

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OFİS BİNALARINDA YILLIK ENERJİ TÜKETİMİNİ AZALTAN
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ VE PASİF YÖNTEMLERİN ENERJİ
İHTİYAÇLARINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cengiz ÖREN

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Isı Akışkan

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OFİS BİNALARINDA YILLIK ENERJİ TÜKETİMİNİ AZALTAN
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ VE PASİF YÖNTEMLERİN ENERJİ
İHTİYAÇLARINA ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Cengiz ÖREN
(503061124)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nurdil ESKİN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Sabiha YILDIZ (YTÜ)
Prof. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Enerjinin insanoğlu için vazgeçilemez bir unsur olduğu günümüzde, bu enerjiyi temin edecek kaynakların giderek tükenmekte olduğu bir gerçektir. Kişi ve toplum bazında bu duruma çare olarak enerji tasarrufuna gitmek her zaman gündemde olmakla birlikte çoğu kez uygulamadan uzak kalmıştır.

Enerjiyi yoğun kullanan toplumlar aynı zamanda çevre ve ekosistemin dengesini önemli ölçüde bozmuştur. Sanayi devrimi ile başlayan bilinçsiz enerji tüketiminin sonuçları son yıllarda iklim üzerindeki etkiyi gittikçe şiddetlendirmiştir. Bu doğrultuda alınan ve alınacak önlemler gelecek nesillerin sorunsuz bir şekilde yaşayabilmesi için oldukça önemlidir. Bahsi geçen önlemlerin en önemlisi enerjiyi verimli kullanmak olacaktır. Bu sebeple binalarda enerji tüketimini etkileyen bir çok parametrenin ele alınıp en uygununun belirlendiği tez kapsamında enerji tasarrufu açısından katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Tez çalışması boyunca benden hiçbir zaman destek ve emeğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Nurdil Eskin'e, bugünlere gelmemi sağlayan ve tez çalışmam boyunca bana gösterdikleri sabırdan dolayı aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2010

Cengiz ÖREN
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Tezin Kapsamı.....	4
1.3. Literatür Taraması.....	5
2. GENEL KAVRAMLAR VE TANIMLAR.....	7
2.1. Yeşil Bina.....	7
2.2. Sürdürülebilirlik.....	9
2.3. Az Enerji Tüketen Yapılar (Low Energy Buildings).....	11
2.4. Dünyada Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik Politikaları.....	13
2.4.1. LEED (Leadership Energy and Environmental Design).....	15
2.4.2. BREEAM (BRE Environmental Assessment Method).....	17
2.4.3. Diğer yeşil bina sertifikalandırma sistemleri.....	17
2.5. Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik Politikaları.....	18
2.5.1. Enerji verimliliği kanunu.....	19
2.5.2. Binalarda enerji performansı yönetmeliği.....	19
2.5.3. Binalarda ısı yalıtım yönetmeliği ve TS 825 standardı.....	20
2.6. Energy Plus.....	21
3. ÖRNEK BİNA TASARIM PARAMETRELERİ.....	23
3.1. Örnek Binanın Fiziksel İncelemesi.....	23
3.2. Örnek Binanın İşletme Şartlarının İncelenmesi.....	28
3.2.1. Mahal konfor sıcaklık değerleri ve uygulama takvimleri.....	28
3.2.2. İç yükler.....	30
3.2.3. İnfiltrasyon (hava sızıntısı), havalandırma ve taze hava ihtiyacı.....	33
3.3. Örnek Binanın HVAC Tasarımının İncelenmesi.....	34
3.4. Örnek Binanın Simülasyon Programı Yönünden İncelenmesi.....	36
4. SİMÜLASYON VE ANALİZ.....	39
4.1. Örnek Bina Analiz Sonuçları.....	40
4.2. Bina Dış Yüzey (Kabuk) Elemanlarının İncelenmesi.....	43
4.2.1. Yalıtım simülasyon ve analizi.....	43
4.2.1.1. Yalıtım malzemeleri ve kalınlık.....	44
4.2.1.2. Yalıtım konumu.....	49
4.2.2. Camlı yüzeylerin simülasyon ve analizi.....	51
4.2.2.1. Cam adedi.....	51

4.2.2.2. Cam kalınlığı.....	53
4.2.2.3. İki cam arasında kullanılan gazın cinsi.....	54
4.2.2.4. İki cam arasındaki gaz boşluğunun kalınlığı.....	55
4.2.2.5. Cam güneş (SHGC) geçirgenliği.....	57
4.2.2.6. Camlı yüzey alanı.....	61
4.2.3. Bina yönü simülasyon ve analizi.....	64
4.2.4. Gölgeleme simülasyon ve analizi.....	65
4.2.5. Gün ışığından faydalanma simülasyon ve analizi.....	74
4.3. Bina İşletme Şartlarının İncelenmesi.....	78
4.3.1. Konfor sıcaklıkları simülasyon ve analizi.....	79
4.3.2. Taze hava miktarı simülasyon ve analizi.....	84
4.3.3. İnfiltrasyon (hava sızıntısı) simülasyon ve analizi.....	86
4.4. Bina Enerji Tüketimini İyileştirecek Pasif Yöntemlerin İncelenmesi.....	88
4.4.1. Gece soğutması (night ventilation) simülasyon ve analizi.....	88
4.4.2. Yeşil çatı (green roof) uygulamasının simülasyon ve analizi.....	90
4.4.3. Hava kontrollü cam (airflow control) simülasyon ve analizi.....	93
4.4.4. Ek pencere (storm window) simülasyon ve analizi.....	95
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR.....	105
EKLER.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	113

KISALTMALAR

ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers
ACH	: Air Change Per Hour (Saatlik Hava Değişimi)
COP	: Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
HVAC	: Heating, Ventilation, Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme)
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
MTPE	: Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
ppm	: Milyonda Bir
ppb	: Milyarda Bir
Ref.	: Referans
TEP	: Ton Petrol Eşdeğeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Atmosferdeki sera gazı miktarının tarihsel değişimi.....	13
Çizelge 2.2 : Yalıtımsız durumda bina bileşenlerindeki ısı kaybı oranları ve TS 825'e göre bu bileşenler için sınır ısı geçirgenlik (U) katsayıları.....	21
Çizelge 3.1 : Örnek binanın fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 3.2 : Bina yapı bileşenlerinin temel özellikleri.....	27
Çizelge 3.3 : Pencere camının temel özellikleri.....	27
Çizelge 3.4 : Bina mahallerine ait iç yükler.....	31
Çizelge 3.5 : Mahal infiltrasyon ve taze hava miktarları.....	33
Çizelge 3.6 : Fan-coil sistemi temel özellikleri.....	35
Çizelge 3.7 : Bina enerji çözümlemesi için yazılımda tanımlanan karakteristikler.....	36
Çizelge 3.8 : İstanbul'a ait coğrafik veriler.....	37
Çizelge 3.9 : İstanbul için sınır iklim değerleri.....	37
Çizelge 4.1 : Örnek bina duvar ve pencere U değerleri ile pencere SHGC değeri.....	40
Çizelge 4.2 : Örnek bina yıllık enerji tüketimi.....	42
Çizelge 4.3 : Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinin ofis binaları için birincil enerji tüketimi sınır değerleri.....	43
Çizelge 4.4 : Analizi yapılan yalıtım malzemeleri ve temel özellikleri.....	44
Çizelge 4.5 : Yalıtım alternatiflerine göre yıllık ısıtma enerjisi tüketimi.....	46
Çizelge 4.6 : Yalıtım alternatiflerine göre kazan kapasiteleri.....	48
Çizelge 4.7 : Alternatif cam tipi ve özellikleri.....	51
Çizelge 4.8 : Cam adedi alternatiflerine göre enerji tüketimleri ve ısıtma tasarrufu.....	52
Çizelge 4.9 : Cam adedi alternatiflerine göre kazan kapasiteleri.....	52
Çizelge 4.10 : Kalınlık yönünden cam alternatifleri ve özellikleri.....	53
Çizelge 4.11 : Alternatif gaz tipleri ve bunlara ait cam özellikleri.....	54
Çizelge 4.12 : Gaz cinsi alternatiflerinin ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi.....	55
Çizelge 4.13 : Farklı gazların kullanıldığı cam tiplerinin ana ekipman kapasitelerine olan etkileri.....	55
Çizelge 4.14 : Gaz boşluğu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve kapasitelere etkileri.....	57
Çizelge 4.15 : Alternatif cam tipleri.....	59
Çizelge 4.16 : Alternatif cam tiplerinin özellikleri.....	59
Çizelge 4.17 : Farklı cam cinslerinin yıllık enerji tüketimlerine olan etkileri.....	60
Çizelge 4.18 : Farklı cam cinslerinin ana ekipman kapasitelerine olan etkileri.....	60
Çizelge 4.19 : Cam tipleri ve özellikleri.....	61
Çizelge 4.20 : Pencere – Bina Alan Oranı alternatifleri.....	61
Çizelge 4.21 : Pencere – Bina Alan Oranlarına göre HVAC yükleri.....	63

Çizelge 4.22 : Farklı bina konumlarında her yön için toplam pencere yüzey alanları.....	64
Çizelge 4.23 : Gölgeleştirme alternatifleri.....	67
Çizelge 4.24 : Gölgeleştirme alternatiflerine göre HVAC kaynaklı tüketimler....	68
Çizelge 4.25 : Cam tipi ve gölgeleştirme elemanlarının oluşturduğu alternatifler.....	71
Çizelge 4.26 : Cam tipi ve gölgeleştirme elemanlarının oluşturduğu alternatiflere göre yıllık enerji ihtiyaçları ve ekipman kapasiteleri.	73
Çizelge 4.27 : Gün ışığı ile aydınlatmada cam tipi alternatifleri ve özellikleri.....	76
Çizelge 4.28 : Gün ışığı ile aydınlatma alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyacına etkisi.....	77
Çizelge 4.29 : Gün ışığı ile aydınlatmanın ekipman kapasiteleri üzerine etkisi.....	77
Çizelge 4.30 : Konfor içi (ofis açık) ve dışı (ofis kapalı) oda sıcaklık alternatifleri.....	79
Çizelge 4.31 : Konfor içi sıcaklık alternatiflerinin ekipman kapasitesine etkisi.....	81
Çizelge 4.32 : Taze hava miktarına göre enerji ihtiyaçları.....	85
Çizelge 4.33 : Taze hava miktarının ekipman kapasitelerine etkileri.....	85
Çizelge 4.34 : İnfiltrasyon alternatiflerine göre enerji ihtiyaçları.....	87
Çizelge 4.35 : İnfiltrasyon alternatiflerinin kazan kapasitesine etkileri.....	87
Çizelge 4.36 : Gece soğutmasına göre yıllık enerji ihtiyaçları.....	89
Çizelge 4.37 : Hava kontrollü cam alternatiflerine göre yıllık enerji ihtiyaçları....	94
Çizelge 5.1 : Referans bina parametreleri için seçilen alternatifler.....	102
Çizelge 5.2 : Referans bina için farklı ısı tasarım alternatifleri.....	102
Çizelge 5.3 : Farklı ısı tasarımlara göre yıllık enerji ihtiyaçları ve kapasiteler....	103
Çizelge 5.4 : Enerji kaynakları ve su birim fiyatları.....	104
Çizelge A.1 : Ortalama saatlik çevre sıcaklığı verileri.....	110
Çizelge A.2 : Ortalama saatlik çevre nem verileri.....	111

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Dünyada birincil enerji kaynaklarının yıllara göre tüketimi(MTPE)....	10
Şekil 2.2 : Isıtma yükleri açısından bina tiplerinin karşılaştırılması.....	12
Şekil 2.3 : Uluslararası iklim toplantı ve anlaşmalarının gelişimi.....	14
Şekil 2.4 : A.B.D.'de LEED sertifikası almış bina sayısının yıllara göre artışı.....	16
Şekil 2.5 : Bir bina için LEED'e uygunluk kriterlerinin bazıları.....	16
Şekil 2.6 : Türkiye'de enerji arz ve talebinin gelişimi.....	18
Şekil 3.1 : Analizi yapılan binanın kat planı.....	25
Şekil 3.2 : Bina ısı kaybeden yüzeylerin detayları (a) dış duvar, (b) iç duvar, (c) döşeme, (d) çatı.....	26
Şekil 3.3 : Ofis odaları için ısıtma mevsimi (hafta içi) konfor sıcaklık değerleri...	29
Şekil 3.4 : Ofis odaları için soğutma mevsimi (hafta içi) konfor sıcaklık değerleri.....	29
Şekil 3.5 : Ofis alanları için iç yük oluşturan parametrelerin hafta içi saatlik faaliyet oranları.....	32
Şekil 3.6 : 4 Borulu bir fan-coil sisteminin genel çalışma şeması.....	34
Şekil 3.7 : 4 Borulu fan-coil sisteminin klima santrali.....	35
Şekil 4.1 : Tasarımı yapılan ve programa çizilerek tanıtılan binanın Energy Plus simülasyonu (a) iç görünüm, (b) dış görünüm.....	41
Şekil 4.2 : Enerji tüketim ana gruplarının toplam enerji tüketimindeki payları.....	42
Şekil 4.3 : Yalıtım malzemesi ve kalınlıklarının yıllık ısıtma ihtiyacına etkisi.....	45
Şekil 4.4 : Referans bina için yalıtım kalınlığı değişiminin ısıtma ihtiyacına etkisi.....	45
Şekil 4.5 : Yalıtım malzemesi ve kalınlıklarına göre yatırım maliyetleri.....	47
Şekil 4.6 : Avrupa'daki ülkelerin ortalama duvar yalıtım kalınlık değerleri.....	48
Şekil 4.7 : Yalıtım konumunun yıllık ısıtma ihtiyacına etkisi.....	49
Şekil 4.8 : Yalıtımın konumuna göre bina duvar yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (a) iç yüzey, (b) dış yüzey sıcaklığı.....	50
Şekil 4.9 : Cam adedinin ısıtma ihtiyacına olan etkisi.....	52
Şekil 4.10 : Cam kalınlığının yıllık ısıtma ihtiyacına olan etkisi.....	53
Şekil 4.11 : Farklı gaz cinsleri kullanılan camların ısıtma ve soğutma yüküne etkisi.....	54
Şekil 4.12 : Camlar arası gaz boşluğunun pencere U değerine etkisi.....	56
Şekil 4.13 : Çift camlı pencerede camlar arası boşluğun ısıtma ihtiyacına etkisi...	56
Şekil 4.14 : Cam alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	59
Şekil 4.15 : Pencere – Bina Alan Oranlarının yıllık enerji ihtiyaçlarına olan etkileri.....	62
Şekil 4.16 : Farklı bina konumlarının yıllık enerji ihtiyaçlarına olan etkileri.....	64
Şekil 4.17 : Raf tipi gölgelendirme elemanı.....	65
Şekil 4.18 : Jaluzi tipi gölgelendirme elemanı (a) Yan Görünüş, (b) Perspektif Görünüş.....	66

Şekil 4.19 : Gölgeleştirme alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	68
Şekil 4.20 : Alternatif 3 için raf “B” uzunluğunun yıllık soğutma ihtiyacına etkisi.....	69
Şekil 4.21 : Isıtma döneminde kullanılmayan gölgeleştirmenin ihtiyaçlara etkisi.....	70
Şekil 4.22 : Cam tipi ve gölgeleştirme elemanlarının oluşturduğu alternatiflerin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	72
Şekil 4.23 : Gün ışığı ile aydınlatmada algılayıcı referans noktalarının konumu.....	74
Şekil 4.24 : Referans bina için gün ışığı ile aydınlatmanın enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	75
Şekil 4.25 : Gün ışığı ile aydınlatmada farklı cam tiplerinin aydınlatma ve diğer yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	76
Şekil 4.26 : Konfor içi sıcaklık alternatiflerinin (ısıtma) ısıtma ihtiyacına etkisi...	80
Şekil 4.27 : Konfor içi sıcaklık alternatiflerinin (soğutma) soğutma ihtiyacına etkisi.....	80
Şekil 4.28 : Konfor dışı sıcaklık alternatiflerinin (ısıtma) ısıtma ihtiyacına etkisi.	81
Şekil 4.29 : Isıtma döneminde konfor dışı sıcaklık alternatiflerinin konfor sıcaklığına ulaşamayan toplam saat miktarına etkisi.....	82
Şekil 4.30 : Konfor dışı sıcaklık alternatiflerinin (soğutma) soğutma ihtiyacına etkisi.....	83
Şekil 4.31 : Soğutmada konfor dışı sıcaklık alternatiflerinin konfor sıcaklığına ulaşamayan toplam saat miktarına etkisi.....	83
Şekil 4.32 : Taze hava miktarı alternatiflerinin enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	85
Şekil 4.33 : İnfiltrasyon alternatiflerinin enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	86
Şekil 4.34 : Gece soğutmasının soğutma ve fan enerji ihtiyacına etkisi.....	89
Şekil 4.35 : Gece soğutmasında toprak kaynağının kullanılmasının soğutmaya etkisi.....	90
Şekil 4.36 : Isı adası etkisi ile farklı bölgelerdeki sıcaklık değişimleri.....	91
Şekil 4.37 : Yeşil çatı uygulaması.....	92
Şekil 4.38 : Yeşil çatı uygulamasının yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	92
Şekil 4.39 : Hava kontrollü camlarda hava akış yönü alternatifleri.....	93
Şekil 4.40 : Hava kontrollü cam alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	94
Şekil 4.41 : Ek pencere (storm window).....	95
Şekil 4.42 : Ek pencere elemanının yıllık ısıtma ihtiyacına etkisi.....	95
Şekil 5.1 : Farklı ısı tasarım alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.....	103
Şekil 5.2 : Farklı ısı tasarım alternatiflerinin yıllık işletme maliyetlerine etkisi....	104

SEMBOL LİSTESİ

A	: Raf tipi gölgelendirme elemanının genişliği (m)
A_l	: Jaluzi ile pencere arasında hava akımı için sol yanal açıklık (m ²)
A_r	: Jaluzi ile pencere arasında hava akımı için sağ yanal açıklık (m ²)
A_{bot}	: Jaluzi ile pencere arasında hava akımı için alt açıklık (m ²)
A_{top}	: Jaluzi ile pencere arasında hava akımı için üst açıklık (m ²)
A_{toplam}	: Bina içi iklimlendirilen toplam yüzey alanı (m ²)
A_h	: Jaluzi üzerindeki boşluk alanı (m ²)
A_z	: Mahal zemin iç yüzey alanı (m ²)
B	: Raf tipi gölgelendirmenin duvar yüzeyinden dışarıya uzaklığı (m)
h	: Saat
m	: Uzunluk (metre)
N	: ACH cinsinden infiltrasyon miktarı (ACH)
P_z	: Mahal başına düşen kişi sayısı
Q'	: Bina birim hacmi için yıllık ısıtma enerjisi tüketimi (kWh/m ³)
Q_{yıl}	: Binanın yıllık ısıtma enerjisi tüketimi (kWh)
R_a	: Camın yutma oranı
R_r	: Camın yansıtma oranı
R_t	: Camın geçirme oranı
R_m	: Yüzey alanı başına düşen taze hava miktarı (m ³ /s - m ²)
R_p	: Kişi başına düşen taze hava miktarı (m ³ /s)
SHGC	: Solar Heat Gain Coefficient (Güneş Isı Kazanç Katsayısı)
U	: Yapı elemanının toplam ısı geçiş katsayısı (W/m ² K)
V	: Mahallin hacmi
V_{bz}	: Mahalle verilecek taze hava miktarı (m ³ /s)
V_{brüt}	: Bina içi iklimlendirilen toplam hacim (m ³)
V_i	: İnfiltrasyon hacimsel debisi (m ³ /s)
y	: Yıl

OFİS BİNALARINDA YILLIK ENERJİ TÜKETİMİNİ AZALTAN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ VE PASİF YÖNTEMLERİN ENERJİ İHTİYAÇLARINA ETKİLERİ

ÖZET

Azalan enerji rezervlerine rağmen dünya enerji tüketiminde sınırları zorlamaktadır. Bu durum maliyetleri arttırmış olup, hem birey bazında hem de ülkeler bazında büyük sıkıntılara yol açmaktadır. Öte yandan enerjinin üretimi ve kullanımı sürecinde çevre ortama salınan emisyonlar ekolojik dengeyi altüst etmiştir. Bu sebeplerden dolayı, sürdürülebilir bir çevre için enerji tüketiminin azaltılması gerekmektedir.

Günümüzde bir çok sektör yoğun enerji tüketmektedir. Sanayi sektörü ve taşımacılık kadar binalar da önemli birer tüketici olmaktadır. Bu mekanlar artık sadece ısıtma değil ayrıca soğutma ve havalandırmaya da ihtiyaç duymaktadır. Bu bağlamda ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi bir çok faktör enerji ihtiyacını arttırmaktadır. Çalışma kapsamında, önemli enerji tüketimlerine sahip olan bir ofis binası seçilmiştir. Böylece yoğun enerji kullanan bir bina için tüketim analizleri yapılarak sonuçlar irdelenmiştir.

