarrufları karşılamamaktadır	Düşük

Yeşil bina yaklaşımı, bina için tüm etkenlerin göz önüne alındığı bir toplam bina analizidir. Binanın standart bileşenleri (saha,camlar,duvarlar,HVAC sistemleri) optimize edilerek inşaat masraflarını artırmaksızın işletme masrafları düşürebilmektedir. En etkin yeşil tasarım, mimari, HVAC, ve elektriksel sistemlerin entegrasyonu ile, atık,enerji kullanımı, boyut gibi çevre üzerinde negatif etkisi bulunan etkenlerin minimize edilmesidir.

Binanın mimari tasarımı ile ilişkili olan parametreler ekonomik olarak hayli avantajlıdır. Yeni yapılacak olan binaların yapımı maliyetleri geri çekmektedir.

Sürdürülebilir binalarda işletme ve enerji maliyetleri azalmaktadır. Bu sebepten uzun süreli veya ömür boyu maliyetler dikkate alındığında sürdürülebilir binaların ekonomisi çok daha iyi bir konuma gelmektedir.

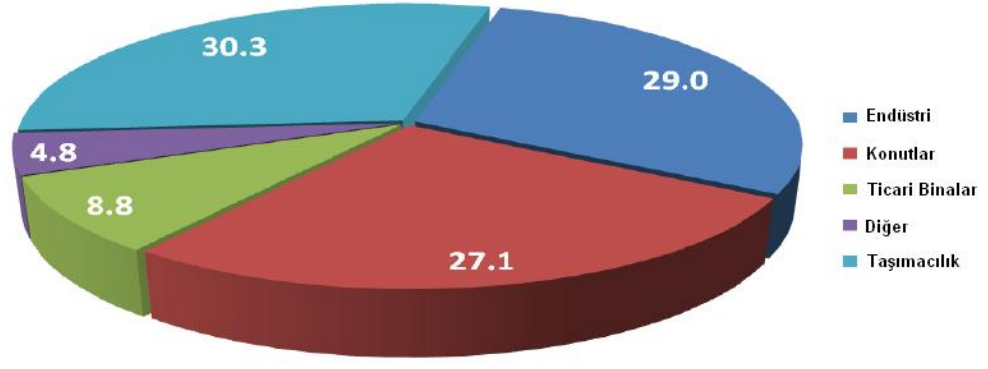
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması alternatifleri günümüzde oldukça pahalıdır. Bu bağlamda hükümetler tarafından vergi indirimleri veya krediler ile teşvik edilmesi gerekmektedir.

2.3 Enerji Verimliliği ve Binalar

Sanayi devriminin ardından elektrik temini için su,güneş ve jeotermal kaynakları mevcut fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. 19. yüzyılın başlarında petrolün bulunması ile 1973 petrol krizi ve iklim değişikliklerinin farkına varılması enerji tarihinin dönüm noktaları olarak sayılmaktadır.

Enerji verimliliği, enerjinin verimli biçimde kullanılması, aynı ihtiyacı karşılamak amacı ile daha az enerji sarfıyatı yapabilmektir. Fakat bunu başarabilmenin bir maliyeti vardır. Amaç maliyetin geri ödemesinin kullanılan bina ömründen daha kısa olduğunun gösterilmesidir.

En basit anlamda enerji verimliliği, aynı iç sıcaklıkları sağlamak için binayı dıştan yalıtmaktır, ki bu hem soğutma döneminde hem de ısıtma döneminde avantaj sağlamaktadır.



Şekil 2.3 : Sektörlere göre enerji tüketimi oranları [1]

Enerji etkin binalar, kullanıcı konforundan ödün vermeden enerjiyi etkin ve en azda kullanabilmeyi sağlayabilmeli, iç ve dış ortam koşullarındaki değişimleri algılamalı, değişimlere anında cevap verebilmeli ve koşullara uyum sağlayabilmelidir [19].

Konumuz açısından binalarda enerji verimliliği, ekipman seçiminde daha verimli ekipmanlar kullanılması, gereksiz yere enerji sarfiyatının önlenmesi, enerji ekonomisi ve yönetimi yapılması olarak sayılabilir. Dünyada enerji verimliliği kavramına paralel olarak geliştirilen politikaların en önemli dayanağı ısı yalıtımı olarak öne çıkmaktadır. Avrupa Birliği'nde bina sektörünün toplam enerjinin yüzde 40'ını tüketmesi, ısı yalıtımı konusundaki çalışmaların öncelik kazanmasına yol açmaktadır.

Binalardaki enerji ihtiyacı çok sayıda parametreye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bunlar ;

- Binalarda kullanılan HVAC sistemleri
- Binadaki aydınlatma sistemleri ile elektrik tüketen cihazlar
- Bina mimarisi
- İklim ve çevre koşulları
- İç ortamda sağlanması istenen konfor düzeyi
- Kullanılan yakıt türleri
- İşletme,bakım,servis.

Yapılan bina enerji simülasyonlarında ele alınan değişkenlerin sayısı arttıkça, gerçeğe o derece yakın sonuçlar elde etmek mümkündür. Ancak ele alınan değişkenler arttıkça, simülasyon ve modelleme de o oranda zorlaşmaktadır. Genelde bina tekniğinde enerji performansı simülasyonu yapılacak olan binanın enerji tüketimi hesaplanırken, HVAC sistemleri, aydınlatma sistemleri, elektrik tüketen çeşitli ekipmanlar ile sıcak su hazırlama sistem ihtiyaçları göz önüne alınmaktadır.

2.4 Karbon Emisyon Faktörleri

Binalarda enerji temini için kullanılan fosil yakıt ve elektrik enerjisi karbondioksit emisyonlarına sebebiyet vermektedir. Binanın sürdürülebilirlik kalitesi üretimine sebep olduğu karbondioksit gazı ile ilişkilendirilmektedir.

Atmosfere salınarak çevreye zarar veren gazların üretilmesindeki kullanılan birincil enerji çeşidiyle ilişkilendirilmesindeki sera gazı emisyonu dönüşüm katsayıları Çizelge 2.2’de verilmiştir [50].

Çizelge 2.2 : Enerji tüketimi – CO₂ üretimi dönüşüm katsayıları [50]

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

Doğalgaz ısıtma amacıyla tüketilen enerji kaynaklarından en temiz olmakla birlikte, kullanım amacıyla tüketilen elektrik, binalarda yüksek oranda sera gazı emisyonuna sebebiyet vermektedir.

Öte yandan doğalgaz günümüzde kullanımı en yaygın ve en ucuz yakıt cinsi olarak görülmektedir. Doğalgaza göre Fuel-Oil iki kat, Motorin ile elektrik ise dört kat daha pahalı olarak kullanılmaktadır [21].

Tüketilen elektrik miktarı (kWh) değeri standartca belirlenen özgül değerle çarpılarak şebeke elektriği tüketmenin yarattığı CO₂ miktarı hesaplanabilir Elektrik kullanımının sebep olduğu karbondioksit üretimi bir çok kaynağa göre farklılık göstermektedir, bunun sebebi kaynağın kullanıldığı ülkedeki elektrik üretiminin çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır.

2.5 Türkiye’de Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği Mevzuatı

Dünyadaki artan enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayan fosil yakıtların giderek azalması enerjinin korunumu ve enerji verimliliği konusundaki çalışmaların sürekli olarak gündemde olmasını zorunlu kılmaktadır. Küresel ısınma, iklim değişikliği, çevre kirliliği gibi faktörler bu tip çalışmaların gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Günümüzde ülkeler; sanayi, konut, ulaşım gibi sektörler başta olmak üzere bir çok sektörde enerjinin verimli kullanımını, uyguladıkları enerji politikaları ile teşvik etmektedirler. Mali teşvikler, kontrol ve bilgilendirme gibi hizmetler ortaya sunulmaktadır. Kimi ülkelerde ise, enerji verimliliği yatırımları için devletler ucuz kredi veya vergi muafiyeti gibi katkılar da sunmaktadırlar.

Ülkemizde enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hususunda binaları ilgilendiren bazı önemli mevzuat mevcuttur.

2.5.1 Binalarda ısı yalıtımı yönetmeliği [22]

2008 yılında yürürlüğe giren bu yönetmeliğin amacı; binalardaki ısı kayıplarının azaltılmasına, enerji tasarrufu sağlanmasına ve uygulamaya dair usul ve esasları düzenlemektir.

Yönetmeliğe göre binalar, ısı kayıpları bakımından çevre şartlarına göre yalıtılmak zorundadır, ve binalar için belirli formüller ile hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı, yine bu yönetmelikte verilen sınır değerlerini aşamaz. Yönetmelikte ayrıca bina amaçlarına göre baz alınması gereken aylık ortalama iç sıcaklık değerleri de verilmiştir.

Bina için ısı yalıtımı hesabı yapılır iken, ülkenin bölgelerine göre duvarlar için toplam ısı geçiş katsayısı değerlerine uyulması gerekir. Şayet, tavsiye edilen değerler aşılsa bile, toplam yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının yönetmeliğin sınırlandığı değeri aşmasına izin verilmemektedir.

Yönetmelik hükümleri uyarınca, yeni yapılacak binalar için TS 825 standardında açıklanan hesap metoduna göre yetkili makina mühendisinin hazırlamış olduğu “ısı yalıtım projesi” ruhsat verilmesi amacıyla yetkili merciler tarafından istenmektedir.

2.5.2 Binalarda enerji performansı yönetmeliği [20]

2.5.2.1 Amaç ve kapsam

2008 yılı sonunda yürürlüğe giren bu yönetmeliğin amacı, iklim koşullarını, iç ortam ihtiyaçlarını ve maliyetleri de dikkate alarak, bir binanın tüm enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesap yönetimini belirlenmesini, karbondioksit (CO₂) emisyonu açısından sıfırlandırılmasını, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin denetlenmesini, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını ve binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini düzenlemektir.

2.5.2.2 Mimari açıdan değerlendirilmesi

Yönetmelikle beraber doğal ısıtma,soğutma,havalandırma ve aydınlatma imkanlarından mümkün olan en fazla seviyede yararlanılması zorunlu kılınmıştır. Ayrıca iç mekan yerleşimlerinin, maksimum kazancı sağlayacak şekilde yapılması, bina içerisinde kullanılacak yerleşim alanlarının güneş ışığı ve ısısıyla aydınlatma ve ısınma imkanlarından optimum derecede faydalanılması, ve gerekliliği getirilmiştir. ‘Binalarda Isı Yalıtımı’ yönetmeliğine paralel olarak ısı yalıtım projesi zorunluluğu ve mimari proje ile yalıtım projesinin tutarlılığının denetlenmesi vurgulanmış ve bina yapım malzeme karakteristikleri hakkında açıklamalara yer verilmiştir.

Pencere sistemlerinde ısı ve güneş kontrollü camlar kullanılması, ısıtma ve yalıtım için, *TS 825 : Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı*’ nda belirtilen kural ve yöntemlere uyulması, ve ayrıca binadaki tüm mekanik tesisat kapsamında, tesisatın yalıtılması gerekliliği vurgulanmıştır. Yönetmelik eklerinde ısı yalıtımı uygulama detayları şekiller halinde detaylı olarak açıklanmıştır.

2.5.2.3 HVAC sistemleri açısından değerlendirilmesi

Yönetmelikte ayrıca, belli yapılarda, merkezi sistemler kullanılması, yoğunmalı ısıtma sistemleri kullanılması, merkezi sistemlerde otomasyon sistemi olması gerekliliği, değişken devir teknolojisinden yararlanılması, daha yüksek verimli ekipman seçimleri yapılması gerekliliği de ayrıca vurgulanmıştır. Yönetmelik eklerinde uyulması gereken asgari yalıtım kalınlıkları açıkça belirtilmiştir.

2.5.2.4 Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından değerlendirilmesi

Yönetmeliğin gerektirdiği en önemli yenilik ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına teşvik şeklinde olmuştur. Yönetmeliğe göre 1000m² 'nin üzerinde kullanım alanına sahip yeni yapılacak belirli tip yapılarda, enerji ihtiyacını kısmen veya tamamını karşılamak üzere, fosil kaynaklı olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması , rapor şeklinde ilgili idareye sunulur ve 20000m² ye kadar geri ödemesi 10 yıl, 20.000 m² 'den büyük yapılarda ise geri ödemesi 15 yıl olmak şartı ile bu yenilenebilir teknolojilerin kullanılması ile belirli şartlar altında hava,su ve toprak kaynaklı ısı pompaları ile çeşitli güneş kaynaklı enerjilerin kullanımı da zorunlu kılınmıştır.

Maliyeti , toplam inşaat maliyetinin yüzde onunu geçmeyen binalarda, kojenerasyon sistemi yapılması zorunluluğu getirilmiştir.

2.5.2.5 Binalar için enerji kimlik belgesi düzenlenmesi

Yönetmelikle birlikte, belirli koşullar altında, binalar için enerji kimlik belgesi düzenlenmesi, bu belgede bulunması gereken bilgiler gibi zorunluluklar getirilmiştir. Yönetmelik eklerinde enerji sınıfları, sera gazı referans değerleri, emisyon sınıfları ile sera gazı emisyon dönüşüm katsayıları tablolar halinde verilmiştir. Bilgi amacıyla EK'ler kısmında örnek bir bina enerji kimlik belgesi örneğine yer verilmiştir.

2.5.3 2002/91/EC Enerji performansı direktifi

Avrupa Birliği, ortak çevre ve enerji politikalarının oluşturulmasına yönelik olarak direktifler yayınlamaktadır. Bu direktiflerden bir tanesi de konut ve konut harici binalarda enerji tasarrufu sağlanması amacıyla yayınlanan Binaların Enerji Performansında Dair direktiftir.

2002/91/EC direktifi, ülkemizdeki , binalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik konulu yönetmelikler ve standartların referans olması kaydıyla ve Avrupa Birliği uyum yasaları dolayısıyla önem kazanmaktadır.

4 Ocak 2003 tarihinde yürürlüğe giren bu direktif ile Avrupa Birliği'ne üye ülkeler dahilinde, hem mevcut hem de yeni yapılacak binalarda enerji performansı değerlendirilmesine ilişkin belirli standartlar ve ortak bir yöntem getirmenin yanı sıra, düzenli bir denetim ve değerlendirme mekanizması kurarak, binalarda enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır [23].

2.5.4 TS-825 Binalarda ısı yalıtım kuralları standardı [24]

Son olarak 2008 Mayıs ayında güncellenen TS-825 standardında ile binalarda ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarına dair yöntemler ve tarifler verilmiş ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi değerlerinin belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

Isı yalıtımı yakıt tasarrufunun birinci ve en önemli unsurlarından biri olarak gösterilmektedir. Türkiye açısından ısı yalıtımı konusunda 1981 ve 1998 tarihleri önem haiz etmektedir. Bu yıllarda yayınlanan ve güncellenen ısı yalıtımıyla ilişkili TS 825 ve Bayındırlık Bakanlığı yönetmelikleri ile binalarda ısı yalıtımı yapılması şart gösterilmiş ve mertebe hakkında bilgiler verilmiştir. Bu düzenlemeler hususunda üç tip bina ve binaların ısıtma ihtiyacına ilişkin bilgi Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Yalıtıma göre ısıtma ihtiyaçları [21]

Tip	Isıtma İhtiyacı	Fark
Yalıtımsız Bina	100	-
1981 Yönetmeliklerine Uygun Bina	67	33%
1998 Yönetmeliklerine Uygun Bina	42	58%

Buna göre yalıtımsız bina ile 1981 yönetmeliklerine uygun bina arasında %33 yakıt tasarrufu, 1981 ile 1998 yönetmeliklerine uygun binalar arasında %37,5 yakıt tasarrufu ve yalıtımsız bina ile 1998 yönetmeliklerine uygun bina arasında %58 yakıt tasarrufu söz konusu olmaktadır [21].

2.5.5 Enerji verimliliği kanunu

Enerji verimliliği hususunda önemli bir gelişme de 2007 yılında yürürlüğe giren ‘Enerji Verimliliği Kanunu’ dur. Bu kanunun amacı, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesini ve çevrenin korunmasını sağlamak amacıyla, enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır. Kanun, sanayi işletmelerinde, binalarda, ve ulaşım sektöründe enerji verimliliğinin artırılmasına toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak esasları içermektedir[25].

2.6 Bina Enerji Performansı Yazılımları

Tez kapsamında bazı bina enerji performans yazılımları kullanılmış veya incelenmiştir. Aşağıda incelenen bazı programlar detaylı olarak açıklanmıştır.

2.6.1 Carrier HAP

Simülasyon amacıyla kullanmış olduğumuz Carrier firması tarafından piyasaya sürülmüş olan HAP 4.30 programı, binalarda kullanılan ana HVAC sistemini boyutlandırabilmekte aynı zamanda yıllık enerji kullanımı ve enerji maliyetini modellemek için 8760 saatlik simülasyon yapabilmektedir [3].

HAP altı adet hesaplama motoru kullanmaktadır. Yük hesaplama motoru, ASHRAE Transfer Fonksiyonu Metoduna 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 [26].

Carrier HAP, ASHRAE Standardı 90.1-2001 tarafından belirlenen simülasyon araçları ihtiyaçlarını karşılamakta ve aynı zamanda LEED proje onayı için kabul edilebilir bir programdır [27].

Program kullanımı kolay olan bir arayüze sahiptir. Başlama esnasında, proje için iklim değerlerinin tarifi edildiği kısım bulunmaktadır. İklim değerleri kullanıcı tarafından değiştirilmediği sürece ASHRAE tarafından yayınlanan verilerdir.Takip eden kısımda, binada bulunan mahallere ilişkin iç kazançlar, kayıplar ve kullanım sıklığı gibi tarifler yapılmaktadır. Sonraki aşamada ise binaya ait HVAC sistemi seçilmektedir. Merkezi iklimlendirme, zon iklimlendirmesi, mahal iklimlendirmesi gibi kavramlar bu kısımda tanımlanmaktadır. İlerleyen kısımda binaya ait kazan, su soğutma grubu vb. gibi merkezi iklimlendirme sistemleri boyutlandırılır. En son

aşamada ise bina kullanımına ait, birim elektrik ve yakıt değerleri programa girilerek, toplam bina simülasyonu yapılabilmektedir.

2.6.2 E-Quest

E-Quest programı içerisinde bir bina oluşturma modülü, enerji verimliliği ölçme modülü ve DOE 2.2 ile beraber çalışan bir grafiksel sonuçlar görüntüleme modülü bulunmaktadır [28].

İlk olarak binanın adım adım tanımlandığı bölümde, bina için mimari özellikler, enerji kullanımı, HVAC ekipmanları, bina tipi ve boyutu, kullanılan malzemeler, yoğunluk ve aydınlatma gibi unsurlar tarif edilmektedir. Tariften sonra ise program bina için detaylı bir simülasyon yaparak enerji kullanımını modellemektedir [26].

E-Quest programı da Carrier HAP gibi, bina için yıllık bazda bir simülasyon yapabilmektedir. Duvarlar, pencereler, camlar, insan yükü, aydınlatma yükü ve havalandırma gibi özelliklere bağlı olarak ısıtma ve soğutma yüklerini analiz etmektedir. Daha sonra burdan alınan veriler ile DOE programı vasıtası ile fanlar , pompalar, su soğutma grupları, kazanlar ve diğer enerji kullanan ekipmanların simülasyonu yapılabilmektedir [28].

2.6.3 EnergyPlus

EnergyPlus, esass olarak bir simülasyon motoru olup, girdiler ve çıktılar basit yazı dosyası formatındadır. Isıtma ,soğutma ve havalandırma yükleri kullanıcı tanımlı bir ısı dengesi motoru ile hesap edilerek, sonraki adımda bina sistem simülasyon modülüne entegre edilmektedir. EnergyPlus bina sistem simülasyon modülü, ısıtma ve soğutma sistemi ekipmanları ile elektrik sistemlerini simüle etmektedir.

Bina sistem simülasyon modülü, ısı dengesi modülü ile HVAC modülleri arasında bağlantı kurarak serpantinler, kazanlar, soğutma grupları, fanlar ve diğer ekipmanların boyutlandırılmasında yardımcı olur. HVAC hava ve su tarafı çevrimleri bina simülasyon modülünün çekirdeğini oluşturur. Hava çevrimi havanın taşınmasını, şartlandırılmasını , karışımı ile hava tarafı ekipmanları simüle etmektedir. Su tarafı ise, terminal üniteleri, borular, serpantinler ve diğer su tarafı ekipmanlarını boyutlandırarak simülasyonunu yapmaktadır [26].

EnergyPlus programı yazı formatında arayüze sahip olduğundan, sektörde kullanılan diğer kullanıcı dostu programlara nazaran kullanımı zor kalmaktadır.

2.6.4 RETScreen

Kanada Doğal Kaynaklar bakanlığı desteği ile yayınlanan RETScreen yazılımı, sanayiden ve akademik çevrelerden uzmanların katkısıyla geliştirilen bir proje destek aracıdır. Kullanımı kolay ve kullanıcı dostu olup, MS Excel tabanlı bir programdır. RETScreen ile çeşitli enerji verimli ve yenilenebilir enerji teknoloji türlerinin enerji üretimi ve tasarruflarını, yaşam çevrim maliyetlerini, emisyon azaltımlarını, finansal uygulanabilirliklerini ve risklerini değerlendirmek üzere dünya çapında kullanılmaktadır. Bu yazılım, aynı zamanda, ürün, maliyet ve iklim veritabanları ile detaylı bir kullanıcı rehberini de içermektedir.

Program dahilinde beş ana modül bulunmaktadır. İlk modülde, ayarlar ve proje bilgileri ile enerji modeli tariflenmektedir. Maliyet analizi modülünde projeye ilişkin ilk yatırım maliyeti ile işletme maliyeti ile ilgili bilgiler girilmektedir. Üçüncü modülde atmosfere salınan zararlı gazların emisyon analizi, dördüncü modülde ise projeye ilişkin bir ömür boyu maliyet hesabı ile finansal analiz gerçekleştirilmektedir. Beşinci modülde ise risk ve duyarlılık analizi yapılmaktadır[29].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Örnek Bina Tanımlaması

Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği analizi yapılacak olan bina İstanbul’da yapılması düşünülen 12 katlı, 27.000 m² kullanım alanına sahip bir ofis binasıdır. Binaya ait genel özellikler Çizelge 3.1’de , binanın tip kat mimari planı ise Şekil 3.1’de verilmiştir.

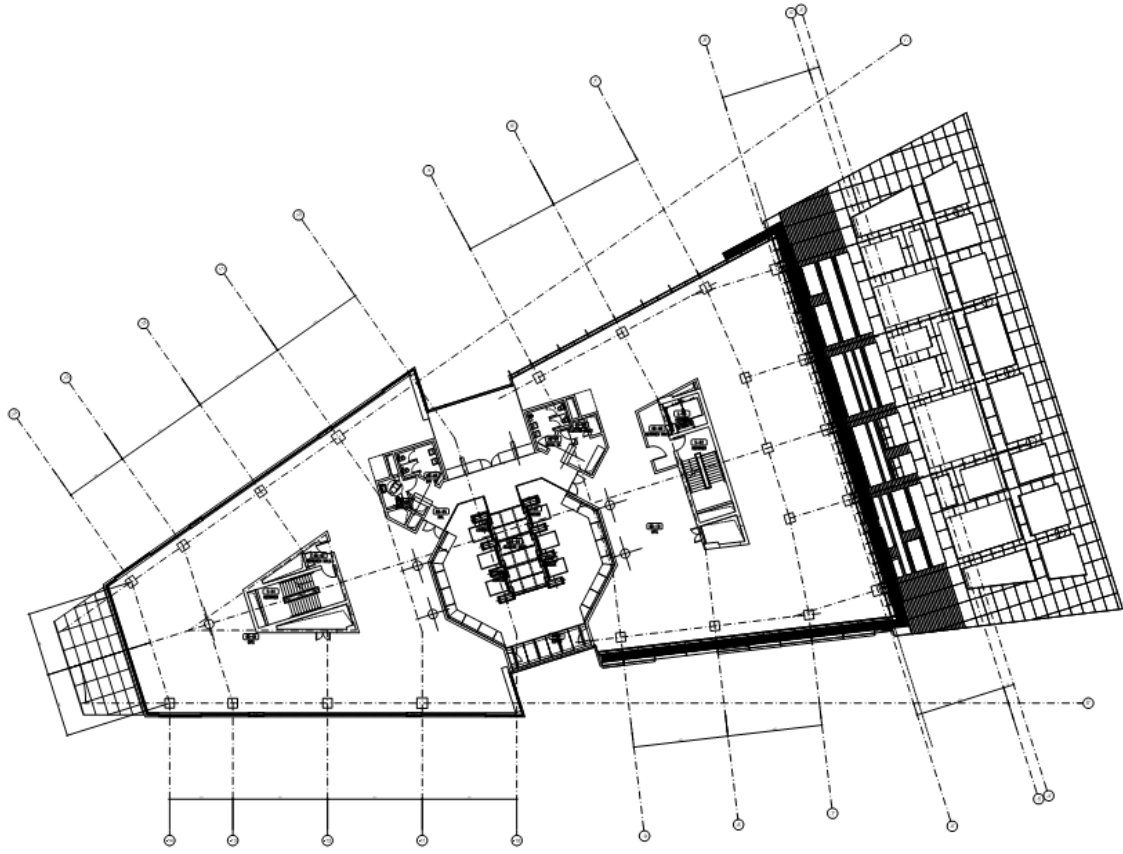
Çizelge 3.1 : Örnek bina tanımlaması.

Yapının brüt hacmi	92.000 m ³
Yapı net kullanım alanı	23.000 m ²
İklimlendirilen yapı alanı	18.000 m ²
Pencerelerin toplam yüzey alanı	7245 m ²
Toplam dış duvar alanı	3908 m ²
Cam-dış yüzey oranı	0.65
Yapının dışarı açık çatı alanı	1250 m ²
Yapının toprağa oturan döşeme alanı	1250 m ²

Bina tipik kat mimarisi Şekil 3.1’de verilmiştir. Bina orta alanı asansörler ve asansör holü, ortak lobiler sağ ve sol kısımlar ise ofis alanları ile tuvalet ve mutfak gibi mahallerden oluşmaktadır. Zemin ve bodrum katlarda giriş lobileri yer almaktadır.

Binada giydirme cam cephe sistemi uygulanmaktadır. Tipik kat yüksekliği döşemeden döşemeye 4,5 metre uzunluğundadır. Mekanik tesisat için ayrılmış shaftlar ofis alanlarının orta kısımlarında yer almaktadır.

Seçilecek olan sistemler göz önüne alınarak, ısıtma ve soğutma merkezi ekipmanları bodrum katta inşa edilecek olan mekanik odaya, soğutma kulesi bahçede tahsis edilecek bir mekanik alana, klima santralleri ise çatı seviyesinde ayrılacak olan mekanik alana yerleştirilecektir.



Şekil 3.1 : Örnek bina tip kat mimari planı

3.1.1 Yük hesapları

Simülasyon hesaplarına dahil edilen kısımlar, HVAC ihtiyacından gelen yükler, aydınlatma ile ofis ekipmanlarından gelen yükler ile pişirme ve ekstra kullanıma ait yüklerden oluşmaktadır. Sıcak su kullanımı amacıyla enerji tüketimi hesaplarda dikkate alınmamıştır

Isıtma ve soğutma yükleri hesabı, ASHRAE Fundamentals, Transfer Function Method [3] 'a göre, havalandırma hesabı ise ASHRAE 62.1-2004 [30] 'a göre yapılmaktadır. Aydınlatma , ofis ekipman yükleri, birim alan başına Çizelge 3.2'de yapılan kabuller doğrultusunda, belirlenen tasarım takvimine göre yapılmaktadır.

3.1.2 Tasarım koşulları

ASHRAE 62.1-2004 [30] ve 90.1-207 Standardı'na [27] göre tasarım yapılan binada havalandırma şartları Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

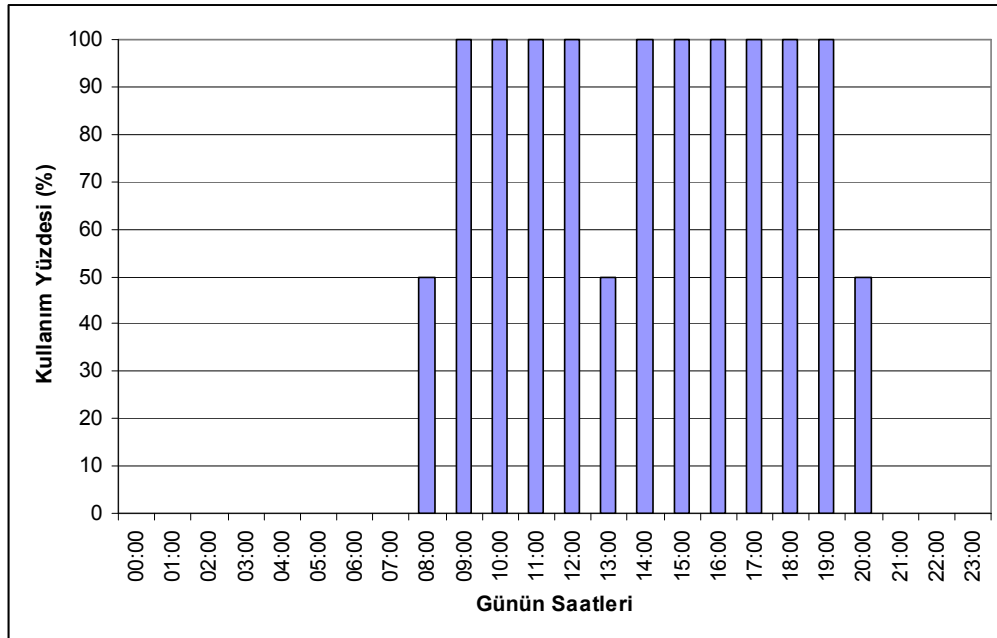
Çizelge 3.2 : Mahal tasarım koşulları

Mahal Tanımı	Min. Taze Hava İhtiyacı	Kişi Yoğunluğu (kişi/100 m ²)	Isıtma Sıcaklığı (°C)	Soğutma Sıcaklığı (°C)	İç Kazançlar	
					Aydınlatma W/m ²	Ekipman W/m ²
Ofis Alanları	10 l/s.kişi	12,5	22	26	10	10
Ortak Sirkülasyon Alanları	8 l/s.kişi	10	20	26	25	15
Giriş Lobileri	8 l/s.kişi	10	20	26	25	15

3.1.3 Tasarım takvimleri

Bina için yıllık bazda simülasyon yapılırken binanın günün hangi saatlerde kullanılacağına ve bu saatlerde ne kadar kullanım olacağına dair bir takvim tanımlanmıştır. Haftasonları ve mesai saatleri dışında kapalı, iş günlerinde mesai saatlerinde ise açık olarak tasarım yapılmıştır. Günlük kullanıma ait karakteristik Şekil 3.2’de verilmiştir.

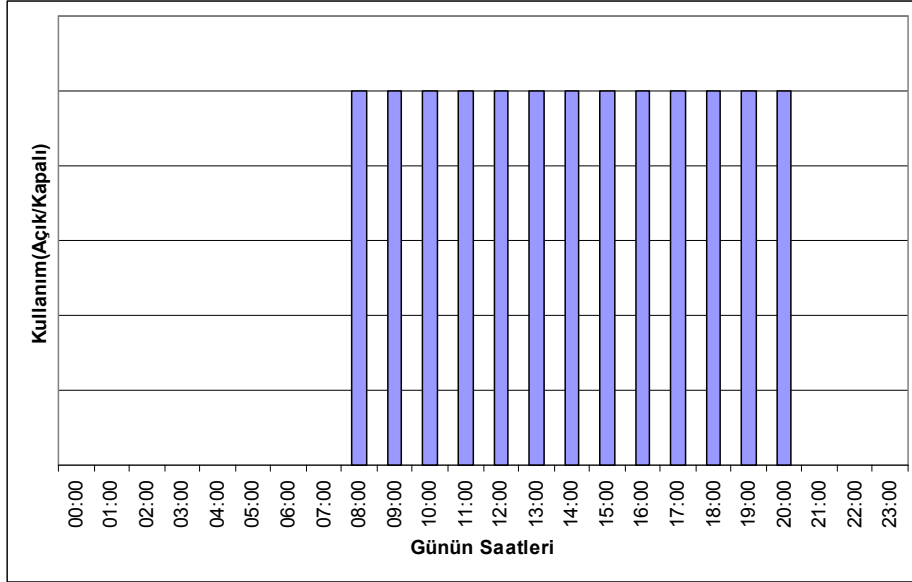
İş günlerinde mesai saatlerinden bir saat önce ve sonra, ve öğlen tatillerinde ise kullanımın yarı yarıya azalacağı düşünülmüştür. Belirlenen kullanım takvimi ASHRAE 90.1-2007 [27] standardına uygundur.



Şekil 3.2 : İş günlerinde ofis binası günlük kullanım takvimi

Isıtma sezonu Kasım-Nisan ayları arasında, soğutma sezonu ise Mayıs-Ekim ayları arasında olacak şekilde tariflenmiştir. Programda ayrıca fan ve termostat kullanımı

için kullanım bilgisi girilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde bu kullanıma ilişkin bilgi verilmiştir. Sistem, haftasonları ve mesai saatleri dışında çalışmayacak şekilde tariflenmiştir. Resmi tatiller simülasyonda dikkate alınmamıştır.



Şekil 3.3 : İş günlerinde ofis binası fan termostat kullanım takvimi

3.2 Bina Enerji Simülasyonunda Kullanılan HVAC Sistemleri

Bina enerji simülasyonu için Carrier HAP programının desteklediği HVAC sistemleri esas alınmıştır. Bu sistemler, dört borulu Fan-Coil (FCU) sistemi , iki borulu su kaynaklı ısı pompası (WSHP) sistemi ve değişken hava debili sistem(VAV) olarak seçilmiştir. Seçilen sistemler, binanın kullanım amacı, kullanım sıklığı, bina genel ve mimari özellikleri baz alınarak uygulanabilirliğine karar verilmiştir. Referans bina için alınan sistme FCU sistemidir.

3.2.1 Fan-Coil sistemi

FCU Sistemlerinin popülaritesi, göreceli olarak düşük kalan ilk yatırım maliyeti, kullanım esnekliği ve yüksek ısı güçleri ile başa çıkabilmesi ile basit yerel kontrol ve ufak boyutlarda mekanik mahallere ihtiyaç duyuyor olmasından kaynaklanmaktadır. Bu tip sistemlerde iklimlendirilen ortamlara merkezi klima santralleri, saatte 1-2 hava değişimini sağlayacak şekilde şartlandırılmış taze hava göndermektedirler. Halbuki tüm havalı sistemlerde klima santralleri saatte 6 veya daha fazla hava değişimi yapmaktadırlar. Bunun sonucu olarak söylenebilir ki merkezi ekipman boyutlarında ve hava dağıtım kanallarında azalma olur. Mahahllerin yerel kontrolleri

ise Fan Coiller ile mahallerde bulunan oda termostatları ile sağlanır. Isıtma ve soğutma suyu merkezi kazan ve chillerler (Şekil 3.4) vasıtası ile elde edilerek fan coil üniteleri ve klima santrallerine gönderilir. Klima santralleri mahal için gereken taze havayı şartlandırarak belirli bir sıcaklıkta içeri üfler. Mahalin ısıtılması ve soğutulması ise fan coil üniteleri ile yapılır.



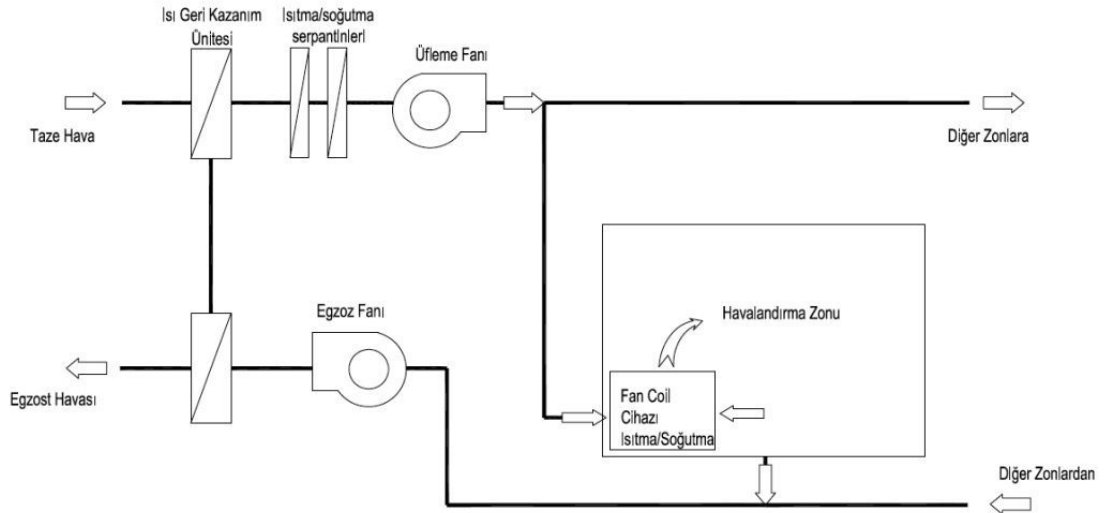
(a)



(b)

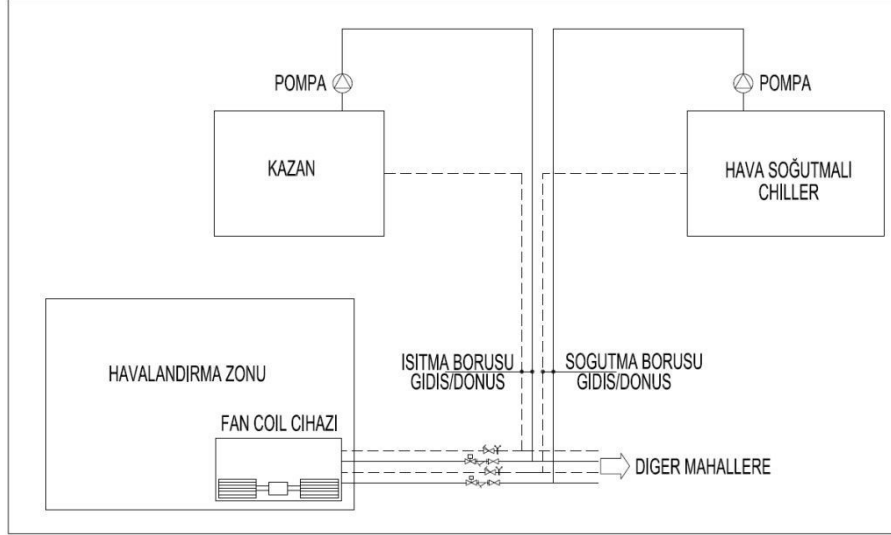
Şekil 3.4 : Sıcak su kazanı (a) Su soğutma grubu (b)

Fan-Coil ünitesi fan ve ısıtma ile soğutma serpantinlerinden ve kontrol ekipmanlarından oluşmaktadır. FCU sistemlerinde hem ısıtma hem de soğutma yapılabilir. Borulama maliyetlerinden kaçınılmak istenirse sistem iki borulu, yazın soğuk kışın sıcak su geçecek şekilde dizayn edilir. Şekil 3.5'te genel havalandırmalı FCU mahal havalandırma sistemi şematiği verilmiştir.



Şekil 3.5 : FCU sistemi hava tarafı şematiği [3]

Taze hava ; ısı geri kazanım ünitesi, ısıtma veya soğutma serpantini ve filtrelerden geçtikten sonra iklimlendirilecek olan zona gönderilir. Mahalde bulunan fan coil cihazları ile hava şartlandırılarak mahale verilir. Fan-coil cihazı ısıtma ve soğutma suyunu kullanarak, ısıtma ve soğutma serpantinleri ve filtreleri ile mahal havasını ikinci kez şartlandırır. Fan-coil sisteminin su tarafı şematığı Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6 : FCU sistemi su tarafı şematığı [3]

FCU Sistemi karakteristikleri Çizelge 3.3’de verildiği gibidir.

Çizelge 3.3 : FCU sistem karakteristikleri

Klima Santrali Üfleme Sıcaklığı	Yaz	19°C
	Kış	23°C
FCU Ünitesi 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)	

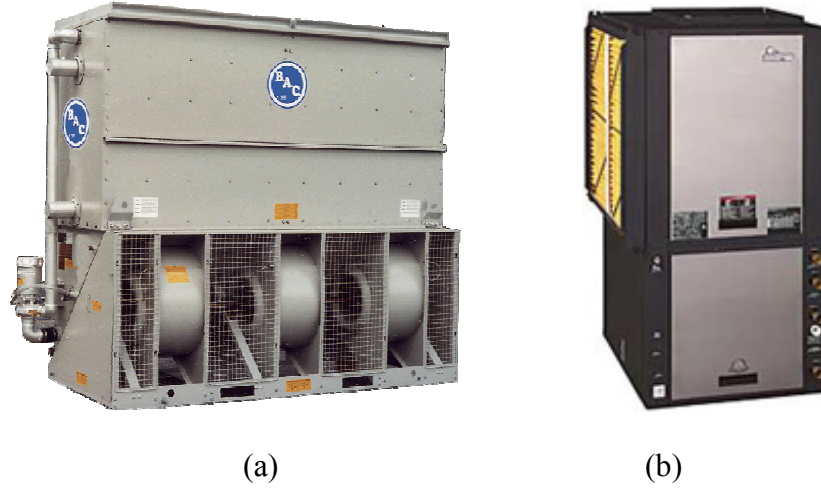
Sistemde ısıtma suyu (kazan) sistemi 80-60°C rejiminde, soğutma suyu(chiller) sistemi ise 7-12°C rejiminde çalışmaktadır. Mahallerin ısıtılıp soğutulması ise mahallerde bulunan FCU üniteleri vasıtası ile yapılmaktadır.

3.2.2 Su kaynaklı ısı pompası sistemi

Su kaynaklı ısı pompası sistemi WSHP sistemi kullanılan ana ekipmanlar olarak sıcak su kazanı, ısıtma plakalı ısı değişiricisi, kapalı devre soğutma kulesi ve

pompalardan oluşmaktadır. Isı pompası sudan havaya olarak çalışmaktadır. Sudaki ısı mahalde bulunan ısı pompası cihazı ile havaya aktarılır.

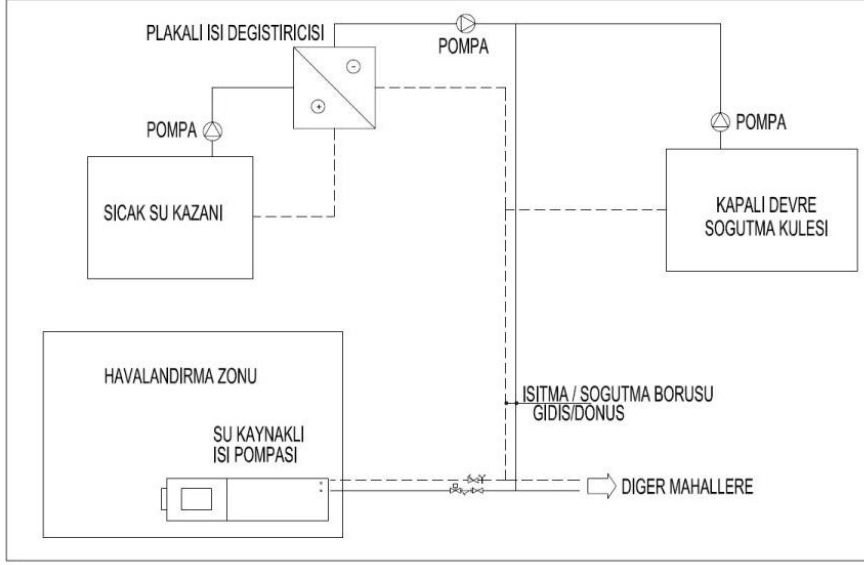
Şekil 3.7’de su kaynaklı ısı pompası ile su şartlandırma amacıyla kullanılan kapalı devre soğutma kulesi gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : Kapalı devre soğutma kulesi (a) Su kaynaklı ısı pompası(b)

Sistem genel olarak iki boruludur. Yazın ve geçiş mevsimlerinde kuleden elde edilen su sistemde 30-35°C rejiminde dolaştırılır. Kışın ise kazan devresi 80-60°C rejiminde, sekonder devre ise ısı pompasına zarar vermemek için 20-40°C rejiminde çalışır, bu sebepten kazan çıkışına bir adet ısı değiştiricisi konulur.

WSHP Sisteminde her cihaz; bir hava soğutucu evaporatör, evaporatör fanı, su soğutmalı kondenser, kompresör ve pano içerir. Cihaz ortam isteğine göre soğutma yaptığında, kondenser hattı suyu ısınır, ortama ısıtma yaptığında ise kondenser hattı suyu soğur. Kondenser suyu tek boru hattı ile tüm ünite kondenserlerini dolaşır. Cihazların çoğunluğu soğutmaya çalıştığında; kondenser hattını, kule devreye girip soğutur, cihazların çoğunluğu ısıtmaya çalıştığında ise kondenser hattını, kazan devreye girerek ısıtır. Bu sayede kondenser hattındaki su sıcaklığı sürekli 15 C° - 30 C° arasında tutulur. Bu değerler arasında kule de kazan da çalışmaz. Böylece basit bir enerji tasarrufu sağlanmış olur.



Şekil 3.8 : WSHP sistemi su tarafı şematiği [3]

Her cihaz istenilen şekilde hem ısıtma hem soğutma yapabilir, hem de yüksek verimde çalışarak, kışın dış hava soğukluğundan, yazın da dış hava sıcaklığından hiç bir şekilde etkilenmeden, yüksek COP değeri ile, ortamı ısıtabilir ya da soğutabilmektedir.

Bina otomasyonu sayesinde; her odanın ısı kontrolü, ısıtma soğutma, cihaz hava giriş çıkışları, cihaz su giriş çıkışları, kondenser suyu fan kontrolü, voltaj koruması, yoğunlaşma tavaşı taşması, kompresör ve fan çalışma saatleri, çeşitli alarmlar, birden fazla ünitenin tek termostattan takibi, jeneratör ile sırf fan çalışması ve birçok diğer nokta takip ve kontrol edilebilmektedir. WSHP sistemi karakteristiği Çizelge 3.4’ te özetlenmektedir.

Çizelge 3.4 : WSHP sistem karakteristikleri

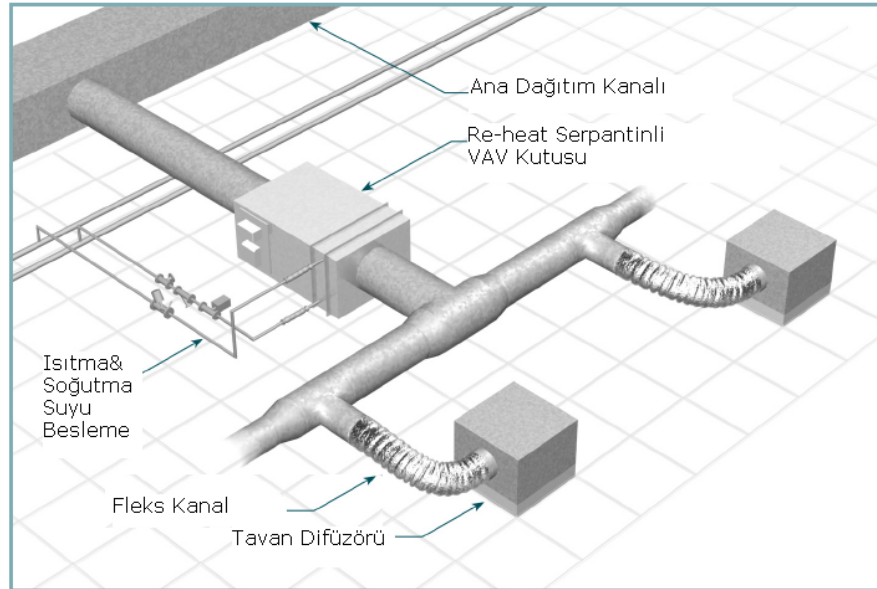
Klima Santrali Üfleme Sıcaklığı	Yaz	19°C
	Kış	23°C
FCU Ünitesi Çıkış Sıcaklığı	Yaz	13°C
	Kış	35°C
Isıtma Kaynağı	Sıcak Su Kazanı (40-20°C)	
Soğutma Kaynağı	Kapalı Soğutma Kulesi (30-35°C)	

Mahallerin ısıtılıp soğutulması ise mahallerde bulunan WSHP üniteleri vasıtası ile yapılmaktadır.

3.2.3 Değişken hava debisi (VAV) sistemi

VAV sistemleri, değişken devir teknolojisinin gelişmesi ile önem kazanmış ve günümüzdeki yaygın kullanımlarına ulaşmışlardır.

VAV sistemlerinde temel mantık üflenlen havanın sıcaklığının sabit tutulup, hava debisinin değiştirilmesidir. VAV sistemleri temel elemanlar itibariyle VAV kutuları ve değişken devir kontrollü bir santralden oluşurlar. Klasik tüm havalı sistemlerde merkezi klima santralinin hitap ettiği zonlardaki sıcaklık değeri değiştiği zaman ana üfleme hava sıcaklık değeri degistirilirse, sıcaklık rejimi oturmuş diğer zonların dengesi bozulur. Bu durumda hava debisini değiştirmek gerekecektir ve bu maksatla frekans konvertörlü fana sahip bir santral kullanımı uygundur. Kanallardaki statik kontrol VAV ve diğer terminal tip sistemlerin statik basınçlarının ölçüldüğü yerlerde yapılır. Bu sensörler alçak statik basınç şartları için fan kontrolü ile kanal çıkışının ayar noktasının kontrolünü gerçekleştirir. VAV üniteleri mahallere hava dağılımlarının yapıldığı noktalarda uygulanır ve ilk devreye alma esnasında mahalin ihtiyacına göre hava debi ayarı ünite üzerinden yapılır.



Şekil 3.9 : VAV iklimlendirme sistemi şematığı [31]

VAV sisteminde bir diğer önemli kriter de ses seviyesidir. Bazı durumlarda VAV ünitelerinin çıkışlarına susturucuların takılabildiği görülmektedir. Bu tamamen bir kabul esasına dayalı, mal sahibi tarafından belirtilen ses seviyelerine göre yapılmaktadır. Ses seviyesi cihaz dışı ve kanalda olmak üzere 2 farklı kritere göre ele alınabilir. Kanalların izolasyonlu olmalarını da dikkate alırsak, VAV ünitelerinden

dışarı verilen ses siddeti seçimlerde daha kritik bir rol oynamaktadır. VAV Sistemi karakteristikleri Çizelge 3.5'te verildiği gibidir.

Çizelge 3.5 : VAV sistem karakteristikleri

Klima Santrali Üfleme Sıcaklığı	Yaz	13°C
	Kış	13°C
Isıtma Kaynağı	Sıcak Su Kazanı (80-60°C)	
Re-heat Isıtma Kaynağı	Sıcak Su Kazanı	
Soğutma Kaynağı	Hava Soğutmalı Su Soğutma Grubu (30-35°C)	

3.3 Fotovoltaik Sistemler

Güneş ışığını kullanarak elektrik elde eden sistemlere fotovoltaik sistemler denilmektedir. Fotovoltaik sistemler herhangi bir fosil yakıt kullanmamalarından ötürü sürdürülebilir sistem olarak da görülmektedir. Günümüzde pahalı kalan ilk yatırım maliyetleri tercih edilmemelerine sebep olmaktadır, ancak hiç CO₂ üretmemelerinin yanı sıra enerji maliyetlerini de ileri derecede hafifletmektedir.

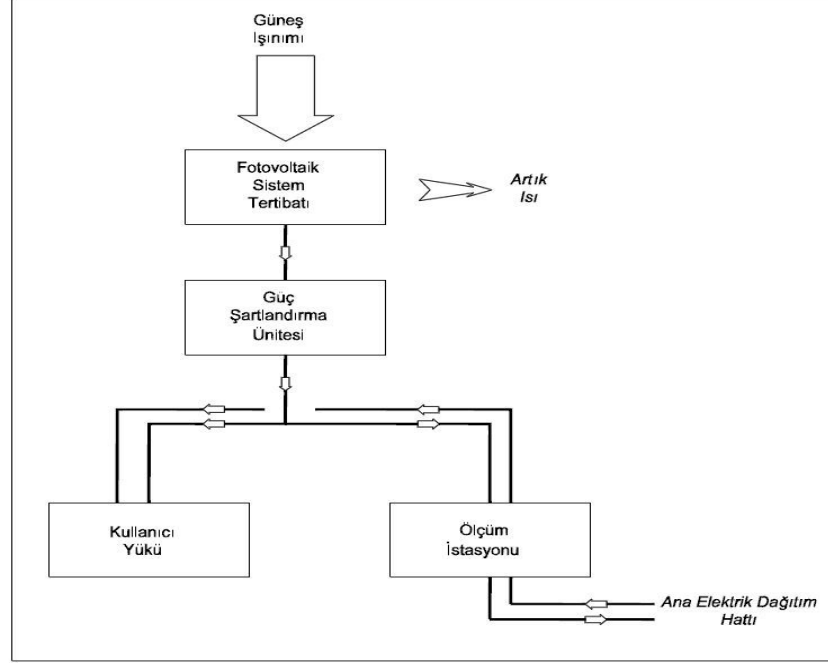
Dünyada güneşten elektrik elde eden sistemlere duyulan ihtiyaç son 20 yılda durmadan artmaktadır.1999 senesinde dünya çapında, fotovoltaik modül satışları imalatçılar tarafından 200MW olarak hesaplanmış ve pazar payı olarak da 3 milyar dolar olarak verilmiştir. Bu oran 1985 senesiyle karşılaştırılarak 23MW'lık bir satış yapıldığı dikkate alındığında 14 yıllık zaman diliminde %850'lik bir artış olduğuna varılabilmektedir [32].

Şekil 3.10'da fotovoltaik modül gösterimi ile fotovoltaik panel tertibatı gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : FV modül ve FV panel tertibatı

Fotovoltaik sistemlerle kullanıcı ihtiyacının bir kısmını veya tamamını karşılamak mümkün olduğu gibi, kullanım dışı zamanlarda veya ihtiyaç fazlasını şebekeye satmak da mümkündür. Pratik verimleri %5-20 aralığında değişen bu sistemlerde geri kalan enerji ise ısı olarak açığa çıkar. Fotovoltaik sisteme ait genel prensip şeması Şekil 3.11’de verilmiştir [33].



Şekil 3.11 : Şebeke bağımlı fotovoltaik sistem genel işletim prensibi

3.3.1 Fotovoltaik birimleri

Günümüzde kullanılan fotovoltaik piller genelde yarı iletken cinsi olan silikon bazlıdır. Temel olarak ışığın güneş piline çarpması ile, bir kısmı yarı iletken maddede absorbe edilir ve elektronların serbest kalmasını sağlar. Bu sayede elektronların hareketinden pilin iki ucundaki metaller sayesinde ise elektrik enerjisi elde edilir. Günümüzde genellikle kullanılan fotovoltaik pillere ilişkin karakteristik verimler Çizelge 3.6 ‘da verilmiştir [33].

Çizelge 3.6 : Genel FV pil karakteristikleri

Malzeme	Monokristal Silikon	Polikristal Silikon	İnce Film Amorf Silikon
Pil verimi(%)	13-17	12-15	5-10
Modül verimi (%)	12-15	11-14	4-7.5
Görünüm	Mavi/Siyah Homojen	Mavi - Çok hücreli	Gri, kahve, siyah ;Mat

3.3.2 Aküler

Şebekeden bağımsız bir fotovoltaiik sisteminde, güneş olmadığı zamanlarda enerji temini açısından, akü gibi bir depolama sistemi öngörülmektedir. Genel olarak aküler kurşun-kalsiyum veya kurşun-antimon esaslı olmaktadır. Nikel-kadmiyum aküleri de değişik sıcaklıklarda çalışabilme özelliği dikkate alındığında kullanılabilir. Aküler, güneş radyasyonundaki dalgalanmalar dikkate alındığında, şarj veya boşaltma esnasında herhangi bir zarara uğramaksızın çalışabilmelidirler. Aküler kendi voltajları ile karakterize edilmektedir ve 12 V 'un katları şeklinde belirtilmekle birlikte kapasiteleri amper-saat(Ah) olarak verilmektedir. Örnek olarak normal koşullarda 50Ah, 48V 'luk bir akü 2400Wh bir elektrik depolama özelliğine sahip olacaktır [32].

3.3.3 Güç şartlandırma ve jeneratörler

Fotovoltaiik sistem vasıtası ile üretilen gücü kontrol veya şartlandırma amacı ile bazı elektronik ekipmanlar kullanılmaktadır. Bunlar ;

- Akü şarj kontrolörleri : Akülerin şarj veya boşaltma çevrimlerini düzenlenmesi
- Maksimum güç noktası izleyicileri : Sistemin işletme gücünün düzenlenmesi
- İnvertörler : Sistemin ürettiği doğru akım(DC) alternatif akıma çevrilmesi (AC).
- Düzeltici (akü şarjı) : Jeneratörün ürettiği AC akımı DC akıma çevrilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar.

Şebekeden bağımsız sistemlerde, fotovoltaiik sistem ile beraber çalışan bir fosil yakıt kullanan jeneratör uygulamaları görülmektedir. Jeneratörün kullanımı fotovoltaiik sistemin gereksiz yere büyük boyutlandırılmasının önüne geçer ve güneş ışığı olmadığı zamanlar enerji teminine yardımcı olur. Jeneratörler değişken fosil yakıtları kullanabilmektedir. Jeneratör ihtiyacı ve jeneratörün toplam elektrik ihtiyacını hangi oranda karşılayacağı fotovoltaiik ilk yatırım maliyeti, jeneratörün işletme giderleri, sistem emniyeti gibi bir çok unsura bağlı olmaktadır [32].