Artan ihtiyaçlara karşı kaynakların azalması ve tüketime bağlı olarak iklim dengesinin bozulması bir dizi tasarrufun gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle tezin ana hedefi olarak bir ofis binası için enerji tüketimini etkileyen parametrelerin incelenmesi yapılmıştır. Günümüz teknolojisi vasıtası ile bu parametreler için en uygun ürünler seçilerek maksimum enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır.

Temel bina için seçilen dört borulu fan-coil sistemi ile bir HVAC tasarımı yapılmıştır. Bu örnek bina yapısı için ısıtma, soğutma, aydınlatma ve HVAC kaynaklı diğer elemanlara (pompa, fan, v.b.) ait enerji tüketimleri hesaplanmış ve bu değerler referans bina sonucu olarak kabul edilmiştir. Bu örnek bina üzerinden enerji tüketimini etkileyen parametreler tek tek incelenerek enerji tasarrufu için en uygun alternatifler belirlenmiştir. Tüm analizler Energy Plus enerji simülasyon programı ile saatlik sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Bina enerji tüketimini etkileyen parametreler dış yüzey elemanları, işletme şartları ve pasif yöntemler olarak üçe ayrılmıştır. Dış yüzey elemanları; duvar bileşenleri ve yalıtımın etkisi, camlı yüzeyler, binanın yönü, gölgelendirme ve gün ışığından faydalanma olmaktadır. İşletme şartları ise, konfor içi ve dışı sıcaklıklar, taze hava ve infiltrasyonun etkisidir. Son olarak incelenen pasif yöntemler bina enerji tüketimini iyileştirmeye yönelik yapılan gece soğutması, yeşil çatı uygulaması, hava kontrollü camlar ve ek cam uygulamasıdır.

Parametrelere ait bir çok alternatif ortaya koyularak bu alternatiflerin doğurduğu tüketim sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bir ofis binası için en tasarruflu haller belirlenmiştir.

ANALYSIS OF PARAMETERS REDUCING THE ANNUAL ENERGY CONSUMPTION AND THE EFFECTS OF PASSIVE METHODS ON ENERGY DEMANDS FOR OFFICE BUILDINGS

SUMMARY

Although the energy sources become less, world pushes the limits at energy consumption. This situation is increased the energy costs and caused a major depression for both individuals and nations. On the other hand, the emissions, which are emitted from production and usage of the energy, cause damages to the ecological balance. For these reasons, reduction of energy consumption is necessary for sustainable environment.

In these days, many sectors are consuming energy intensively. Buildings are an important consumer, besides industrial sector and transportation. Today, these places need not only heating, but also cooling and ventilating. As a result, many factors like heating, cooling, ventilating and lighting are increasing energy demands. In this study, an office building, which has significant energy consumption, was designed for analysis. Thus, consumption analysis were done and results were examined for a high energy building.

Despite increasing needs, decreasing sources and ecological imbalance suggest the necessity of energy saving. For this reason, the main objective of this study was to examine the parameters that affect energy consumption in office buildings. With today's technology, suitable products were selected for these parameters to provide maximum energy saving.

Four pipe fan-coil HVAC system was selected for base office building. For this base building, the energy consumptions of heating, cooling, lighting and other elements (pump, fan, etc.) were calculated and these values were adopted as a result of the reference building. The parameters that affect the base building's energy consumption were examined individually and determined the most appropriate alternatives to energy saving. All analysis were performed by Energy Plus energy simulation software with using hourly temperature data.

The parameters that affect the energy consumption of building were divided into three groups and these are exterior surface elements, operating conditions and passive improvement methods. Exterior surface elements, which affect the energy consumption, are insulation and wall construction, window and glass properties, direction of building, shading and daylighting. Operating conditions are temperature values of building, amount of outdoor air and infiltration. Finally, the passive improvement methods are night ventilation, green roof, airflow control in windows and storm window.

Many alternatives were examined and these alternatives' consumption results were compared. According to conclusions, the most efficient states were determined for office building.

1. GİRİŞ

Dünya yoğun bir enerji tüketimine doğru süratle ilerlemektedir. Gün geçtikçe toplumların enerjiye olan açlığı artmakta, ancak bu ihtiyacı karşılayacak birincil enerji kaynaklarının potansiyelinde ise önemli ölçüde azalma gözlenmektedir. Bu durum sıkıntılı bir görüntü yaratmış olsa da yakın geçmişe kadar enerji tüketiminde tasarrufu göz önüne alan politikalar söz konusu olmamıştır.

Enerjinin, sadece potansiyellerin kullanılabilirliği açısından büyük önem taşıyor olması tam anlamıyla doğru bir düşünce olmamaktadır. Enerji, kaynak sağlaması yanında ülkelerin stratejik politikalarının da önemli bir unsurudur. Enerji kaynakları açısından önemli coğrafi konumda olan ülkeler her dönemde söz sahibi olmakla birlikte önemli krizlere de sebep olmuşlardır. 15 Ekim 1973'teki dünyanın en büyük enerji krizine sebebiyet veren baş aktörler, dönemin petrol üretim pastasının %36,9'una sahip olan Arap ülkeleri ile %23,6'sına sahip OECD'nin kurucu üyesi ABD idi. Dönem sadece enerji kaynağı bulmakta doğan sıkıntılarla boğuşmakla kalmamış, Arap ülkeleri tarafından ambargo uygulanan ülkelerde enflasyonda önemli artışlarla birlikte borsada görülmemiş düşüşler yaşanmıştır. Aynı dönemde enerji darboğazını aşmak için, günümüzde de daha aktif kullanılmaya başlanan yenilenebilir enerji kaynaklarına yoğunluk verilmiştir. Kriz ile yakalanan bu önemli fırsat sıkıntının aşılması ile rafa kaldırılmıştır [1].

Yaşanan petrol kriz iktidar değişikliklerine bile sebep olmuş olsa da, ülkeler, kullanılan fosil kaynaklı enerjinin tükenmesinde yaşanacak aynı senaryoyu bilmelerine karşın enerjiyi çılgınca kullanmaya devam etmişlerdir. 1973 yılında enerji tüketimini karşılamaya yönelik yapılan üretim, tüm dünyada 6115 MTEP iken, 2006 yılında üretim 11741 MTEP değerine ulaşmıştır [2].

Tüketimin artması kadar artan tüketimle ortaya çıkan kirlilik ve meydana gelen önlenemez hasarlar da dünya gündeminde önemli bir tartışma konusu olmaktadır. 11 Aralık 1997 tarihinde imzalanan Kyoto Protokolü ülkelerin bu konudaki girişimlerinin somut bir göstergesi olmuştur. Protokole göre anlaşmayı imzalayacak

lkeler küresel ısınma ve sera gazı etkisini azaltmak için bir dizi önlem almak zorunda bırakılmıştır. Bunun dışında 7 Aralık 2009’da 15.si düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansında, 192 ülkenin katılımı ile küresel ısınma sonucu sıcaklık artışının belli bir sınırdaki tutulması konusunda görüşmeler yapılmıştır [3].

Yapılmakta olan anlaşma ve kongrelerde temel eylem planı, enerji tüketimi sonucu oluşan atık gazın meydana getirdiği sera etkisini azaltmaktır. Bunun için ortaya koyulan en önemli fikir enerjiyi verimli ve etkin kullanmaktır. Bir diğer öneri ise enerjide sıfır emisyonlu yenilenebilir kaynaklara yönelmektir.

Küresel ısınmanın önüne geçmek için en önemli faktör fosil kaynaklı yakıt kullanımını olabildiğince azaltmaktır. İnsan hayatının devamı için çevrenin ve doğal kaynakların sürdürülebilirliği önem kazanmıştır. Ancak bu ısınma doğal sirkülasyonun önüne geçmekte, su kaynakları ve diğer yaşamsal kaynakların süratle tükenmesine yol açmaktadır. Bu durumda ülke yönetimleri kadar bireyler de üzerlerine düşen sorumlulukları yerine getirmek durumundadır.

2006 yılı verilerine göre dünyada, tüketilen doğalgazın %48,1’lik bölümü ile elektriğin %56,7’lik kısmı ticari binalar ve konutlarda tüketilmektedir. Bu durum endüstri dışı binaların oldukça yüksek bir enerji tüketimi yaptıklarını göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri’nde; ticari binalarda, HVAC kaynaklı enerji tüketimi, tüm tüketimin %35’i, aydınlatma ise %24’ kadardır. Konutlarda ise HVAC için harcanan enerji %43, aydınlatma için ise %12 mertebesindedir. Bununla birlikte ABD’de elektrik tüketiminin %65’lik oranı binalar tarafından kullanılmaktadır. Bu tüketimlerin getirisi olan sera gazı emisyonlarının %30’u da binalarca çevreye salınmaktadır [4].

Amerika ve dünya genelinde konutlardaki bu yoğun enerji kullanımı ve sera gazı üretimi, ülkelerin binalarında enerji verimliliğine yönelik bazı girişimlerde bulunmasına yol açmıştır. Bu girişimlerin en başında Amerika Yeşil Bina Konseyi tarafından 1998 yılında faaliyete geçirilen *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)* sertifikalandırma sistemi bulunmaktadır. Bu sistem binaları, enerjiyi verimli kullanan ve evre ile uyumlu, sürdürülebilir bir tasarım haline getirmektedir. Sistemin verimli olmasının ardından dünyada bir çok ülke kendi sertifikalandırma programını oluşturmuştur.

Dünyada enerjiyi verimli kullanmaya yönelik çalışmalar Türkiye'nin de bu konuda belli başlı politikalar izlemesine sebep olmuştur. Bu doğrultuda Enerji Verimliliği Kanunu, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Enerji Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun gibi yasalar belirlenmiştir. Ayrıca binalarda enerji tüketimi için belirli sınırlar getirilmiş ve denetime tabii tutulmuştur.

Enerji verimliliğinin önem kazandığı günümüzde enerjiyi etkin kullanmak adına yapılan çalışmalar simülasyon programları ile optimum seviyeye çıkarılmaktadır. Bir çok özel ve kamu kuruluşu tarafından hazırlanan simülasyon programları ile bina içi enerji tüketimleri belirlenmekte ve en uygun tasarımlar kısa sürede elde edilmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Azalan rezervler ve bunun doğurduğu artan enerji maliyetleri ile küresel ısınmanın önüne geçmek için yapılması gerekenler, enerji alanında mühendislik çözümlerine ihtiyaç duyulduğu gerçeğini ortaya koymuştur. Bu durum enerji tasarrufu açısından bir dizi çalışmanın yapılmasına ve etkin parametrelerin en uygun değerlerde seçilmesine yönelik olacaktır.

Yapılan tez çalışması, İstanbul ilinde konumlandırılmış bir ofis binasının enerji tüketimini etkileyen parametrelerin incelenmesi üzerine olmuştur. Buna göre;

- Bina içi yıl boyunca tüketilen toplam enerjinin hesabı,
- Bina kabuk (duvar, cam, vb.) yapısında farklı opsiyonların ortaya koyduğu sonuçlar,
- Gölgeleme ve gün ışığından faydalanmanın enerji tüketimine etkileri,
- Bina işletme şartlarında yapılacak değişikliklerin etkileri,
- Enerji tüketimini azaltıcı pasif yöntemlerin kullanılabilirliği incelenmiş olup elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Ele alınan inceleme ve karşılaştırmalar sonucunda günümüz teknolojisi ile oluşturulan bir binanın enerji tüketiminin en aza indirgenmesi için tüketime direk etki eden unsurların en uygun şekilde seçilmesi tezin ana hedefidir.

LEED ve benzeri bina enerji performans ve sertifikalandırma programları, yapıların enerji tüketim değerlerinin hesabını dikkate alırken belli bilgisayar programlarının kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu programların en önemlilerinden bir tanesi de tez çalışması boyunca da kullanılan Amerika Enerji Bakanlığı tarafından

hazırlanmış Energy Plus simülasyon programıdır. Program geniş bir içeriğe sahip olmakla birlikte standart enerji hesaplarında göz önüne alınan sabit çevre sıcaklığı ve bunun sebep olduğu hataları bertaraf ederek saatlik sıcaklık değerleri üzerinden tüketim hesaplarını gerçekleştirmektedir.

Tez içeriğinde göz önüne alınan ofis binası için belirlenen çalışma şartları *LEED* sertifikalandırma programı ile *ASHRAE* standartlarına uygun şekilde seçilmiştir. Seçilen binanın bir ofis binası olmasının amacı ise genelde bu tip binaların çalışma periyotlarının biliniyor olması ve önemli mekanik sistemlere sahip olmasıdır. Bu tarz binaların dışındaki konutlarda, sistemlerin aktif çalışma saatleri ya da kullanılan aydınlatmanın kişilerin kontrolünde olması gibi durumlar sonucu doğan simülasyon oluşturma zorlukları, ofis tipi bir binanın seçimini uygun kılmıştır.

1.2. Tezin Kapsamı

Çalışma içerik olarak beş ana başlıktan oluşmaktadır. Birinci kısımda çalışmanın amacı, kapsamı ve literatür araştırması hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde tez çalışması sürecinde yapılan araştırmaların literatürdeki benzerleri hakkında kısaca bilgiler verilmiştir.

İkinci kısım enerji verimliliği ve çevresel önlemler ile ilgili genel kavramlar hakkında bilgiler verilmiştir. Dünyada ve ülkemizde geçerli standartlar, kullanılan simülasyon programının genel hatları, Türkiye'deki enerji mevzuatı ve enerji sertifikalandırma programlarının içeriği temel başlıklardır.

Tezin konusu olan ofis binasının detaylı tanıtımı üçüncü kısmın ana başlığıdır. Bu kısımda binanın duvar, pencere, mimari projesi gibi detayların yanı sıra çalışma saatleri, HVAC detayları ve diğer önemli bina içi parametreler hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü kısım program vasıtası ile sonuçların alındığı ve karşılaştırmaların yapıldığı bölümdür. Bu başlıkta bina için belirlenen değişkenler modellenmiş ve alınan sonuçlar görsel olarak karşılaştırılmıştır.

Son bölüm olan beşinci kısımda ise sonuçlar ve öneriler üzerinde durulmuştur.

1.3. Literatür Taraması

Enerji sektöründe geliştirilen simülasyon programları ile son dönemde enerjiyi yoğun kullanan yapılar için çok sayıda makale ve akademik çalışma yapılmıştır. Enerji yoğunluğunu azaltmayı amaçlayan bu dokümanlar tez çalışması için literatür bilgisi olarak göz önüne alınmıştır. Bunların başında;

J. Fredrik Karlsson ve Bahram Moshfegh [5], yaptıkları çalışmada iki katlı bir ev için enerji tüketimini etkileyen parametreleri incelemişlerdir. Hesaplamada kullanılan ESP-r simülasyon programı ile bina yalıtım kalınlığı, cam için ısı geçirgenlik katsayısı, binanın konumu, işletme şartları (oda sıcaklıkları) ve farklı iklim koşullarının ısıtma enerjisi tüketimi üzerindeki sonuçları irdelenmiştir. Buna göre yalıtım kalınlığının artırılması ve cam için ısı geçirgenlik değerinin düşürülmesi ile ısıtma enerjisi tüketiminin azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca konfor sıcaklığının azaltılması da tasarruf sağlamıştır.

Yiqun Pan, Rongxin Yin ve Zhizhong Huang [6], bir ofis binası için üç farklı enerji modelinin karşılaştırmasını Energy Plus programı yardımı ile yaparak elde edilebilecek tasarruf miktarı ve sonucunda *LEED* sertifikalandırma sisteminden kazanılabilecek puan miktarını incelemişlerdir.

Milorad Bojic ve diğ. [7], bir ev için çeşitli duvar tiplerini inceleyerek bulunulan iklim şartlarına en uygun duvar konstrüksiyonunu bulmayı hedeflemişlerdir. Hesaplamalarda *HTB2* simülasyon programı kullanılarak sonuca gidilmiştir.

Gül Koçlar Oral [8], yaptığı incelemede bir bina için duvar yalıtım kalınlık değerleri, cam tipleri ve ısı geçirgenlik katsayılarının maliyet açısından verdiği sonuçları gözlemlemiştir. Bunun yanı sıra enerji verimliliğini artırıcı önlemler ve iyileştirmelerden söz etmiştir.

Elisabeth Gratia ve Andre de Herde [9], bir ofis binası için, bina şeklinin, yalıtım kalınlıklarının, iç yüklerin, gün ışığı ile aydınlatmanın, pencere boyutlarının ve gölgelendirmenin etkilerini incelemişlerdir.

Nurdil Eskin ve Hamdi Türkmen [10], Türkiye’de farklı iklimde dört bölgeyi baz alarak, bir ofis binasının enerji yüklerini belli parametreler için Energy Plus programı vasıtası ile incelemişlerdir. İncelemenin başlıkları olan parametreler, yalıtım kalınlıkları, cam tipi ve boyutları, dış yüzey boya rengi, gölgelendirme ve

havalandırmadır. İnceleme sonucunda, yalıtım kalınlıklarının artmasının, pencere boyutlarının azaltılmasının, düşük yayınlı çift yada üçlü cam kullanmanın, güneş emilimi düşük renkte boya seçiminin, gölgelendirme elemanının kullanılmasının ve havalandırma miktarının şartlar el verdiği miktarda düşük seçilmesinin enerji tüketiminde önemli miktarda tasarruf sağlayacağı görülmüştür.

İdil Ayçam ve Gönül Sancar Utku [11], farklı malzemelerle üretilen pencere tiplerinin ısı performanslarını incelemiş ve enerji etkin pencere seçimi için çeşitli opsiyonlar sunmuşlardır. Araştırma çerçevesinde, pencere için kullanılan cam tipleri, özellikleri, enerji transferine karşı davranışları ve iklim durumlarına göre seçilmesi gereken pencere tipleri hakkında sonuçlar sunmuşlardır.

M. Macias ve diğ. [12] ile Jens Pfafferott ve diğ. [13], düşük maliyetli pasif soğutma teknikleri hakkında incelemelerde bulunmuşlardır. Bu incelemelerin başında gece soğutması ve doğal havalandırma yapılarak, soğutma yükünün karşılandığı mevsimde, gece saatlerinde dış ortam sıcaklığının düşüşünden faydalanılmıştır. Bu nispeten düşük dış ortam sıcaklığı ile bina gece soğutulurken gün içindeki soğutma yükündeki düşüş gözlenmiştir. Bir diğer inceleme başlığı ise ısı baca denilen *thermal chimney* ile pasif soğutma yapılmasıdır.

Daniel Castro-Lacouture ve diğ. [14], enerji tüketimi düşük yeşil bina oluşumu için gerekli kriterleri inceleyerek, yapının *LEED* yeşil bina sertifikalandırma sistemine uygunluğunu sağlayacak optimizasyonları değerlendirmişlerdir. Burada önemli olan detay enerji tüketimini azaltıcı standart verimlilik başlıklarının yanı sıra *LEED*'in önem verdiği yeşil çatı uygulaması, düşük emisyonlu malzeme kullanımı gibi çevreye zararsız uygulamaların da kullanılabilirliğinin irdelenmesidir.

Yasuhiro Hamada ve diğ. [15], yenilenebilir enerji kaynaklarını bir konut için adapte ederek, yapının düşük enerjili bir ev haline getirilebilirliğini incelemiştir. İrdeme sırasında fotovoltaik modüller ve güneş kolektörleri iklimlendirme sistemine monte edilerek enerji tüketimindeki dışa bağımlılığın düşüşü gözlenmiştir.

2. GENEL KAVRAMLAR VE TANIMLAR

2.1. Yeşil Bina

Son yıllarda yapılan araştırmalar ile yapıların, inşaat ve işletme dönemlerinde çevreye önemli ölçüde zarar verdikleri gözlenmiştir. Küresel olarak önemli ölçüde artan bu araştırma ve incelemeler yakın dönemde bir çok konferans ve toplantının ana gündemi haline gelmiştir. İklim değişikliği ve küresel ısınmanın önemli nedenlerinden biri haline gelmiş olan bu başlıklar son yıllarda yeşil bina kavramının yüksek sesle tartışılmaya başlanmasına yol açmıştır. Günümüzde ise artık yeşil konsept kavramı bina tasarım, inşaat ve işletme sürecinde ciddi anlamda göz önüne alınmaya başlanmıştır.

Yeşil kelimesi her ne kadar çevreyi korumak ve dengeyi sağlamak konularını ifade ediyor gibi gözükse de aynı zamanda önemli ölçüde su ve enerji tüketen yapıların verimliliği hakkında da önemli kazanımların sağlanabileceğini anlatmaktadır. Ancak yeşil tasarımı başlı başına çevreyi ve doğayı koruyan bir yapılanma olarak görmek yeterli değildir. Bu noktada devreye sürdürülebilirlik kavramı girer. Sürdürülebilirlik, ekolojik dengenin korunması ve devam ettirilmesi anlamına gelmektedir. Böylece insanlık yüzyıllar sonra da kendi ihtiyaçlarını yeterli miktarda karşılayabilecek durumda olacaktır. Bu tanıma göre yeşil bina tasarımı sürdürülebilirliğe önemli katkısı olan bir alt başlıktır. Ancak bazı noktalarda sürdürülebilirlik ile yeşil tasarım farklılıklar gösterir. İç ortam hava kalitesinin artırılması ya da iyileştirilmesi yeşil tasarımın önemli başlıklarından birisi olmasına karşın sürdürülebilirlik açısından etkisi yoktur [16].

Yeşil bina tasarımı üç temel prensip üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlar;

- Doğal kaynakların korunması,
- Enerji verimliliğinin sağlanması ve artırılması,
- İç ortam kalitesinin geliştirilmesidir.

Sürdürülebilirliğin ve yeşil bina kavramlarının sağlanması noktasında tasarımın, bu üç ana başlığın isteklerine cevap verebilmesi için yerine getirmesi gereken temel kavramlar:

- İşletme ve inşaat sürecinde tüketilen yenilenemez enerji kaynakları, su ve yapı malzemelerinin olabildiğince verimli kullanılması, tüketimin en aza indirilmesi ve mümkün mertebede yenilenebilir enerjinin kullanılması,
- Küresel ısınma, asit yağmurları, iklim değişikliğine sebep olan ve ayrıca iç ortam hava kalitesini düşüren sera gazı emisyonlarının en düşük seviyeye çekilmesi,
- Katı ve sıvı atık üretiminin en düşük mertebeye indirilmesi, geri dönüşlerinin sağlanması. Ayrıca kanalizasyon ve yağmur suları için uygun altyapıyı oluşturarak belli ölçüde tekrar kullanım imkanının meydana getirilmesi,
- Çevre ekosistemine negatif etkinin en düşük seviyeye indirilmesi,
- Termal, aydınlatma, akustik ve dış çevre görülebilirliği gibi iç ortam şartlarının, insan psikolojisi ve konforunu sağlayacak biçimde, en iyi şekilde belirlenmesidir.

Yeşil bina tasarımı genel olarak bir çok mühendislik disiplininin bir arada çalışmasını gerektirmektedir. Tasarım aşamasında arsa seçimi, bina konumlandırması, en ideal iklimlendirme sisteminin belirlenmesi ve alternatif enerjinin uygulanabilirliğinin incelenmesi ile doğal ortamın yapı ile sorunsuz uyuşması gibi başlıklar bir grup çalışmasını işaret etmektedir. Bununla birlikte seçilen malzemelerin özel yapıda olması, enerji tüketimini azaltıcı yalıtım, düşük emisyonlu cam kullanımı, yenilenebilir enerjinin sisteme eklenmesi, tüketimi azaltıcı yapı elemanlarını kullanılması gibi faktörler maliyeti önemli miktarda arttırmaktadır. Bu sebeple, günümüzde, binaların yeşil tasarımının yapılabilirliği ekonomik açıdan bir yük getirmektedir. Ancak yapıların küresel ısınmaya önemli katkıları ve sürdürülebilirlik politikaları açısından bu ekonomik yük karşılanmak durumunda bulunmaktadır. Bu süreçte devreye devletler girerek belli yaptırımlar ortaya koymuşlardır. Enerji protokolleri ve atılan imzalar gereği ülkeler enerji tüketimleri ve sera gazı emisyonlarını sınırlandırmak durumundadırlar. Sürecin sonucu olarak ise hükümetler enerji tüketiminde önemli yeri olan binalarda yeşil bina konseptine geçiş için belli teşvik ve yardım paketlerini faaliyete geçirmişlerdir. Böylece yeni yapılan binalarda yeşil bina şartlarını yerine getirenlere ya da mevcut binalarda

iyileştirmeye gidenlere mali destek sağlanmaktadır. Bunların yanı sıra Amerika Birleşik Devletleri hükümete bağlı binaların tümünde ve bazı eyaletlerde tüm yeni yapılan binaların yeşil bina konseptinde olması zorunluluğunu getirmiştir. Böylece önümüzdeki yüzyılın ortalarına doğru tüm dünyada binaların yeşil tasarım kriterlerine tam uyumu sağlanmış olacaktır. Böyle bir süreç maliyetlerin de ileriki dönemde düşüş eğilimine geçmesi düşüncesini mantıklı kılmaktadır.

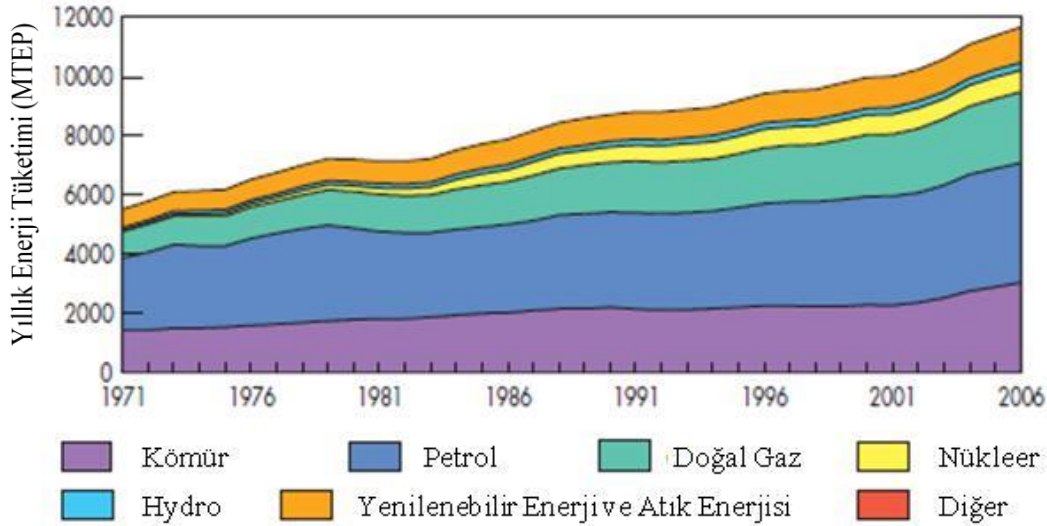
Yeşil bina tasarım düşüncesinin ortaya atılması ile birlikte bu tasarımın çerçevesi ve sınırlarının ne olacağı da bir tartışma konusu olmuştur. Yapılan iyileştirme ve tasarımın ne kadar yeterli ve tutarlı olduğu belli şartlarla ortaya konulmalıdır. Bu durum bir denetleme ve onaylama mekanizmasının ortaya çıkarak yapılan projenin uygunluğuna karar vermesi ihtiyacını açığa çıkarmıştır. Böylece ilk olarak ABD ve İngiltere’de oluşturulan LEED ve BREEAM sertifikalandırma programları ile yeşil binalar için yapılması gerekenler ve kriterlerin uygulanma oranına göre sınıflandırma işleri bir kurum tarafından yapılmaya başlanmıştır. Bu kurumlar binaların yapması gereken şartları belirler, yapılanları denetler, sonuçları inceler ve uygun buldukları takdirde binaya yeşil bina sertifikasını verirler. Sonuç olarak sertifikayı alan bina ülke ve dünya enerji piyasası tarafından yeşil bina olarak tanımlanır ve bu durum yapıya ayrıca önemli bir prestij kazandırır.

2.2. Sürdürülebilirlik

Çevresel ve ekonomik şartların giderek kötüleştiği günümüzde neredeyse tüm alanlarda sürdürülebilirlik kavramı önem kazanmaktadır. Her alanın kendisine özgü bir sürdürülebilirlik tanımı olmasına karşın en genel haliyle sürdürülebilirlik *“İnsanlığın, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneğidir”*. 1987 yılında Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yapılan bu tanım asıl olarak sürdürülebilirliğin, çevreyi ve yeryüzündeki tüm insanların yaşam kalitesini koruyarak sağlanabileceğini anlatmaktadır. Yüzyıllardır artan dünya nüfusunun, her geçen gün insanlığın yaşam kalitesini giderek düşürdüğü beklenen bir gerçektir. Sulak arazilerin imara açılması ve dengesiz su kullanımı ile su çevriminin, ormanlık arazinin azalması ile de oksijen ve karbon çevriminin hasar görmesi ile biyolojik çeşitlilik ve ekosistemde dengesizlik baş göstermiştir. Bu durumun en etkili sonucu ise ekosistemin arızaya uğraması ve

böylece sürdürülebilirliğin ana hedefi olan yaşanabilirlik kalitesinin tehlikeye girmiş olmasıdır. Yani bir bakıma sürdürülebilirlik, ekosistemin koruma altına alınmasıdır.

Nüfus artışı ile kaçınılmaz bir enerji tüketimi ve karbon salınımı yaşanmakta, küresel ısınma ile de su kaynakları tükenmektedir. Bu hızlı enerji tüketimi Şekil 2.1’de enerji kaynakları bazında gösterilmiştir. 1970’lerin başındaki enerji tüketimi 2006 yılı itibariyle kendisini ikiye katlamıştır.



Şekil 2.1 : Dünyada birincil enerji kaynaklarının yıllara göre tüketimi(MTPE) [2].

Enerji tüketimindeki bu artış emisyon oranlarını ve karbon salınımını da aynı oranda arttırmıştır. Böyle bir tablo sonucu olarak kuşkusuz ki çevre ve ekosistem zarar görmüş, dengeler önemli ölçüde bozulmuştur. Sürdürülebilirlik kavramı doğrultusunda alınabilecek önlemler, insanlığın yeniden bu dengeyi sağlayarak günümüzde ve gelecekte kendi gereksinimlerini karşılayabilecek potansiyele sahip olmasını hedeflemektedir. Yeterli önlemin alınmaması veya uygulanabilirliğinin sağlanamaması, gelecekte ciddi sıkıntı, kriz ve hatta çatışmaların zeminini hazırlayacaktır.

Yeşil bina kavramının meydana çıkmasının da temelinde sürdürülebilirlik büyük rol oynamaktadır. Yeşil binanın temel özellikleri olan çevre ile uyum, tüketimde alternatif enerji kullanımı, katı ve sıvı atık kontrolü ve suyun verimli kullanımı sürdürülebilirlik için oldukça önemli başlıklardır. Bu tüketim şiddeti devam ettiği sürece binaların yeşil konsepte dönmesi, sürdürülebilirlik açısından, neredeyse bir zorunluluk haline gelmektedir.

2.3. Az Enerji Tüketen Yapılar (Low Energy Buildings)

Günümüzün enerji kaynaklı sorunları her ne kadar önlem alınmayı gerektirse de teknolojinin bu problemleri çözmek için sunduğu olanaklar maliyet açısından önemli bir yük oluşturmaktadır. Bu noktada yapı üreticilerinin oluşturacakları projelerde sürdürülebilir bir tasarımı göz önüne almaları için birkaç önemli sebepleri olmalıdır. Bunların başında da zaten ilk yatırım açısından maliyetli olan yapının işletmede diğer binalara göre avantaj sağlaması gelmektedir. Özellikle ticari binalarda ve daha sonra da konutlarda işletme bakımından en büyük yük enerji tüketiminden gelmektedir. Maliyetlerin giderek arttığı bu dönemde yatırımcılar artık bina seçiminde tüketimi az ve aynı zamanda gerekli konforu sağlayan yapılara yönelmektedir.

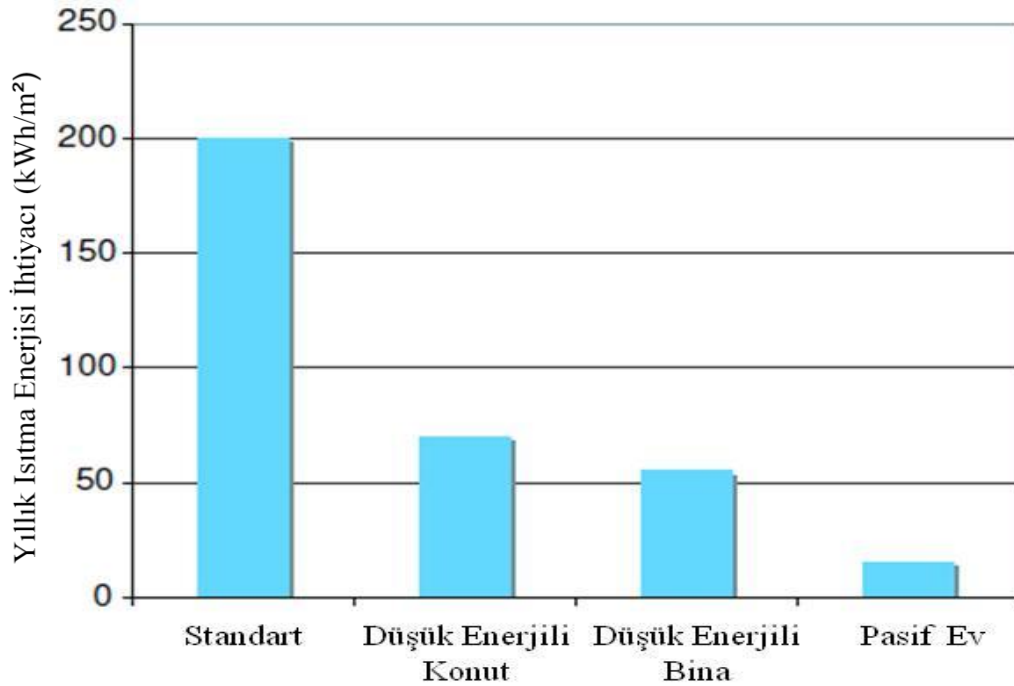
Az enerji tüketen yapılar günümüz taleplerinin bir çoğunu karşılayabilecek tipte özelliklere sahiptir. Öncelikle düşük enerji tüketimi hem tüketicinin işletme giderlerini düşürmekte hem de kısmen de olsa yeşil bina tasarım şartlarına cevap vermektedir. Böyle olunca başta maliyetli gözükse de bu yapılar piyasa koşullarında değerini önemli ölçüde arttırarak cazip konuma gelmiştir.

Az enerji tüketen binalar bazı yönleriyle yeşil binalara benzemekle birlikte bazı yönleri ile de farklılıklar göstermektedir. Temel olarak düşük enerji tüketen binaların ana amacı enerji tüketimini en düşük seviyeye çekmektir. Bu doğrultuda yapılacak tasarım ve seçim yöntemleri bazı durumlarda çevre ve ekolojik denge kriterlerini sağlamak durumunda değildir. Ancak her durumda, enerji yoğunluğunun düşürülmesi bir çok açıdan yeşil bina konsept hedefi ile örtüşür.

Yapının düşük enerjili olması birkaç önemli başlık ile açıklanabilir. Bunların başında kaliteli ve yüksek yoğunlukta yalıtım yapılması gelmektedir. Yalıtımın bir bina için ne kadar önemli bir enerji tasarrufu olduğu uzun yıllardan beri bilinmekte ve uygulanmaktadır. Ancak son yıllarda sektörün gelişmesi ile birlikte yeni yalıtım malzeme ve teknikleri geliştirilmiş olup verimlilik önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca dış cephede yalıtım etkinliğini arttırıcı pasif yöntemler geliştirilerek maliyetlerde de tasarrufa gidilmektedir. Bina yapısına ait bir diğer önemli başlık ise camlı yüzeylerin etkinliğidir. Yapılarda pencereler enerji transferinde önemli rol alır. Soğutma mevsiminde güneş geçirgenliği sayesinde ısı kazanımı, ısıtma mevsiminde ise yüksek ısı geçirgenliği sayesinde ısı kaybına neden olur. Önemli ölçüde enerji maliyetine sebep olan bu durumu engellemek için seçilecek pencereler güneş ısısı

geçirgenliği düşük ve aynı zamanda ısıl direnci yüksek tipte olmalıdır. Verimliliği yüksek iklimlendirme sistemlerinin kullanılması ve havalandırmada alternatif yöntemlerin (gece soğutması, doğal havalandırma) uygulanması bir diğer önemli başlıktır. Gölgeleme, güneş alan cepheler için önemli ölçüde soğutma tasarrufu sağlayan bir parametre olmakla birlikte aydınlatmadan tasarruf sağlamak amacı ile gün ışığından faydalanmak da az enerji tüketimli bir binada uygulanması gereken kriterlerdendir. Bu temel şartların dışında binaların enerji etkinliğini artırıcı pasif yöntemler de mevcuttur. Herhangi bir enerji maliyeti olmadan tüketimi belli miktarda düşüren bu yöntemler az enerji tüketen binalar için oldukça önem kazanmaktadır. Tüketimde yenilenebilir enerjinin kullanılması ve binaya entegre edilmesi de büyük ölçüde tasarruf sağlamaktadır. Ancak yapının konumu ve bulunduğu coğrafya tasarrufun mertebesini önemli ölçüde belirlemektedir.

Bir çok parametrenin yön verdiği bu tip binalarda uygun tasarımı yakalamak çok büyük bir tasarrufu garanti altına alacaktır. Şekil 2.2'deki görüntü bu tasarrufun boyutlarını önemli ölçüde göstermektedir.



Şekil 2.2 : Isıtma yükleri açısından bina tiplerinin karşılaştırılması [17].

Yılda metrekare başına 200 kWh enerji harcayan standart bir binaya göre az enerji tüketen bir bina ortalama %75 civarında ısıtma enerjisi tasarrufu sağlamaktadır. Alternatif enerji ve pasif yöntemler (pasif ev) ile tasarruf %90'ın üstüne çıkmaktadır.

2.4. Dünyada Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik Politikaları

Dünya son yıllarda önemli değişiklikler yaşamaktadır. İklimsel değişiklikler ise bu görüntüde gün geçtikçe daha çok ön plana çıkan bir tehlikedir. Ancak son dönemde ekonomilerin içinde bulunduğu kriz, iklimsel sorun ile mücadele etmekte bireyleri olumsuz etkilemiştir. Diğer taraftan, başa çıkılması zorunlu görülen bu tehdit için kişilerden çok ülkeler bazında bir politika geliştirilmesi herkes tarafından kabul görülmeye başlanan bir gerçek olmuştur. Ekonomik kriz ile önemli ölçüde değer kaybeden piyasalar enerji sektörünü de ciddi oranda etkilemiştir. 2009 yılında birincil enerjide %2, petrolde %3 ve elektrikte %3,5 oranında bir talep düşüşü gözlemlenmiş, petrol fiyatlarında yıl boyu önemli ölçüde dengesizlikler ve artışlar meydana gelmiştir. En büyük darbeyi de enerji yatırımı yapan küçük ve orta ölçekli şirketler almıştır. İklim değişikliği, küresel ısınma ve enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması, etkilemekte olan krize rağmen, acil önlem planlarının dikkate alınmasına yol açmaktadır.

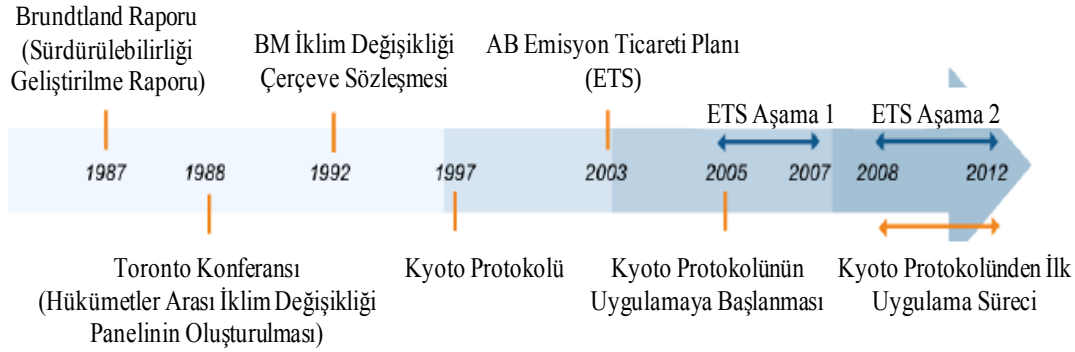
Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli aktörü olan sera gazının tarihsel dönem içindeki değişimi Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Veriler bize oluşan tehlikenin, 18. yüzyıldaki sanayi devrimi ile başlayıp günümüze kadar gelen süreçte alınmayan önlemlerin sonucunda ortaya çıktığını göstermektedir. Bu dönemde kullanılan enerjinin etkinliğinin düşük oluşu ve aynı zamanda salınımının da yüksek mertebelerde olması bu sonucun kaçınılmaz olduğunu göstermiştir.

Çizelge 2.1 : Atmosferdeki sera gazı miktarının tarihsel değişimi [18].

Sera Gazı	Sanayi Devrimi <1900	2005 yılı	Sanayi Devrimi Öncesi Son 650.000 Yıllık Dönem	Temel Kaynak
Karbon Dioksit	280 ppm	379 ppm	180-300 ppm	Fosil Yakıt
Methan	715 ppb	1744 ppb	320-790 ppb	Tarım

Emisyonlar çevre için önemli birer tehdittir. Aynı zamanda enerji tüketimiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu sonuç temel olarak alınması gereken önlemlerin çerçevesini belirlemiştir. Emisyonu azaltmanın en önemli yolu enerji tüketimini azaltmaktır. Ancak artan nüfus ve ihtiyaçların şiddetlenmesi ile tüketimi azaltmak nasıl mümkün olacaktır? Konunun muhatabı hükümetler soruya cevap aramak için

bir dizi konferans ve toplantılar yapmış olup bazı temel çözümler ortaya koymuştur. Şekil 2.3 bu sürecin nasıl ilerlediğini göstermektedir.