3.3.4 Karbondioksit emisyon tasarrufu

Fotovoltaiik sistemler bir binanın tüm elektrik ihtiyacını karşılamayacak olsa bile, mevcut konvansiyonel yakıtların kullanımının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. En pratik yöntem olarak güneye bakacak şekilde açılı olarak

yerleştirilen fotovoltaik bir sistem yılda 100 kWh/m² elektrik üretebilmektedir. Emisyonlar söz konusu olduğunda ise 1 kW güneş pili kullanım esnasında yılda 0.3 ton karbondioksit azaltımına sebep olabilmektedir [34].

3.3.5 Maliyet etkinliği

Günümüzde güneşten elektrik eldesi oldukça maliyeti yüksek bir yöntem olmakla birlikte, fotovoltaik sistemlerin maliyetlerinin düştüğü ve daha da düşeceği yönünde beklentiler var olmaktadır. Fiyatların düşmesi bu tip sistemlere olan rabeti de artıracaktır. Oldukça yüksek maliyete sahip bir teknoloji olması hükümetler tarafından desteklenmesi ile çözülebilir gözükmektedir [34].

Yatırım maliyeti aşıldığında ise işletme maliyeti diğer teknolojilere kıyasla çok daha düşük seviyelerde seyretmektedir. Kaliforniya enerji komisyonu tarafından fotovoltaik sistemler için ilk yatırım maliyeti 4500-6000\$/kW olarak, işletme maliyeti ise ilk yatırım maliyetinin yılda %1'i kadar verilmektedir. Her iki yılda bir de bakım gereksinimi bulunmaktadır [35].

3.3.6 Fotovoltaik sistem ile elektrik eldesi

Güneşten elektrik eldesi için bir takım hesaplamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Toplamda üretilen elektrik sahanın dünya üzerindeki konumuna, iklime, fotovoltaik sistem tertibatı karakteristiklerine büyük ölçüde bağlıdır. Daha çok güneş ışığı alabilen iklim ve bölgelerde FV sistem ile üretililecek elektrik enerjisi miktarı da artmaktadır.

Günümüzde ortalama FV sistem verimleri %13 civarındadır, yani FV sistem üzerine düşen elektriğin sadece %13'ünü elektrik enerjisine çevirebilmektedir.

Aşağıdaki bölümde güneşten elektrik eldesi için kullanılan hesap yönteminden bahsedilmektedir.

Fotovoltaik tertibat η_p ile karakterize edilmektedir ve bu ortalama modül sıcaklığı T_c 'nin bir fonksiyonudur. η_p aşağıdaki denklem (3.1) ile hesap edilir.

$$\eta_p = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)] \quad (3.1)$$

η_r ; 25 °C ‘deki ortalama modül verimi ve β_p ise modül verimi için sıcaklık katsayısıdır. T_c aylık ortalama çevre sıcaklığı olan T_a yardımıyla aşağıdaki denklemden hesap edilmektedir **(3.2)**.

$$(T_c - T_a) = (219 + 832 \bar{K}_t) \frac{NOCT - 20}{800} \quad (3.2)$$

Burada $NOCT$, nominal hücre işletme sıcaklığı ve K_t ise bulutluluk indekssidir. η_r , $NOCT$ ve β_p ,dikkate alınan fotovoltaik modüle bağlı katsayılardır. Çizelge 3.7’de tabloda literatürde kullanılan değerleri verilmiştir [32].

Çizelge 3.7 : Standart teknolojiler için FV modül karakteristikleri [32]

FV Modül Tipi	η_r (%)	NOCT (°C)	β_p (% / °C)
Mono-Si	13.0	45	0.40
Poly-Si	11.0	45	0.40
a-Si	5.0	50	0.11
CdTe	7.0	46	0.24
CIS	7.5	47	0.46

Fotovoltaik tertibat tarafından üretilen enerji E_P , basit olarak aşağıdaki denklem ile hesaplanır **(3.3)**.

$$E_P = S \eta_p \bar{H}_t \quad (3.3)$$

Burada, S , tertibatın toplam alanıdır. H_t yeryüzünde yataya gelen güneş ışınımıdır. Üretilen enerji E_P birtakım kayıplara uğramaktadır. Kayıplar sonrası enerji aşağıdaki denklem **(3.4)** ile hesaplandığı formu alır.

$$E_A = E_P (1 - \lambda_p) (1 - \lambda_c) \quad (3.4)$$

E_A , akü ve yük için sağlanabilir enerjidir. λ_p ve λ_c ise muhtelif tertibat kayıp katsayısı ile güç şartlandırma kayıp katsayısıdır. Genel verim denklem **(3.5)** ile verildiği tariflenmektedir:

$$\eta_A = \frac{E_A}{S \cdot \bar{H}_t} \quad (3.5)$$

Şebekeye verilebilen enerji, invertör kayıpları sonrası aşağıdaki denklem ile hesap edilir:

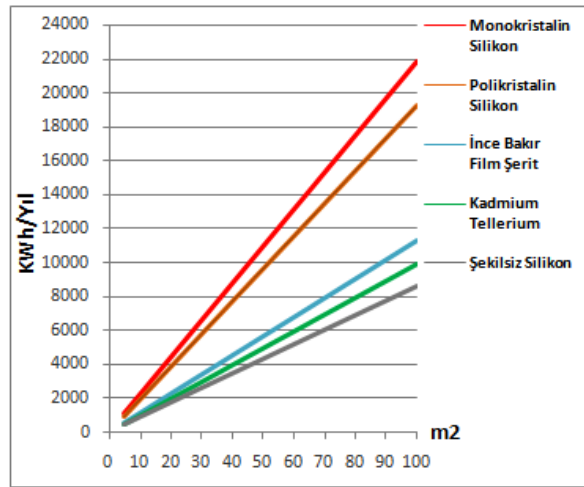
$$E_{\text{şebeke}} = E_A \eta_{\text{inv}} \quad (3.6)$$

η_{inv} invertör verimi olmaktadır. Şebeke konfigürasyonuna bağlı olarak şebeke enerjisi olarak tariflenen tüm enerji şebeke tarafından alınamayabilir. Şebeke tarafından alınabilen enerji ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$E_{\text{dag}} = E_{\text{şebeke}} \eta_{\text{abs}} \quad (3.7)$$

η_{abs} fotovoltaik enerji yutma oranıdır.

Elektrik İşleri Etüt İdaresinden alınan bilgiler ışığında İstanbul için fotovoltaik tipi ile üretilebilecek elektrik enerjisi arasındaki ilişki Şekil 3.12’de verilmiştir [36].



Şekil 3.12 : İstanbul’da FV sistem ile üretilebilecek elektrik enerjisi değerleri[36]

Fotovoltaik sistem kullanıldığında karbondioksit emisyonuna sebebiyet veren unsur şebekeden elektrik alımı ve ısıtma için doğalgaz kullanımıdır. Karbondioksit emisyonu fotovoltaik sistem tertibatı için denklem (3.8-10) da tariflendiği gibi hesaplanabilir:

$$E_{\text{şebeke}} = E_{\text{ihtiyaç}} - E_P ; E_{\text{ihtiyaç}} \geq E_P \text{ ise} \quad (3.8)$$

$$E_{\text{sebeke}} = 0 ; E_{\text{ihtiyaç}} \leq E_p \text{ ise} \quad (3.9)$$

$$C_{FV} = E_{\text{sebeke}} \cdot c_{\text{sebeke}} + G_{\text{ihtiyaç}} \cdot c_{dg} \quad (3.10)$$

Bu denklemde C_{FV} fotovoltaik sistem karbondioksit emisyonu, E_{sebeke} şebekeden tedarik edilen elektrik enerjisini, c_{sebeke} şebeke elektrik alımında salımına sebebiyet verilen karbondioksit emisyonunu $G_{\text{ihtiyaç}}$, kwh cinsinden ısıtma için ihtiyaç duyulan doğalgaz miktarını, ve c_{dg} ise doğalgaz eşdeğer karbondioksit emisyonunu göstermektedir.

3.4 Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemleri

Kojenerasyon, enerjinin hem elektrik hem de ısı formlarında aynı sistemden beraberce üretilmesidir. Bu birliktelik, iki enerji formunun da tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik neticeler oluşturmaktadır. Basit çevrimde çalışan, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motoru kullandığı enerjinin %30-40 kadarını elektriğe çevirebilir. Bu sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümü de kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek toplam enerji girişinin % 70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu tekniğe birleşik ısı-güç sistemleri ya da kısaca kojenerasyon denilmektedir [37].



Şekil 3.13 : Paket tip 400 kW_e kojenerasyon ünitesi [38].

Kojenerasyon sistemleri ekonomik olarak avantajlı olmanın yanı sıra enerji kullanımını etkin biçimde sağlayarak, çevresel olarak da faydalıdırlar. Enerji fiyatlarında tasarruf yapılması, elektrik şebeke dağıtım şirketine bağlı kalınmaması , çevresel performans geliştirilmesi, yeni veya ek bir sıcak su kazanı temin edilmek istenmemesi durumunda kojenerasyon üniteleri fayda sağlamaktadır [18].

3.4.1 Sistem tipleri ve özellikleri

Kojenerasyon sistemleri geleneksel olarak elektrik çıkış güçlerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Sınıflandırma aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.8 : Kojenerasyon üniteleri sınıflandırması [18]

Boyut	Elektrik Çıkış Gücü
Mikro-Kojenerasyon	< 5 kW
Mini-Kojenerasyon	5-500 kW
Küçük Ölçekli Kojenerasyon	500kW-5 MW
Orta Ölçekli Kojenerasyon	5-50 MW
Büyük Ölçekli Kojenerasyon	50+ MW

Üniteler, farklı yakıtlar kullanabilen bir güç kaynağına sahiptirler. Bunlar pistonlu motorlar, buhar türbinleri veya gaz türbinleri olabilir. Pistonlu tipte olanlar mikro ve mini kojenrasyon uygulamaları için idealdirler.Yakıt tipi genellikle doğalgaz olmaktadır [18].

Güç kaynağının yanı sıra kojenerasyon ünitelerinde; yakıt sistemi, elektrik besleme amacıyla bir jeneratör sistemi, kullanılabilir atık ısıdan faydalanma amacıyla ısı geri kazanım ünitesi, motor soğutma sistemi, yakma ve havalandırma sistemi, kontrol sistemi ve dış etkenler koruması için bir kapak mevcuttur [39].

3.4.2 Karbondioksit emisyonu tasarrufu

Kojenerasyon sistemleri fosil yakıt kullanıyor olduğundan fotovoltaik sistemler kadar sürdürülebilir bir sistem olarak değerlendirilememektedir. Paket tip kojenerasyon üniteleri binalarda çok yeni kullanım alanı bulmuş olup, mesken başına yılda 1,5 ton karbondioksit emisyon azaltımına yol açmaktadır [40].

3.4.3 Maliyet etkinliği

Geri dönüş süresinin etkenliği için, sistemin senede 4000 saat veya daha fazla süre boyunca çalışıyor olması gerekmektedir. Atık ısı ile, absorpsiyonlu su soğutma grubu kullanılarak soğutma da yapılabiliyor ise sistemler bir senede 4000 saatten daha fazla sürelerle ulaşabilmektedir. Bunun yanı sıra bina baz elektrik ihtiyacının 50 kW'tan ve bina baz ısıtma ihtiyacının 80 kW'tan fazla olması gerekmektedir [39].

Kaliforniya enerji komisyonu tarafından kojenerasyon sistemleri için ilk yatırım maliyeti 1000-1500 \$/kW olarak, işletme maliyeti ise 0,5-1 \$ ¢ / kWh mertebelerinde verilmektedir. Sistem ömrü bir kazan ömrüne eşdeğer olup, 8000 saate kadar bakım yapılmadan çalışabilmektedir [35].

3.4.4 Mini paket kojenerasyon ünitesi ile elektrik ve ısı eldesi

Simülasyonu yapılan bina için mini paket kojenerasyon üniteler ile birleşik ısı ve güç üretimi yapılacaktır. Kojenerasyon ünitesi seçimi için senelik elektrik ve ısıtma enerjisi tüketim profillerinin incelenmesi gerekmektedir.

Kojenerasyon hesabı yapılmadan önce saatlik olarak ısıtma ve elektrik yükleri Carrier HAP programından alınarak MS Excel'de yazılmış olan bir hesap sayfasına entegre edilmiştir. Hesap sayfasında saatlik ihtiyaçlar göz önüne alınarak, kojenerasyon ünitesi tarafından üretilebilen elektrik kıyaslaması yapılarak, kojenerasyon ünitesinin yetmediği durumlarda şebekeden tedarik edecek şekilde simülasyon yapılmıştır. Bu durumda kojenerasyon tarafından üretilen elektrik enerjisi maksimum değere ulaştığında şebekeden elektrik alımı yapılacaktır. Kojenerasyon ünitesinin fazla geldiği durumlarda ise şebekeye elektrik satımı gerçekleştirilebilir.

$$E_K = E_{ihtiyaç} \quad ; \quad E_K \geq E_{ihtiyaç} \quad (3.11)$$

$$E_K = E_{grid} + E_{ihtiyaç} \quad ; \quad E_K \leq E_{ihtiyaç} \quad (3.12)$$

Burada E_K kojenerasyon ünitesi tarafından üretilen saatlik gücü, $E_{ihtiyaç}$ bina tarafından ihtiyaç duyulan saatlik elektrik enerjisini, E_{grid} ise şebekeden tedarik

edilen saatlik elektrik enerjisini tarif etmektedir. $E_{ihtiyaç}$, simülasyon programları vasıtası ile hesaplanabilir.

Kojenerasyon ünitesi, elektriği doğalgaz kullanarak üretmektedir. Bu durumda doğalgaz yakıldığından atmosfere karbondioksit emisyonu olmaktadır. Elektrik üretilirken ne kadar doğalgaz tüketildiği ısı güç oranından hesap edilebilir. Kojenerasyon ünitesi tarafından salınan toplam karbondioksit emisyonu;

$$G_K = E_K \cdot \eta_{ke} \quad (3.13)$$

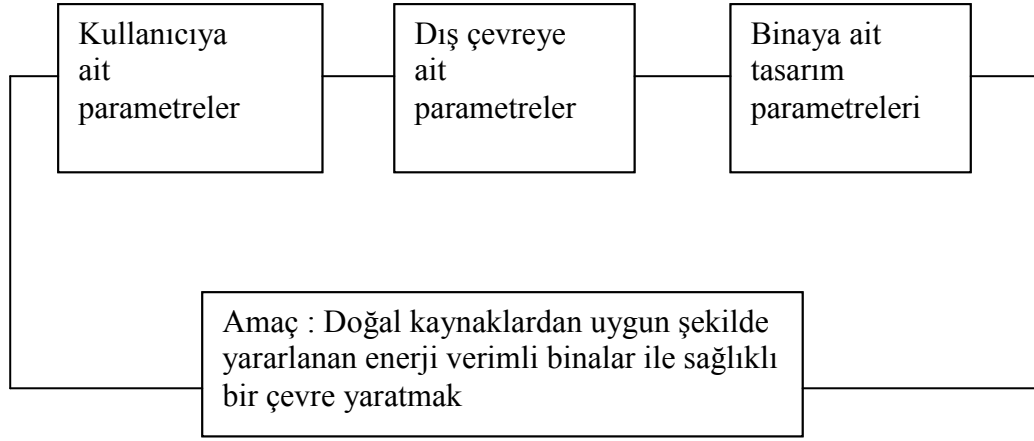
G_K , kojenerasyon ünitesi tarafından tüketilen saatlik doğalgaz miktarını göstermektedir, η_{ke} ise, kojenerasyon ünitesine ait bir özellik olup elektriksel verim ifadesidir, kojenerasyon için 0 ile 1 arasında değişmektedir.

$$C_K = E_{grid} \cdot c_{şebeke} + G_K \cdot c_{dg} \quad (3.14)$$

C_K sistem tarafından üretilen toplam karbondioksit emisyonunu göstermektedir. $c_{şebeke}$, şebekeden elektrik alımındaki karbondioksit çevrim faktörü, c_{dg} ise, doğalgaz yakıldığında üretilen karbondioksit çevrim faktörünü ifade etmektedir.

3.5 Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliğinde Mimari Unsurlar

Binalarda enerji verimliliği amacını gerçekleştirmekteki en etkin yol, başlangıç veya proje aşamasında binaların enerji etkin pasif sistemler olarak tanımlanmasıdır. Enerji tüketimini en az düzeye indirmek, binaları iklim kontrolünde en uygun performans gösteren enerji etkin sistemler olarak tasarlamakla mümkündür. Enerji etkin bina tasarımında etkisi olan parametreler Şekil 3.14 'te verilmiştir.



Şekil 3.14 : Enerji etkin bina tasarımında etkili olan parametreler [41]

Kullanıcıya ait parametreler, bina iç mahallerinde ısı konfor koşullarının sağlanmasında ve kullanıcının performansında etkili olan parametrelerdir.

Dış çevreye ilişkili parametreler olarak, iklim koşulları, ısıtım şiddeti, rüzgar hareketleri, sıcaklık ve nem gibi özellikler sayılabilir.

Binaya ait tasarım parametreleri olarak;binanın bulunduğu konum, yönelme durumu, bina formu, bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri ile güneş kontrolü ve doğal havalandırma sistemleri ele alınabilmektedir [42].

3.5.1 Dış duvarlar

Bina dış duvarları ile tanımlanan sistem bileşenleri binanın duvarları, çatısı, toprağa oturan döşeme gibi ısı kaybeden kısımlardır. Isıtma sezonlarında,binadaki ısı transferini azaltmaya yönelik izolasyon kalınlığını artırmak veya özelliğini iyileştirmek dış duvarlardan olan ısı kaybını minimize etmek için en sık kullanılan yöntemdir. Yalıtım aynı zamanda soğutma sezonlarında ısı kazancı bileşenlerini de azaltmaya yönelik bir çaba göstermektedir.

Isı kayıpları azaltıldıktan sonra kalan ısıtma ve soğutma yükleri pasif yöntemlerle karşılanabilir. Isıtma ve soğutma yüklerini azaltmaya yönelik yaklaşımlar ayrıca izolasyonun uygulamasının da doğru yapılmasını, tavsiye edilen kalınlıkların uygulanmasını gerektirir. Bir binanın ısı kaybı miktarı, birim yüzeyin alanı, iç ve dış hava sıcaklığı değeri ve binanın toplam ısı geçiş katsayısına (U) bağlıdır. Binanın U değeri büyüdükçe ısı geçişinden meydana gelen ısı kayıp ve kazançları da artar, dolayısıyla binada kullanılacak olan izolasyonun optimizasyonu yapılmalıdır.

3.5.2 Pencere-camlar

Binalarda kullanılan cam ve pencereler güneş ışığının ve güneş enerjisinin içeri alınmasına yarar sağlamaktadır. Yüzeylerine gelen güneş ışınımının büyük bir kısmını bina içerisine aldıklarından dolayı enerji etkin bina tasarımında büyük rol oynamaktadırlar. Ancak pencere cam sistemlerinin ısı geçiş katsayıları (U_p) , dış duvarlara nazaran yüksek olduğundan ısı kaybı ve ısı kazancını artırılmasına da yardımcı olmaktadır.

Camlar, kendilerine ait bir özellik olan, U_p değerleri ve gölgeleme katsayıları (SC) ile karakterize edilmektedirler. SC katsayısı camın üzerine gelen güneş ışınımını kontrol edebilmesinin bir ölçüsüdür. SC özelliği yüksek olan camlar güneş ışığını geçirir, düşük olan camlar ise yansıtır veya yutar. Ancak SC değeri ile U_p değerini azaltmanın sonu binaya güneş ışınımı girmemesine sebep olmaktadır, ayrıca kışın olan kazanç değerlerini de düşürmektedir. Binalarda kullanılacak olan camlarda da optimizasyon yapılması gereklidir.

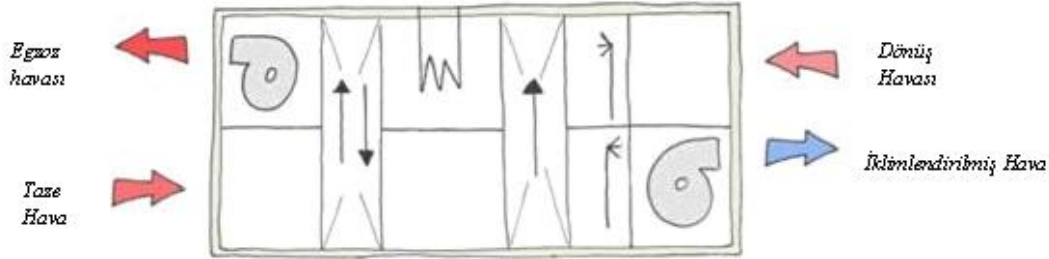
3.5.3 Bina oryantasyonu

Binanın yönü, binaya ulaşan doğrudan güneş ışınımı miktarını, dolayısıyla ısı kaybı ve kazançlarını etkilemektedir. Kışın en fazla yazın ise en az doğrudan gün ışınımını alan cephe güney cephesidir. Bu nedenle sıklıkla kullanılacak olan mahaller binanın güney cephesine yerleştirildiği zaman optimum yönden faydalanılmış olur. Binanın her zaman güney yönüne bakacak şekilde inşa edilmesi şart olmasa bile ana cephenin güney cephe yönünde uzanması bina için faydalı olarak görülmektedir [19].

Amerikan ulusal bina enerji performans kredi ve ödüllendirme sistemi olan LEED, kredi derecelendirme sisteminde, bina proje safhasında binanın yapılması planlandığı yönden 90'ar derece döndürülerek simülasyonların yapılmasını öngörmekte, ve optimum yönde ise binaya artı puan vermektedir [44].

3.6 Klima Santrallerinde Isı Geri Kazanımı

Yapılarda ısıtma, havalandırma yüklerinin optimize edilmemesi nedeniyle çok ciddi enerji kayıpları olabilmektedir. Isıtma ve soğutma ihtiyacı olan tüm mekanlar için klima santralleri gizli ısı transferine de olanak veren rotorlu ısı geri kazanım üniteleri ile birlikte projelendirilmelidir. Böylelikle ısıtma ve soğutmada dönüş havasının potansiyelinden yararlanılarak enerji geri kazanımı yapılabilmektedir.



Şekil 3.15 : Tipik ısı geri kazanım üniteli klima santrali

Klima santrallerindeki ısı geri kazanım hücreleri, kışın dışarı atılan sıcak egzost havasından yararlanarak içeri alınan soğuk taze avayı ön ısıtmak için kullanılmaktadır. Aynı hücreler yazın ise ters amaçlı yani içeri alınacak havayı ön soğutmak için kullanılabilir. Ancak yaz mevsiminde sıcaklık farklarının daha düşük olması sebebiyle verimleri de düşük olmaktadır, dolayısıyla esas kazanç kış mevsimlerinde meydana gelmektedir.

3.6.1 Isı geri kazanım ünitesi tipleri

Pratik uygulamalarda kullanılan 4 farklı ısı geri kazanım ünitesi tipi vardır. Çizelge 3.9’da sistem tipleri ile sistemlerin verimleri verilmiştir [21].

Çizelge 3.9 : Pratikte kullanılan ısı geri kazanım ünitesi verimleri [21].

Tip	Verim
Döner Tekerlek	%60-85
Sulu Tip	%50-65
Plakalı(Rekuperatif)	%40-60
Isı Borusu	%50-70

Şekil 3.10’da farklı dış sıcaklık değerlerine göre farklı tiplerdeki ısı geri kazanım üniteleri çıkışında kış koşullarında taze hava sıcaklık değerleri verilmiştir. Çıkış noktasındaki sıcaklık ne kadar yüksek ise geri kazanım ile verim aynı ölçüde yükseliyor demektir. Buna göre en verimli tip döner tekerlek, en düşük verimli tip ise

ısı borusu olmaktadır. Fiyat etkenliği ise sıralamada en pahalıdan ucuza göre olmaktadır [21].

Çizelge 3.10 : Isı geri kazanım ünitelerinden ısınmış hava çıkış sıcaklıkları[21].

Dış Sıcaklık Değeri	Döner Tekerlek	Sulu Tip	Plakalı	Isı Borusu
-5°C	17,5°C	15,5°C	12,5°C	12°C
-3°C	15°C	12°C	8°C	7,5°C
-12°C	13°C	6°C	3,5°C	3°C

3.6.2 Enerji etkinliği

Isı geri kazanım hücreleri, ilk yatırım ve işletme maliyetleri açısından değerlendirilmelidir. Isı geri kazanımının verimi ve geri ödeme süresi, sistemin tipine, uygulamanın büyüklüğüne, kullanım süresine ve iklime bağlı olarak değişmektedir. Tipik geri ödeme süresi 5 ila 10 yıl arasında değişmektedir, ancak kışın verimin yüksek olması sebebiyle, daha soğuk iklim bölgelerinde ekonomik fizibilite daha yüksek olmaktadır [21].

Isı geri kazanım ünitesi kullanıldığında, proje pik yük değerlerinde azalma olacağından, ana ekipman kapasitelerinde azalma olur, bu da proje ilk yatırım maliyetinde düşme meydana getirmektedir.

3.7 Değişken Devir Teknolojisi

Bina HVAC yükleri ısıtma – soğutma sezonunda ve hatta gün için değişiklik gösterebilmektedir. Dolayısıyla sistemin ihtiyaç duyduğu ısıtma – soğutma akışkan debileri de değişiklik göstermektedir. Bu kriter dikkate alınmaksızın boyutlandırılan sistemler ve seçilen ekipmanlar değişken taleplere cevap verirken enerjinin optimum kullanıldığı noktadan uzaklaşmakta ve enerji kaybına yol açmaktadırlar. Sabit debili sistemleri yarattığı bu dezavantajı ortadan kaldırmak için değişken debi ihtiyacına göre şebekeden çekilen elektrik enerjisini ayarlayabilen değişken devirli sürücü teknolojilerinden tüm iklimlendirme sistemlerinde yararlanmaya çalışılmalıdır.

Değişken devir teknolojisi fanlarda, pompalarda, ve diğer motorlu ekipmanlarda kullanılmaktadır. Ancak değişken devire sahip bir pompa ile sabit devirli bir pompa arasında ciddi miktarlarda fiyat farkı olabilmektedir. İlk yatırım maliyetine karşılık olarak değişken devir teknolojisi ile ciddi miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Önceki yıllara nazaran değişken devir teknolojisi giderek ucuzlamaktadır.

4. SİSTEM ÇÖZÜMLERİ VE SİMÜLASYON

Bu bölümde bina yapılarında ve kullanılan HVAC sistemlerinde farklı alternatif çözümler ele alınmıştır. Her alternatif çözüm için enerji tüketimi, karbondioksit emisyonları ve maliyetleri hesaplanmıştır. Böylece alternatif çözümlerin sürdürülebilirlik kalitesine karşılık maliyeti değerlendirilebilecektir. Bu amaçla Carrier HAP programı yardımıyla alternatif sistemlerin simülasyonları yapılmıştır. Alternatif çözümler bina mimarisindeki farklılıklar, seçilen HVAC sisteminin farklılıkları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, ısı geri kazanma, yarı yenilenebilir kaynak kullanımı ve kojenerasyon uygulamaları olarak sıralanabilir. Alternatif çözümlerin karşılaştırılabilmesi için referans bina tanımı yapılmıştır. Referans binanın maliyeti referans alınarak bunun üzerindeki ilave maliyetler ve enerji maliyetlerindeki ve CO₂ salınımlarındaki değişimler hesaba katılmıştır.

Çizelge 4.1’de referans bina ve önerilen sistem çözüm alternatifleri yer almaktadır.

Simülasyon hesaplarına dahil edilen kısımlar, HVAC ihtiyacından gelen yükler, aydınlatma ile ofis ekipmanlarından gelen yükler ile pişirme ve ekstra kullanıma ait yüklerden oluşmaktadır. Sıcak su kullanımı amacıyla enerji tüketimi hesaplarda dikkate alınmamıştır.

Çizelge 4.1 : Referans bina ve önerilen sistem çözümleri

Alternatif-0	Referans bina
Alternatif-1	Referans binaya 5cm izolasyon uygulanması
Alternatif-2	Referans binaya 10cm izolasyon uygulanması
Alternatif-3	Referans bina cam cephesinin iyileştirilmesi
Alternatif-4	Referans bina cam cephesinin iyileştirilmesi
Alternatif-5 a/b/c	Referans bina oryantasyonunun değiştirilmesi
Alternatif-6	Referans binada ısı geri kazanımı kullanılması
Alternatif-7	Referans binada VSD Pompa kullanımı
Alternatif-8	Referans binada WSHP Sistem kullanımı
Alternatif-9	Referans binada VAV sistem kullanımı
Alternatif-10 a/b	Referans binaya fotovoltaik piller yerleştirilmesi
Alternatif-11	Referans binaya kojenerasyon üniteleri yerleştirilmesi

İlk beş alternatif binanın mimarisine ilişkin önerilerdir, altı ile dokuz arası öneriler binanın HVAC sistemine ilişkin öneriler, onuncu alternatif binada yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına ilişkin öneri ve onbirinci alternatif kojenerasyon kullanımındır.

4.1 Referans Bina Simülasyon Sonuçları

Referans binanın duvarları yalıtımsızdır ve duvarlarının U değeri $1,572 \text{ W/m}^2\text{K}$, camlarının U_p değeri $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve camlarının gölgeleme katsayısı (SC) 0,8 olarak tanımlanmıştır. Referans binanın HVAC sistemi dört borulu fan-coil sistemidir ve klima santrallerinde ısı geri kazanımı yoktur. Borulama sisteminde birincil devreler sabit devirli, ikincil devreler ise değişken devirli pompalar ile çalışmaktadır. Çizelge 4.2’de referans binanın enerji tüketim değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Referans bina yıllık enerji tüketim değerleri.