Şekil 2.3 : Uluslararası iklim toplantı ve anlaşmalarının gelişimi [18].

1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü, 160 ülkeyi kapsayan ve temel olarak sera gazı emisyonunu önemli ölçüde düşürmeyi hedefleyen bir anlaşmadır. Bu kapsamda;

- Sera gazını azaltmaya yönelik mevzuat yeniden düzenlenecek,
- Daha az enerji ile ısıtma ve soğutma, araçlar için daha az enerji tüketerek yol alma teknolojileri uygulanacak,
- Alternatif enerji kaynakları daha yoğun kullanılacak,
- Fosil yakıt yerine bio-yakıt kullanılacak,
- Endüstride atık işlemleri yeniden düzenlenecek,
- Güneş ve nükleer enerjinin kullanımı teşvik edilecek,
- Fazla yakıt tüketen ve fazla karbon üreten daha çok vergi alınacaktır.

Ülkeler için bir yaptırım niteliği taşıyan Kyoto protokolü genel kapsamı ile sürdürülebilir bir çevre ve enerji verimliliği ile sera gazı emisyonlarının istenen seviyelere düşürüleceğini öngörmektedir. Enerjiyi verimli kullanmak ve sürdürülebilirlik bu bağlamda ana başlık olunca, sonuca ulaşmakta yeşil ve az enerji tüketen yapılar ilk seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. A.B.D ve Avrupa Birliği ülkeleri protokolün gereklerini yerine getirmek için bir dizi önlem alma gereği duymuştur. Endüstri ve otomotiv alanında yapılanlarla birlikte konut ve ticari binalar için bazı sertifika programları geliştirmişleridir. A.B.D’de yeşil bina konseyi tarafından oluşturulan LEED ve İngiltere’de hükümet tarafından uygulamaya koyulan BREEAM başlıca programlardır. Ticari bina ve konutlar için bir referans olan bu programlar yapının az enerji tüketimli yeşil bina olmasını sağlayarak enerjiyi etkin kullanmaya yönelik Kyoto Protokolü esasını yerine getirmiş olur.

2.4.1. LEED (Leadership Energy and Environmental Design)

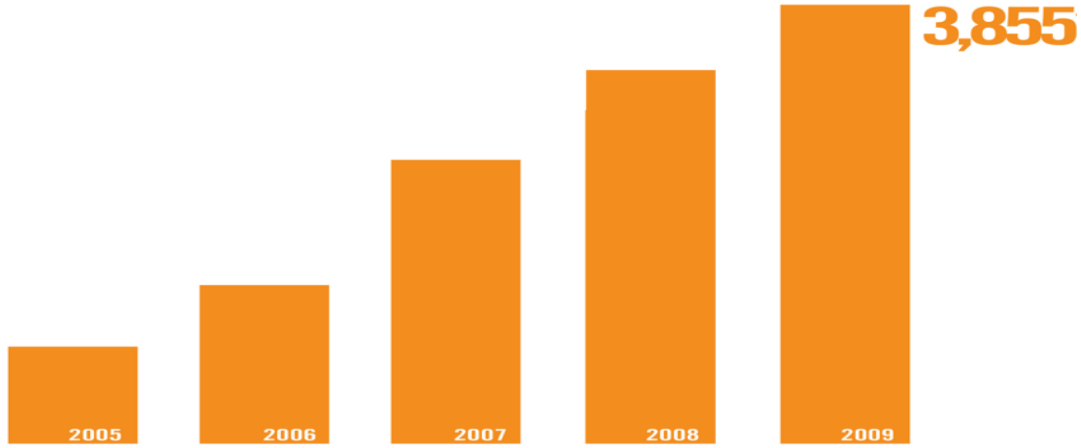
İngilizce “Enerji ve Çevresel Dizaynda Öncülük” kelimelerinin baş harflerinden meydana gelen LEED sertifikalandırma sistemi 1998 yılında A.B.D yeşil bina konseyi tarafından ilk kez uygulanmıştır. Programın ilk uygulaması ile birlikte günümüze kadar sisteme bir dizi yenilik getirilmiştir. Temel olarak yapıların, yeşil bina konseptine uygun olmasını sağlamakla birlikte sürdürülebilir bir tasarım haline gelmesine imkan sağlamaktadır. LEED asıl olarak yapıyı denetleyen bir sistemdir. Yapım aşamasındaki bir bina için bir dizi şartlar ortaya koyar ve yapının tamamlanmasının ardından bu şartların uygunluğunu denetler. LEED binanın yapmakta sorumlu olduğu bu şartları beş ana başlıkta toplamıştır. Bunlar;

- I. Sürdürülebilir alan planlaması (26 Puan)
- II. Suyun verimli kullanılması (10 Puan)
- III. Enerji verimliliği, yenilenebilir enerjinin kullanımı (35 Puan)
- IV. Malzeme ve kaynakların kullanılması (14 Puan)
- V. İç ortam kalitesinin artırılmasıdır (15 Puan).

Bu temel başlıklar bir çok alt başlığa sahiptir. Bu alt başlıklarda yapının yeşil bina olabilmesi için gerekli şartlar belirtilmiş olup tümü için etkinliği oranında belli puanlar tanımlanmıştır. Ana başlıkların da yanında belirtildiği gibi alınabilecek puanlar toplamda 100’dür. Yapı şartlara uygunluğu oranında elde ettiği puan doğrultusunda dört belgeden birini alarak yeşil bina statüsüne geçer. Bu belgeler, Platin (80 ve üzeri), Altın (60-79), Gümüş (50-59) ve Sertifika (40-49)’dır. Bina için almış olduğu belgenin platinden sertifika dercesine kadar değişimi aynı oranda binanın yeşil bina şartlarına uygunluk oranını da gösterir. Demek istenen şudur ki; platin sertifikası almış bir bina LEED’in şartlarına tamamen uyarak tam anlamıyla sürdürülebilir bir yeşil bina olur.

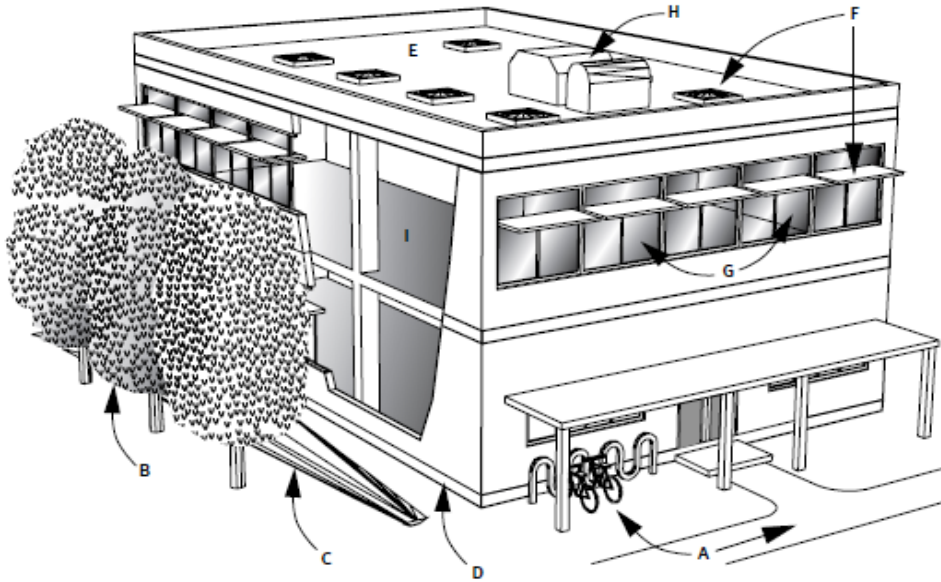
Yeşil bina ve sürdürülebilirlik, emisyonların azaltılması ve Kyoto Protokolü için ne kadar önemli olsa da aynı zamanda işletme giderlerinin düşürülmesi açısından bina kullanıcılarının da LEED sertifikasını tercih etmelerinin başlıca sebebi olmaktadır. LEED sertifikalı bir bina için tasarruf yüzdelerine baktığımızda, enerji kullanımında %50’ye, karbon emisyonlarında %35’e, su tüketiminde %40’a ve katı atık üretiminde %70’lere varan düşüşler gözlenmektedir. Bu veriler ışığında Şekil 2.4’te

grafikleştirilen sertifikalandırılmış LEED proje sayısındaki artış beklenen bir sonuç olacaktır.



Şekil 2.4 : A.B.D.’de LEED sertifikası almış bina sayısının yıllara göre artışı [19].

Yeşil bina özelliği kazanmak için yapılması gereken bir çok önemli başlık söz konusudur. Bu noktada LEED’in temel şartlarından bazılarının tanımı Şekil 2.5’te ve devamında anlatılmaktadır.



Şekil 2.5 : Bir bina için LEED’e uygunluk kriterlerinin bazıları [20].

- A. Araç kullanımını azaltmak amacıyla bisiklet kullanımını teşvik etmek ve binayı toplu taşıma araçlarına ulaşımın kolay olduğu bölgede inşa etmek
- B. Gölgeleme ve ekosistemin devamı için ağaçlandırma yapmak
- C. Yağmur suyunun birikimini ve tekrar kullanımını sağlamak

- D. Üretim ve uygulamada enerji tüketimi düşük, çevre dostu beton kullanmak
- E. Yeşil çatı uygulaması yapmak
- F. Gün ışığından faydalanmak için yansıtıcı kullanmak (aydınlatma enerjisini düşürmek)
- G. Pasif soğutma ve doğal havalandırmaya imkan vermek
- H. Yüksek verimli iklimlendirme elemanları kullanmak
- İ. Geri dönüşümü mümkün tuğla, fayans, döşeme ve kaplama kullanmak.

2.4.2. BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)

Yeşil bina sertifikalandırma konusunda LEED kadar tanınan bir diğer program ise İngiliz Bina Araştırmaları Kurumu (BRE) tarafından 1990 yılından faaliyete geçirilen BREEAM sertifikalandırma sistemidir. BREEAM, LEED ile amaç ve yöntem bakımından birkaç detay dışında aynı noktalarda birleşmektedir. İlk olarak İngiltere sınırları içerisinde yeşil bina sertifikası vermeye başlayan kurum popülerliğinin artması ile dünya çapında hizmet vermeye başlayarak 200.000'den fazla binaya yeşil bina statüsü kazandırmıştır. Enerjiyi verimli kullanmak, çevre ile uyumu sağlamak, ortam kalitesini arttırmak ve işletme giderlerini azaltmak BREEAM'ın temel başlıkları olmakla birlikte yapıda yenilikçi teknolojileri kullanmak ve geri dönüşümü olabildiğince sağlamak diğer önemli detaylardır [21].

2.4.3. Diğer yeşil bina sertifikalandırma sistemleri

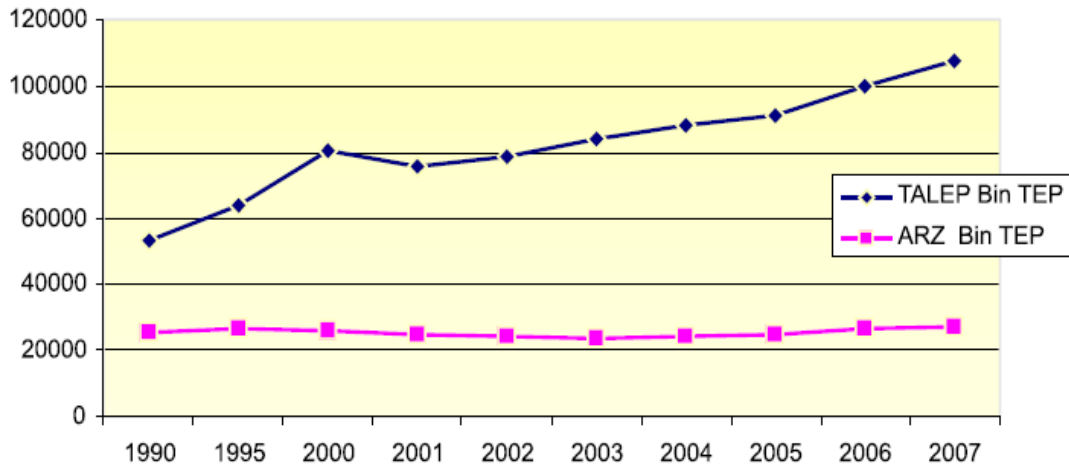
1990 yılında BREEAM'ın ve 1998 yılında LEED'in faaliyete başlamasının ardından ülkeler bağlı oldukları uluslar arası enerji anlaşmaları doğrultusunda kendi sertifikalandırma sistemlerini geliştirmeye başlamışlardır. Bu bağlamda 2003 yılında Avustralya'da Green Star ve 2004'te Japonya'da CASBEE yeşil bina sertifikalandırma sistemleri hayata geçirildi. Bugün yeryüzünde kendi sertifikalandırma sistemini oluşturmuş 25 ülke bulunmaktadır. Uzak doğudan; Güney Kore, Japonya, Çin, Hong Kong, Orta Doğudan; İsrail, Birleşik Arap Emirlikleri, Avrupa'dan; Fransa, Almanya, İtalya, Hollanda, Portekiz, İsviçre, İngiltere, Güney Amerika'dan; Brezilya, Meksika ve diğer kıtalardan Avustralya, Kanada, Güney Afrika ve Hindistan programlarını oluşturmuş ve faaliyete geçirmişlerdir.

Günümüzde artık hükümetler yeni binalarda yeşil bina sertifikasını zorunlu hale getirmeye başlamıştır. A.B.D.'de tüm hükümet binaları ile kamu binalarında LEED zorunlu hale getirilmiş olup, birçok eyalette tüm binalar için sertifika alma şartı ya da

teşviki getirilmiştir. Bu durum dünyanın birçok ülkesinde de gerçekleşmekte olup inşaat yatırımlarında önemli bir konumda olan Dubai’de de yeşil bina sertifika alma zorunluluğu bulunmaktadır. Oluşumun popülerliğini iyice anlayabilmek için 2008 Pekin olimpiyat köyünün yeşil bina yapısında tasarlandığını ve LEED’in altın sertifikasını almaya hak kazandığını görmek yeterli olacaktır.

2.5. Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik Politikaları

Türkiye nüfusu ve yüzölçümü bakımından enerji piyasasında kayda değer bir konumda bulunmaktadır. 2007 yılındaki verilere bakıldığında birincil enerji tüketimi yıllık 107,6 MTEP’ye ve elektrik üretimi 198,3 milyar kWh’e ulaşmıştır. Ancak ülkenin piyasadaki konumuna bakıldığında, üreticiden çok tüketici olma yolunda ilerlediği görülmektedir. Şekil 2.6’daki veriler gösteriyor ki, artan talebe karşılık üretim seviyesinin neredeyse sabit kalmış olması ülkenin gitgide dışa bağımlı hale geldiğini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 2.6 : Türkiye’de enerji arz ve talebinin gelişimi [22].

Enerji piyasasının 2008’in son çeyreği itibariyle bir krize girmiş olması dışa bağımlı bir ülke için dengelerin önemli ölçüde değişmesine yol açmıştır. Ocak 2008’de A.B.D. varil fiyatı 100 dolar olan petrol aynı yılın temmuz ayında 147 dolara satılarak doğalgaz ve kömür fiyatlarını da önemli ölçüde arttırmıştır. Ülkenin kaçınılmaz enerji ihtiyaçları doğrultusunda maruz kaldığı bu tür fiyat politikaları ve krizler Türkiye için önemli sıkıntılar oluşturmuş ve oluşturacaktır.

Enerji tüketiminin önem arz eden miktarda oluşu aynı zamanda ülkenin karbon emisyonu üretimi bakımından da belli önlemler almasına sebep olmuştur. 2004

yılında Kyoto Protokolü'ne taraf olan Türkiye, 30 Mayıs 2008'de şartlarını uygulama doğrultusunda protokolü imzalamıştır. Bu andan sonra hükümet enerji politikasını gözden geçirerek enerji mevzuatlarında düzenlemeye gitmiştir.

2.5.1. Enerji verimliliği kanunu

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji tüketimini ve emisyonlarını azaltmak enerjiyi verimli kullanmaktan geçmektedir. Bu konuda 2007 yılında yürürlükten geçen enerji verimliliği kanunu sayesinde sektördeki tüketim şiddetini azaltmaya yönelik ilk adım atılmıştır. Kanuna göre amaç, enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır [23].

Kanunun içeriğine bakıldığında öncelikle belli yüzey büyüklüğün üzerindeki binalar için enerji yöneticisi belirleme veya bu yöneticilerden hizmet alma zorunluluğu getirilmiştir. Bununla birlikte kanun binalarda enerji tüketimi ve bu tüketimi azaltıcı faaliyetlerin bilgilerini içeren enerji kimlik belgesinin oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Bu belge ile hem enerji ölçme ve değerlendirme hem de bina için tüketim sınırlandırmasına uygunluğunu görme imkanı sağlanmış olur. Bir diğer önemli başlık ise enerji verimliliğini sağlamak amacıyla teşvik kredilerinin sağlanmasıdır. Devlet, enerji tüketimini azaltmayı garanti edenler ya da yeni işletmelerde enerji verimli sistemleri uygulamayı taahhüt edenler için maliyetlerinin bir kısmını kredi olarak vermeyi kanun çerçevesinde yasalaştırmıştır.

2.5.2. Binalarda enerji performansı yönetmeliği

Yönetmelik, enerji verimliliği kanunu kapsamında, binalarda enerji hizmetlerini iyileştirmek için kriterleri ve usulleri belirtir, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğini değerlendirir, sera gazı emisyonlarının istenen seviyelere indirgenmesi faaliyetlerini denetler ve bina enerji performans kriterleri ile uygulama esaslarını tanımlayan maddeleri içerir. Bu yönetmelik ile enerji verimliliği kanunu ile genel çerçevesi çizilen kavramlar detaylandırılır.

Bina mimarisi açısından yönetmelik, yapının ısıtma, doğal havalandırma, aydınlatma ihtiyaçlarını en uygun şekilde karşılayacak ve güneş ile rüzgar enerjisinden en iyi şekilde faydalanacak biçimde tasarlanması için kriterler belirlemiştir. Bu noktada ısı

yalıtımı ve ısı geçirgenlik katsayılarının sınır değerlerinde TS 825 standardı baz alınmış olup kayıpların en düşük seviyeye indirilmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda bina yönü ve pencere boyutları ile ilgili, enerji performansını artırıcı yönde yapılması gerekenlerin altı çizilmiştir.

Isıtma ve soğutma sistemleri açısından yönetmelik birkaç temel şartı benimsemiştir. Isıtma ve soğutmada, bireysel ya da merkezi sistemlerde yüksek verimli (ısıtma için yoğunlaşmalı), uzun ömürlü, çevreye en az emisyonu salacak ünitelerin kullanılması zorunlu tutulmuştur. Aydınlatmada gün ışığından azami ölçüde faydalanma, foto elektriksel ve tasarruflu aydınlatma elemanlarının kullanılması bir diğer önemli husustur.

Yenilenebilir enerjinin kullanımı üzerinde de yönetmelik bazı zorunluluklar getirmiştir. Yeni yapılacak binalarda yenilenebilir enerji potansiyeli için bir rapor hazırlanmasını ve elde edilecek enerjinin ilk yatırım maliyetini on sene içinde karşılayabilmesi durumunda yenilenebilir enerjinin azami miktarda kullanılmasını mecburi kılmıştır.

2.5.3. Binalarda ısı yalıtım yönetmeliği ve TS 825 standardı

Enerji verimliliği kanunu ve enerji performansı yönetmeliği gereğince enerji tüketiminde tasarrufa yönelik tasarıların başında gelen binalarda ısı yalıtımı esasları bu yönetmelik kapsamında detaylandırılmıştır. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını göz önüne alan yönetmelik, bina için duvar, çatı, pencere toplam ısı geçiş katsayıları ve yıllık toplam ısı kaybı miktarı hakkında sınır değerleri belirtir. Buna göre dört iklim bölgesine ayrılan Türkiye’de bir bina için “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı temel alınarak ısı yalıtım projesi hazırlanacaktır. Bu projede, yönetmelikte ve standartta belirtilen sınır şartları aşılmayacak ayrıca standart ile hesaplanan yıllık enerji ihtiyacının, miktar olarak, yönetmelikçe belirtilen sınırın altında kalmasını sağlamak zorunlu olacaktır.

1970 yılında ilk olarak bir rehber şeklinde hazırlanan TS 825 ısı yalıtımı standardı günümüz şartları doğrultusunda 1999 yılında binalar için uygulanması zorunlu bir belge haline gelmiştir. Son güncellemesini 2008 yılında yapan standart bina enerji performansının hesabı, irdelemesi ve iyileştirilmesi açısından en önemli kaynaktır. Standart, iklim bölgesi olarak dörde ayrılan Türkiye’nin her bölgesi için toplam ısı geçirgenlik katsayısı ile toplam ısıtma enerjisi ihtiyacının sınır değerlerini tanımlar

ve ayrıca örnek bir proje üzerinden bina özgül ısı kaybı hesabının nasıl yapılacağını anlatır. Çizelge 2.2’de yapı bileşenleri için bu sınır ısı geçirgenlik katsayısı değerleri ile yalıtımsız halde bu bileşenler vasıtası ile oluşacak ısı kaybı oranı gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Yalıtımsız durumda bina bileşenlerindeki ısı kaybı oranları ve TS 825’e göre bu bileşenler için sınır ısı geçirgenlik (U) katsayıları [24].