	HVAC Dışı Enerji Tüketimi		HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ay				
Ocak	104.833	2.990	27.027	188.863
Şubat	91.159	2.600	23.561	191.217
Mart	95.717	2.730	23.982	131.355
Nisan	100.275	2.860	21.108	73.574
Mayıs	100.275	2.860	116.634	0
Haziran	95.717	2.730	142.570	0
Temmuz	104.833	2.990	169.735	0
Ağustos	95.717	2.730	160.284	0
Eylül	100.275	2.860	57.953	0
Ekim	104.833	2.990	20.765	36.009
Kasım	91.159	2.600	21.467	87.888
Aralık	104.833	2.990	26.671	164.980
Toplam (kWh/yıl)	1.189.628	33.930	811.756	873.885
Toplam (kWh/m²/yıl)	66,27	1,89	45,22	48,68

Soğutma elektrik vasıtası ile yapıldığından yaz döneminde tüketilen elektrik enerjisi, kış döneminde tüketilenden oldukça fazladır. Buna karşın kışın ısıtma doğalgaz yakılarak yapıldığından kışın da doğalgaz tüketimi daha fazla olmaktadır. HVAC kaynaklı olmayan enerji tüketimleri mevsimlere göre değişmemektedir.

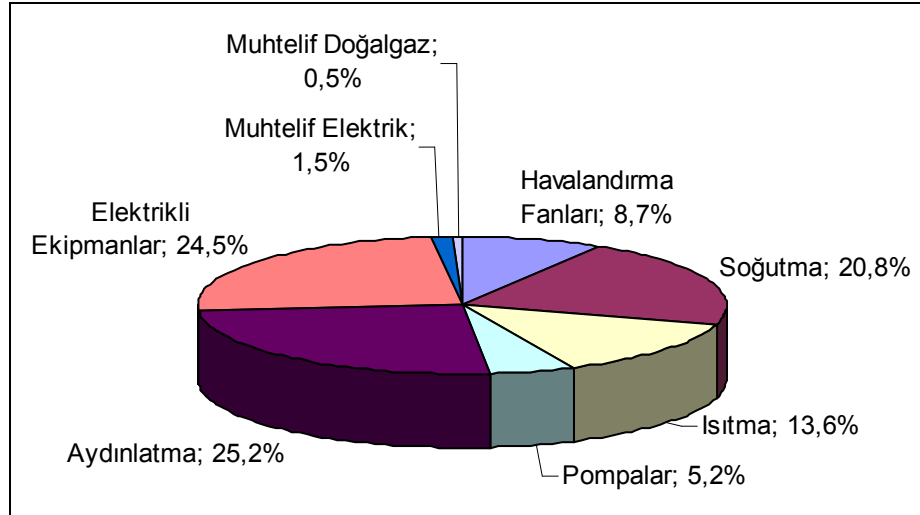
Öncelikle referans bina ele alınarak bu binanın enerji performansı HAP kullanılarak simüle edilmiştir. Program yardımıyla tipik yıl boyunca enerji tüketimleri saatlik

bazda hesaplanmıştır. Referans bina için hesaplanan bileşenler bazında HVAC sisteminde kullanılan ve HVAC dışı amaçlarla kullanılan enerji maliyetleri Çizelge 4.3'te detaylı olarak verilmiştir. Burada dikkati çeken durum HVAC dışı olan enerji maliyetlerinin HVAC kaynaklı enerji maliyetlerinden daha fazla olmasıdır.

Çizelge 4.3 : Bileşen bazında baz bina yıllık enerji maliyetleri.

Bileşen	Maliyet(TL)
Havalandırma fanları	41.817
Soğutma	99.981
Isıtma	65.290
Pompalar	24.869
HVAC Ara-Toplam	231.957
Aydınlatma	120.903
Elektrikli Ekipmanlar	117.671
Muhtelif Elektrik	4.786
Muhtelif Doğalgaz	2.500
HVAC-Dışı Ara-Toplam	245.860
Genel Toplam	477.817

Enerji tüketen bileşenler ile toplam enerji tüketimindeki payları Şekil 4.1'de grafik olarak verilmektedir. Aydınlatma ve elektrikli ekipmanlar amaçlı enerji tüketimlerinin toplamı, toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak yarısına eşittir.



Şekil 4.1 : Referans bina enerji tüketimi.

Baz bina için senelik olarak karbondioksit emisyonuna ilişkin bilgi Çizelge 4.4'te verilmektedir. Binadaki elektrik tüketimi, doğalgaz tüketiminden daha fazla karbondioksit emisyonuna sebep olmaktadır.

Çizelge 4.4 : Referans bina CO₂ emisyon değerleri.

Bileşen	Karbondioksit Emisyonu (kg/yıl)	Karbondioksit Emisyonu (kg/m ² /yıl)	Toplamdaki Oran (%)
HVAC Elektrik	287.361	15,96	32,21
HVAC Doğalgaz	176.524	9,81	19,80
HVAC Ara-Toplam	463.885	25,77	52,01
HVAC Dışı Elektrik	421.128	23,40	47,22
HVAC Dışı Doğalgaz	6.853	0,38	0,77
HVAC-Dışı Ara-Toplam	427.981	23,78	47,99
Genel Toplam	891.866	49,55	100

Baz bina için hesaplanan enerji tüketim değerleri ile karbondioksit emisyonları, CIBSE tarafından ofis binalarında enerji tüketim kıyaslaması amacı ile yayınlanan *Energy Consumption Guide : Energy Use In Offices* [43] rehberindeki değerler ile kıyaslanarak, rehberin sınırlandırdığı değerler arasında kaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.5 : CIBSE tarafından önerilen enerji tüketimleri ve CO₂ üretimleri [43].

	Doğal Havalandırma Standart Ofis	Mekanik Havalandırma Standart Ofis	Mekanik Havalandırma Prestijli Ofis
Enerji Kullanımı (kWh/m ²)	150-250	220-400	350-550
Enerji Maliyeti (TL/m ²)	10-20	20-35	35-50
CO ₂ Emisyonu (kg CO ₂ /m ²)	12-18	22-38	35-55

Enerji tüketim ve karbondioksit emisyonu değerleri, ayrıca, ülkemizde yürürlüğe girecek olan ve Bayındırlık Bakanlığı tarafından yayınlanan *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*[20] EK-4a ve EK-4b kısımlarında belirtilen, *birincil enerjiye göre referans göstergesi* ve *sera gazı referans göstergesi* değerleri ile uyumludur. Referans bina yönetmelik tarafından sınırlandırılan değerler (Çizelge 4.6) arasında kalmıştır. İstanbul ili ikinci ısıtma bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır.

Çizelge 4.6 : BEP Yönetmeliği tarafından sınırlandırılan enerji tüketimleri ve CO₂ üretimleri [20].

Ofis Binaları	1.ısıtma bölgesi	2.ısıtma bölgesi	3.ısıtma bölgesi	4.ısıtma bölgesi
Enerji Kullanımı(kWh/m ²)	240	300	360	495
CO ₂ Üretimi (kg CO ₂ /m ²)	40	50	60	80

4.2 Mimari Alternatifler

Referans bina için önerilen mimaride uygulanabilecek farklı alternatifler, izolasyon, kullanılan cephe camları, ve binanın oryantasyonu şeklinde üçe ayrılmaktadır.

4.2.1 İzolasyon alternatifleri

Bina dış duvarlarına yapılan izolasyon kalınlıkları değiştirilerek enerji simülasyonu yapılmıştır. İzolasyon kullanılması durumunda elde edilen dış duvar özellikleri Çizelge 4.7’de verilmektedir. Kullanılan izolasyonun çeşidi 5 cm ve 10 cm kalınlığında polistren köpük levhalarıdır.

Çizelge 4.7 : İzolasyon kalınlıkları – ısı geçiş katsayısı ilişkisi.

İzolasyon Kalınlığı (cm)	Duvar Isı Geçiş Katsayısı (W/m ² K)	İzolasyon R Değeri (m ² K/W)
0	1,572	0
5	0,530	1,25
10	0,319	2,5

İzolasyon kalınlıklarının etkisini incelemek amacıyla, referans binada izolasyon haricinde hiçbir değişken değiştirilmeyerek üç farklı analiz yapılmıştır

Çizelge 4.8 ‘ da 3 farklı duvar tipi için analizler sonucu elde edilen yıllık doğalgaz, elektrik enerjisi tüketimleri ile ısıtma ve soğutma ihtiyaçları gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 : İzolasyon alternatiflerine göre senelik enerji tüketimleri.

			Baz Bina	Alt. – 1	Alt. - 2
Isıtma İhtiyacı		kWh/yıl	814.092	622.915	612.870
Soğutma İhtiyacı		kWh/yıl	1.619.040	1.644.583	1.652.745
HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	811.756	796.014	764.842
	Doğalgaz	kWh/yıl	873.885	676.381	662.509
HVAC Dışı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	1.189.628	1.189.628	1.189.628
	Doğalgaz	kWh/yıl	33.930	33.930	33.930

İzolasyon alternatifleri ve aylara göre yıllık elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri Çizelge 4.9’da verilmektedir.

Çizelge 4.9 : İzolasyon alternatifleri ve aylara göre HVAC enerji tüketimleri.

Ay	Ref. Bina		Alt. – 1		Alt. – 2	
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ocak	27.027	188.863	22.397	137.573	21.560	134.315
Şubat	23.561	191.217	20.026	139.009	19.440	134.223
Mart	23.982	131.355	19.358	103.073	18.933	101.640
Nisan	21.108	73.574	19.552	68.790	19.534	68.302
Mayıs	116.634	0	121.814	0	117.523	0
Haziran	142.570	0	144.363	0	137.820	0
Temmuz	169.735	0	170.189	0	162.116	0
Ağustos	160.284	0	160.897	0	153.216	0
Eylül	57.953	0	57.374	0	55.733	0
Ekim	20.765	36.009	20.031	34.968	19.999	34.720
Kasım	21.467	87.888	18.142	70.629	17.935	69.875
Aralık	26.671	164.980	21.872	122.339	21.035	119.433
Toplam	811.756	873.885	796.014	676.381	764.842	662.509

İzolasyon kalınlıklarının değiştirilmesi sonucu ısıtma ve soğutma pik yüklerinde ve dolayısı ile ana ekipman kapasitelerinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 : İzolasyon alternatiflerine göre ana ekipman kapasiteleri.

Alternatif	Kazan Kapasitesi (kW)	Soğutma Grubu Kapasitesi (kW)
0	1400	2300
1	1215	2230
2	1140	2200

Kazan kapasitesi izolasyon ile %18 oranında azalıyor iken su soğutma grubu kapasitesi %5 oranında azalma göstermiştir. HVAC ve HVAC dışı enerji tüketimlerine göre yıllık bazda toplam karbondioksit emisyonu değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : İzolasyon alternatiflerine göre karbondioksit emisyonları.

		Alt. - 0	Alt.-1	Alt. – 2
		İzolasyonsuz Baz Bina	İzolasyon 5 cm	İzolasyon 10 cm
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	HVAC	464	418	405
	HVAC Dışı	428	428	428
	Toplam	892	846	833

4.2.2 Cam cephe alternatifleri

Kullanılan cam cephelerin enerji tüketimleri ve karbondioksit emisyonları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla baz binada üç farklı cam alternatifi için hesaplamalar yapılmıştır. Cam alternatiflerinden birincisi referans bina üzerinde kullanılan camdır. Diğer iki cam alternatifi ise referans bina için önerilen camlar olmaktadır.

HVAC sistemi ve cam harici mimari özellikler sabit tutularak, enerji maliyetleri ve bina tarafından salınan toplam karbondioksit miktarları araştırılmıştır.

Cam alternatifleri (Çizelge 4.12) için Isıcam firmasının kataloglarından [51] fiyatlar için ise Bayındırlık bakanlığı inşaat ve tesisat birim fiyat tariflerinden yararlanılmıştır [45].

Çizelge 4.12 : Cam alternatifleri özellik ve fiyatları.

Camlar	U_p [W/m ² K]	SC [-]	Cam Kalınlığı [mm]	Hava Boşluğu [mm]	Birim Fiyat [TL]	Toplam Fiyat [TL]
Alt. - 0	2,9	0,8	4+4	16	41,789	306.815
Alt. - 3	1,6	0,62	6+6	16	64,746	475.365
Alt. - 4	1,3	0,4	6+6	16	69,355	509.204

Önerilen farklı cam alternatifleri için hesaplanan ısıtma ve soğutma serpantini ihtiyaçları ile yıllık bazda enerji tüketimi değerleri Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13 : Cam alternatiflerine göre enerji tüketimleri.

			Alt. - 0	Alt. - 3	Alt. - 4
Isıtma İhtiyacı		kWh/yıl	814.092	762.857	773.737
Soğutma İhtiyacı		kWh/yıl	1.619.040	1.496.861	1.219.213
HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	811.756	723.488	616.539
	Doğalgaz	kWh/yıl	873.885	816.858	828.460
HVAC Dışı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	1.189.628	1.189.628	1.189.628
	Doğalgaz	kWh/yıl	33.930	33.930	33.930

Cam özelliklerinin iyileştirilmesi ile elektrik enerjisi tüketim değerlerinde azalma söz konusudur. Ancak ısıtma göz önüne alındığında, alternatif 4’ün doğalgaz tüketimi alternatif 3’ten daha fazla olmaktadır. Bu farklılık ASHRAE Transfer Function hesap metodunda belirtilen kışın gerçekleşen ısı kazancı hesaplarından kaynaklanmaktadır. Cephe cam alternatiflerine ve aylara göre elektrik ve doğalgaz maliyetleri Çizelge 4.14’de verilmektedir.

Çizelge 4.14 : Cam alternatifleri ve aylara göre HVAC enerji tüketimleri.

Ay	Referans Bina		Alt. – 3		Alt. – 4	
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ocak	27.027	188.863	24.732	173.836	22.518	176.184
Şubat	23.561	191.217	21.538	168.073	19.658	170.560
Mart	23.982	131.355	21.993	126.903	20.053	129.417
Nisan	21.108	73.574	18.957	73.212	16.881	74.244
Mayıs	116.634	0	107.560	0	87.357	0
Haziran	142.570	0	125.576	0	104.554	0
Temmuz	169.735	0	148.476	0	125.257	0
Ağustos	160.284	0	140.399	0	118.851	0
Eylül	57.953	0	51.847	0	45.266	0
Ekim	20.765	36.009	18.487	35.996	16.188	36.410
Kasım	21.467	87.888	19.491	85.297	17.714	86.673
Aralık	26.671	164.980	24.431	153.541	22.242	154.971
TOPLAM	811.756	873.885	723.488	816.858	616.539	828.460

Cam alternatiflerine göre ana ekipman kapasiteleri Çizelge 4.15 de verildiği gibidir. Önerilen cam alternatiflerinin kullanılması halinde ana ekipman yüklerinde meydana gelen azalmalar Çizelge 4.15’te gösterilmektedir. Cam cephe alanı, dış duvar alanından daha fazla olduğundan dolayı, camların enerji tüketimi üzerine etkisi söz konusu bina için izolasyondan daha fazla olmaktadır.

Çizelge 4.15 : Farklı cam tipleri için ana ekipman boyutları.

Ekipman	Referans Bina	Alt. – 3	Alt. – 4
Kazan Kapasitesi	1400	1145	1080
H/S Chiller Kapasitesi	2300	2050	1750

Ele alınan bina için HVAC ve HVAC dışı enerji tüketimlerine göre yıllık bazda toplam karbondioksit emisyon değerleri Çizelge 4.16’de verilmiştir.

Çizelge 4.16 : Cam alternatiflerine göre bina karbondioksit emisyonları.

CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)		Baz Bina	Alt. – 3	Alt. – 4
	HVAC	464	421	386
	HVAC Dışı	428	428	428
	Toplam	892	849	814

4.2.3 Bina yönü alternatifleri

Bina yönü alternatifleri incelenirken referans binanın kendi eksenini etrafında 90°'e derece açı yaparak döndürülmesi durumunda enerji simülasyonları yapılmıştır. Referans binanın mevcut oryantasyonu referans yön olarak tayin edilerek, binanın farklı yönlerde inşa edilmesi durumunda, enerji tüketimleri ve karbondioksit üretimleri incelenmiştir. Elde edilen yıllık HVAC kaynaklı ve HVAC dışı enerji tüketim değerleri Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17 : Bina yerleşim yönünün enerji tüketimleri üzerindeki etkisi.

Bileşen	Referans Bina	Alt. – 5a	Alt. – 5b	Alt. – 5c
HVAC Bileşenleri	0°	90°	180°	270°
Elektrik (kWh)	811.756	876.480	810.290	834.886
Doğalgaz (kWh)	873.885	867.704	877.424	905.050
HVAC Dışı Bileşenler				
Elektrik (kWh)	1.189.628	1.189.628	1.189.628	1.189.628
Doğalgaz (kWh)	33.930	33.930	33.930	33.930
Toplam				
Elektrik (kWh)	2.001.384	2.066.109	1.999.918	2.024.515
Doğalgaz (kWh)	907.815	901.634	911.354	938.980

Bina yerleşim yönünün toplam bina karbondioksit emisyonu üzerindeki etkisi Çizelge 4.18'te verilmiştir.

Çizelge 4.18 : Bina yerleşim yönü karbondioksit emisyonu ilişkisi.

		Referans Bina	Alt. – 5a	Alt. – 5b	Alt. – 5c
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	HVAC	464	486	464	478
	HVAC Dışı	428	428	428	428
	Toplam	892	914	892	906

En uç değerler arasındaki fark bina toplam karbondioksit emisyonlarında %2,5 , HVAC kaynaklı karbondioksit emisyonlarında ise %5,5 seviyesindedir. Projelendirme safhasında mimar ve mühendislerin birlikte çalışarak bina için en uygun yerleşim alanını planlanması gerekir. Görüldüğü gibi baz bina en uygun iki yönden birine göre konumlandırılmıştır. Alternatif 5a ve 5c önerileri, gerek enerji tüketimleri açısından gerek üretilen CO₂ miktarı açısından daha kötü bir sonuç vermiştir.

4.3 HVAC Sistemi Alternatifleri

Mimari etkenler sabit tutularak üç farklı iklimlendirme sisteminin simülasyonu yapılmıştır. İrdelenen iklimlendirme sistemleri Çizelge 4.19 'de verilmiştir.

Çizelge 4.19 : Önerilen iklimlendirme sistemleri.

HVAC Sistem Alternatifi	İklimlendirme Sistemi
Alternatif – 0 (Baz)	4 Borulu Fan-Coil
Alternatif – 8	Su Kaynaklı Isı Pompası (WSHP)
Alternatif – 9	Değişken Hava Debisi (VAV)

4.3.1 FCU sistemi alternatifi

İncelenen bina havalandırması için FCU sisteminde, ikisi dikey shaftlardan ofis katlarına hitap etmek üzere iki adet taze havalı klima santrali, bir tanesi de giriş holleri, asansör holleri ve lobilere hitap etmek üzere toplam üç adet klima santrali kullanılmaktadır.

FCU sistemi referans binada kullanılan iklimlendirme sistemidir, dolayısıyla referans binanın simülasyon sonuçları bu sistem kullanılarak elde edilen sonuçlardır.

4.3.2 WSHP sistemi alternatifi

Önerilen ikinci HVAC sistemi olan WSHP sisteminde, FCU sistemindeki gibi ikisi dikey shaftlardan ofis katlarına hitap etmek üzere iki adet taze havalı klima santrali, bir tanesi de giriş holleri, asansör holleri ve lobilere hitap etmek üzere toplam üç adet klima santrali kullanılmaktadır.

Simülasyon sonrası elde edilen enerji tüketimi değerleri Çizelge 4.20 : 'de verilmiştir.

Çizelge 4.20 : WSHP sistemi yıllık enerji tüketimleri.

			Baz Bina	Alt. - 8
Isıtma İhtiyacı		kWh	814.092	682.163
Soğutma İhtiyacı		kWh	1.619.040	1.872.034
HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	811.756	821.084
	Doğalgaz	kWh/yıl	873.885	669.522
HVAC Dışı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	1.189.628	1.189.628
	Doğalgaz	kWh/yıl	33.930	33.930

HVAC kaynaklı enerji tüketimi dikkate alındığında doğalgaz tüketiminde %23'lük azalmaya karşın elektrik tüketiminde %1 düzeyinde bir artma meydana gelmiştir.

HVAC dışı enerji tüketimlerinde değişiklik meydana gelmemiştir. Çizelge 4.21’de WSHP sistemi ile baz sistem olan FCU sistemleri enerji tüketim değerleri kıyaslamasına yer verilmiştir.

Çizelge 4.21 : WSHP sistemi aylara göre HVAC enerji tüketimleri

Ay	Referans Bina Enerji Tüketimi (FCU)		Alt. – 8 WSHP Sistemi	
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ocak	27.027	188.863	47.377	153.903
Şubat	23.561	191.217	44.376	156.567
Mart	23.982	131.355	36.421	102.827
Nisan	21.108	73.574	24.833	46.886
Mayıs	116.634	0	92.781	150
Haziran	142.570	0	113.486	0
Temmuz	169.735	0	133.970	0
Ağustos	160.284	0	125.377	0
Eylül	57.953	0	106.509	0
Ekim	20.765	36.009	21.666	14.890
Kasım	21.467	87.888	29.819	61.484
Aralık	26.671	164.980	44.469	132.816
Toplam (kWh/yıl)	811.756	873.885	821.084	669.522
Toplam (kWh/m²/yıl)	45,22	48,68	45,74	37,30

HVAC Sistem bileşenleri bazında WSHP ile FCU arasında enerji maliyetlerinde farklılıklar meydana gelmiştir. Bunun sebebi WSHP sisteminin iki borulu olarak tasarlanması ve soğutma kaynağı olarak kule kullanılmasıdır. Çizelge 4.22’de bir yıllık enerji maliyetleri kıyaslamasına yer verilmiştir.

Çizelge 4.22 : Bileşen bazında WSHP sistemi yıllık enerji maliyetleri

Bileşen	FCU (TL)	WSHP (TL)
Havalandırma fanları	41.817	42.548
Soğutma	99.981	89.460
Isıtma	65.290	61.960
Pompalar	24.869	19.196
Soğutma Kulesi	-	4.186
HVAC Ara-Toplam	231.957	218.826
Aydınlatma	120.903	120.903
Elektrikli Ekipmanlar	117.671	117.671
Muhtelif Elektrik	4.786	4.786
Muhtelif Doğalgaz	2.500	2.500
HVAC-Dışı Ara-Toplam	245.860	245.860
Genel Toplam	477.817	463.209

Ana ekipman kapasitelerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.23 de verilmektedir. Soğutma hava soğutmalı su soğutma grubu yerine kapalı devre su soğutma kulesi ve mahallerde bulunan WSHP üniteleri ile yapılmaktadır.

Çizelge 4.23 : WSHP sistemi ana ekipman kapasiteleri

Ekipman	Baz Bina FCU (kW)	Alt. - 8 WSHP (kW)
Sıcak Su Kazanı Isıtma İhtiyacı	1400	1100
H/S Chiller Soğutma İhtiyacı	2300	-
Kapalı Devre Su Soğutma Kulesi	-	2600

WSHP sistemi ve baz bina ile olan karbondioksit emisyonu kıyaslaması Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24 : WSHP sistemi CO₂ üretimi

		Baz Bina FCU	Alt. 8 WSHP
CO₂ Emisyonu (ton/yıl)	HVAC	464	426
	HVAC Dışı	428	428
	Toplam	892	854

HVAC kaynaklı karbondioksit emisyonlarında %8 oranında azalma meydana gelmiştir. Toplam bina karbondioksit emisyonlarında bu oran %4 olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.3.3 VAV sistemi alternatifi

Alternatif – 9 VAV sisteminde, toplam 7 adet değişken devirli ve karışım havalı klima santrali kullanılması önerilmiştir. Gerek taze hava temini gerekse ısıtma soğutma bu santraller vasıtası ile yapılmaktadır. Mahallerde bulunan VAV kutuları vasıtası ile havanın son kez şartlandırılması ve mahalde istenilen konfor koşullarına getirilmesi sağlanması amaçlanmaktadır.

VAV Sistemi için simülasyon sonrası elde edilen enerji tüketim değerleri ve baz bina ile karşılaştırılması çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25 : VAV sistemi yıllık enerji tüketimi

			Referans Bina	Alt. – 9 VAV
Isıtma İhtiyacı		kWh	814.092	338.031
Soğutma İhtiyacı		kWh	1.619.040	2.158.421
HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	811.756	817.601
	Doğalgaz	kWh/yıl	873.885	470.772
HVAC Dışı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	1.189.628	1.189.628
	Doğalgaz	kWh/yıl	33.930	33.930

HVAC kaynaklı enerji tüketimi dikkate alındığında doğalgaz tüketiminde %47’lik azalmaya karşın elektrik tüketiminde %1 düzeyinde bir artma meydana gelmiştir. HVAC dışı enerji tüketimlerinde değişiklik meydana gelmemiştir.

Çizelge 4.26’te VAV sisteminin aylara göre enerji tüketimi değerleri ve baz bina olan karşılaştırılmasına yer verilmiştir. HVAC Sistem bileşenleri bazında VAV ile FCU arasında enerji maliyetlerinde farklılıklar meydana gelmiştir. Bunun sebebi klima santrallerinde ısıtma serpantini yerine ön-ısıtma serpantini yer alması ve istenen son şartlandırmanın mahallerde bulunan reheat kutuları vasıtası ile yapılmasıdır.

Çizelge 4.26 : VAV sistemi aylara göre HVAC kaynaklı enerji tüketimi

Ay	Baz Bina Enerji Tüketimi (FCU)		VAV Sistemli Baz Bina Enerji Tüketimi	
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ocak	27.027	188.863	10.995	123.053
Şubat	23.561	191.217	9.941	139.743
Mart	23.982	131.355	9.046	59.577
Nisan	21.108	73.574	6.244	8.033
Mayıs	116.634	0	122.779	789
Haziran	142.570	0	146.689	0
Temmuz	169.735	0	178.967	0
Ağustos	160.284	0	169.935	0
Eylül	57.953	0	139.131	0
Ekim	20.765	36.009	5.669	961
Kasım	21.467	87.888	7.653	33.731
Aralık	26.671	164.980	10.552	105.673
Toplam (kWh/yıl)	811.756	873.885	817.601	470.772
Toplam (kWh/m²/yıl)	45,22	48,68	45,54	26,27

VAV Sistemi için sistem bileşenleri bazında bir yıllık enerji maliyetleri Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27 : Bileşen bazında VAV sistemi yıllık enerji maliyetleri

Bileşen	FCU (TL)	VAV (TL)
Havalandırma fanları	41.817	20.682
Soğutma	99.981	115.142
Isıtma	65.290	35.364
Pompalar	24.869	30.862
HVAC Ara-Toplam	231.957	202.050
Aydınlatma	120.903	120.903
Elektrikli Ekipmanlar	117.671	117.671
Muhtelif Elektrik	4.786	4.786
Muhtelif Doğalgaz	2.500	2.500
HVAC-Dışı Ara-Toplam	245.860	245.860
Genel Toplam	477.817	447.910

Soğutma serpantin kapasitelerinde meydana gelen artışa paralel olarak yazın soğutma için harcananan miktar da artmıştır. Ancak ısıtma serpantinleri ihtiyacındaki azalma hem kazan kapasitesini düşürmüş hem de doğalgaz tüketimini azaltmıştır. Ayrıca klima santrallerindeki fanların değişken devirli olmasından dolayı, santrallerin

elektrik tüketimleri yarı yarıya azalmaktadır. Ana ekipman kapasitelerinde meydana gelen değişim Çizelge 4.28’ de verilmektedir.

Çizelge 4.28 : VAV sistemi ana ekipman kapasiteleri

Ekipman	Bina FCU (kW)	Alt. – 9 VAV (kW)
Kazan Isıtma İhtiyacı	1400	1100
Chiller Soğutma İhtiyacı	2300	2600

VAV sistemi ve baz bina ile olan karbondioksit emisyonu kıyaslaması Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.29 : VAV Sistemi CO₂ Üretimi

		Ref. Bina FCU	Alt. – 9 VAV
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	HVAC	464	385
	HVAC Dışı	428	428
	Toplam	892	813

HVAC kaynaklı karbondioksit emisyonlarında %17 oranında azalma meydana gelmiştir. Bina toplam karbondioksit emisyonu ise %8,8 oranında azalmıştır.

4.4 Klima Santrallerinde Isı Geri Kazanım Alternatifi

Fan-Coil sistemi için ısı geri kazanımının etkisi incelenmiştir. Yapılan ilk simülasyonda ısı geri kazanımının etkisi dikkate alınmazken , ikinci simülasyonda ise ısı geri kazanım etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Isı geri kazanım ünitesinin verimi %60 olarak tanımlanmış olup, ünitenin ve hem duyulur hem de gizli ısı kazanımı yapıldığı varsayımı yapılmıştır. Simülasyon sonrası elde edilen enerji tüketim değerleri Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30 : Isı Geri Kazanımı ile yıllık enerji tüketimleri

			Referans Alt.-0	Alt. 6 (HR)
Kazan Kapasitesi		kW	1400	1000
Chiller Kapasitesi		kW	2300	2213
HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	811.756	784.529
	Doğalgaz	kWh/yıl	873.885	455.772
HVAC Dışı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	1.189.628	1.189.628
	Doğalgaz	kWh/yıl	33.930	33.930

Isıtma sezonunda klima santrallerinde yapılan ısı geri kazanımı, soğutmaya sezonuna daha büyük avantaj sağlamıştır. Kazan kapasitesinde 400 kW, su soğutma grubu kapasitesinde ise 87 kW azalma meydana gelmiştir.

Yıllık bazda elektrik tüketiminde %4, doğalgaz tüketiminde %40 oranında bir azalma söz konusudur. Çizelge 4.31’de aylara göre elektrik ve doğalgaz tüketim değerleri ile baz bina karşılaştırılması sunulmaktadır.

Çizelge 4.31 : Isı geri kazanımı ile aylara göre HVAC enerji tüketimleri

Ay	Baz Bina		Alt. – 6	
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ocak	27.027	188.863	27.331	119.365
Şubat	23.561	191.217	23.799	129.622
Mart	23.982	131.355	23.811	61.723
Nisan	21.108	73.574	19.744	8.365
Mayıs	116.634	0	114.916	0
Haziran	142.570	0	136.342	0
Temmuz	169.735	0	162.221	0
Ağustos	160.284	0	153.236	0
Eylül	57.953	0	56.159	0
Ekim	20.765	36.009	18.778	732
Kasım	21.467	87.888	21.186	31.935
Aralık	26.671	164.980	27.005	104.030
TOPLAM	811.756	873.885	784.529	455.772

Kışın, ısı geri kazanım ünitesi rotorundan dolayı elektrik tüketimleri bir miktar artmaktadır, buna karşın doğalgaz tüketimlerinde kayda değer bir azalma meydana gelmiştir. Yaz aylarında ise, elektrik tüketimleri azalmaktadır.

Isı geri kazanımı yapmanın, doğalgaz tüketimlerini azalttığı ve dolayısıyla bina karbondioksit emisyonlarında azalma meydana getirdiği görülmüştür.Çizelge 4.32’de ısı geri kazanım alternatifi karbondioksit emisyonları ile baz bina karşılaştırmasına yer verilmiştir.

Çizelge 4.32 : Isı geri kazanımında CO₂ emisyonları

CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)		Referans Bina	Alt. - 6
	HVAC	464	370
	HVAC Dışı	428	428
	Toplam	892	798

HVAC kaynaklı CO₂ emisyonlarında %20, toplam CO₂ emisyonlarında ise %10,5 oranında bir azalma meydana gelmiştir.

4.5 Değişken Devir Teknolojisi Kullanımı Alternatifi

Fan-Coil sistemi için sistemin birincil ısıtma-soğutma devrelerinde değişken devir pompalar kullanılması durumunda bina enerji simülasyonu yapılmıştır. Referans binada pompalar sabit devirli, bu alternatifte değişken devirli olarak tanımlanmıştır. Analiz sonucu elde edilen enerji tüketim değerleri Çizelge 4.33’da verilmiştir.

Çizelge 4.33 : VSD pompa kullanımı yıllık enerji tüketimi

			Referans Bina	Alt. – 7 VSD
Isıtma İhtiyacı	kWh		814.092	814.092
Soğutma İhtiyacı	kWh		1.619.040	1.619.040
HVAC Kaynaklı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	811.756	708.786
	Doğalgaz	kWh/yıl	873.885	838.930
HVAC Dışı Enerji Tüketimi	Elektrik	kWh/yıl	1.189.628	1.189.628
	Doğalgaz	kWh/yıl	33.930	33.930

HVAC sisteminde değişken devirli pompa kullanımının, serpantin yüklerini değiştirmede, ancak elektrik enerjisi tüketiminde %13, doğalgaz tüketiminde ise %4’lük bir azalma meydana getirdiği görülmüştür. Pik yüklerde değişim olmadığından ana ekipman ve mahal şartlandırma ekipmanları kapasitelerinde değişim olmamaktadır. Aylara göre enerji tüketim değerleri Çizelge 4.34’da verilmektedir.

Çizelge 4.34 : VSD pompa ile aylara göre HVAC enerji tüketimleri

Ay	Baz Bina		Baz Bina+VSD	
	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (kWh)
Ocak	27.027	188.863	21.321	181.308
Şubat	23.561	191.217	19.026	183.568
Mart	23.982	131.355	18.913	126.101
Nisan	21.108	73.574	18.349	70.631
Mayıs	116.634	0	98.934	0
Haziran	142.570	0	129.293	0
Temmuz	169.735	0	155.678	0
Ağustos	160.284	0	147.407	0
Eylül	57.953	0	42.806	0
Ekim	20.765	36.009	18.680	34.569
Kasım	21.467	87.888	17.417	84.372
Aralık	26.671	164.980	20.961	158.381
TOPLAM	811.756	873.885	708.786	838.930

Pompalarda değişken devir kullanımının, kapasitelerin daha düşük kaldığı zamanlarda enerji tüketimlerini azaltacak yönde bir etki yarattığı görülmüştür.

Çizelge 4.35’de VSD pompa alternatifini kullanımına ilişkin karbondioksit emisyonları ile baz bina karşılaştırmasına yer verilmiştir.

Çizelge 4.35 : Isı geri kazanımında karbondioksit emisyonları

CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)		Baz Bina	Baz Bina+HR
	HVAC	464	421
	HVAC Dışı	428	428
	Toplam	892	849

Referans binada değişken devirli pompalar kullanılması ile HVAC kaynaklı CO₂ üretiminde %10, toplam CO₂ üretiminde ise %5’lük bir azalma söz konusudur.

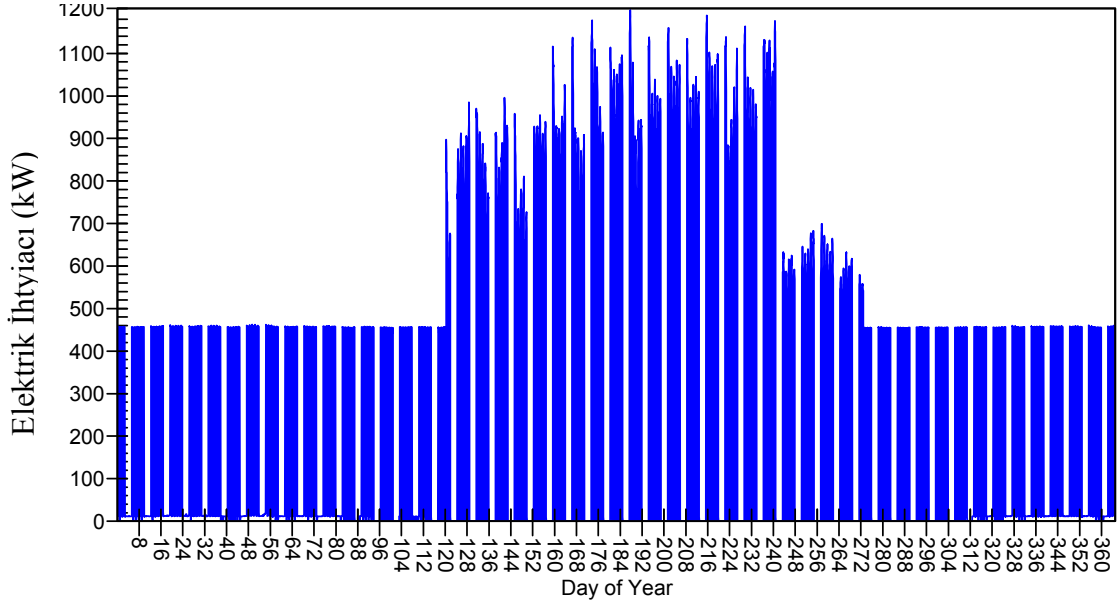
Pompalarda değişken devir teknolojisinin kullanımının enerji etkenliği açısından iyi bir alternatif olmasından dolayı, pahalı kalan ilk yatırım maliyetleri gözdür edilerek binalarda muhakkak kullanılması gerekmektedir. Ayrıca devlet teşviki ile değişken devir teknolojisinin kullanımının artırılması söz konusu olabilir.

4.6 Fotovoltaik Sistem Alternatifi

Referans bina için elektrik tüketim profili grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir. Pik elektrik ihtiyacı soğutma sezonunda ve 1500 kW olarak gerçekleşmektedir. Kullanılacak olan

fotovoltaik sistem baz elektrik tüketim değerini karşılayacak şekilde seçilmelidir. Baz elektrik tüketimi 750 kW olarak hesaplanmıştır.

Fotovoltaik tertibat için sınırlayıcı özellik panel alanlarıdır. Referans bina için öngörülen panel alanı çatı seviyesinde 2000m² , bahçe seviyesinde 2000m² , ve güney cephesinde 1000m²'dir. Panellerin güney cephesinde cephenin bir bölümünü kaplayarak dikey şekilde ve çatı ve bahçelerde ise optimum açıda yerleştirildiği varsayılarak hesap yapılmıştır.



Şekil 4.2 : Referans bina elektrik tüketim profili

Fotovoltaik sistem tertibatına ait genel karakteristik özellikler Çizelge 4.36'da verilmektedir. Kullanılabilir panel alanı üzerinden pik yükte 1000kW elektrik üretimi yapılabilmektedir.

Çizelge 4.36 : Fotovoltaik sistem karakteristikleri

Fotovoltaik Sistem Maliyeti	6400	TL/kW
Pik Elektrik Gücü	1000	kW
Toplam Kurulum Maliyeti	6.400.000	TL
Sistem Verim	15	%
Sistem Ömrü	30	yıl
Malzeme	Poli-Kristalin	
Toplam Panel Alanı	5000	m ²

Fotovoltaik tertibata ilişkin, aylara göre üretilebilen, ihtiyaç olan ve şebekeden alınan ve şebekeye satılabilen elektrik enerjisi değerleri Çizelge 4.37 'da verilmiştir. Yaz aylarında, yeryüzüne gelen güneş ışınlamı arttığından, fotovoltaik sistem ile

üretilebilen elektrik enerjisi kış aylarına oranla oldukça fazladır. Buna karşılık yaz aylarındaki soğutma ihtiyacına paralel olarak artan bir elektrik tüketimi mevcuttur.

Maliyet hesapları yapılırken ihtiyaç olmadığı zamanlarda üretilebilen elektrik enerjisi şebekeye satılabilir veya satılamaz olarak iki farklı alternatif olarak düşünülmüştür. Şebekeye elektrik satımı, alımdan daha ucuz olduğu gibi, satmak için gerekli tertibatın da bir maliyeti söz konusudur.

Çizelge 4.37 : Fotovoltaik sistem ile aylara göre elektrik enerjisi üretimi

Ay	Üretilebilen Elektrik Enerjisi kWh	İhtiyaç Olan Elektrik Enerjisi kWh	Şebekeden Alınan Elektrik Enerjisi kWh	Şebekeye Satılabilen Elektrik Enerjisi kWh
Ocak	46033	131860	85828	14256
Şubat	55898	114720	59120	14261
Mart	90873	119699	33440	34635
Nisan	128291	121383	28841	54718
Mayıs	168544	216909	108907	60937
Haziran	190672	238284	118598	71188
Temmuz	198273	274569	139391	63095
Ağustos	172084	255999	146755	62840
Eylül	132915	158228	64037	43683
Ekim	86510	125600	62651	26952
Kasım	51936	112627	69066	17485
Aralık	36990	131505	94851	10129
Toplam	1359017	2001385	1011486	474180

Üretilebilen elektrik enerjisi ihtiyaç olmadığı durumlarda kullanılamamaktadır. Bu sebepten ötürü kullanılmayan elektrik enerjisinin şebekeye satıldığı ikinci bir alternatif önerilmiştir. Ayrıca üretilebilen elektriğin ihtiyaçtan fazla olması durumunda da ihtiyaç fazlası şebekeye satılabilir. Öte yandan ihtiyaç olan elektrik enerjisi özellikle yaz aylarında üretilebilen elektrik enerjisinden oldukça fazladır.

Elektrik enerjisi fotovoltaik sistem ile üretildiğinde atmosfere karbondioksit emisyonu olmamaktadır. Üretilen elektrik enerjisi baz sistem ile kıyaslandığında karbondioksit emisyonundan tasarruf edilmektedir. Çizelge 4.38’de fotovoltaik sistem karbondioksit emisyonuna ilişkin bilgiler yer almaktadır.

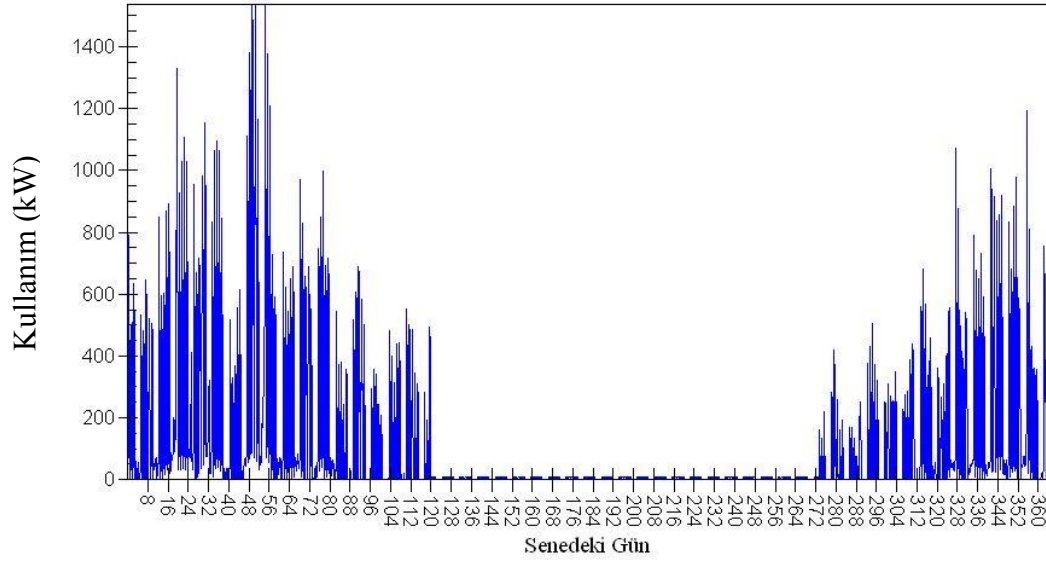
Çizelge 4.38 : Fotovoltaik sistem karbondioksit emisyonları

CO ₂ Emisyonuna Sebep Olan Enerji	Miktar ton/yıl
Baz Bina Tüketilen Doğalgaz	183
Şebekeden Alınan Elektrik Enerjisi	358
Toplam (Alternatif – 10a)	541
Şebekeye Satılan Elektrik Enerjisi	-168
Toplam (Alternatif – 10b) (*)	373
Referans Bina (Alternatif – 0)	892
(*) : Şebekeye elektrik enerjisi satımı gerçekleşiyor ise	

CO₂ üretiminde baz bina kaynaklı doğalgaz tüketimi ve şebekeden alınan elektrik enerjisi rol oynamaktadır. Fotovoltaik sistem kullanımının bina CO₂ üretimini %39 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır, ancak şebekeye ihtiyaç olmadığı zamanlarda elektrik enerjisi satımı gerçekleştirilebilir ve şebekeye satılan elektriğin toplam bina karbondioksit emisyonundan çıkarıldığı varsayımı yapılırsa bu oran %58'lere kadar çıkmaktadır. Görüldüğü gibi yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi CO₂ emisyonlarını en etkin olarak azaltan önlemlerdir.

4.7 Kojenerasyon Sistemi

Ele alınan baz bina için elektrik tüketim değerleri profili Şekil 4.3'te verilmiştir. Bina baz elektrik ihtiyacı 750 kW 'tır. Yaz aylarında soğutma sezonuna geçildiği için, su soğutma grupları elektrik tüketimini artırmaktadır. Toplam elektrik tüketimi yaz aylarında 1200 kW'a kadar çıkmaktadır. Baz elektrik tüketimini karşılayacak şekilde kojenerasyon ünitesi kullanılmalıdır, ancak seçilecek olan kojenerasyon ünitesinin ısıtma enerjisinin bir kısmını da karşılaması gerekir. Simülasyon sonucu bina için ısıtma enerjisi tüketim profilleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 : Referans bina senelik ısıtma ihtiyacı profili

Bina pik ısıtma ihtiyacı 1500 kW olmaktadır, fakat bu senede sadece bir gün olmaktadır. Baz ısıtma yükü 400 kW civarında alınabilir. Isıtma için kojenerasyon ünitesine paralel bağlanmış yedek kazan da kullanılabilir.

Baz bina için 750 kW 'lık baz elektrik tüketimi olduğundan bu yükü karşılayacak şekilde 2 adet 400 kW'lık paket kojenerasyon üniteleri seçilmiştir. Seçilen üniteye ait karakteristik özellikler Çizelge 4.39 : 'te verilmiştir. Üniteler binaya ait bütün ısıtma ihtiyacının büyük çoğunluğunu karşılamaktadır.

Çizelge 4.39 : Önerilen paket tip kojenerasyon ünitesi özellikleri[38]

Özellik	Birim	Miktar
Elektrik Gücü	kW	402
Isıtma Gücü	kW	563
Doğalgaz Tüketimi	kW	1073
Elektriksel Verim	%	37,5
Isıtma Verimi	%	52,5
Toplam Verim	%	90
Güç-Isı Oranı		0,71
Bakım Süresi	saat	1000
Yatırım Maliyeti	\$/kW	1250

Simülasyon sonucu elde edilen 8760 saatlik enerji tüketim değerleri Kısım 3.4.4 : Kojenerasyon ünitesi ile elektrik ve ısı eldesi'nde belirtildiği gibi Excel'de oluşturulan bir hesap sayfasına uyarlandıktan sonra kojenerasyon ünitesi tarafından

üretilem elektrik enerjisi ve şebekeden alınan elektrik enerjisine karşılık gelen doğalgaz tüketim değeri Çizelge 4.40’da detaylı olarak açıklanmıştır.

Çizelge 4.40 : Paket kojenerasyon ünitesi enerji üretim ve tüketimi

Ay	İhtiyaç Olan Elektrik Enerjisi kWh	Üretilen Elektrik Enerjisi kWh	Şebekeden Alınan Elektrik Enerjisi kWh	Kojenerasyon Doğalgaz Tüketimi kWh	Kazan Doğalgaz Tüketimi kWh
Ocak	131860	131860	0	251162	33147
Şubat	114720	114720	0	218515	59536
Mart	119699	119700	0	227999	12471
Nisan	121383	121383	0	231206	354
Mayıs	216909	204928	11981	390339	0
Haziran	238284	202679	35605	386056	0
Temmuz	274569	222036	52533	422925	0
Ağustos	255999	202797	53200	386281	0
Eylül	158228	158228	0	301386	0
Ekim	125600	125600	0	239238	0
Kasım	112627	112629	0	214531	5750
Aralık	131505	131505	0	250485	18008
Toplam	2001385	1848065	153320	3520125	129266

Kış aylarında, elektrik ihtiyacının tamamı paket kojenerasyon ünitesi ile sağlanabilmektedir, ancak pik ısıtma ihtiyacına paralel olarak kojenerasyon ünitesi kapasitesi düşük kalmaktadır. Bu sebepten yedek bir kazan kullanılmıştır. Yaz aylarında elektrik enerjisi soğutma ihtiyacından ötürü baz elektrik tüketim değeri çok üzerine çıktığından şebekeden elektrik enerjisi alımı gerçekleşmiştir.

Tüketilen doğalgaz ile elektrik enerjisine karşılık gelen karbondioksit emisyonları Çizelge 4.41’de verilmiştir.

Çizelge 4.41 : Paket kojenerasyon ünitesi CO₂ üretimi değeri

CO ₂ Emisyonuna Sebep Olan Enerji	Miktar ton/yıl
Kojenerasyon Tarafından Tüketilen Doğalgaz	711
Ekstra Isıtma Amacıyla Tüketilen Doğalgaz	26
Şebekeden Alınan Elektrik Enerjisi	55
Toplam , Alternatif – 11	792
Referans Bina , Alternatif - 0	892

Bir yıllık süre zarfında paket kojenerasyon ünitesi kullanımı ele alınan baz bina için karbondioksit emisyonu değeri %12’lik azalmaya sebep olmuştur. Absorbsiyonlu soğutma grubu kullanılarak yazın kullanılmayan artık ısı vasıtasıyla

bina için soğutma enerjisi karşılanabilmesi, hem kojenerasyon ünitesinden faydalanma oranını artıracak, hem de sistem geri ödeme süresini azaltacaktır.

5. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE EKONOMİK ANALİZ

5.1 Mimari Alternatifler

5.1.1 İzolasyon alternatifleri

İzolasyon kalınlığının artmasıyla dış duvar ısı geçiş katsayısı düşmektedir. Bina dış duvarları vasıtasıyla kışın kaybedilen yazın ise kazanılan ısı enerjisi miktarı, duvarın ısı geçiş katsayısı ile doğru orantılıdır. İzolasyon kalınlığı aynı zamanda bina için kullanılan ekipman kapasitelerini doğrudan etkilemektedir. İzolasyon birim ve toplam fiyatları Çizelge 5.1 ‘ de verilmiştir. İzolasyon fiyatları için *Bayındırlık Bakanlığı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyat Tarifleri* [45] ‘nden yararlanılmıştır.

Çizelge 5.1 : Kullanılan izolasyon maliyetleri

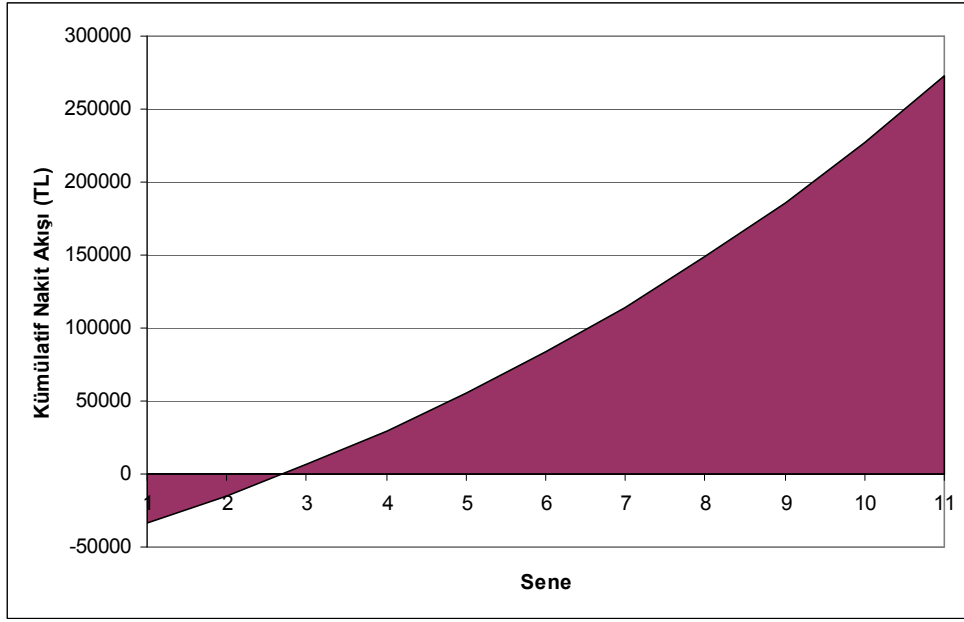
İzolasyon Kalınlığı (cm)	Birim Fiyat (TL/m ²)	Toplam Bina Dış Duvar Alanı (m ²)	Toplam İzolasyon Fiyatı (TL)
5,0	8,694	3.908	33.976
10,0	13,524	3.908	52.852

Çizelge 5.2’de alternatif -1 ve alternatif -2 için , yatırım maliyetleri, bir yıllık enerji maliyetleri ve üretimine neden olan CO₂ miktarları görülmektedir.

Çizelge 5.2 : İzolasyonda maliyet – CO₂ emisyonu ilişkisi

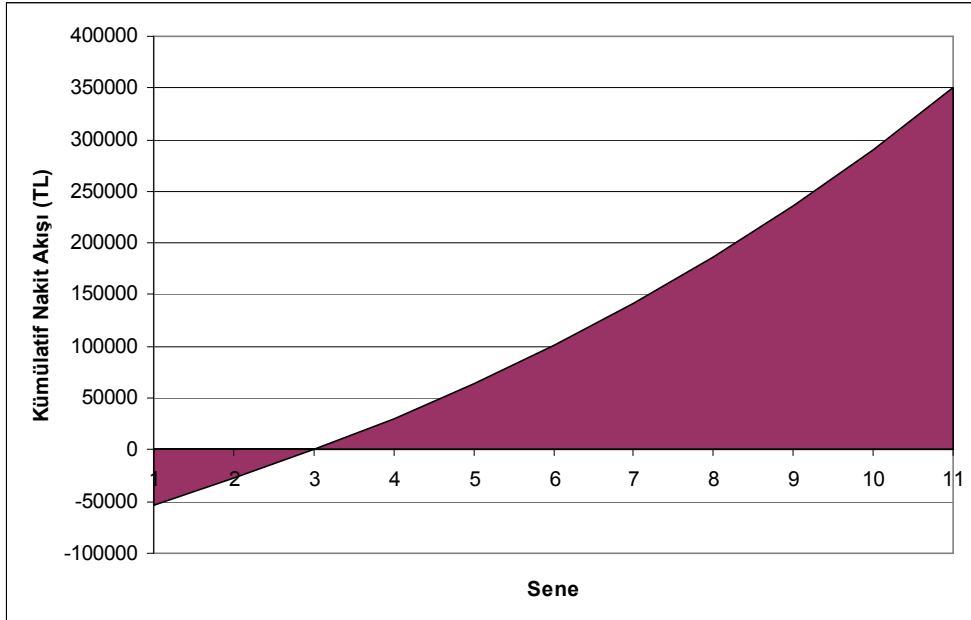
	Referans Bina	Alt. – 1	Alt. – 2
Yatırım Maliyeti (TL)	-	33.976	52.852
Enerji Maliyeti (TL/yıl)	477.817	458.584	451.183
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	892	846	832
Basit G.Ö.S. (yıl)	-	1,7	1,9

Şekil 5.1’de referans binada 5 cm izolasyon kullanılması durumunun enflasyon oranı ve enerji fiyatlarındaki artış dikkate alınarak hesaplanan kümülatif nakit akışı grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.1 : Alternatif – 1 için kümülatif nakit akışı

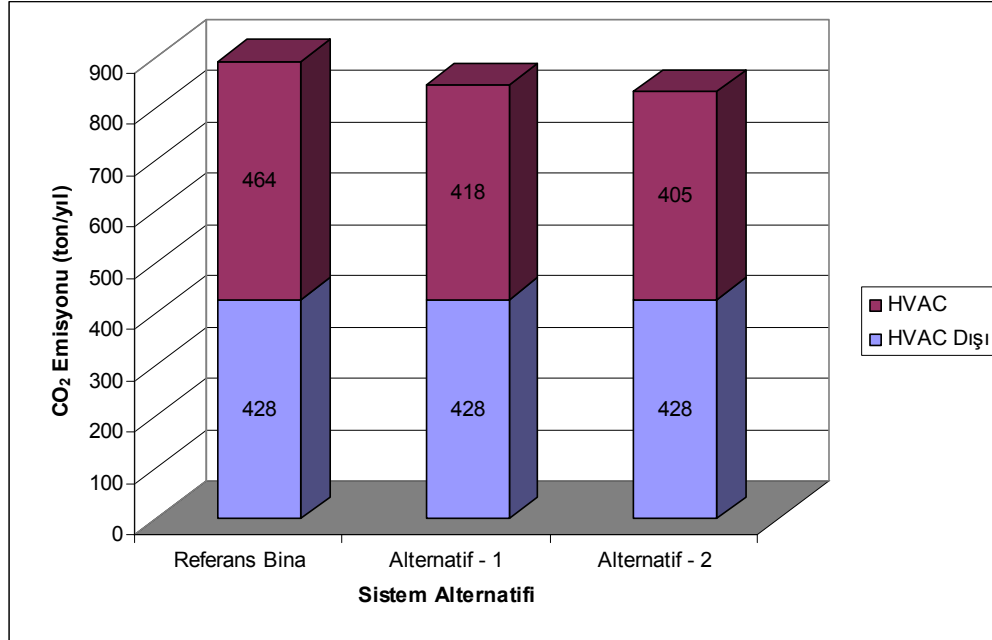
Referans binaya 5cm kalınlığında izolasyon uygulanması, kendini 2,5 sene içinde geri ödemektedir. Toplam kullanım ömrü düşünüldüğünde, 5cm izolasyonun yapılması bina için oldukça faydalı olmaktadır zira günümüzde mevcut standartlar ve yönetmelikler bu durumu zorunlu kılmaktadır. Şekil 5.2’de referans binada 10cm izolasyon kullanılması durumunda için nakit akışı grafik olarak verilmektedir.