Yapı Bileşeni	Isı Kaybı Oranı (%)	TS 825'e Göre Sınır U(W/m ² K) Değerleri			
		1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
Duvar	25--40	0,7	0,6	0,5	0,4
Çatı	20--25	0,45	0,4	0,3	0,25
Isı Köprüleri	15--25	-	-	-	-
Pencere	10--15	2,4	2,4	2,4	2,4

TS 825 binalarda en önemli enerji ihtiyaçlarının başında gelen ısıtma yükünün azaltılarak, verimliliğinin artırılması yönünde neredeyse tek kaynaktır. Ancak dünya geneline bakıldığında bu standardın içeriği ve denetimi açısından yetersiz ve eksik olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ülkenin kendisine ait bir yeşil bina politikası ve denetleme sistemi olmaması da Türkiye için önemli bir soru işaretidir. Son yıllarda yurt içinde kurulan fabrika ve ticari binaların yeşil bina statüsüne geçmek için yabancı patentli yeşil bina sertifikalandırma sistemleri ile çalışıyor olması Türkiye’nin bu konuya ağırlık vermesi ve kendi sistemini oluşturması ihtiyacını ortaya koymaktadır.

2.6. Energy Plus

Energy Plus, tezin kapsamı içerisinde incelenecek olan az enerji tüketimli ofis binasının tasarımında yapılacak analizlerin ve ulaşılan sonuçların elde edilmesinde kullanılan bir simülasyon programıdır. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Departmanı tarafından hazırlanan bu program ilk kez nisan 2001’de kullanıcısı ile buluşmuştur.

Isıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi bir bina için birincil enerji tüketim elemanlarının tümü bir bütün olarak Energy Plus içerisinde analiz edilebilmektedir. Program kullandığı ara yüz sayesinde kullanıcıya esnek ve kolay bir şekilde veri girişi sağlama imkanı sunmaktadır. Program, kökü 1970 dönemindeki enerji krizine kadar dayanan DOE-2 (enerji ve yük simülasyonu) programı ve BLAST (bina termodinamik yük analizi) programının temeli üzerine oturturulmuş ve benzer

soruları günümüz teknoloji ve gelişmeleri sayesinde cevaplayan bir yapıda hazırlanmıştır. Birçok detay ile geniş kapsamlı analiz imkanı veren programda kullanıcıya sunulan çok sayıda seçenektten bazıları;

- Yıllık veya gün bazında simülasyon yapma imkanı,
- Binanın bulunduğu coğrafyaya uygun “weather file” (çevresel saatlik sıcaklık, nem ve rüzgar değerleri) kullanılarak saatlik analiz yapabilme,
- Zaman çizelgesi sayesinde her türlü çalışma şartı için uygun seçenekler sunma. Analiz için oldukça önemli olan bu özellik ile çalışma durumuna göre soğutma veya ısıtma sistemlerinin belli saat ya da mevsimlerde çalışması, aydınlatmanın istenen saatler için faaliyette olması, insan veya makine yoğunluğunun gün içindeki değişiminin programa aktarılması gibi serbestlikleri sağlama,
- Birçok yapı malzemesi ve pencere özelliğinin girilebilmesi ile detaylı analiz,
- Oldukça detaylı ve çeşitli gölgelendirme seçenekleri,
- İnsan, makine ve aydınlatma ile gelen ısı yüklerini gün içi çalışma yoğunluğuna uygun olarak tanımlayabilme,
- Gün ışığından faydalanma ve bu faydayı arttırıcı yeni teknolojileri tasarımda kullanma,
- İnfiltrasyon, doğal havalandırma ve gece havalandırması gibi birçok detayı inceleyebilme,
- Her türlü ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemini tasarıma göre şekillendirebilme, güneş enerjisini, atık ısıyı ve diğer enerji kaynaklarını çevrime entegre edebilme,
- Enerji verimliliğini arttırıcı yeşil çatı uygulaması, çift cam arası hava akış kontrolü, ısıl baca teknolojisi, toprak ısısından faydalanarak iklimlendirme gibi imkanları sağlayarak tasarımın gerçeğe en uygun şekilde sonuç vermesine yol açar ve aynı zamanda tasarımcı için birçok opsiyonu kullanabilme imkanına olanak verir.

3. ÖRNEK BİNA TASARIM PARAMETRELERİ

Enerji tüketimi ve çevre ile olan ilişkinin günümüz ve gelecek için ne kadar önemli bir noktada olduğu net bir şekilde ifade edilmiştir. Bu safhada dünya enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan ticari bina ve konutların oluşturdukları yükün beklenen seviyelere çekilmesi için bir bina tasarımı ele alınacaktır. Tanımı ve özellikleri incelenecek bu bina örnek bina olarak kabul edilecek ve irdelemeler bu temel bina modeli üzerinden uygulanan iyileştirmelerin sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

3.1. Örnek Binanın Fiziksel İncelemesi

İrdelemenin yapılacağı bina İstanbul ili sınırlarında olup, tip olarak ticari kullanım amaçlı ofis binası türündedir. Ofis binasının tercih sebebi, önemli ısıtma, soğutma ve havalandırma yüklerine sahip olması ve bir tasarım günü için pek çok parametrenin saatlik değişiminin bir takvimle belirlenebilmesi olanağı olmasıdır. Bilinen bir gerçek olarak ofis binaları konutlardan farklı olarak gün içi çalışma saatlerine bağlı olarak ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi parametrelerin basitçe tanımlanabilmesine olanak sağlar. Bu bağlamda tasarım, konfor saatleri ve konfor dışı saatler (mesai dışı saatler) olarak iki periyodu da farklı yaşam şartlarında inceleyebilecektir.

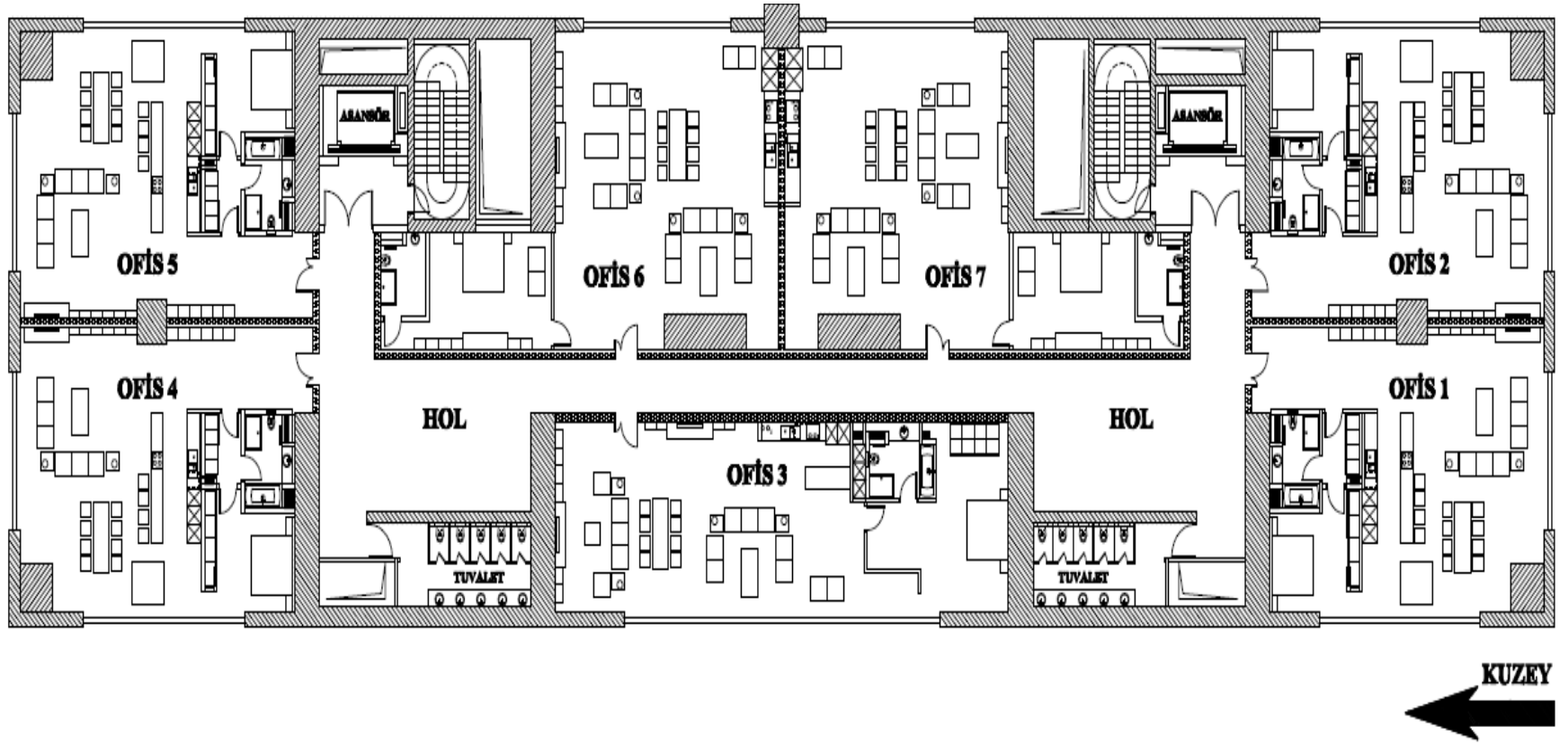
Tasarımı yapılan bina toplamada 8943 m²'lik bir yüzey alanına sahip olup, 7 katlıdır. A katı olarak tanımlanan ilk kat zemin seviyesinin altında yer alan otopark katıdır. Bu kat sadece havalandırmaya mahsus olup bina merdiven ve asansör alanları ile birlikte iklimlendirilmeyen bölgelerdir. Bu alanların dışında binanın geri kalan 7550 m²'lik alanı iklimlendirilmektedir. Binanın ikinci ve aynı zamanda zemin katı olan B katı giriş ve lobi bölümleri ile dinlenme alanları için tasarlanmıştır. Asıl hizmete yönelik C, D, F, G katlarında 7 adet ofis odası ve 2 adet tuvalet bulunmaktadır. E katında ise bir konferans salonu ile 4 adet ofis odası hizmet vermektedir. Odalar tamamen birbirinden bağımsızdır ve iklimlendirme her bir ofis için odaya özgüdür. Binanın otopark katı ile konferans salonunun bulunduğu katın döşemeden tavana

yüksekliği 4 metre olup diğer katların yüksekliği 3,5 metredir. Her bir kata ulaşımında merdiven ve asansörün bulunduğu iki adet blok mevcuttur. Çizelge 3.1 binanın fiziksel özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 3.1 : Örnek binanın fiziksel özellikleri.

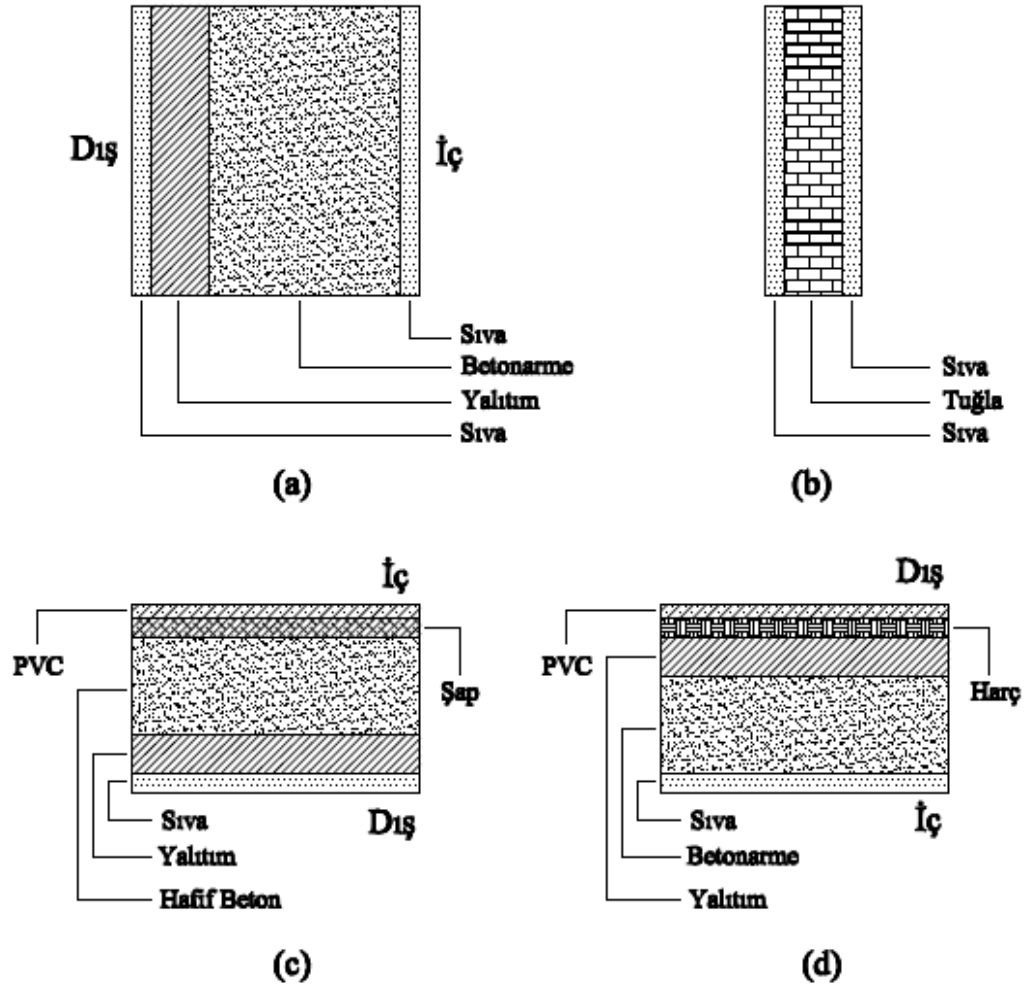
Binanın coğrafi konumu	İstanbul
İklimlendirilen alan	7550 m ²
Tüm kullanım alanı	8943 m ²
Toplam dış duvar yüzey alanı	4651 m ²
Camlı yüzey alanı	860 m ²
Çatı alanı	1393 m ²
Toprak temaslı döşeme alanı	1393 m ²
Toplam hacim	35520 m ³

Binanın mimari projesi Şekil 3.1’de gösterilmiş olup şekilde, kullanım alanı olarak en önemli olan C, D, F ve G katlarının planı verilmiştir. Kullanım alanı olan bu katlarda projelendirme, katın 12 iklimlendirme bölgesine (ofis ve diğer mahaller) ayrılması ile yapılmış olup her bölgenin kendine ait bir fan-coil sistemi vardır. Bu doğrultuda her ofis birbirinden bağımsız olarak iklimlendirilebilmektedir. Her ofis odası, ofis tipi bir salon ve bir dinlenme odasından meydana gelmektedir. Ortalama bir ofis dairesi 140 m²’lik bir alana sahiptir. Her kat için ayrıca genel kullanım amacıyla iki adet tuvalet de mevcut olup bu bölgeler de birer mahal olarak kabul edilir ve iklimlendirmeye tabii tutulur. Katların ofis odaları ve tuvaletler dışındaki kısımları hol ve merdiven bölgesidir. Hol de tıpkı tuvaletler gibi iklimlendirilmektedir. Merdiven blokları ise her katta girişi olan ve her birinde asansör ve merdiven boşluğu bulunan birbirinden ayrı iki bölge olarak katlara hizmet vermektedir. Binanın iklimlendirilmeyen üç bölgesinden ikisi merdiven bloklarıdır. Bir diğer iklimlendirilmeyen mahal ise otopark alanıdır. Ancak her üç bölge de standartların belirlediği taze hava miktarı ile havalandırılmaktadır. Otopark katı bir bölge, giriş katı olan birinci kat ise iki adet tuvalet ve genel kullanım alanı (lobi, dinlenme alanları, kafeterya) olmak üzere üç bölge olarak projelendirilmiştir. Konferans salonunun bulunduğu orta kat (E katı) ise dört ofis odası, iki tuvalet ve bir konferans salonu olmak üzere yedi bölgeden oluşmaktadır.



Şekil 3.1 : Analizi yapılan binanın kat planı.

Fiziksel ölçüleri tanımlanan binanın iklimlendirme açısından en önemli elemanları ısı kaybeden yüzeyleridir. Dış ortam ile temasta olan bu yüzeyler dış duvar, çatı ve iklimlendirilmeyen otopark üzerindeki döşeme yüzeyidir. Yapısal gereklilik ve yalıtım ihtiyacı doğrultusunda bir çok katmandan oluşan bu duvarların detayı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Bina ısı kaybeden yüzeylerin detayları (a) dış duvar, (b) iç duvar, (c) döşeme, (d) çatı.

Şekil 3.2’de de gösterildiği gibi iç duvar dışındaki tüm duvarlarda yalıtım yapılmıştır. Isı kaybeden yüzeylerde yalıtım yapma zorunluluğu az enerji tüketen binalarda bir zorunluluk haline gelmiştir. Daha önce Çizelge 2.2’de TS 825’in bu yüzeyler için belirlediği toplam ısı geçirgenlik katsayısı sınır değerleri gösterilmiştir. Tasarım çerçevesinde belirlenen yalıtım kalınlığı da bu sınırlar doğrultusunda hesaplanmıştır. Aynı şekilde yıllık toplam ısıtma ihtiyacının da verilen sınırların altında kalma zorunluluğu göz önüne alınmıştır. Bu hesaplama dördüncü bölümde

detaylıca anlatılacaktır. Çizelge 3.2’de ise bu yapı bileşenlerinin tanımı ve özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Bina yapı bileşenlerinin temel özellikleri.

Malzeme	Isı İletim Katsayısı (W/m K)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül Isı (j/kg K)
Sıva	0,72	1865	837
Betonarme	2,10	2400	653
Yalıtım (Polistren Köpük)	0,04	20	1465
Delikli Tuğla	0,62	1800	840
PVC	0,23	1500	1004
Harç	1,40	2000	650
Düzeltilme Şapı	1,40	2000	650
Hafif Beton	0,37	1000	653

Toplam dış cephe alanının %18,5’lik kısmını kaplayan camlı yüzeyler oldukça önemli bir yapı malzemesidir. Camlı yüzeyler (pencere) ısı geçirgenliklerinin yüksek olması nedeniyle kışın ısı kaybı ve yazın da ısı kazancını oldukça önemli değerlere taşır. Aynı zamanda camın kendine has bir özelliği olan SHGC (güneş ısısı kazanım katsayısı) katsayısı, pencerenin güneş ısısı geçirgenliğini tanımlar. SHGC değeri yüksek olan pencereler güneş ısısını olabildiğince içeri geçirerek kışın ısıtma yükünü azaltır. Ancak yazın da aynı durum söz konusu olacağından soğutma yükünü önemli ölçüde arttırır. Bina için seçilen çift camlı pencere sisteminin detayları Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Pencere camının temel özellikleri.

	Özellik	
	Kalınlık	0,004 m
Isıl Işınım Dalgı Boyunda	Camın Geçirme Oranı	0,92
	Camın Yansıtma Oranı (ön cephe)	0,075
	Camın Yansıtma Oranı (arka cephe)	0,075
Görünür Işınım Dalgı Boyunda	Camın Geçirme Oranı	0,898
	Camın Yansıtma Oranı (ön cephe)	0,081
	Camın Yansıtma Oranı (arka cephe)	0,081
Kızıl Ötesi	Camın Yayıma Oranı (ön cephe)	0,84
	Camın Yayıma Oranı (arka cephe)	0,84
	Isı İletim Katsayısı	0,9 W/mK

Pencere U ve SHGC değerlerini belirleyen katsayılar

Çift camlı pencerenin cam kalınlıkları 4'er mm ve cam arasındaki gaz boşluğunun kalınlığı 9 mm'dir. Camlar arasında kullanılan gaz kriptondur.

Bina yön bakımından Şekil 3.1'de de gösterildiği gibi kuzey yönü ile sıfır derece açıda konumlandırılmıştır.

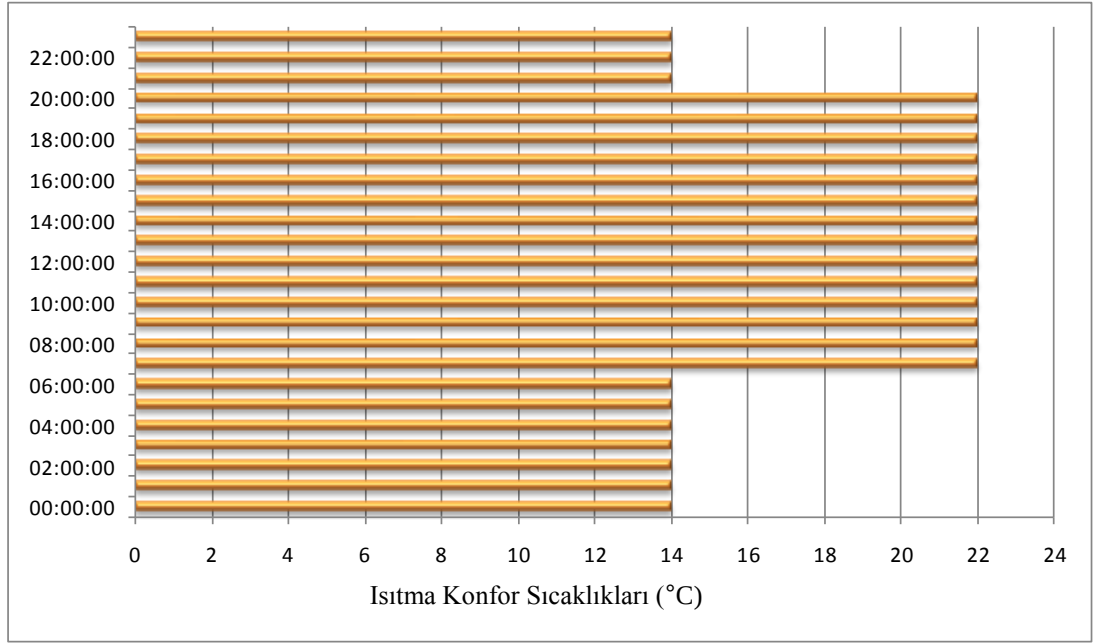
3.2. Örnek Binanın İşletme Şartlarının İncelenmesi

Yapının fiziği kadar işletme şartlarının da tasarımı temelden etkilediği bir gerçektir. Mühendis ve tasarımcılar çoğu zaman bu işletme parametrelerinin değişkenlikleri sebebi ile uygun tasarımı projelendirmekte zorluk çekmektedir. Bu safhada standartların uygun gördüğü verilerden faydalanmak doğru olacaktır. Tezin kapsamında bina içi işletme parametrelerinin seçiminde ASHRAE'nin kıstasları dikkate alınmıştır. Bina içi konforu etkileyen işletme şartları;

- Çalışma ve çalışma dışı saatler için konfor sıcaklıkları,
- İklimlendirmeye yük olan insan, aydınlatma ve makine ekipmanlarının çalışma periyotları ve yaydıkları enerji,
- Havalandırma miktar ve çalışma saatleri,
- Dış ortama açılan kapı, pencere ile yapının rijitliğine bağlı sızdırma (infiltrasyon) miktarı,
- Havalandırmada kullanılan taze hava miktarıdır.

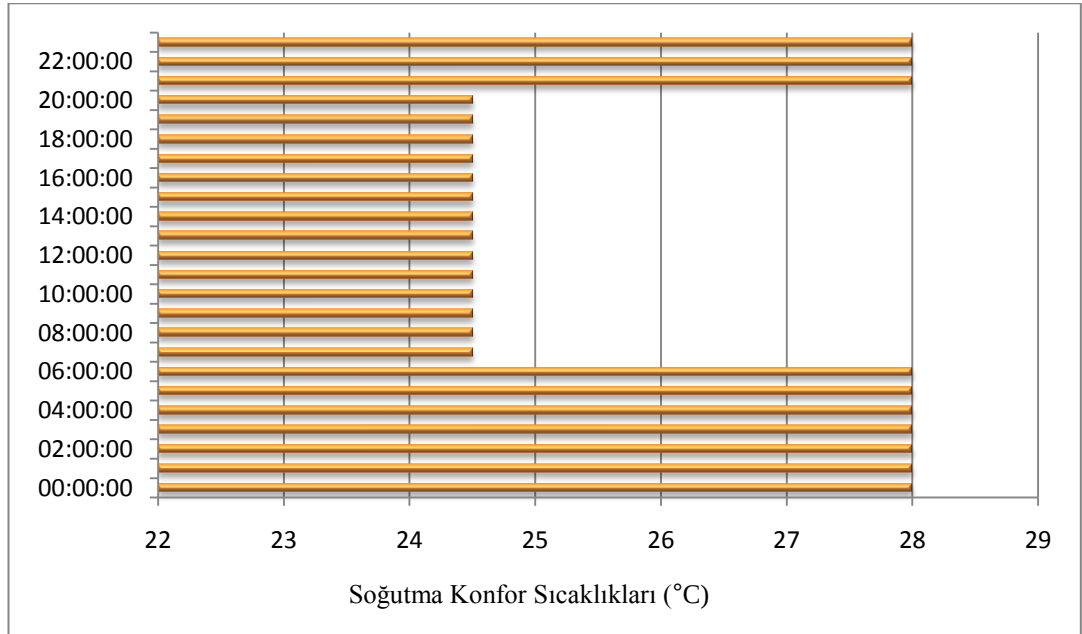
3.2.1. Mahal konfor sıcaklık değerleri ve uygulama takvimleri

Binanın bir ofis binası olması tasarımda çalışma saatleri ve çalışma dışı saatler kavramını kullanmamıza yol açacaktır. Buna göre ısıtma ve soğutmada gün içinde iki ayrı oda konfor sıcaklığı belirlenmiştir. Isıtma döneminde ofis odaları için hafta içi konfor sıcaklığı verileri Şekil 3.3'te sunulmuştur. Hafta sonunda ise cumartesi için, sabah 07:00 ile 18:00 arası 22°C olup diğer saatler ile Pazar tüm gün 14°C'de tutulmaktadır. Ofis odaları dışında, aynı sistem ve değerler giriş katı olan B katında da uygulanmaktadır. Ofis odaları ve giriş katı dışında kalan hol ve tuvaletler için de aynı konfor takvimi ve saat periyodu uygulanmaktadır. Ancak sıcaklık değerleri çalışma saatleri içinde 17°C olup, çalışma saatleri dışına 14°C olarak kabul edilmiştir. Çalışma saatlerinden bağımsız olan ancak aynı zamanda önemli bir iklimlendirme yükü olan konferans salonu ise hafta içi ve cumartesi günleri, 11:00 ile 15:00 arası 22°C'de tutulmakta olup geri kalan zamanlarda 14°C'dedir [25].



Şekil 3.3 : Ofis odaları için ısıtma mevsimi (hafta içi) konfor sıcaklık değerleri.

Soğutma mevsiminde konfor sıcaklıkları yaz ve bahar için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Asıl soğutmanın yapıldığı yaz mevsimine ait ofis odalarının hafta içi konfor sıcaklık değerleri Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Ofis odaları için soğutma mevsimi (hafta içi) konfor sıcaklık değerleri.

Yaz dönemi için cumartesi 07:00 ile 18:00 saatleri arası ortam sıcaklığı 24,5°C olup geri kalan saatler ve Pazar günü ofis odaları 28°C’de tutulur. Isıtmada olduğu gibi soğutmada da B katı ofis odaları ile aynı değerleri ve takvimi kullanmaktadır. Hol ve

tuvaletler için ise aynı çalışma programı uygulanmış olup bunlar için aktif saatlerdeki ortam sıcaklıkları 26,5°C olmakla birlikte aktif olmayan saatler için 28°C'dir. Konferans salonu ısıtmadaki çalışma ile aynı zaman diliminde (11:00 – 15:00) olup bu saatler arasında 24,5°C sıcaklığa sahiptir. Geri kalan zaman dilim için ortam 28°C sıcaklıktadır.

Soğutma ihtiyacının çok olmamakla birlikte önem kazanmaya başladığı nisan ve mayıs ayları ile eylül ve ekim aylarında tıpkı yaz mevsimi gibi bir konfor sıcaklık takvimi uygulanmaktadır. Ancak bu dönemde aktif saatler için tüm bölgelerde oda sıcaklıkları 27,5°C'de sabitlenmiş olup bu saatler dışında soğutma yapılmamaktadır.

Yaz ve kış dönemi için konfor sıcaklık değerleri “ASHRAE Handbook 2007: HVAC Applications” el kitabından alınmıştır [26].

3.2.2. İç yükler

Bina ısıtma ve soğutma yük hesaplamalarında çevre ile olan sıcaklık farklarının önemli ölçüde belirleyici olduğu bilinmektedir. Ancak bir diğer önemli hususta bina içi yüklerin getirdiği etkidir. Özellikle soğutma mevsiminde, insan, aydınlatma ve çalışan makinelerden ortama salınan ısı yükü soğutma ihtiyacını dikkate alınacak şekilde arttırmaktadır. Isıtma mevsiminde ise tam tersi olarak ısıtma yükünün azalmasına katkı sağlamaktadır.

Çizelge 3.4 aydınlatma ve makinelerden gelen yükler ile kişi başına ayrılmış mahal alanını göstermektedir. Aydınlatma için m² alan başına harcanan elektrik enerjisi ve makine yükleri için ise mahal başına harcanan enerji gösterilmektedir. Tabloda insandan gelen yükün hesabı için mahal başına düşen kişi sayısını belirlemek adına kişi başı m² değerleri verilmiştir. İnsanların yaydığı ısı değeri ise yapılan aktivitelere göre değişmektedir. Tasarım parametreleri göz önüne alındığında ofis şartları için standartlar doğrultusunda kişi başına yayılan enerji 120 W olarak kabul edilmiştir [27].

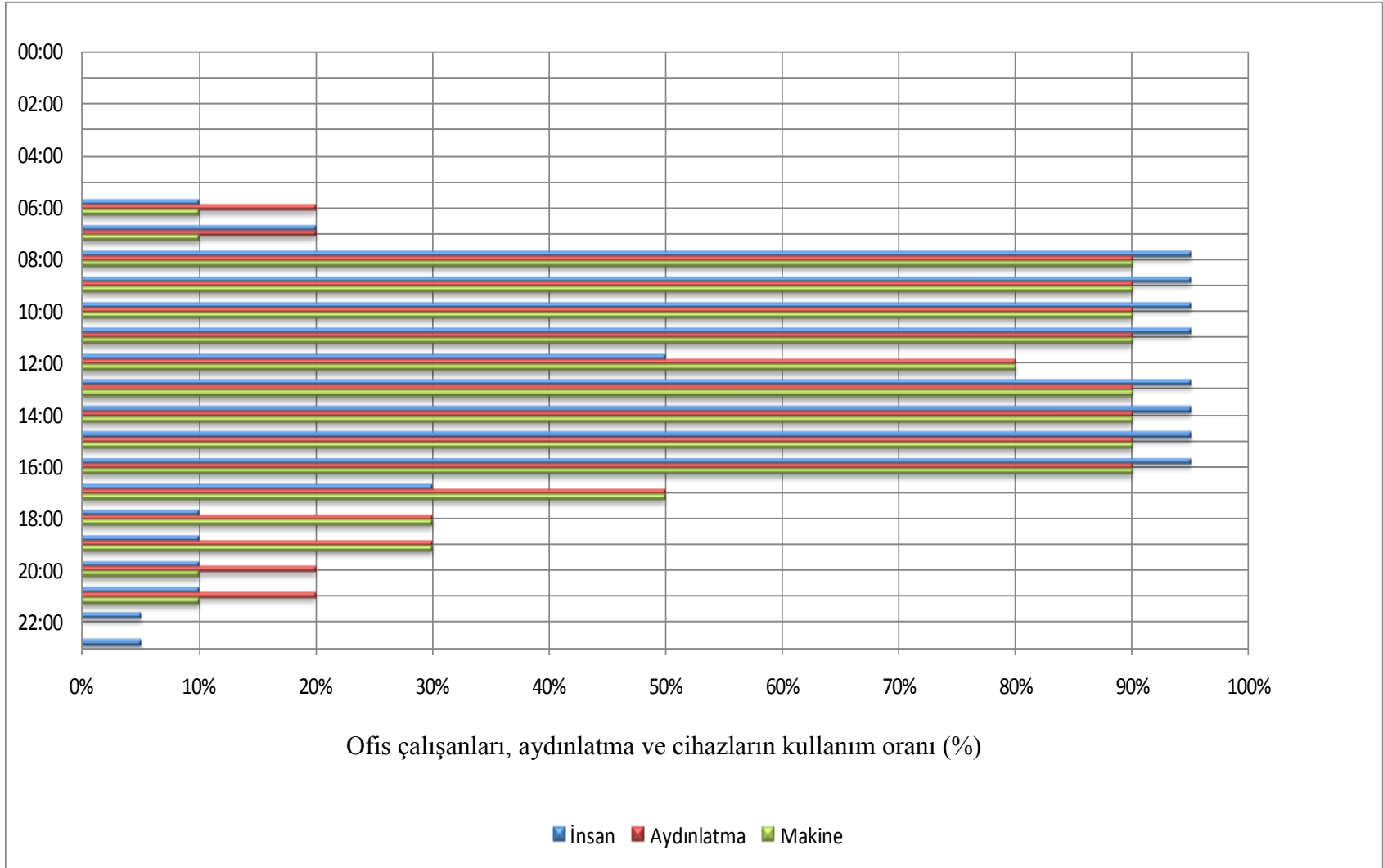
Makine ve ısı yayan aletlerin tasarımda tanımlanması standartlarda bir miktar göreceli olarak verilmiştir. Yoruma açık olan bu durumda seçimi etkileyen parametreler binanın kullanım amacı ve kullanan kişi sayısıdır. Örnek binanın bir ofis binası olması doğrultusunda her ofis odası için belirlenmiş kişi sayısı oranında makine tanımlaması yapılmıştır. Ofis odaları için ortalama 6 kişi tanımlandığından

bu sayı ile orantılı bilgisayar, monitör, yazıcı ve diğer ofis aletlerinin kullandığı güç toplamı yük miktarı olarak belirlenmiştir [29].

Çizelge 3.4 : Bina mahallerine ait iç yükler [25,28,29].

	Aydınlatma (W/m ²)	İnsan (m ² /kişi)	Makine (W)
Ofis Odaları	11,8	25,5	493
Giriş Katı (Lobi, dinleme...)	14	25,5	6300
Tuvalet ve Hol	8	-	-
Konferans Salonu	14	4,6	3360
Otopark	3,2	-	-
Merdiven Boşlukları	8	-	-

İç kazançların (yükler) miktarı kadar gün içinde bu yüklerin değişimi de dikkate alınmalıdır. Bir gün için, bu değerler sürekli sabit olarak kabul edilir ise hesaplama yeterince tutarlı olmayacaktır. Şekil 3.5 örnek bina için bu tabloyu tanımlamaktadır. Grafikten de görülebileceği gibi ofis için yoğun saatler ve öğlen arası zaman dilimleri tanımlanmış olup iş saatleri dışında kalan zaman için de az da olsa bir veri girişi yapılmıştır. Hafta içi dönemi tanımlayan Şekil 3.5 genel olarak cumartesi için de bir şablon niteliğindedir. Cumartesi günleri, ofis odaları, öğlen 12:00'a kadar aynı düzende çalışıp daha sonraki saatlerde ve pazar günü tamamen devre dışı konumda kabul edilmiştir. İnsan yoğunluğu ve makine faaliyeti bakımından giriş katı da ofis mahalleri ile aynı şekilde tanımlanmıştır. Çalışma bakımından bağımsız olan konferans salonu için iç yüklerin tümü 11:00 ile 15:00 arası tam yükte olup diğer saatlerde ve pazar günü faaliyet dışıdır. Garaj için aydınlatma 7 gün 24 saat tam kapasitedir.



Şekil 3.5 : Ofis alanları için iç yük oluşturan parametrelerin hafta içi saatlik faaliyet oranları [25].

3.2.3. İnfiltrasyon (hava sızıntısı), havalandırma ve taze hava ihtiyacı

İnfiltrasyon, binanın yapı bileşenleri ve pencere, kapı gibi dış ortama açılan elemanları vasıtası ile dış ortamdan iç ortama ya da tam tersi yönde hava akışı olmasıdır. Bu akış her iki yönde de ısıtma ve soğutma yüklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunu sebebi her zaman dış ortama göre iyileştirdiğimiz iç ortam havasının dışarıya kaçması ya da şartlandırılmamış dış havanın içi hava ile karışmasıdır. LEED ve benzeri sertifikalandırma programları infiltrasyon için olabilecek en düşük değerin elde edilmesini zorunlu kılmışlardır. Bunun için bina yapı elemanlarının sızdırmazlıklarının iyi olması, duvarların rijit bir yapıda inşa edilmesi, pencerelerin sabit (açılamaz) şekilde seçilmesi ve çerçevelerinin sızdırmaz tipte olması gerekmektedir. Hava akışının en çok olduğu kapı altı boşluğunun da lastik bir elemanla kapatılması en uygun çözümdür. Çizelge 3.5 örnek bina için infiltrasyon miktarı ve taze hava ihtiyacını göstermektedir.

Çizelge 3.5 : Mahal infiltrasyon ve taze hava miktarları [30].

	İnfiltrasyon (ACH)	Taze Hava Miktarı	
		Kişi Başı (m ³ /s)	Yüzey Alanı (m ³ /s - m ²)
Ofis Odaları	0,2	0,00236	0,0003
Giriş Katı (Lobi, dinlenme...)	0,2	0,00236	0,0003
Tuvalet ve Hol	-	-	0,0003
Konferans Salonu	0,2	0,00236	0,0003
Merdiven Boşlukları	-	-	0,0021
Otopark	-	3 m ³ /s	

Çizelge 3.5’te gösterilen taze hava miktarı iklimlendirilen bölge için standartlarca zorunlu kılınmış, verilmesi gereken en az hava miktarıdır. Bu hava dış ortamdan alınıp filtrelendir ve şartlandırılarak gerekli ortama gönderilir. Verilmesi gereken taze hava miktarının hesabı ise “ASHRAE Standart 62.1-2004: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”e göre [30]:

$$V_{bz} = (R_p \times P_z) \times (R_m \times A_z) \quad (3.1)$$

V_{bz} bölgeye verilecek taze hava miktarı olup R_p ve R_m sırasıyla tablodaki kişi başı ve yüzey alanı başına düşen taze hava miktarıdır. P_z ve A_z ise sırasıyla bölgedeki kişi sayısını ve bölge yüzey alanını tanımlar.

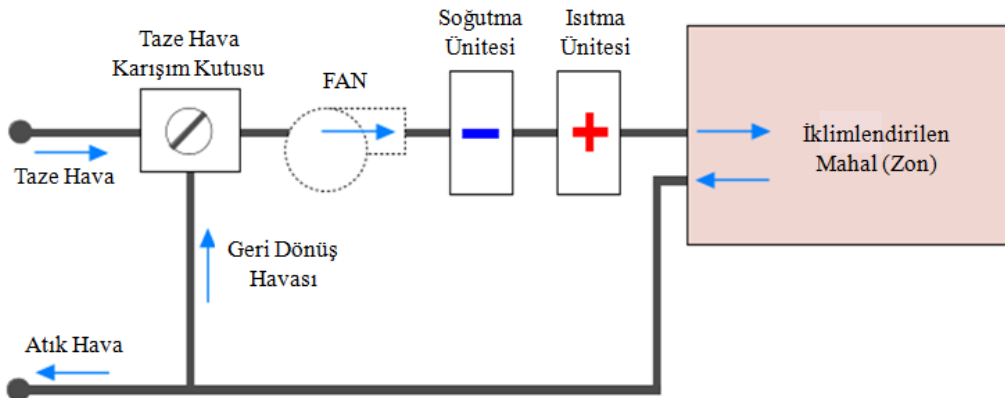
İnfiltrasyonu tanımlayan ACH (saatlik hava değişimi) birimi ise

$$N = \frac{3600 \times V_i}{V} \quad (3.2)$$

N tanımlanan ach değeri, V_i infiltrasyona neden olan hava miktarı (m^3/s) ve V mahallin hacmi olarak ifade edilir.

3.3. Örnek Binanın HVAC Tasarımının İncelenmesi

Bina HVAC sistemi seçimi konusunda piyasada birçok alternatif bulunmaktadır. Bu doğrultuda seçim yapmakta en önemli nokta binanın ihtiyaçlarına en uygun şekilde cevap verebilmektir. Örnek binanın birbirinden bağımsız iklimlendirilen bölgelerinin olması ve ayrıca nisan-mayıs, eylül-ekim aylarında İstanbul şartlarında hem ısıtma hem de soğutmaya ihtiyaç duyulabilmesinden dolayı 4 borulu fan-coil sistemi tasarım olarak belirlenmiştir. Şekil 3.6'da gösterilen 4 borulu fan-coil sistemi, 4 adet borudan ve 4 adet elemandan oluşan bir yapıya sahiptir. Bu dört borunun ikisi soğutma amaçlı ve diğer ikisi de ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Böylece klasik iki borulu sistemlerden farklı olarak bu sistem, aynı anda bir mahal için hem ısıtma hem de soğutma yapma imkanı sağlar. Isıtma hattındaki iki borudan biri ısıtma ünitesine sıcak su sağlarken diğer boru ise ünitenden çıkan dönüş suyunu kazana taşır. Soğutma hattı da ısıtma hattı gibi bir gidiş bir dönüş borusuna sahiptir. Bir diğer dikkat edilecek husus ise her mahalin kendine özgü bir sisteme sahip olmasıdır. Bunun anlamı her bölgenin kendine ait üniteleri ve fanları mevcut olup isteğe bağlı çalışma imkanı sağlanmasıdır.