Şekil 5.2 : Alternatif – 2 için kümülatif nakit akışı

Referans binada 10 cm izolasyon yapılması alterantifi, kendini 3 sene sonunda geri ödemektedir. İzolasyon kalınlığının artırılması, enerji maliyetlerini düşürdüğü gibi,

bina tarafından üretimine neden olunan CO₂ emisyonlarını da düşürmektedir. Şekil 5.3'te yapılan analizler sonucu izolasyon kalınlığına göre senelik bina karbondioksit emisyon değerleri grafik olarak verilmektedir.



Şekil 5.3 : İzolasyon alternatifine göre neden olunan CO₂ üretimi

HVAC Kaynaklı karbondioksit emisyonlarında 5 cm kalınlığında izolasyon, izolasyonsuz binaya göre %9, 10 cm kalınlığında izolasyon ise %13 değerinde azalma sağlamaktadır. Toplam bina karbondioksit emisyonu göz önüne alınacak olursa, izolasyonlar sırasıyla %2 ve %2,5 oranında azalmaya olanak sağlamaktadır.

5.1.2 Cam alternatifleri

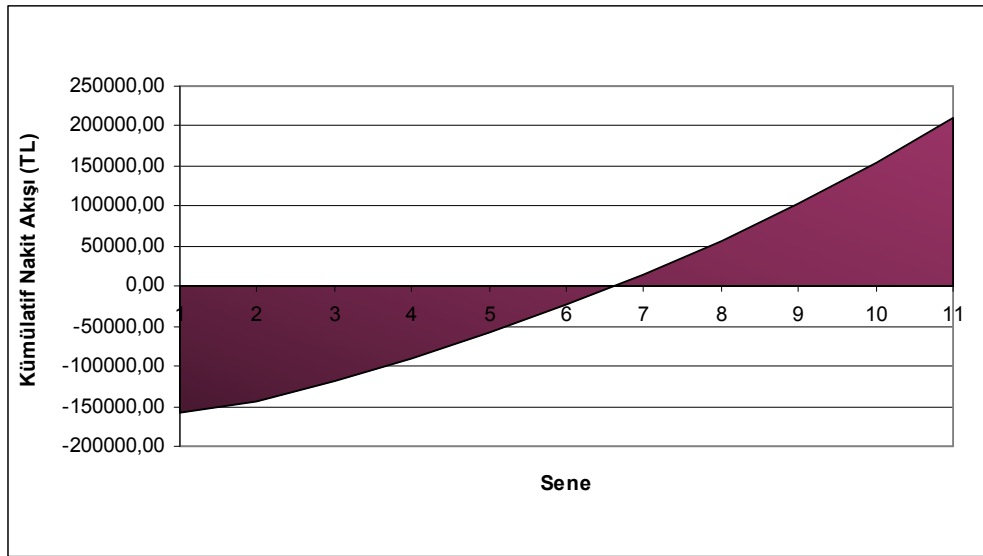
Referans bina için, cam tipinin iyileştirilmesi, sızıntı ve iletim yoluyla pencerelerden gerçekleşen kazanç ve kayıpları azaltmıştır. Bina için daha efektif cam kullanılması, binaya ait doğalgaz ve elektrik tüketim değerlerinin azalmasına, yatırım ve işletme maliyetlerinin azalmasına ve dolayısıyla atmosfere salınan karbondioksit miktarlarının azalmasına yol açmaktadır.

Çizelge 5.3'de referans bina ve önerilen iki cam alternatifinin kullanılması durumunda, yatırım maliyetleri, bir yıllık enerji maliyetleri ve karbondioksit emisyonları arasındaki ilişki görülmektedir.

Çizelge 5.3 : Cam maliyetleri – bina CO₂ üretimi ilişkisi

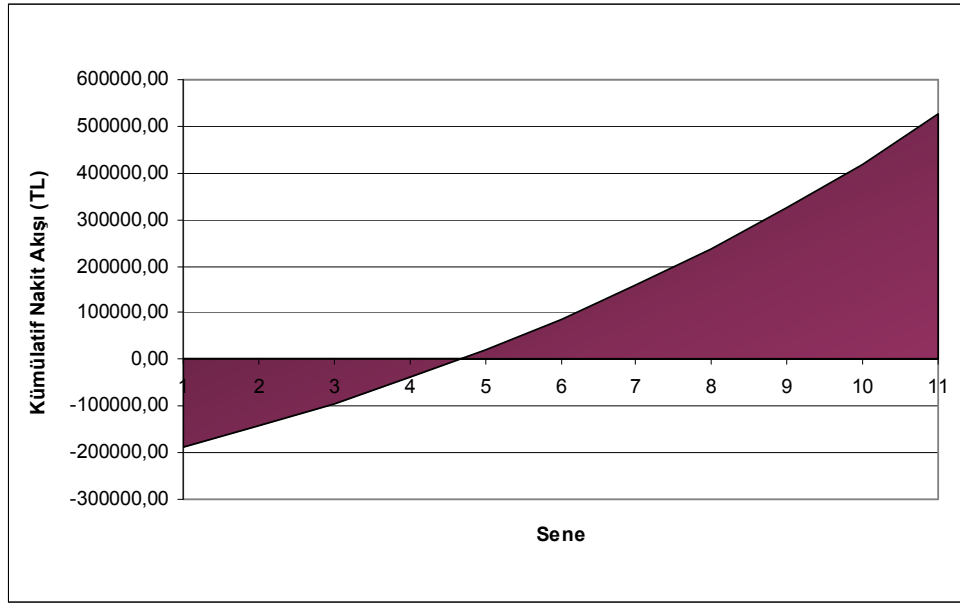
	Alt. – 0	Alt. – 3	Alt. – 4
Yatırım Maliyeti (TL)	306.815	475.365	509.204
Enerji Maliyeti (TL/yıl)	477.817	454.093	433.063
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	892	849	814
Basit G.Ö.S. (yıl)	-	7,1	4,5

Şekil 5.2’de referans binada 2.cam alternatifinin kullanılması durumunda enflasyon oranı,enerji fiyatlarındaki artış,ana ekipman kapasitelerindeki değişim dikkate alınarak hesaplanan kümülatif nakit akışı grafik olarak verilmiştir.



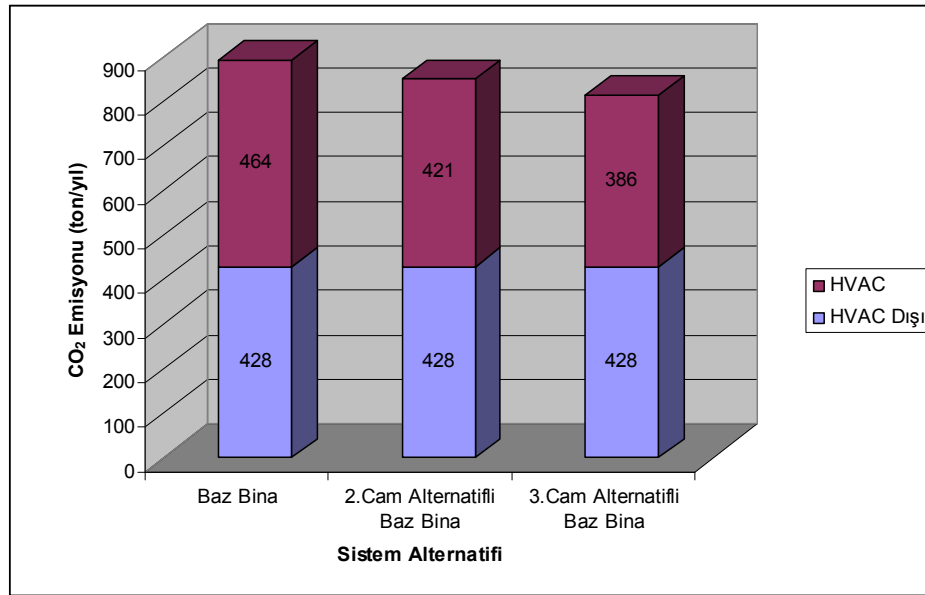
Şekil 5.4 : Alternatif – 3 için kümülatif nakit akışı

Alternatif 3 için, 6,5 senelik geri ödeme süresi öngörülmüştür. İzolasyon malzemesinden daha pahalı olması sebebiyle cam tipleri kendilerini daha uzun sürelerde geri ödemektedirler ancak bina kullanım ömrü ve cihaz ömürleri düşünüldüğünde bu kısa bir süre olmaktadır. Önerilen 3.cam alternatifine ilişkin kümülatif nakit akışı grafiği Şekil 5.5’te verilmiştir.



Şekil 5.5 : Alternatif – 4 için kümülatif nakit akışı

Cam alternatifi-3 'ün daha iyi bir sonuç vermesi binanın giydirme cephe olarak tasarlanmasından kaynaklanmaktadır. Sürdürülebilirlik kalitesi ve çevresel etki kıyaslaması için toplam bina karbondioksit emisyonları Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 : Cam alternatifine karşılık senelik CO₂ emisyonu

Pencereye ait U_p ile SC değerlerinin küçük olması bina enerji etkenliği açısından önemlidir. Bu değerler küçüldükçe binaya ait ısıtma ve soğutma yükleri de küçülecek, HVAC sistemleri daha kompakt ve ucuz sistemler olacaklardır. Referans cama oranla önerilen ikinci cam alternatifi %5, üçüncü cam alternatifi ise %9 oranında karbondioksit emisyonu tasarrufuna sebep olmuştur. Cam cephenin

iyileştirilmesinin izolasyo kalınlığının artırılmasından daha büyük etki gerçekleştirmesinin sebebi dış duvar oranının cam oranına göre çok daha az mertebelerde kalıyor olmasından kaynaklanmaktadır.

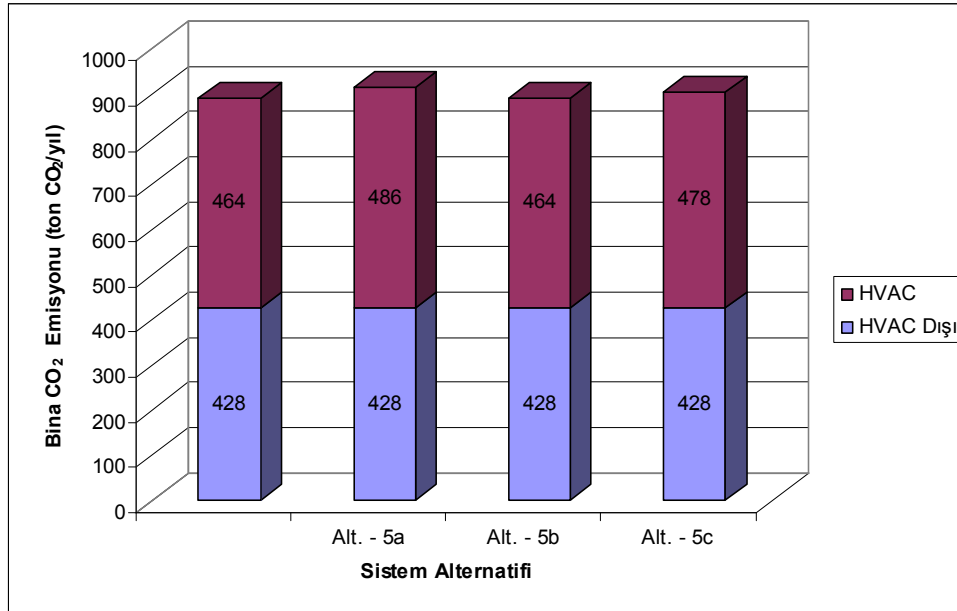
5.1.3 Bina oryantasyonu alternatifleri

Bina oryantasyonunun değiştirilmesinin ilk yatırım maliyetleri ile binadaki aydınlatma seviyesine etki yapmadığı varsayılmıştır. Oryantasyonun değişimi ile yıllık enerji maliyetleri ve bina CO₂ üretimi arasındaki ilişki Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Bina oryantasyonu maliyet – CO₂ üretimi ilişkisi

	Referans Bina	Bina Döndürme Açısı		
		90° Alt. – 5a	180° Alt. – 5b	270° Alt. – 5c
Enerji Maliyeti (TL/yıl)	477.817	489.147	476.318	483.387
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	892	914	892	906

Sürdürülebilirlik kalitesi ve çevresel etki kıyaslaması için toplam bina karbondioksit emisyonları Şekil 5.7'da verilmiştir.



Şekil 5.7 : Bina oryantasyonuna karşılık neden olunan CO₂ üretimi

HVAC kaynaklı CO₂ üretimlerinde %4,5 oranında tasarruf sağlanabiliyorken, bina toplam CO₂ üretimi %3 seviyesindedir. Bina yıllık enerji maliyetleri ile CO₂ üretimi

dikkate alındığında referans bina ile en optimum yön olarak hesap edilen 180° oranında döndürülmüş bina arasında %0.4 oranında bir fark oluşmuştur.

5.2 HVAC Sistem Alternatifleri

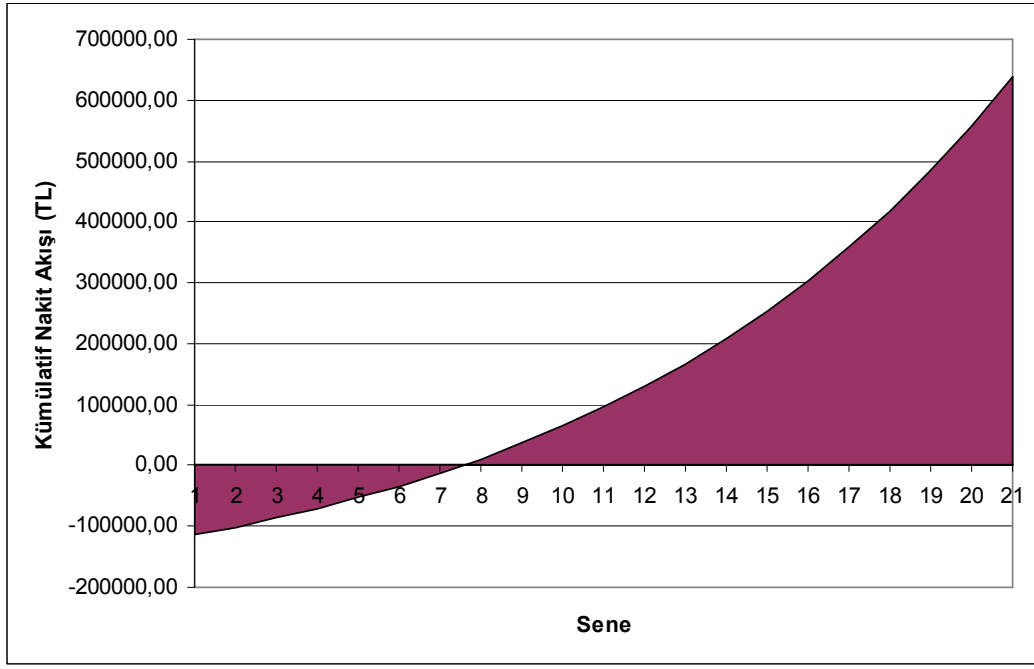
Referans bina HVAC sistemi FCU sistemidir. FCU sisteminin yatırım maliyeti değeri referans değer olarak kabul edilip, önerilen HVAC sistemleri ile arasındaki fark yatırım maliyeti değerleri olarak alınmıştır. HVAC sistemi ile ilgili olan maliyet hesaplamalarında ilgili üretici ya da satıcı firmalar [46-48] ile görüşülmüştür. Önerilen HVAC sistemleri için yatırım ve enerji maliyetleri ile CO₂ üretimi arasındaki ilişki Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 : HVAC sistemi için yıllık enerji maliyeti – CO₂ üretimi ilişkisi

	Alt. - 0 FCU	Alt. - 8 WSHP	Alt. - 9 VAV
Yatırım Maliyeti (TL)	765.000	879.000	1.004.000
Enerji Maliyeti (TL/yıl)	477.817	463.209	447.910
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	892	854	813
Basit Geri Ödeme Süresi (yıl)	-	7,8	8

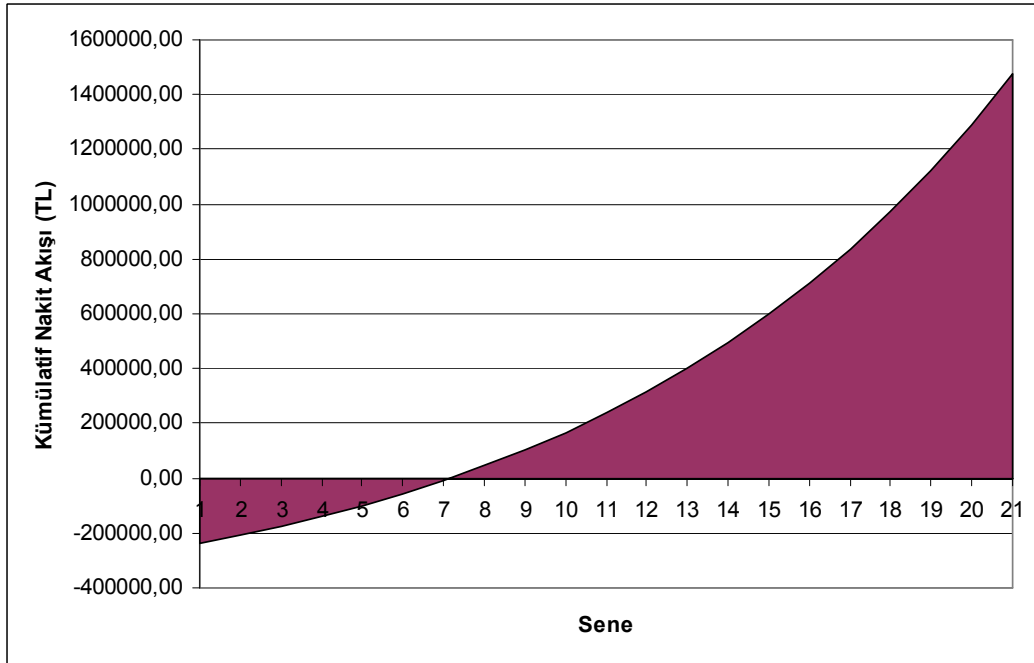
Önerilen WSHP ve VAV iklimlendirme sistemleri, referans bina için, sırasıyla %5 ve %9 oranında CO₂ emisyonlarında azalmaya sebep olmuşlardır. İlk yatırım maliyetleri göz önüne alınacak olursa, WSHP sistemi FCU sisteminden %15, VAV sistemi ise %30 oranında daha pahalıdır.

Mekanik tesisat ekipmanlarının ortalama ömrü 20 yıl olduğu düşünüldüğünde, 8 yıla varan geri ödeme süreleri göz ardı edilebilir. Enflasyon oranı ve yakıt maliyetlerindeki artışların dikkate alınmasıyla elde edilen önerilen HVAC sistemleri için kümülatif nakit akış grafikleri Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 'da verilmiştir.



Şekil 5.8 : Alternatif – 8 için kümülatif nakit akışı

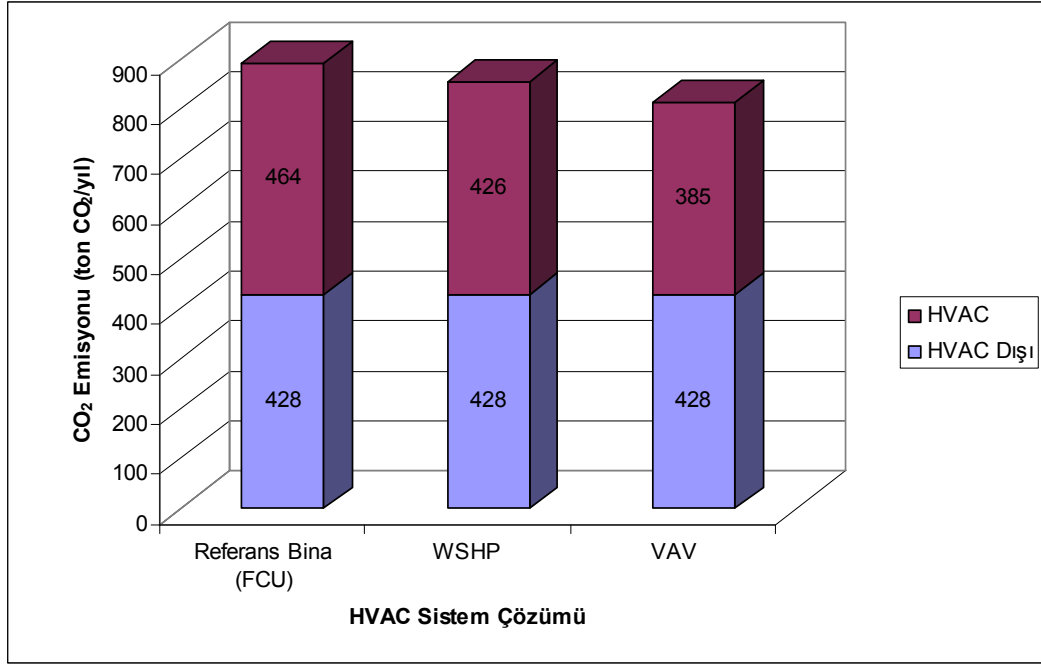
WSHP sistemi, artan enerji maliyetleri ile kendini 7,5 senede geri ödüyorken, VAV sistemi 7 yılda geri ödeme süresine ulaşmıştır. Ekipman ömrünün sonunda WSHP sistemi 600.000 TL kar sağlamıştır.



Şekil 5.9 : Alternatif – 9 için kümülatif nakit akışı

VAV sistemi, 20 yıllık ekipman ömrünün sonunda referans bina için 1.500.000 TL oranında kar sağlamaktadır. Bina sürdürülebilirlik kalitesi açısından da aynı oranlar

söz konusudur. HVAC sistemleri CO₂ tasarrufları arasındaki ilişki Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10 : HVAC Sistem alternatiflerinde neden olunan CO₂ üretimi

VAV sistemi ile HVAC kaynaklı CO₂ emisyonlarında %18 oranında tasarruf sağlanabilmektedir. WSHP sistemi için CO₂ emisyon tasarrufu %8 seviyesindedir.

5.3 Klima Santrallerinde Isı-Geri Kazanımı Alternatifi

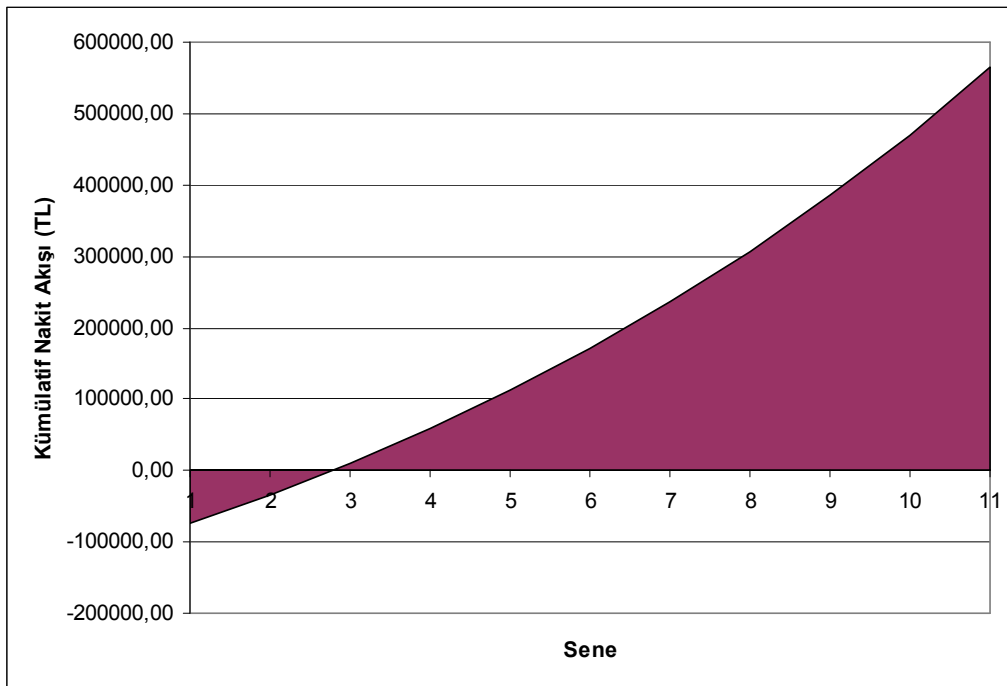
Klima santrallerinde ısı geri kazanımı yapılmasıyla, kazan yükünde %28 oranında azalma meydana gelmiştir. Dolayısıyla, kazan maliyeti azalırken, gelen ekstra maliyet, santrallerdeki rotorlu ısı değiştiriciler olmuştur. Çizelge 5.6'te ısı geri kazanımı maliyeti ile bina CO₂ emisyonu ve basit geri ödeme süresi arasındaki ilişki görülmektedir.

Çizelge 5.6 : Isı geri kazanımı ile yatırım ile enerji maliyeti ve CO₂ emisyonu

	Referans Bina (FCU)	Alternatif - 6
Yatırım Maliyeti (TL)	765.000	838.600
Enerji Maliyeti (TL/yıl)	477.817	439.979
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	892	798
Basit G.Ö.S. (yıl)	-	2,1

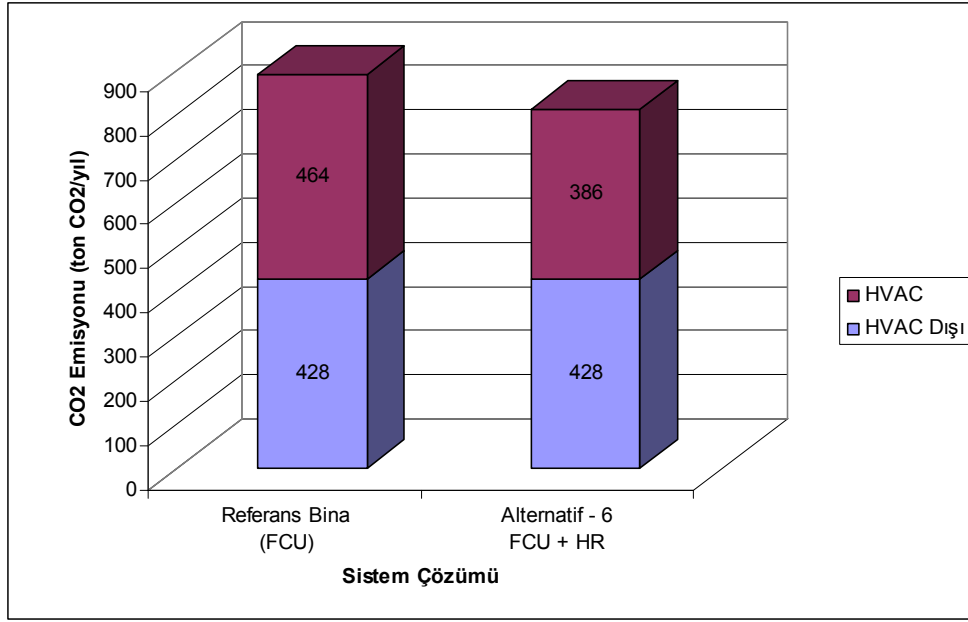
Klima santrallerinde ısı geri kazanım ünitesi kullanılması, HVAC sistemi ilk yatırım maliyetini %10 oranında artırmakta, yıllık enerji maliyetini ise %8 oranında düşürmektedir. Sürdürülebilirlik açısından bakıldığında zaman, bina yıllık CO₂ üretiminde %10 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Isı geri kazanımı yapılması, bina HVAC sistemleri açısından en ucuz ve sürdürülebilir bir alternatif olmaktadır.

Enflasyon oranı ve enerji maliyetlerindeki artış dikkate alındığında, sistem 10 sene sonunda 500.000 TL miktarında kar sağlamaktadır. Bu değer referans bina bir yıllık enerji maliyetine neredeyse eşittir. Isı geri kazanım alternatifine ilişkin kümülatif nakit akış grafiği Şekil 5.11’de verilmektedir.



Şekil 5.11 : Alternatif – 6 için kümülatif nakit akışı

HVAC sistemi CO₂ üretiminde, referans bina için, %17 oranında bir tasarruf sağlanmıştır. Bu oran VAV sistemi ile çok yakındır, ancak VAV sistemi kendini 7 yılda kara geçirirken, ısı geri kazanımı yaklaşık 5 senede kara geçirmiştir.



Şekil 5.12 : Isı geri kazanımıyla neden olunan CO₂ üretimi

Klima santrallerinde rotorlu ısı değıştircileri vasıtası ile ısı geri kazanımı ucuz olmanın yanı sıra, sürdürülebilirlik kalitesi açısından da iyi bir sonuç vermiştir.