Şekil 3.6 : 4 Borulu bir fan-coil sisteminin genel çalışma şeması [31].

Sistemde akışı sağlayan eleman fanıdır. Fan ile birlikte gerekli miktarda hava girişi için taze hava ve dönüş havasının miktarını düzenleyen bir karıştırıcı da mevcuttur.

Şekil 3.6'daki sistemi bir klima santrali olarak tanımlayabiliriz. Bu yapı mahalın tavanına yerleştirilir. Karışım kutusundan gelen hava fan-coil ünitesi dediğimiz soğutma veya ısıtma ünitelerinden geçer ve bu ünitenin serpantinleri üzerinden akan hava mahal içindeki termostatların ölçüm değerlerine göre yeterli oranda iklimlendirilerek ortama gönderilir. Şekil 3.7 bu tip bir klima santralini göstermektedir.



Şekil 3.7 : 4 Borulu fan-coil sisteminin klima santrali [32].

Fan-coil sisteminin santral kısmı ile birlikte, diğer kısmını da ana ünitelerin bulunduğu kaynak kısmı meydana getirir. Bu kısım ısıtma için kullanılan sıcak suyu sağlayan kazan ile soğutma suyunu sağlayan su soğutma grubu (chiller ve soğutma kulesi) ve akışı sağlayan pompalardan oluşur. Sisteme ait detaylar Çizelge 3.6'da tanımlanmıştır.

Çizelge 3.6 : Fan-coil sistemi temel özellikleri.

	Cihaz Çıkış Sıcaklıkları (°C)		Çalışma Periyodu	Verim(%) veya COP	Tip
	Yaz	Kış			
Soğutma Grubu	7,22	-	Nisan-Ekim	4,3	Su Soğutmalı
Isıtma Grubu	-	82	Ocak-Mayıs ve Ekim-Aralık	%85	Doğalgaz
Klima Santrali	12	65	Tüm Yıl	Fan Verimi %70	4 Borulu

Çizelge 3.6'daki çıkış sıcaklıkları ifadesi, ısıtma ve soğutma gurubu için santrale gönderilen suyun sıcaklığını, klima santrali için ise ortama gönderilen havanın sıcaklığını gösterir.

3.4. Örnek Binanın Simülasyon Programı Yönünden İncelenmesi

Tezin kapsamı içerisinde analiz programı olarak kullanılan Energy Plus yazılımı serinin 3.1 versiyonudur. Program bina içi parametrelerin tanımlanması dışında hesap yöntemi açısından da bir grup verinin girilmesini talep etmektedir. Bunlar Çizelge 3.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.7 : Bina enerji çözümlemesi için yazılımda tanımlanan karakteristikler.

Versiyon	3,1
Şehir Tipi	Merkez
Yük Hesabında Yakınsama Değeri	0,5
Sıcaklık Hesabında Yakınsama Değeri	0,2
Güneş Işığı Dağılımı	İçeriye ve Dışarıya
Isıl Denge Algoritması	Conduction Transfer Function
Zon Kapasite Arttırım Çarpanı	1
Yakınsamada Maksimum İterasyon	20000

Çizelge 3.7’de tanımlanan parametreler çözüm algoritmasını belirleyen elemanlardır. Şehir tipi seçiminde merkez dışında taşra, kasaba, ova gibi seçimler sunulmuştur. Yakınsama değerleri ise sayısal çözümleme işleminde sonucun yeterli bulunduğu limiti tanımlar. Güneş ışığı dağılımında kastedilen güneşten gelen ışınların sadece dış duvara mı yoksa pencereler vasıtasıyla içeri ve dışarıya mı etki edeceğini belirlemektir.

Örnek binanın İstanbul’da tasarlanması hesaplamalar için şehrin, sıcaklık ve nem verilerinin bilinmesini gerektirir. İhtiyaç duyulan bu veriler İstanbul için Amerika Enerji Departmanı tarafından yazılım programına uygun bir formatta hazırlanmıştır. “Weather Data” olarak isimlendirilen bu dosya ekte verilmiştir. Dosyada İstanbul için saatlik olarak sıcaklık, bağıl nem ve solar radyasyon değerleri mevcuttur. Programa tanıtılan bu dosya ile tüm hesaplamalar saatlik olarak elde edilebilir.

İstanbul için sadece iklim verileri yeterli değildir. Çizelge 3.8’deki verilerin de tanımlanması gerekli olup İstanbul için girdisi çizelgedeki gibi yapılmıştır. Zaman dilimi olarak gösterilen 2 değeri dünya saati olarak tanımlanan Greenwich ortalama saatinin (gmt) iki saat ilerisindeki zaman dilimini belirtmektedir.

Çizelge 3.8 : İstanbul’a ait coğrafik veriler.

Şehir	İstanbul
Enlem (°)	40,97
Boylam (°)	28,82
Rakım (m)	37
Zaman Dilimi (h)	2

Yazılımın hesaplamada gerek duyduğu ve büyük önem arz eden bir diğer veri topluluğu ise “design day” olarak tanımlanan ve yüklerin hesabında kullanılan parametrelerdir. Çizelge 3.9’da gösterilen bu veriler İstanbul için ekstrem meteorolojik değerlerdir. Energy Plus bu verileri dikkate alarak iklimlendirme elemanlarının maksimum kapasitelerini belirler.

Çizelge 3.9 : İstanbul için sınır iklim değerleri.

	Kış Şartları	Yaz Şartları
En Düşük / En Yüksek Kuru Termometre Sıcaklıkları (°C)	-2,6	31,1
Gün içi Sıcaklık Değişimi ($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0	7,7
Atmosfer Basıncı (Pa)	100881	100881
Rüzgar Hızı (m/s)	6,2	5,8
Rüzgar Yönü (kuzeyden °)	0	30
Gökyüzü Berraklığı (%)	0	100
Şartların Oluştığı Ay	2	8
Şartların Oluştığı Gün	21	21

Program ekipman kapasitelerini bu değerler doğrultusunda belirler ancak yük hesaplamaları için saatlik değerleri veri olarak alır. Tabloda ifade edilen, şartların oluştuğu gün ve ay terimleri, ekstrem değerlerin gözlemlendiği ay ve günü belirtmektedir.

Hesaplamalarda yılbaşı, ulusal bayramlar gibi tatil günleri de dikkate alınmış olup bu günlerde ofis binasının tatil nedeniyle kullanılmaması doğrultusunda iklimlendirme, aydınlatma, havalandırma gibi faaliyetler devre dışı olarak bırakılmıştır.

4. SİMÜLASYON VE ANALİZ

Bu bölüme kadar irdelenmiş olan başlıklar tezin yapılış amacını ve örnek binanın tasarım koşullarını içermektedir. Dördüncü bölüm ise bina içi enerji tüketimini etkileyen faktörlerin detaylı incelemesini ve parametrelerin referans bina ile karşılaştırılmasını içermektedir. Gerçekleştirilen analizler doğrultusunda bir binanın az enerji tüketen bir yapı olabilmesi için tasarımda ne gibi seçimlerin yapılması gerektiği sunulmuştur. Bina incelemesi üç ana başlığa ayrılmıştır. Bunlar;

- Bina dış yüzey (kabuk) elemanlarının incelenmesi,
- Bina işletme şartlarının incelenmesi,
- Bina enerji tüketimini iyileştirecek pasif yöntemlerin incelenmesidir.

Bina dış yüzeyine ilişkin yapılan incelemede yalıtım, pencere, gölgelendirme ve bu elemanlara bağlı olarak incelenen gün ışığından faydalanma seçenekleri dikkate alınmıştır. Her bir eleman kendi içerisinde bir çok opsiyonuyla incelenmiştir.

İşletme şartlarının incelenmesinde ilk olarak ortam konfor sıcaklıklarının farklı değerlerde alınmasının enerji tüketimine etkisi incelenmiş olup ısıtma ve soğutma dönemi için ayrı ayrı analiz yapılmıştır. Standartlarda özellikle soğutma döneminde mahal sıcaklıkları ile ilgili değişken veriler verilmesi bu analizin yapılmasını önemli kılmıştır. İnfiltrasyon ve taze hava miktarındaki değişimin etkisi de diğer başlıklardır.

Pasif yöntemler bina içinde enerji tüketimini azaltıcı yönde etkisi olan ancak birincil projelendirme seçeneği konumunda olmayan ve sürdürülebilirlik açısından önemli yer tutan tasarımlardır. Bu yöntemler çoğu kez çevre şartlarını ve bu şartların fiziğe sunduğu avantajları kullanır. Bina için kullanılan pasif yöntemler ileride de bahsedileceği gibi gece soğutması (sıcaklığın nispeten düşük olduğu saatlerde çevre havası ile mahal soğutması), yeşil çatı uygulaması gibi tüketimi azaltıcı, maliyeti nispeten düşük uygulamalardır.

Bölüm 3'te tanımlanan örnek bina tezin temel bina perspektifini oluşturmaktadır. Her biri ayrı ayrı incelenecek olan parametreler örnek binanın tanımlanan tasarımı

üzerinden incelenecektir. Bunun anlamı binanın incelenen parametresi dışında tüm fiziki ve işletme şartlarının örnek bina ile aynı olacak olmasıdır. Verilerin sunumu ve yorumunda da referans durum (örnek bina) ile karşılaştırma yapılacak ve alternatiflerin avantajları ve dezavantajları görülmüş olacaktır.

4.1. Örnek Bina Analiz Sonuçları

Bölüm 3’te detaylıca irdelenen örnek binanın Energy Plus’ta tanımlanan ve çalışma kapsamında AutoCad programı ile hazırlanan görseli Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekil alt kısımda verilen resim, dış görünüşü, üst kısımda verilen resim ise bir miktar iç kısmı görme imkanı sağlamaktadır. En alt kattaki bölge şekilde görülmekte olup bu bölgenin otopark olmasından dolayı zemin seviyesinin altında tanımlanmıştır.

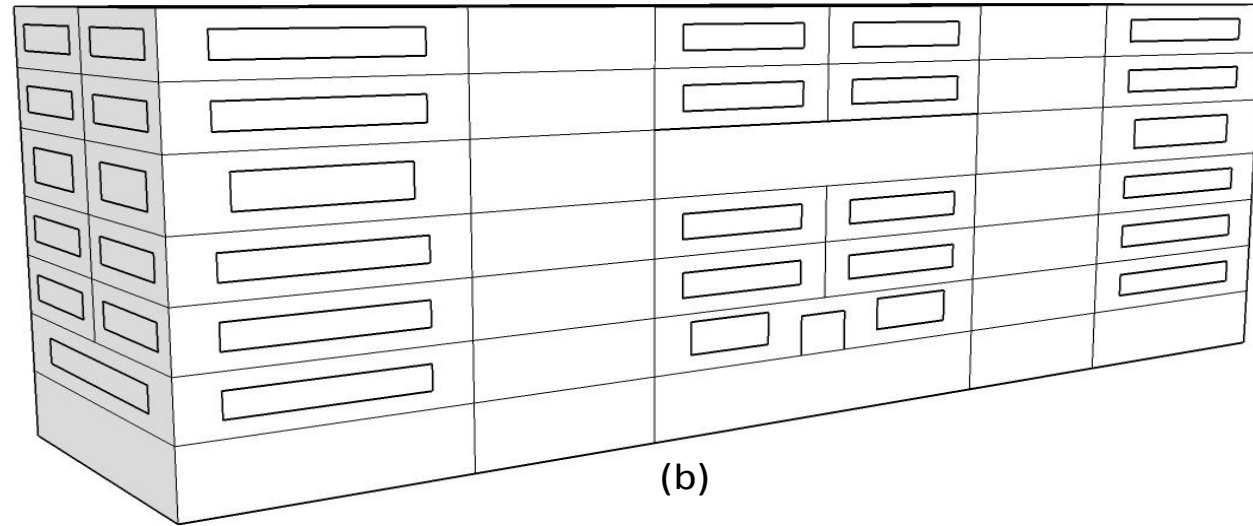
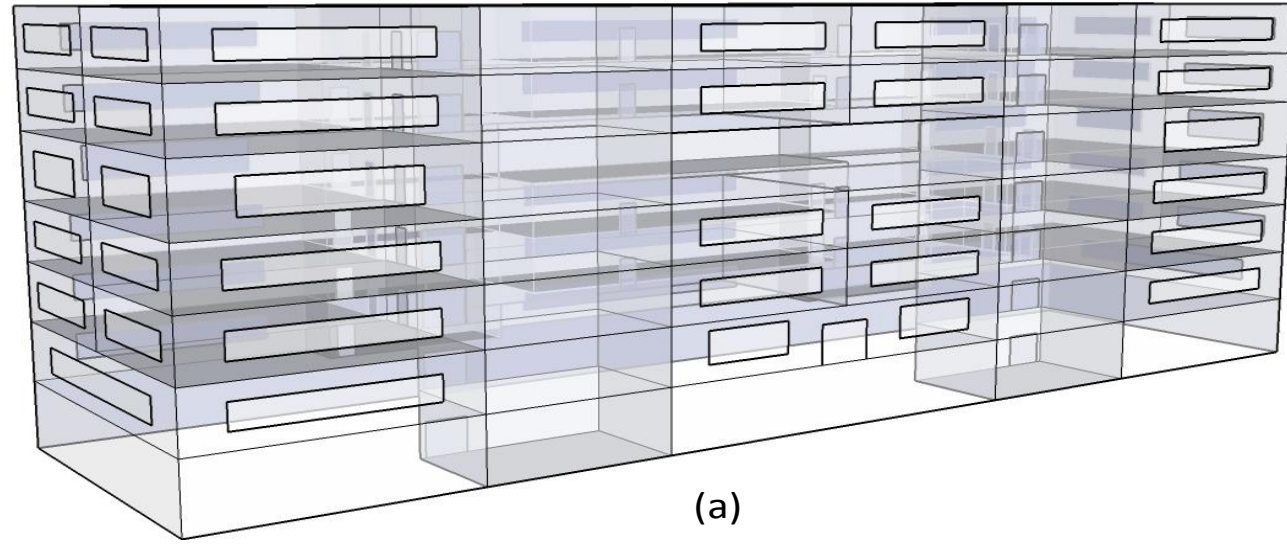
Örnek bina için tanımlanan ve Şekil 3.2’de gösterilen duvar tiplerinin toplam ısı geçirgenlik katsayıları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Tablodaki değerlere bakıldığında tüm U değerleri Çizelge 2.2’deki sınır değerlerini aşmamaktadır. TS825’e göre İstanbul’un 2. Bölgede olduğu dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.1 : Örnek bina duvar ve pencere U değerleri ile pencere SHGC değeri.

Yapı Elemanı	U (W/m ² K)	SHGC
Dış Duvar	0,44	-
Çatı	0,30	-
Pencere	2,40	0,85

Yapı elemanlarının U değerlerinin verilen sınır değerinin altında olması tek başına yeterli değildir. Ayrıca TS 825’in belirlediği yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı limit değerinin altında kalmakta gereklidir. Isı yalıtımının incelendiği kısımda örnek bina için seçilen yalıtım kalınlığının yıllık ısıtma ihtiyacı limit değerinin altında kalmak için yeterli olduğu gösterilecektir.

Binanın yıllık enerji tüketim verileri Çizelge 4.2’de tablo halinde sunulmuştur. Tabloda HVAC harici tüketim başlığı, ısıtma ve soğutma dışında kalan aydınlatma, ofis makineleri, fanlar ve pompaların tükettiği enerji miktarını tanımlamaktadır.

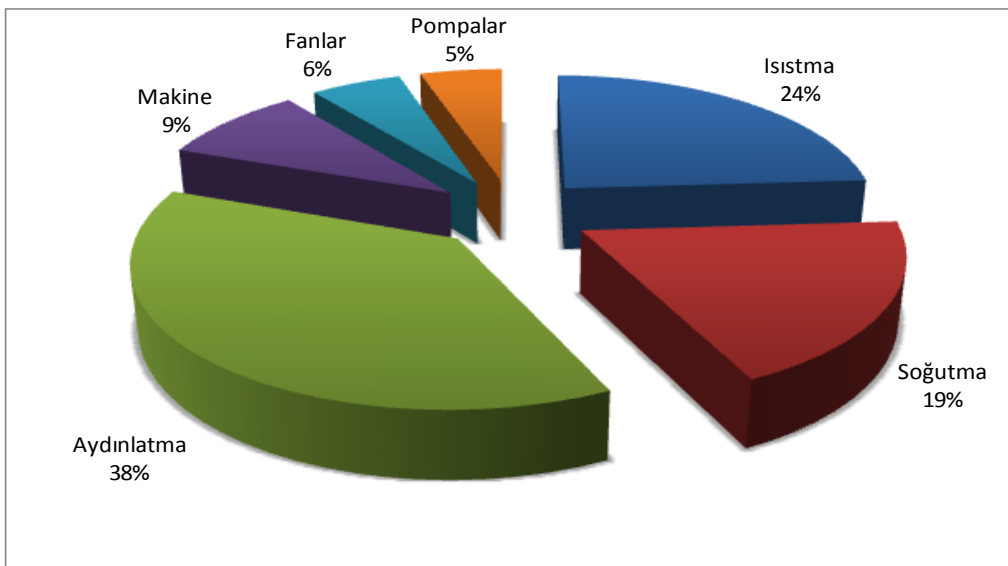


Şekil 4.1 : Tasarımı yapılan ve programa çizilerek tanıtılan binanın Energy Plus simülasyonu (a) iç görünüm, (b) dış görünüm.

Çizelge 4.2 : Örnek bina yıllık enerji tüketimi.

Ay	HVAC Harici	HVAC	
	Elektrik (kWh)	Isıtma (kWh) (Doğalgaz)	Soğutma (kWh) (Elektrik)
Ocak		46155,95	0,00
Şubat		43373,04	0,00
Mart		27802,57	0,00
Nisan		2544,93	5365,76
Mayıs		63,62	12058,83
Haziran		0,00	23730,24
Temmuz		0,00	32272,52
Ağustos		0,00	32396,59
Eylül		0,00	15688,88
Ekim		69,61	9930,55
Kasım		12873,12	0,00
Aralık		34163,57	0,00
Toplam (kWh/yıl)	395037,18	167046,42	131443,37
Toplam (kWh/m² yıl)	52,32	22,12	17,41

Çizelge 4.2'ye bakıldığında soğutmanın nisan ayında başladığını ve artarak yaz dönemi boyunca devam ettiği görülmektedir. Eylül ve ekim aylarında da mevsim koşulları gereği bir miktar soğutma yapılmıştır. Isıtma ise soğutmaya göre bir miktar fazla olup ocak ve şubat aylarında en yüksek noktasına ulaşmaktadır. Tüm bu tüketimin bir grafik halinde toplanmış görüntüsü Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 : Enerji tüketim ana gruplarının toplam enerji tüketimindeki payları.

Çizelge 4.3, yapılan hesaplara göre yapının, binalarda enerji performansı yönetmeliğinin belirlemiş olduğu sınır değerinin altında kaldığını göstermektedir.

Çizelge 4.3 : Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinin ofis binaları için birincil enerji tüketimi sınır değerleri [33].

Tüketilen Enerji (kWh/m ² -yıl)	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
	240	300	360	495

4.2. Bina Dış Yüzey (Kabuk) Elemanlarının İncelenmesi

Tanımlanan örnek bina, analiz için bir temel oluşturur. Bu noktadan sonra temel alınan yapının, enerji tüketimini etkileyen dış yüzey (çevre ile temasta olan) elemanlarının bireysel olarak analizi çok çeşitli olarak yapılacaktır. Bu irdelemeler,

- Yalıtım malzemesi, kalınlığı ve konumu,
- Camlı yüzeyler,
- Binanın konumu (yönü),
- Gölgeleme,
- Gün ışığından faydalanma ana başlıkları üzerine olacaktır.

4.2.1. Yalıtım simülasyon ve analizi

Ülkemiz ve dünyada enerji tüketimine ilişkin önlem almış olan tüm toplumlar binalarında yalıtımı zorunlu hale getirmiştir. Yapılan simülasyonlar ve verilecek sonuçlar bu yalıtımın zorunluluğunun önemini tanımlayacaktır. Bina için 4 ana yalıtım malzemesi için analiz yapılmıştır. Bu malzemelerin analizinde TS 825 standardının gereği olarak bir referans yalıtım kalınlığı belirlenmesine ihtiyaç vardır. Buna göre Çizelge 2.2’de verilen sınır U değerlerinin yanı sıra yıllık ısıtma ihtiyacının, TS 825’te verilen hesaplama şekli doğrultusunda verilmiş olan sınırı aşmaması gerekmektedir. Sınır U değeri bakımından referans bina için 8 cm yalıtım kalınlığı (polistren sert köpük) seçilmiştir. Ancak bu kalınlığın, toplam yıllık ısıtma enerjisi bakımından sınır değerinin altında kalınması için yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir. 2. İklim bölgesi için bu hesaplamalar aşağıda yapılmıştır [24].