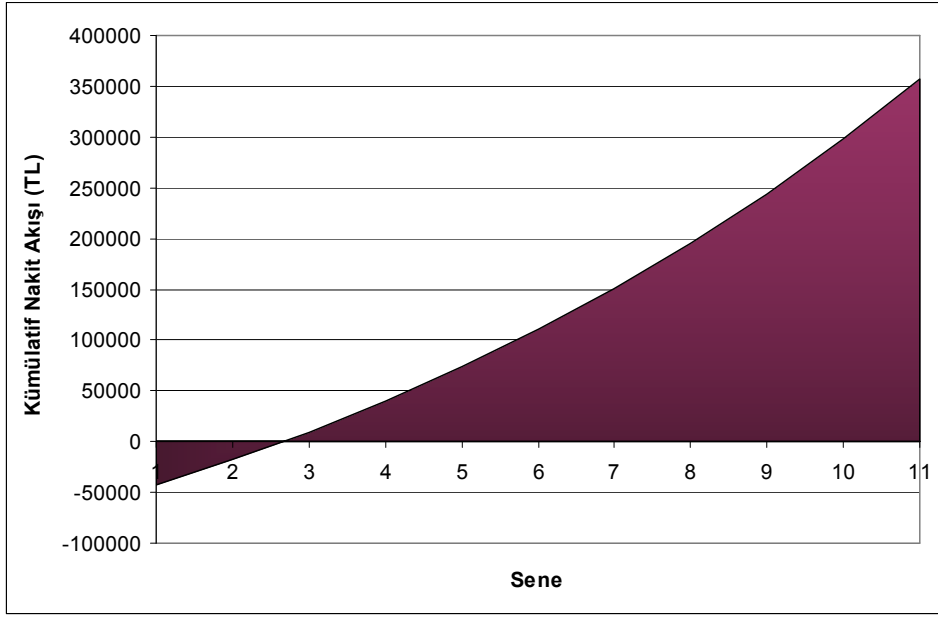
5.4 Pompalarda VSD Teknolojisi Kullanım Alternatifi

Pompalarda VSD teknolojisinin kullanımıyla, ana ekipman yüklerinde değışim olmamıştır. Buna karşılık bina yıllık enerji maliyetinde %5 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Aynı oran, bina yıllık CO₂ üretimi söz konusu olduğunda da geçerlidir. VSD teknolojisi kullanımına ilişkin maliyet ve CO₂ emisyonları bilgisi Çizelge 5.7’de verilmektedir.

Çizelge 5.7 : VSD Teknolojisi ile yatırım enerji maliyeti ve CO₂ emisyonu

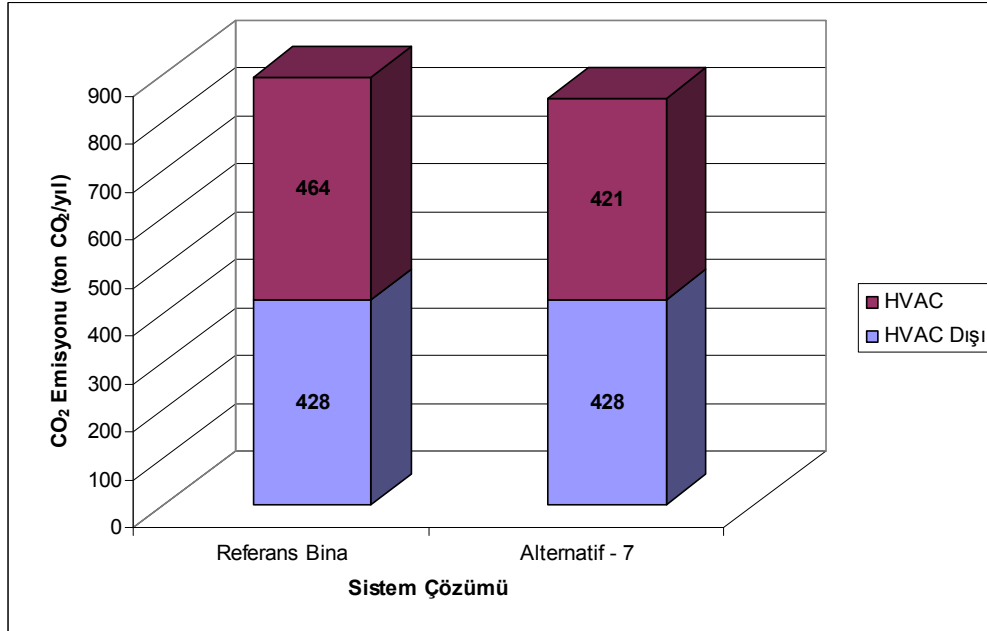
	Referans Bina	Alt. - 7
Yatırım Maliyeti (TL)	-	43.000
Enerji Maliyeti (TL/yıl)	477.817	452.711
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	892	849
Basit G.Ö.S. (yıl)	-	1,72

Sistemin kendini geri ödemesi kısa bir sürede gerçekleşmiştir. Enerji maliyetlerindeki artış dikkate alınarak elde edilmiş, VSD teknolojisi kullanımına ilişkin kümülatif nakit akışı grafik olarak Şekil 5.13’de verilmiştir.



Şekil 5.13 : Alternatif – 7 için kümülatif nakit akışı

Düşük miktarda kalan ilk yatırım maliyetine karşılık olarak referans bina için on yıl sonunda bina sahibine 300.000 TL kar sağlayan VSD pompalar, günümüzde kullanımı giderek artan teknolojilerdir. Referans bina için VSD teknolojisinin kullanılmasıyla neden olunan CO₂ üretimi grafiği Şekil 5.14'te verilmektedir.



Şekil 5.14 : VSD teknolojisi kullanımı ile neden olunan CO₂ üretimi

Referans binada VSD teknolojisinin kullanımıyla, HVAC kaynaklı CO₂ emisyonlarında %17 oranında azalma sağlanabilmektedir. Buna karşılık HVAC dışı

kaynaklar tarafından üretilen CO₂ emisyonlarında bir değişim meydana gelmemiştir. Toplam bina CO₂ emisyonlarında %8 oranında bir azalma söz konusudur.

5.5 Fotovoltaik Sistem Alternatifi

En temiz enerji olan güneş enerjisinden faydalanan ve günümüzde popülaritesi giderek artan fotovoltaik sistemler ile binalarda elektrik enerjisi üretimi yapılabilmektedir. İlk yatırım maliyetleri yüksek olsa bile sürdürülebilirlik anlamında en verimli teknoloji olarak değerlendirilen fotovoltaik sistemler düşük yatırım maliyetleri ile kendilerini ömürleri içerisinde geri ödeyebilmektedirler. Fotovoltaik teknolojisinin giderek ucuzlayacağı göz önünde bulundurulursa, zamanla bu teknolojiler tercih edilebilir olacaklardır.

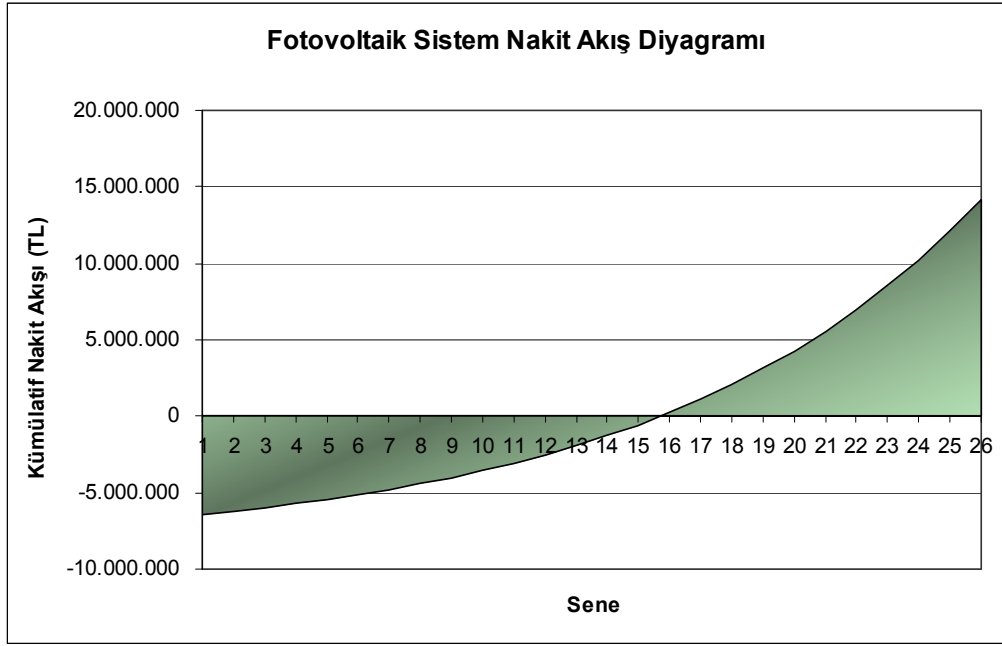
Çizelge 5.8’de fotovoltaik sistem yatırım maliyetleri ile bir yıllık enerji maliyetleri ve CO₂ üretimlerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Fotovoltaik sistem yatırım – enerji maliyetleri – CO₂ üretimi

	Referans Bina	Alternatif-10a FV	Alternatif-10b FV (*)
Yatırım Maliyeti (TL)	-	6.400.000	7.040.000
Enerji Maliyeti (TL/yıl)	477.817	271.368	174.336
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	892	541	373
Basit G.Ö.S. (yıl)	-	31	23
(*) : Şebekeye elektrik satımı yapılabilir ise.			

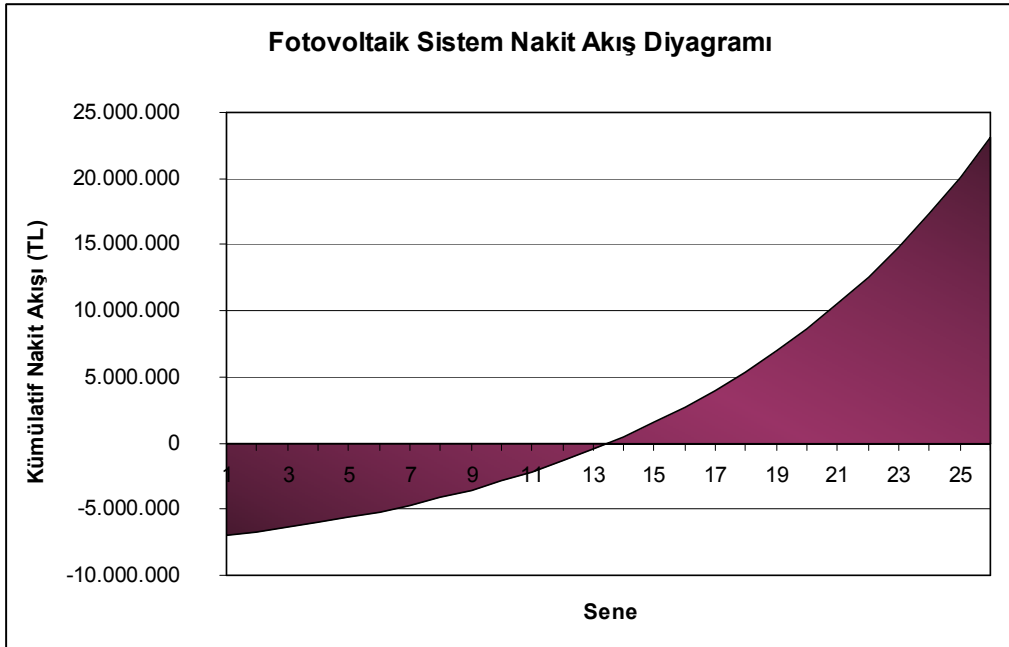
Fotovoltaik sistem yüksek miktardaki ilk yatırım maliyetine karşılık olarak, enerji maliyetlerini %43 oranında azaltabilmektedir. Bina tarafından elektriğe ihtiyaç duyulmadığı zamanlarda, şebekeye elektrik satımı gerçekleşebiliyorsa, bu oran %64'lere kadar çıkabilmektedir.

Sistemlerin basit geri ödeme süreleri 31 yılı bulabilmektedir, ancak fotovoltaik sistem kullanım ömrü olarak üreticiler tarafından[35] 25 yıl olarak verilmektedir. Ancak basit geri ödeme süresi yönteminde, enerji maliyetlerindeki artış ve enflasyon oranı dikkate alınmamaktadır. Şekil 5.15’te enerji maliyetlerindeki artış dikkate alınarak elde edilmiş kümülatif nakit akışı verilmiştir.



Şekil 5.15 : Alternatif – 10a için kümülatif nakit akışı

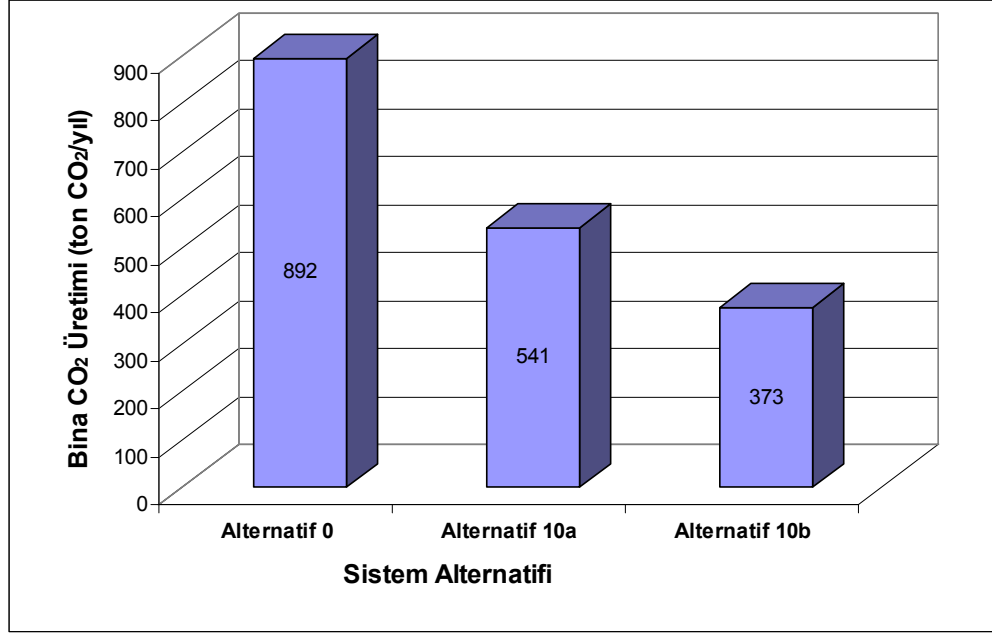
Fotovoltaik sistem kendini ömrü içerisinde 16.senede geri ödemektedir. Kullanım ömrü sonunda 10.000.000 TL ye varan kar sağlanabilmektedir. Şekil 5.16'te şebekeye elektrik satımı gerçekleştirebilen fotovoltaik sistem için kümülatif nakit akışı grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.16 : Alternatif – 10b için kümülatif nakit akışı

Şebekeye elektrik satabilen sistem, şebeke bağımsız sistemden kendini üç sene önce, 13 senede kara geçirebilmiştir. Ayrıca ömrünün sonunda bina sahibine bıraktığı kar miktarı 20.000.000 TL yi geçmektedir.

Fotovoltaik sistem alternatifleri kullanılması durumunda, neden olunan yıllık bina CO₂ üretimine ilişkin bilgi ve kıyaslama Şekil 5.17’de grafik olarak verilmektedir.



Şekil 5.17 : Fotovoltaik sistem alternatifleri ile neden olunan CO₂ üretimi

Sürdürülebilirlik açısından bakıldığı zaman önerilen alternatifler arasında fotovoltaik sistem en iyi alternatif olmaktadır. Bina CO₂ üretimlerinde %58 oranına kadar tasarruf yapılabilmektedir. Şebekeye elektrik satışı yapılmıyorsa bu oran %40 olmaktadır.

5.6 Paket Kojenerasyon Ünitesi Alternatifi

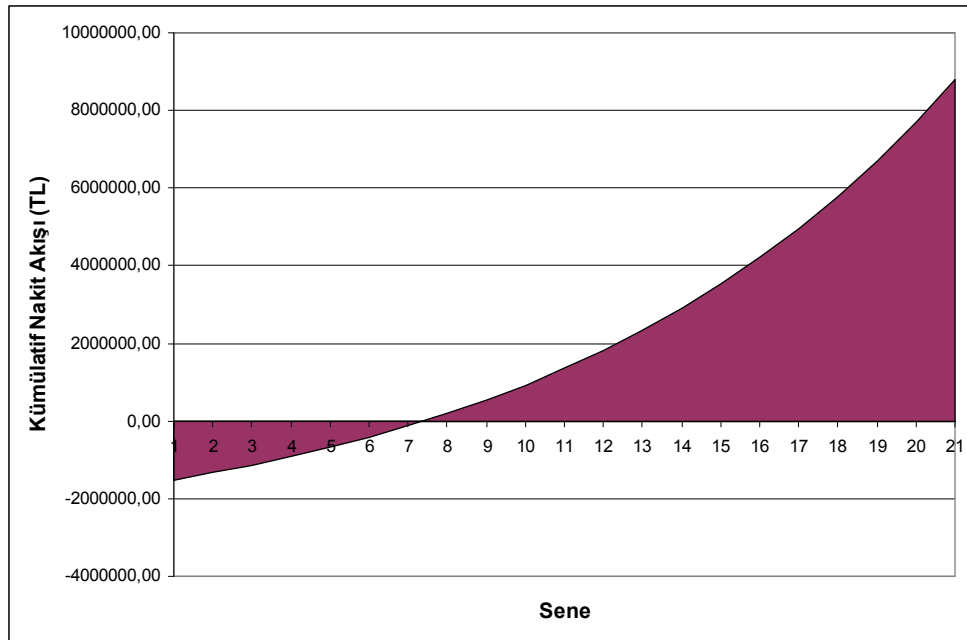
Birleşik ısı-güç üretim sistemleri ile binalarda elektrik enerjisi ile ısıtma enerjisi ihtiyacı aynı zamanda karşılanabilmektedir. Referans bina için önerilen paket kojenerasyon sistemi uygulaması elektrik ihtiyacının büyük bir bölümünü, ısıtma enerjisi ihtiyacının ise neredeyse tamamını karşılamıştır. Ancak yaz aylarında binada ısıtma enerjisi ihtiyacı olmadığından artık ısıdan yararlanılamamıştır. Absorbsiyonlu soğutma grubu kullanılarak artık ısıdan soğutma amacıyla faydalanılabilir. Dolayısıyla binalarda kojenerasyon uygulamaları senenin büyük bir bölümünde ısıtma enerjisi ihtiyacı duyan binalar için daha ideal olmaktadır.

Çizelge 5.9’de önerilen paket kojenerasyon uygulaması alternatifinin, yatırım maliyetine karşılık gelen enerji maliyetleri ile CO₂ emisyonu değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.9 : Kojenerasyon ile yatırım ve enerji maliyetleri ile CO₂ emisyonu

	Alternatif -0 Referans Bina	Alternatif – 11 Kojenerasyon
Yatırım Maliyeti (TL)	-	1.507.500
Enerji Maliyeti (TL/yıl)	477.817	300.260
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	892	792
Basit G.Ö.S. (yıl)	-	8,5

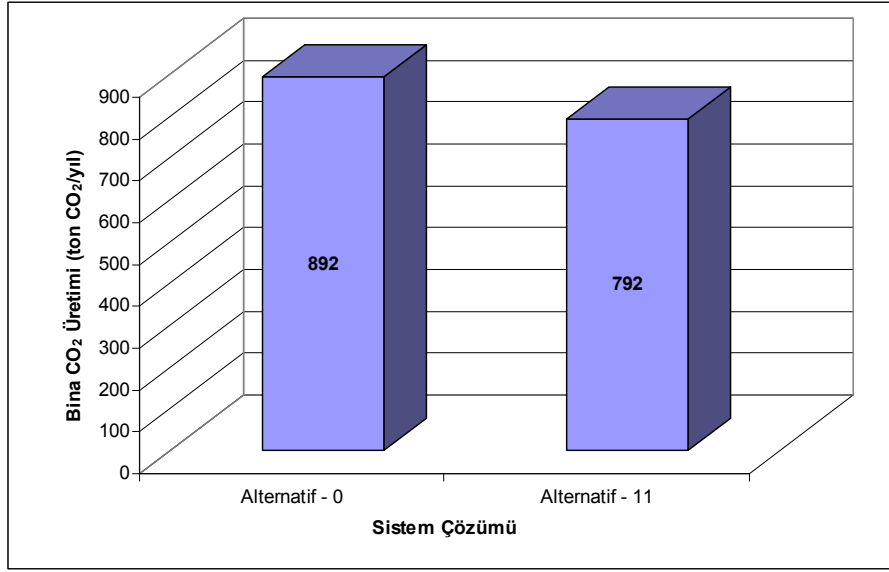
Önerilen paket kojenerasyon uygulaması ile, yıllık bina enerji maliyetinde %37 oranında tasarruf sağlanabilmektedir. Sistem basit geri ödeme süresi açısından da oldukça avantajlıdır. Paket kojenerasyon sistemine ilişkin enerji maliyetlerindeki artışın dikkate alındığı kümülatif nakit akışı, grafik olarak Şekil 5.18’da verilmiştir.



Şekil 5.18 : Alternatif – 11 kümülatif nakit akışı

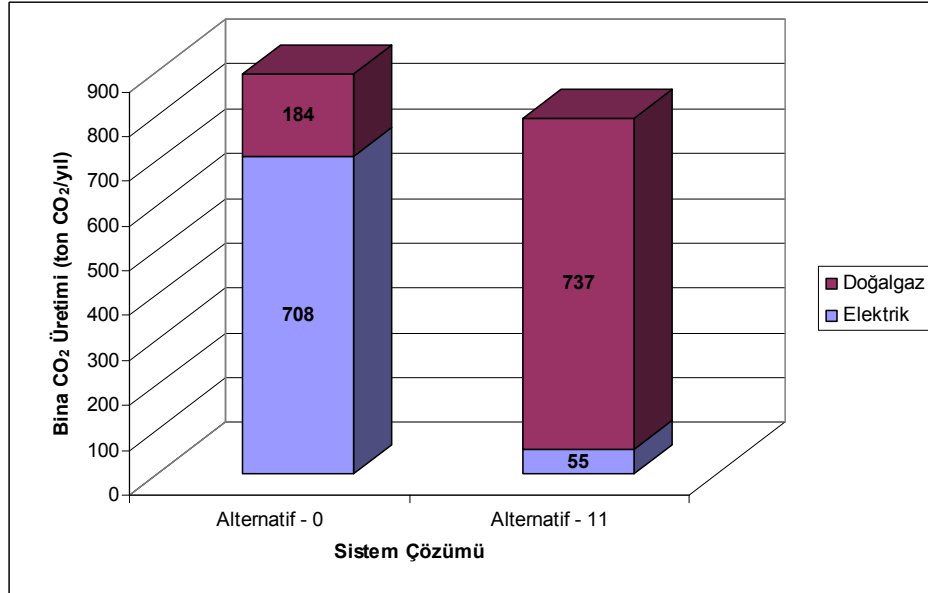
Enerji maliyetlerindeki artış dikkate alındığında 7 sene sonunda sistem kendini geri ödemektedir. Ömrünün sonuna geldiğinde paket kojenerasyon ünitesi ile, 8.00.000 TL miktarında bir kar elde edilebilmektedir.

Paket kojenerasyon ünitesi kullanıldığı zaman binanın ürettiği CO₂ miktarına ilişkin bilgi Şekil 5.19’da verilmiştir.



Şekil 5.19 : Kojenerasyon kullanımında neden olunan bina CO₂ üretimi

Kojenerasyon ünitesi kullanımıyla binanın ürettiği toplam CO₂ miktarında %12 oranında azalma meydana gelmiştir. Enerji maliyetlerinde meydana gelen azalmaya oranla, bina CO₂ üretimi daha düşük seviyede kalmıştır. Bunun sebebi elektriğin fosil yakıt olan doğalgaz kullanılarak üretilmesidir. Şekil 5.20’de paket kojenerasyon uygulaması ile primer enerji kullanımının sebep olduğu bina CO₂ üretimine ilişkin grafiğe yer verilmiştir.



Şekil 5.20 : Kojenerasyon ile primer enerjiye göre CO₂ üretimi

Binada önerilen paket kojenerasyon ünitesi kullanılması durumunda, doğalgaz kaynaklı CO₂ üretimi %75 oranında artmış, elektrik enerjisi kaynaklı CO₂ üretimi ise %92 oranında azalmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji ekonomisi yapan, sürdürülebilir enerji kullanan ve sürdürülebilir bir çevre için kullanılan fosil yakıt tüketimini en aza indiren binalara sürdürülebilir bina adı verilmektedir.

Günümüz koşullarında sürdürülebilir binaların ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Ancak bu tip binalarda enerji maliyetleri azalmaktadır. Binalarda uygulanabilecek sürdürülebilir yaklaşımların geri ödeme süreleri, tüketilen enerji miktarlarını azaltma oranına göre değişkenlik gösterebilmektedir.

Sürdürülebilir bina yaklaşımında üç ana fikir bulunmaktadır. Bunlar binanın mimari planlanmasında alınabilecek önlemler, binada kullanılan HVAC ve diğer enerji kullanan sistemlerinin verimlerini artırmaya yönelik önlemler ile binada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması biçiminde sıralanabilir.

Referans bina ve önerilen alternatifler için önceki bölümlerde detaylı olarak verilen maliyet ve neden olunan karbondioksit emisyonları Çizelge 6.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.1 : Sistem alternatifleri özet sonuçları

Alternatif	İlk Yatırım Maliyeti (TL)	Yıllık Enerji Maliyeti (TL/yıl)	Yıllık CO₂ Emisyonu (ton CO₂/yıl)
0	Referans	477.817	892
1	33.976	458.584	846
2	52.852	451.183	832
3	168.550	454.093	849
4	202.389	433.063	813
5a	Referans	489.147	914
5b	Referans	476.318	891
5c	Referans	483.387	906
6	73.600	439.979	798
7	43.000	452.711	820
8	114.000	463.209	854
9	239.000	447.910	813
10a	6.400.000	271.368	541
10b	7.040.000	174.336	373
11	1.507.500	300.260	792

Şekil 6.1’de mimari ve HVAC sisteminde alınabilecek önlemlerin ilk yatırım maliyetlerine karşılık gelen yıllık enerji maliyetleri grafik olarak verilmiştir.

Alternatiflerin ilk yatırım maliyetlerinin artmasıyla yıllık enerji maliyetlerinde azalan bir eğilim olduğu göze çarpmaktadır. Şekil 6.1’de verilen grafiğe bakılarak üç tane eğri uyandırılabilir. Bunlardan birincisi, bina dış cephe camları ile mevcut HVAC sisteminin değiştirilmesi alternatiflerinin üzerinde yer aldığı eğri, ikincisi ise binaya izolasyon uygulanması ve mevcut HVAC sisteminin iyileştirilmesi alternatiflerinin üzerinde yer aldığı eğri olabilir. Üçüncü eğri ise uzun vadede fizibil gözükten kojenerasyon ile fotovoltaik uygulamalarının üzerinde bulunduğu eğri olmaktadır.

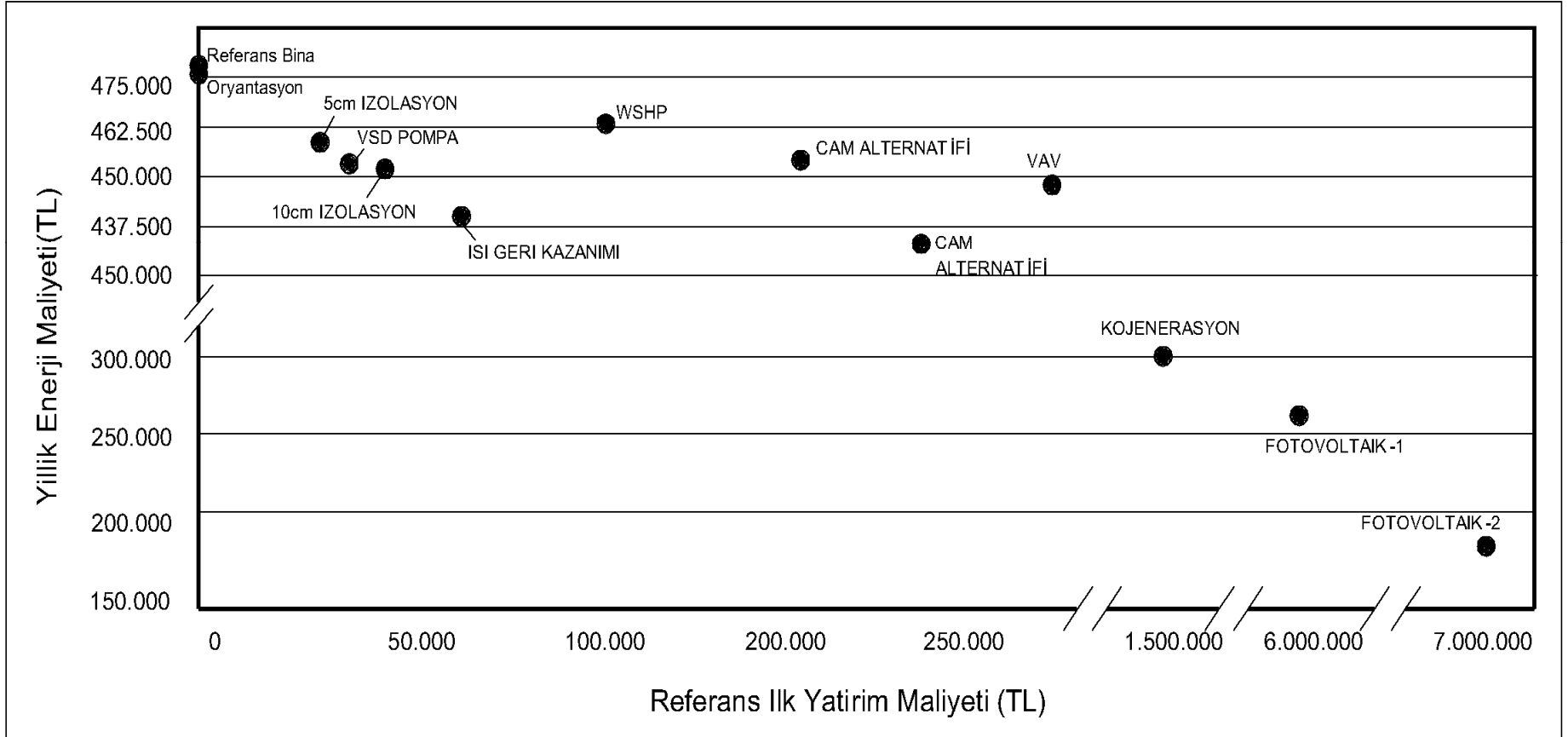
Birinci grupta yer alan alternatifler daha düşük ilk yatırım maliyetleri ile aynı oranda sürdürülebilirlik kalitesini yakalayabilmektedirler. Mimari perspektiften bakılacak olursa, bina dış duvar alanının cam alanına oranının düşük seviyede olmasından dolayı cam alternatiflerinin ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Bu sebepten mimari cam alternatifleri ikinci grupta yer almıştır.

Üçüncü grupta yer alan alternatifler günümüz koşullarında ekonomik değillerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması alternatifleri günümüzde oldukça pahalıdır. Elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretildiği kojenerasyon sistemleri ise yenilenebilir enerji sistemlerine göre nispeten daha ucuz sistemlerdir.

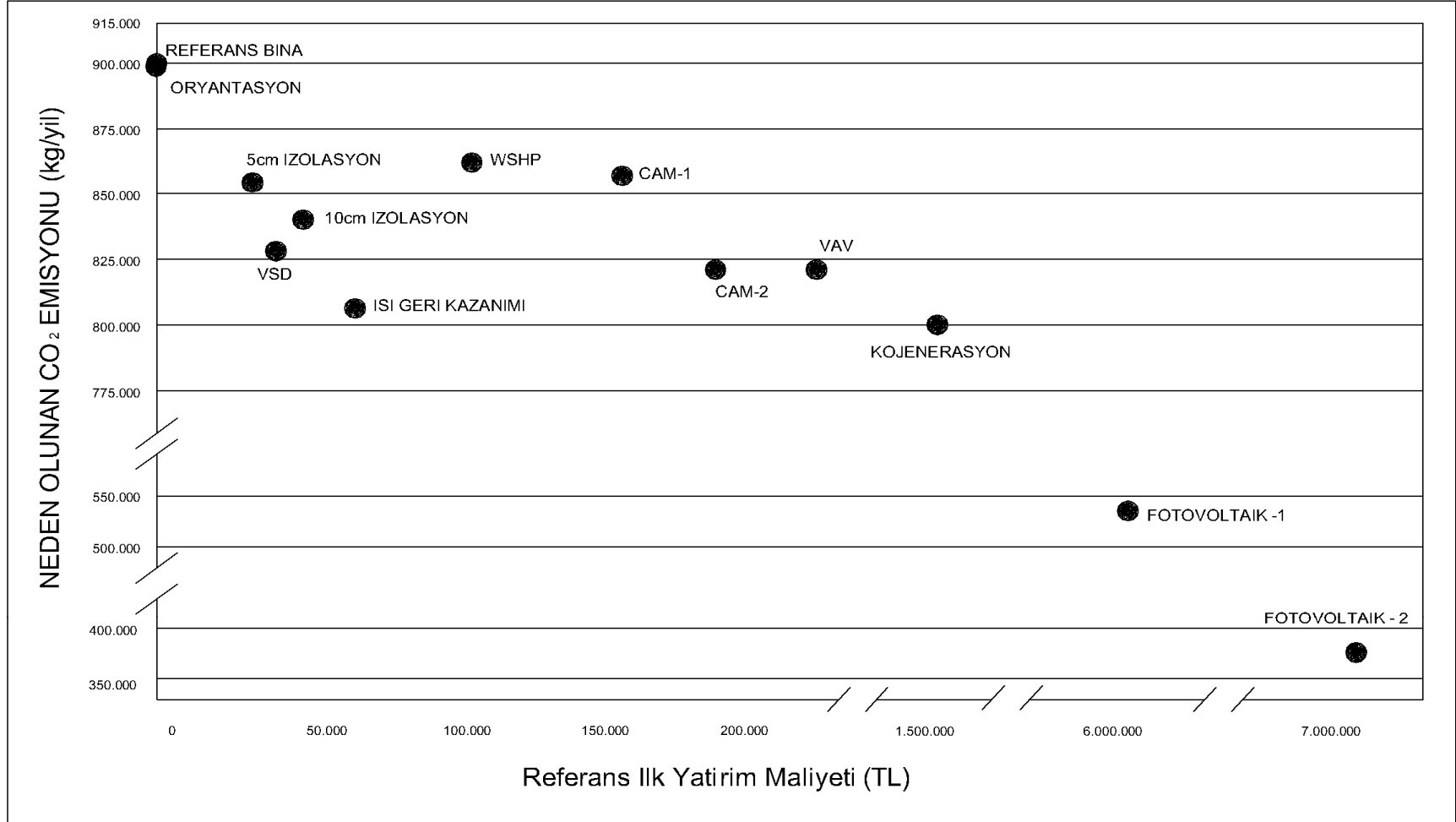
Şekil 6.2’de, alternatiflerin ilk yatırım maliyetlerine karşılık gelen yıllık CO₂ üretim miktarları grafik olarak verilmiştir.

Önerilen HVAC yaklaşımlarıyla, sadece HVAC sisteminin neden olduğu CO₂ emisyonlarında %17, toplam bina CO₂ emisyonlarında ise, %11 oranında tasarruflar sağlanabilmektedir. Bu hususta, klima santrallerinde ısı geri kazanımı yapılması alternatifi hem ilk yatırım maliyeti, hem enerji maliyetleri , hem de bina CO₂ emisyonu açısından oldukça avantajlıdır.

Fotovoltaik sistem önerileri referans bina için oldukça yüksek bir ilk yatırım maliyetine sahip olsalar da bina CO₂ üretimi söz konusu olduğunda en iyi alternatifler olmaktadır. Özellikle ihtiyaç olmadığı zamanlarda şebekeye elektrik satabilen sistem sürdürülebilirlik anlamında en iyi sistem olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 6.1 : İlk yatırım maliyetine karşılık gelen yıllık enerji maliyeti

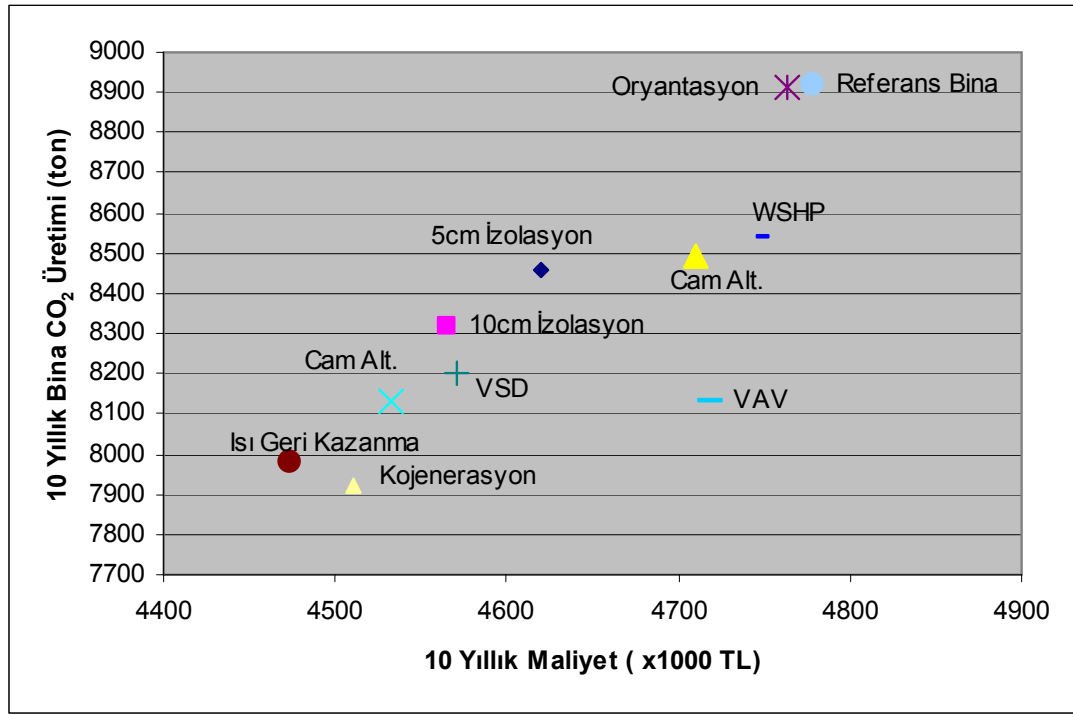


Şekil 6.2 : İlk yatırım maliyetine karşılık gelen bina CO₂ üretimi

Kojenerasyon sistemi ile de enerji maliyetlerinde ciddi oranlarda tasarruf edilebilmektedir. Ancak binanın neden CO₂ üretimi dikkate alındığında aynı oranlar söz konusu değildir.

Bina CO₂ üretiminde fotovoltaik uygulamaları ile %58 oranında tasarruf sağlanabiliyor iken kojenerasyon uygulaması ile bu oran %12 seviyesindedir. Önerilen kojenerasyon ünitesinde elektrik, doğalgaz yakılarak, fotovoltaik sistemde ise güneşten elde edilmektedir.

On yıllık maliyete karşılık gelen on yıllık karbondioksit emisyonu ilişkilendirildiğinde azalan bir eğri göze çarpmaktadır. Maliyeti aşağı çeken alternatifler sürdürülebilirlik kalitesi açısından da iyi durumda olmaktadır. Öte yandan fotovoltaik sistem uygulaması 10 yıllık maliyetler dikkate alındığında da ekonomik olamamaktadır.



Şekil 6.3 : Alternatifler için 10 yıllık maliyete karşılık gelen bina CO₂ üretimi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda kullanımı pahalı fakat sürdürülebilir yaklaşımlardır. Bu tip sistemlerin enerji maliyetleri de düşüktür. Hükümetler tarafından vergi indirimleri veya krediler ile teşvik edilmesi gerekmektedir.

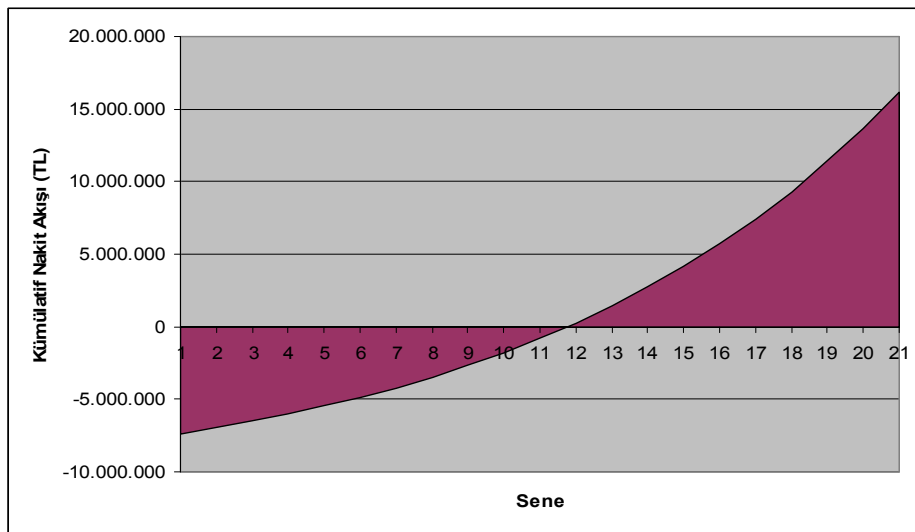
Önerilen bir kaç alternatif, referans bina için aynı anda uygulanabilir. Örneğin mimaride alınacak izolasyon ve cephe camlarının iyileştirilmesinin ardından, daha

verimli HVAC sistemleri kullanılabilir. Ayrıca, maddi imkanlar el verdiği sürece, elektrik üretiminde kojenerasyon veya fotovoltaik sistem uygulamalarından da yararlanılabilir.

Referans bina için 10cm kalınlığında izolasyon, üçüncü cam cephe, ısı geri kazanımı ve fotovoltaik sistem alternatifleri birlikte uygulandığı durumda , toplam bina CO₂ emisyonu yılda 127 tona düşmektedir. Halbuki referans bina CO₂ emisyonu 892 tondur. Dolayısıyla referans binada önerilen alternatifler aynı anda kullanılırsa; 7.350.000 TL ilk yatırım maliyetine karşılık olarak, toplam bina CO₂ emisyonununda %86 oranında tasarruf edilebilmektedir. Aynı oran, bina yıllık enerji maliyetleri için de geçerli olmaktadır. Sistemin basit geri ödeme süresi ise 18 yıla inmektedir. Enerji maliyetlerindeki artış dikkate alındığında ise sistem için kümülatif nakit akışı Şekil 6.4'te verildiği gibi olmaktadır.

Çizelge 6.2 : Alternatif 2,4,6,10b birlikte kullanımı halinde özet tablo

	Alternatif -0 Referans Bina	Alt. 2-4-6-10a
Yatırım Maliyeti (TL)	-	7.350.000
Enerji Maliyeti (TL/yıl)	477.817	66.980
CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)	892	127
Basit G.Ö.S. (yıl)	-	18
Karışık G.Ö.S. (yıl)	-	11,8



Şekil 6.4 : Alternatif 2,4,6,10b birlikte kullanımı halinde kümülatif nakit akışı

Bu alışma, bir ofis binası için, İstanbul iklim koşullarında ve kullanım sıcak suyu dikkate alınmadan yapılmıştır. Aynı alışma, otel, konut, alışveriş merkezleri farklı kullanım amacına sahip binalar için, Türkiye'nin farklı iklim koşullarında, ve kullanma sıcak suyu dikkate alınarak yapılabilir. Böylelikle, farklı kullanım amaçlı binalarda ve iklimlerde sürdürülebilirliğin maliyetinin ne derece farklılaştığı ile kullanım sıcak suyunun etkisi de görülebilir. Ayrıca toprak kaynaklı ısı pompası, akıt pili ile elektrik ve ısıtma ihtiyacının karşılanması gibi alternatifler ile de benzer çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Anonim.**, 2008. Key world energy statistics, International Energy Agency Report, Paris.(<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/key_stats_2008.pdf> , Ocak 2009)
- [2] **Anonim.**, 2007. Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri, TEİAŞ, Ankara. (<http://www.teias.gov.tr/ist2007/index.htm>, Kasım 2008).
- [3] **Carrier**, 2006. Hourly Analysis Program v4.30, *Carrier*, USA.
- [4] **Eskin, N. and Türkmen, H.**, 2008. Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey, *Energy and Buildings*, **40**, 763-773.
- [5] **Dalton, G.J. , Lockington, D.A. and Baldock, T.E.**, 2009. Case study feasibility analysis of renewable energy supply options for small to medium-sized tourist accommodations, *Renewable Energy*, **34**, 1134-1144.
- [6] **Pehnt, M.**, 2006. Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies, *Renewable Energy*, **31**, 55-71.
- [7] **Ren, H. , Gao, W. and Ruan, Y.**, 2009. Economic optimization and sensitivity analysis of photovoltaic system in residential buildings, *Renewable Energy*, **34**, 883-889.
- [8] **Li, D., Lam, T. and Chan, W.**, 2009. Energy and cost analysis of semi-transparent photovoltaic in office buildings, *Applied Energy*, **86**, 722-729.
- [9] **Pan, Y., Yin, R. and Huang, Z.**, 2008. Energy modeling of two office buildings with data center for green building design, *Energy and Buildings*, **40**, 1145-1152.
- [10] **Cheung, C.K., Fuller, R. and Luther, M.**, 2005. Energy-efficient envelope design for high-rise apartments, *Energy and Buildings*, **37**, 37-48
- [11] **Possidente, R., Roselli, C. and Sasso, M.**, Experimental analysis of micro-cogeneration units based on reciprocating internal combustion engine, *Energy and Buildings*, **38**, 1417-1422.

- [12] **Dalton, G.J. , Lockington, D.A. and Baldock, T.E.,** 2009. Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel, *Renewable Energy*, **34**, 955-964.
- [13] **Dalton, G.J. , Lockington, D.A. and Baldock, T.E.,** 2008. Feasibility analysis of stand-alone renewable energy supply options for a large hotel, *Renewable Energy*, **33**, 1475-1490.
- [14] **Akaryıldız, E. ve Ergin, G.A.,** 2000. Merkezi klima sistemlerinin karşılaştırılması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **58**, 65-72.
- [15] **İnanıcı, M. N. and Demirbilek, F. N.,** 2000. Thermal performance optimization of building aspect ratio and south window size in five cities having different climatic characteristics of Turkey, *Building and Environment*, 41-52.
- [16] **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).
- [17] **Langmald, J.** 2004. Choosing building services, a practical guide to system selection, *BSRIA Guide*, London.
- [18] **Pennycook, K.** 2008. The illustrated guide to renewable technologies, *BSRIA Guide*, London.
- [19] **Bayraktar, M. ve Yılmaz, Z.,** 2008. Bina enerji tasarrufunda pasif akıllılığın önemi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **103**, 5-15.
- [20] **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,** 2008. Binalarda enerji performansı yönetmeliği, Ankara.
- [21] **Küçükçalı, R.** 2005. Enerji Ekonomisi, *Isısan Çalışmaları* ,No.351, İstanbul.
- [22] **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,** 2008. Binalarda ısı yalıtımı yönetmeliği, Ankara.
- [23] **Anonim,** 2002. Directive 2002/91/EC of the european parliament and of the council on the energy performance of buildings, EU.
- [24] **TS-825,** 2008. Binalarda ısı yalıtım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [25] **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,** 2008. Enerji verimliliği kanunu, Ankara.
- [26] **Crawley, D., Hand, J., Kummert, M., Griffith, B.** 2005. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, *A Joint Report for Department of Energy, USA*.

- [27] **ASHRAE Standard 90.1** , 2007. Energy Standart for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, *American Society of Heating, Ventilation and Air Conditioning Engineers*, Atlanta,GA.
- [28] **DOE**. 2008. E-Quest quick energy simulation tool v3.60, *Department of Energy*, USA.
- [29] **Retscreen**. 2008. Retscreen Clean energy project analysis software v4.0, *Natural Resources*,Canada.
- [30] **ASHRAE Standard 62.1** , 2007. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, *American Society of Heating, Ventilation and Air Conditioning Engineers*, Atlanta,GA.
- [31] **Austin, B.** 2004. 5 minute guide on variable air volume systems, *ARUP Techical Guides*, London.
- [32] **Anonim**, 2005. Clean energy project analysis, retscreen engineering and cases textbook, photovoltaic project analysis, Ministry of Natural Resources, Canada.
- [33] **Rosemary, R., and Roper, M.** 2000.Understanding building integrated photovoltaics, *CIBSE TM25*, London.
- [34] **Thorne, A.** 2006. Renewable energy sources for buildings, *CIBSE TM38*, London.
- [35] **Anonim** 2009. California distributed energy resoruce guide, *California Energy Commission*, California USA.
- [36] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi** , 2009. Elektrik işleri etüt idaresi resmi web sitesi, (<<http://www.eie.gov.tr/>> , Ocak 2009)
- [37] **Anonim** 2009. Kojenerasyon nedir?, *Türkiye Kojenerasyon Derneği*, İstanbul (<<http://www.kojenerasyon.com/>> , Ocak 2009)
- [38] **Anonim** , <<http://www.sokratherm.de>> , alındığı tarih Aralık 2008.
- [39] **Linsell, D. and Freeman, I.** 1999. Small-scale combined heat and power for buildings, *CIBSE AM12*,London.
- [40] **Fisher, J., Jessop, C., McGuire, K. and Waddelove, A.** 2007. Review of microgeneration and renewable energy technologies, *NHBC Foundation*, Amersham.
- [41] **Özdemir, B.B.**, 2005. Sürdürülebilir çevre için binaların enerji etkin pasit sistemler olarak tasarlanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [42] **Oral, G.K.**, 2008. Sağlıklı binalar için enerji verimliliği ve ısı yalıtımı, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **108**, 24-33.
- [43] **Anonim**, 2000. Energy use in offices, Energy Consumption Guide 19, *Best Practice Programme*, U.K..
- [44] **USGBC**, 2008. U.S. Green Building Council, Leadership in energy and environmental design green building rating system, U.S.
- [45] **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 2008. İnşaat ve tesisat birim fiyat tarifleri, Ankara.
- [46] **Isısan A.Ş.** 2008-2009. Kişisel görüşme.
- [47] **Arifel A.Ş.** 2008-2009. Kişisel görüşme.
- [48] **WILO A.Ş.** 2009. Kişisel görüşme.
- [50] **Arısoy, A., Öner, F. ve Uluçay, U.**, 2008. Binalarda sürdürülebilir enerji kullanımı ve ekonomik optimizasyon, *TTMD 8. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu*, İstanbul, 12-14 Mayıs, 366-380.
- [51] **Url** <http://www.trakyacam.com.tr/Mimari_Camlar/tr/urunler.php> , alındığı tarih 26.09.2008.

EKLER

- EK A.1 : Fotovoltaik Sistem Kümülatif Nakit Akışı**
- EK A.2 : Paket Kojenerasyon Sistemi Kümülatif Nakit Akışı**
- EK A.3 : Bina Enerji Kimlik Belgesi**
- EK A.4 : Alternatif – 9 VAV Sistemi Ekipman Fiyatları**
- EK A.5 : Alternatif – 8 WSHP Sistemi Ekipman Fiyatları**

EK A.1**Çizelge A.1 : Fotovoltaik sistem kullanımıyla kümülatif nakit akışı**

Yıl	Alternatif 10a		Alternatif 10b	
	Tasarruf (TL)	Kümülatif Toplam (TL)	Tasarruf (TL)	Kümülatif Toplam (TL)
0	-6400000	-6400000	-7040000	-7040000
1	208800	-6191200	306684	-6733316
2	229680	-5961520	337352	-6395964
3	252648	-5708872	371088	-6024876
4	277913	-5430959	408196	-5616680
5	305704	-5125255	449016	-5167664
6	336274	-4788981	493918	-4673746
7	369902	-4419079	543309	-4130436
8	406892	-4012187	597640	-3532796
9	447581	-3564605	657404	-2875392
10	492339	-3072266	723145	-2152247
11	541573	-2530692	795459	-1356788
12	595731	-1934962	875005	-481782
13	655304	-1279658	962506	480723
14	720834	-558823	1058756	1539480
15	792918	234094	1164632	2704112
16	872209	1106304	1281095	3985207
17	959430	2065734	1409205	5394412
18	1055373	3121107	1550125	6944537
19	1160911	4282018	1705138	8649674
20	1277002	5559020	1875651	10525326
21	1404702	6963722	2063217	12588543
22	1545172	8508894	2269538	14858081
23	1699689	10208583	2496492	17354573
24	1869658	12078242	2746141	20100714
25	2056624	14134866	3020755	23121470

EK A.2

Çizelge A.2 : Paket kojenerasyon sistemi kullanımıyla kümülatif nakit akışı

	Alternatif 11	
Yıl	Tasarruf (TL)	Kümülatif Toplam (TL)
0	-1507500	-1507500
1	179774	-1327726
2	197751	-1129975
3	217527	-912448
4	239279	-673169
5	263207	-409962
6	289528	-120434
7	318481	198046,7
8	350329	548375,3
9	385362	933736,9
10	423898	1357635
11	466287	1823922
12	512916	2336838
13	564208	2901046
14	620629	3521675
15	682691	4204366
16	750961	4955327
17	826057	5781383
18	908662	6690046
19	999529	7689574
20	1099481	8789056

EK A.3

Ülkemizde Aralık 2009 ayında yürürlüğe girecek olan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği uyarınca binalar için düzenlenmesi öngörülen Bina Enerji Kimlik belgesi Şekil A.1’de verilmiştir.

Şekil A.1 : Bina Enerji Kimlik Belgesi

ENERJİ KİMLİK BELGESİ			
Belge No : Bina tipi : İnşaat yılı : Kapalı Kullanma alanı : Ada, Parsel : Adres :		Tarih : Belgeyi Düzenleyen : Oda Sicil No : Belgenin Son Geçerlilik Tarihi : İmza :	
Mülk sahibi : İsim : Adres :		Müsterek tesisatların sahibi (gerekliyse): İsim : Adres :	
Enerji tipine göre yıllık tüketimler			
		Nihai Enerji tüketimleri	Birincil Enerji tüketimleri
Enerji Kullanım Alanı		kWsaat	kWsaat
Isıtma :			
Sıhhi sıcak su :			
Soğutma :			
Aydınlatma :			
TOPLAM :			
Isıtma, sıhhi sıcak su üretimi, soğutma ve aydınlatma için enerji tüketimleri (birincil enerji olarak)		Isıtma, sıhhi sıcak su üretimi, soğutma ve aydınlatma için sera etkisi gazı (SEG) emisyonları	
Nihai tüketim:kWsaat/ m ² .yıl		Emisyon salımı:kg eşd. CO ₂ / m ² .yıl	
Tasarruflu Bina Enerji Tüketimi Yüksek Bina	Bina kWh / m ² .yıl	SEG Emisyonu Düşük Bina SEG Emisyonu Yüksek Bina	Bina kg CO ₂ / m ² .yıl

EK A.4

Çizelge A.3 : Referans FCU sistemi ilk yatırım maliyeti

Referan FCU Sistemi						
Ana Ekipmanlar						
ISITMA		Açıklama	Fiyat		Toplam	
Kazan		1400kW	11500	€	657500	€
Brülör		1400kW	7500	€		
Primer Pompalar			8000	€		
Sekonder Pompalar			15000	€		
Diğer			2500	€		
Baca			5000	€		
SOĞUTMA						
Chiller A/C		2 x 1150 kW	150000	€		
Primer Pompalar			30000	€		
Sekonder Pompalar			25000	€		
Diğer			5000	€		
HAVALANDIRMA						
Klima Santralleri		3 Ad.	92000	€		
Mahal Şartlandırma						
4 Borulu FCU Birimi		360 Ad.	306000	€		
Metraj						
Isıtma Borulama			20000	€	157500	€
Soğutma Borulama			50000	€		
Havalandırma Kanal			40000	€		
İzolasyon Borulama			40000	€		
İzolasyon Kanal			7500	€		

EK A.5**Çizelge A.4 : Alt. – 9 VAV sistemi ilk yatırım maliyeti**

Alternatif - 9					
VAV Sistemi için Gerekli Ekipman Fiyatları					
ISITMA		Açıklama	Fiyat		Toplam
Kazan		1100 kW	5750	€	834000 €
Brülör		1100 kW	3750	€	
Primer Pompalar			4000	€	
Sekonder Pompalar			8000	€	
Diğer			2500	€	
Baca			5000	€	
SOĞUTMA					
Chiller A/C		2 x 1300kW	150000	€	
Primer Pompalar			30000	€	
Sekonder Pompalar			25000	€	
Diğer			5000	€	
HAVALANDIRMA					
Klima Santralleri VSD		7 Ad.	235000	€	
Mahal Şartlandırma					
VAV KUTUSU		360 Ad.	360000	€	
VAV Sistemi Metraj					
Isıtma Borulama			10000	€	170000 €
Soğutma Borulama			25000	€	
Havalandırma Kanal			80000	€	
İzolasyon Borulama			40000	€	
İzolasyon Kanal			15000	€	

EK A.6

Çizelge A.5 : Alternatif – 8 WSHP sistemi ilk yatırım maliyeti

Alternatif - 8					
WSHP İçin Gerekli Ekipman Fiyatları					
ISITMA		Açıklama	Fiyat		Toplam
Kazan		1100 kW	11500	€	771500 €
Brülör		1100 kW	7500	€	
Primer Pompalar			2000	€	
Sekonder Pompalar			4000	€	
Diğer			2500	€	
Baca			5000	€	
SOĞUTMA					
Soğutma Kulesi		2600 kW	180000	€	
Primer Pompalar			6000	€	
Sekonder Pompalar			10000	€	
Diğer (Eşanjör)			10000	€	
HAVALANDIRMA					
Klima Santralleri		3 Ad.	92000	€	
WSHP Terminal Üniteleri					
WSHP İç Üniteleri		126 Ad.	441000	€	
WSHP Sistemi İçin Gerekli Ekipman Fiyatları					
Soğutma Borulama			40000	€	107500 €
Havalandırma Kanal			40000	€	
İzolasyon Borulama			20000	€	
İzolasyon Kanal			7500	€	

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Barış YILMAZ
Doğum Yeri ve Tarihi:	İstanbul – 04.06.1984
Lise:	Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi (2002)
Lisans Üniversite:	İstanbul Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi – Makina Mühendisliği Bölümü (2006)
Çalıştığı Kurumlar :	Arup Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. Mekanik Tesisat Proje Mühendisi (2006-)