2. Bölge için sınır ısıtma yükü değeri Q’ denklem (4.1) ile belirlenir.

$$Q' = \left[21,95 \times \left(\frac{A_{toplam}}{V_{brüt}} \right) \right] + 10,34 \quad \left[kWh/m^3 \right] \quad (4.1)$$

A_{toplam} ve $V_{\text{brüt}}$ binanın iklimlendirilen yüzey alanı ve hacmini tanımlamaktadır. Denklem (4.1) doğrultusunda referans bina için sınır ısıtma enerjisi tüketimi 16,46 kWh/m³ olacaktır. Bina için yıllık ısıtma enerji tüketimi ise birim hacim başına denklem (4.2)'den hesaplanır.

$$Q' = \left(\frac{Q_{\text{yıl}}}{V_{\text{brüt}}} \right) \quad \left[\text{kWh}/\text{m}^3 \right] \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'den bina için toplam yıllık ısıtma ihtiyacı 6,17 kWh/m³ olarak hesaplanır. Hesaplanan Q' değeri, sınır Q' değeri ile karşılaştırıldığında bina ısıtma yükü ihtiyacının limit değerinin altında kaldığı görülmektedir. Buna göre referans bina için alınan 8 cm yalıtım kalınlığı uygundur.

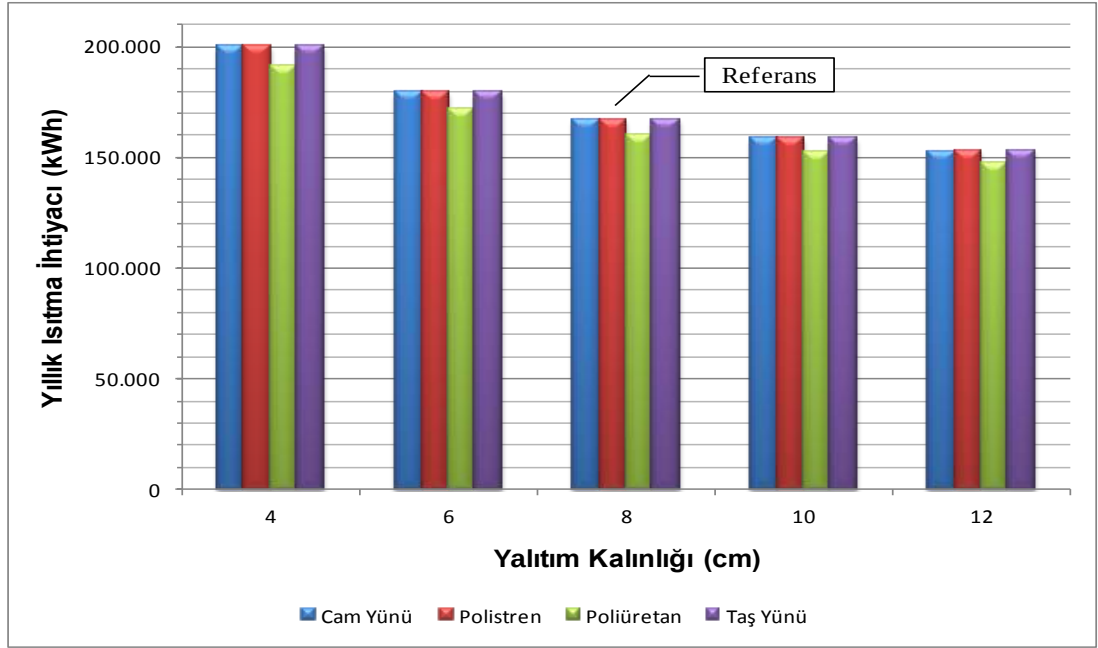
4.2.1.1. Yalıtım malzemeleri ve kalınlık

Yalıtımın etkisini incelemek için dört alternatif sunulmuştur. Bu alternatifler için de beşer adet yalıtım kalınlığı dikkate alınarak elde edilen veriler analiz edilmiştir. Analizde referans bina için kullanılan yalıtım malzemesi diğer alternatifleri ile değiştirilmiş olup öteki parametreler sabit kalmıştır. İncelemesi yapılan yalıtım malzemeleri ve temel özellikleri Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4 : Analizi yapılan yalıtım malzemeleri ve temel özellikleri [24,34].

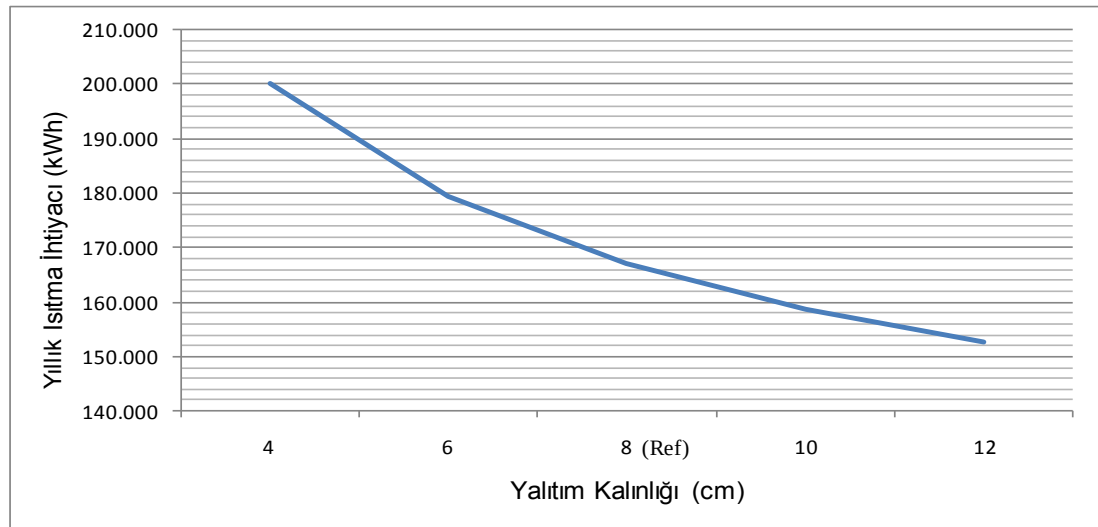
		Yalıtım Malzeme Cinsi			
		Poliüretan	Polistren (Ref.)	Taş Yünü	Cam Yünü
Temel Özellikler	Isı İletim k. (W/mK)	0,035	0,04	0,04	0,04
	Yoğunluk (kg/m ³)	48	20	70	14
	Özgül Isı (J/kgK)	1465	1465	840	753
U (W/m²K)	4 cm	0,70	0,78	0,78	0,78
	6 cm	0,50	0,56	0,56	0,56
	8 cm (Ref.)	0,39	0,44	0,44	0,44
	10 cm	0,32	0,36	0,36	0,36
	12 cm	0,27	0,30	0,30	0,30
Yapısal Özellikler	Yanıcılık	Şiddetli Yanıcı	Yanıcı	Yanmaz	Yanmaz
	Organik / İnorganik	Organik	Organik	İnorganik	İnorganik
	Elastik / Kırılgan	Kırılgan	Kırılgan	Elastik	Elastik
	Zamanla Boyutsal Değ.	Evet	Evet	Hayır	Hayır
	Güneşten Etkilenme	Evet	Evet	Hayır	Hayır
	Sıcaklık Dayanımı	110°C	70-80°C	750-1000°C	250-550°C
	Ses Yalıtım Kabiliyeti	Kötü	Kötü	Çok İyi	Çok İyi

Yalıtım malzemeleri ve kalınlıklarının ısıtma enerjisi tüketimine etkileri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Yalıtım malzemesi ve kalınlıklarının yıllık ısıtma ihtiyacına etkisi.

Isı iletim katsayıları bakımından birbirine yakın olan cam yünü, polistren ve taş yünü beklendiği gibi tüketim yönünden birbirlerine çok yakın değerlerdedir. Poliüretan ise daha düşük bir ısı iletim katsayısına sahip olmasından dolayı enerji tüketiminde daha tasarruflu olmaktadır. Genelde yalıtım kalınlıklarının değişimi bakımından aynı karakteri gösteren malzemelerden referans malzeme için bu eğilimin değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir.



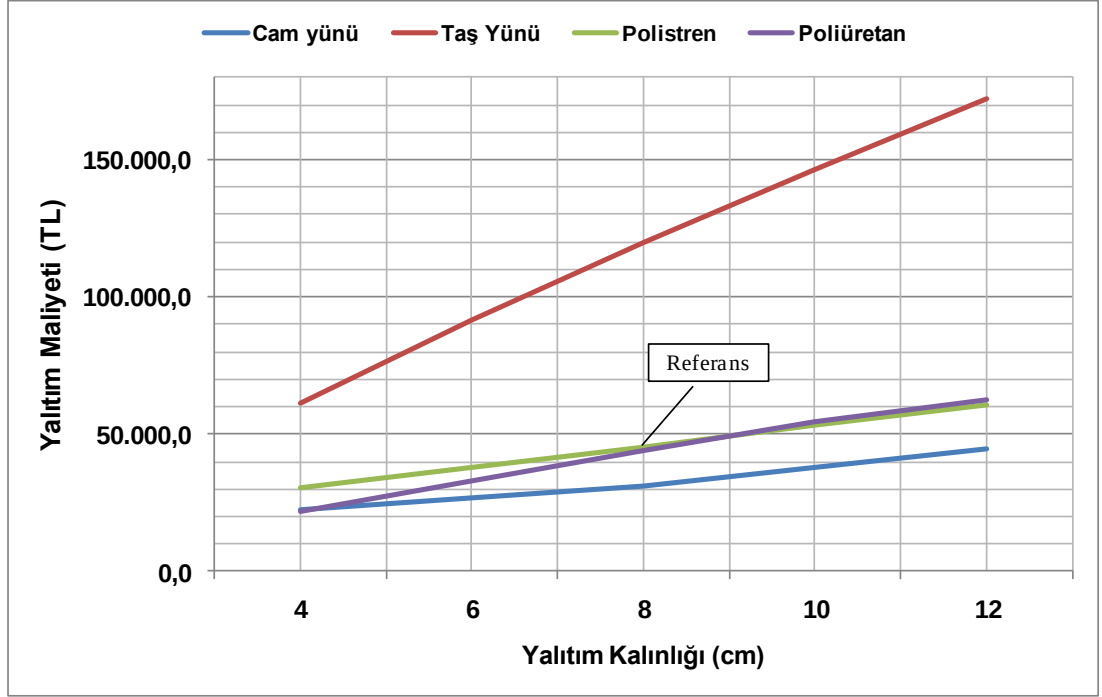
Şekil 4.4 : Referans bina için yalıtım kalınlığı değişiminin ısıtma ihtiyacına etkisi.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 bize yalıtım malzemelerinin enerji tasarrufunda önemli bir yeri olduğunu göstermektedir. Ancak malzeme seçiminde ya da yalıtım kalınlığının belirlenmesinde malzemelerin maliyetleri de önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 4.3 yalıtım kalınlığının artmasının önemli bir tasarruf sağladığını ancak yalıtım malzemelerinin birbirlerine göre pek bir farkı olmadığını göstermektedir. Bu noktada aynı işlevi gören malzemelerden maliyet açısından en tasarruflusunu belirlemek önem kazanır. Malzeme seçimi ile birlikte yalıtım kalınlığının seçimi de bir diğer maliyet analizi gerektiren unsurdur. Şekil 4.4'teki grafik yalıtım kalınlığındaki artışın bir süre sonra anlamlı bir tasarruf sağlamadığını gösterir. Eğri 12 cm'ye doğru giderek düzleşmektedir. Bu durum tasarımcıya yalıtım kalınlığı için öngörmesi gereken en fazla miktarın ne olacağını anlatmaktadır. En düşük miktarı ise standartlar belirlemektedir. En düşük ve en yüksek limitlerin belirlenmesi sonrası, seçilen malzeme ve kalınlığın yatırım maliyetine etkisi devreye girer. Çizelge 4.5 yalıtım malzemeleri ve kalınlıklarına karşılık gelen ısıtma enerjisi tüketimini ve yalıtım kalınlığındaki artışın sağladığı tasarrufu gösterir.

Çizelge 4.5 : Yalıtım alternatiflerine göre yıllık ısıtma enerjisi tüketimi.

Yal. Malzemesi	Kalınlık (cm)	Isıtma Enerjisi (kWh/yıl)	Tasarruf Oranı (%)
Polistren	4	200.197,2	
	6	179.336,1	10,42
	8 (ref)	167.047,2	6,85
	10	158.697,2	5,00
	12	152.691,7	3,78
Cam Yünü	4	200.166,7	
	6	179.297,2	10,43
	8	167.011,1	6,85
	10	158.658,3	5,00
	12	152.647,2	3,79
Poliüretan	4	191.208,3	
	6	171.788,9	10,16
	8	160.194,4	6,75
	10	152.497,2	4,80
	12	147.188,9	3,48
Taş Yünü	4	200.230,6	
	6	179.369,4	10,42
	8	167.100,0	6,84
	10	158.747,2	5,00
	12	152.733,3	3,79
Yalıtımsız Hal		502.866,7	60,18

Çizelge 4.5'te belirtilmiş olan yalıtımsız hal binanın dış duvarlarının herhangi bir yalıtıma maruz kalmadığı haldir. Bu durum ile en düşük yalıtım kalınlığı olan 4 cm yalıtım kalınlığındaki durum karşılaştırıldığında ısıtma ihtiyacındaki tasarrufun %60 mertebesinde olduğu görülmektedir. Tasarrufun bu noktada olması yalıtımı kaçınılmaz hale getirir. Aynı zamanda belli bir maliyete sahip olan yalıtımın bu yansıması Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Yalıtım malzemesi ve kalınlıklarına göre yatırım maliyetleri [35].

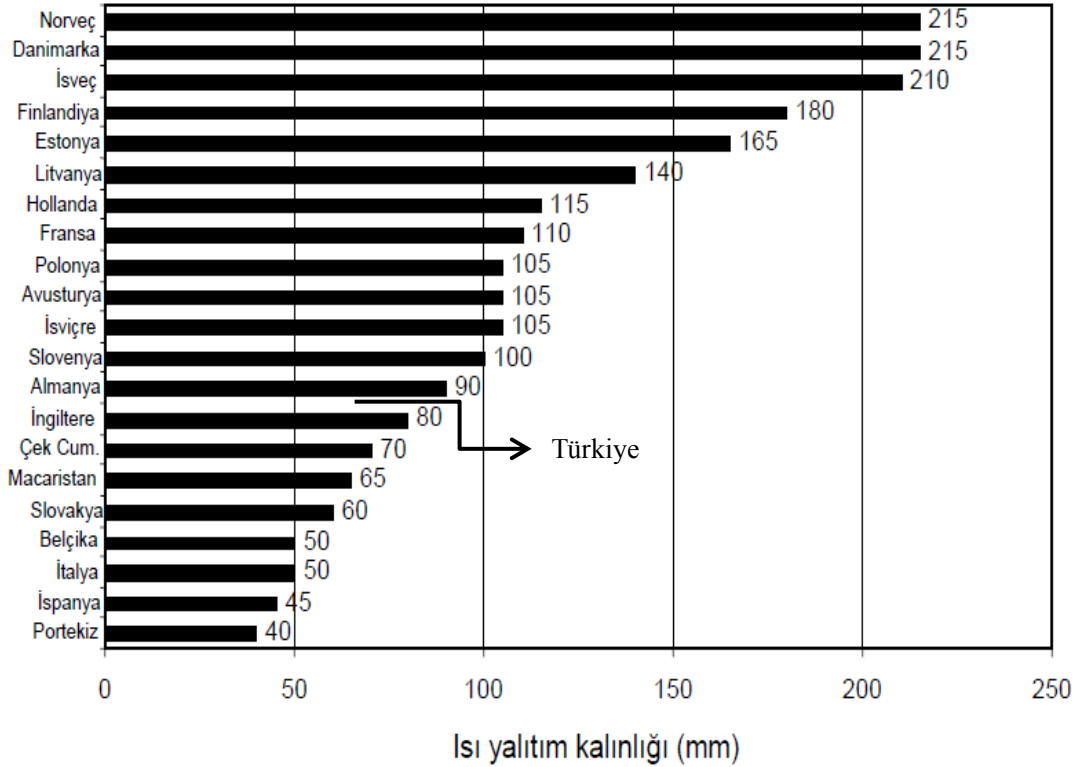
Yapılan analizler doğrultusunda yalıtım malzemelerinden taş yününün ısı iletim katsayısının düşüklüğü bakımından daha tasarruflu olduğunu ancak maliyetinin de diğer malzemelere göre oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu bakımdan malzeme seçiminde diğer üç elemana yönelmek doğru olacaktır. Aynı zamanda yalıtım kalınlığındaki artış ta fiyatları etkilemekte olup 10 cm ve sonrası için önemli ölçüde enerji tasarrufun elde edilememesi doğrultusunda 8-10 cm arası yalıtım kalınlığı öngörülen iklim için uygun olacaktır.

Kazan kapasitesi bakımından yalıtımın etkisi Çizelge 4.6'da verilmiş olup bu sonuçlar incelendiği takdirde yalıtımsız duruma göre önemli ölçüde kapasite tasarrufu sağlandığı görülecektir. Ancak bu tasarrufa yalıtım alternatifleri yönünden bakıldığında, kapasite tasarrufu enerji tüketimindeki tasarruf gibi 8-10 cm yalıtım kalınlığı sonrasındaki etkisini giderek kaybetmektedir.

Çizelge 4.6 : Yalıtım alternatiflerine göre kazan kapasiteleri.

	Yalıtım Cinsi	Cam Yünü	Taş Yünü	Poliüretan	Polistren	Yalıtımsız
Yalıtım Kalınlığı (cm)						
4		305	305	300	305	531
6		293	293	289	293	
8		286	286	282	286 (ref)	
10		281	282	278	281	
12		278	278	274	278	

İstanbul'un iklim açısından kuzey ülkelere göre daha sıcak olmasından dolayı yalıtım kalınlığı için tanımlanan değerler diğer bölgelere göre oldukça düşük olmuştur. Bu durum Şekil 4.6'da verilen grafikten daha iyi anlaşılabacaktır.

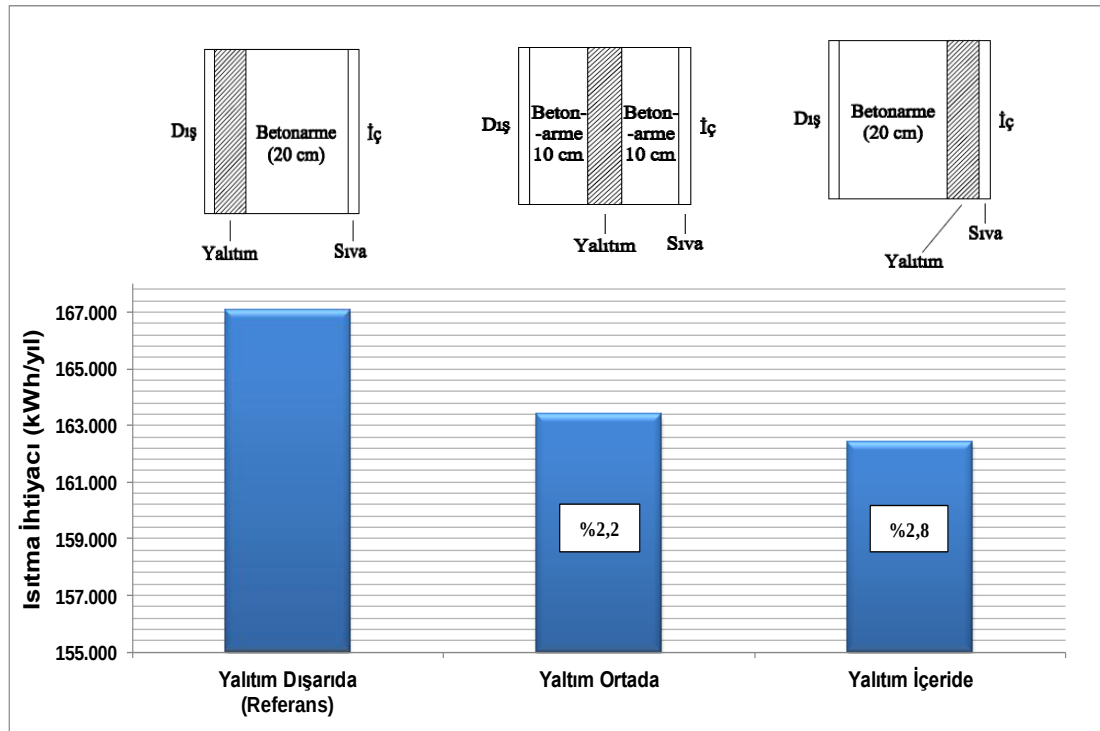


Şekil 4.6 : Avrupa'daki ülkelerin ortalama duvar yalıtım kalınlık değerleri [36].

Yapılan inceleme ve Şekil 4.6'daki veriler yapının bulunduğu coğrafyanın, ısı yalıtımı açısından kuzey iklimine göre daha şanslı olduğunu göstermiştir. Bu noktada bina için 8-10 cm arası yalıtım kalınlığı uygun düşmektedir. Yalıtım için daha düşük bir kalınlık istenir ise bu durumda, TS 825 standardına göre minimum U değeri ve denklem (4.1) ile (4.2)'nin sonuçları sağlanmalıdır.

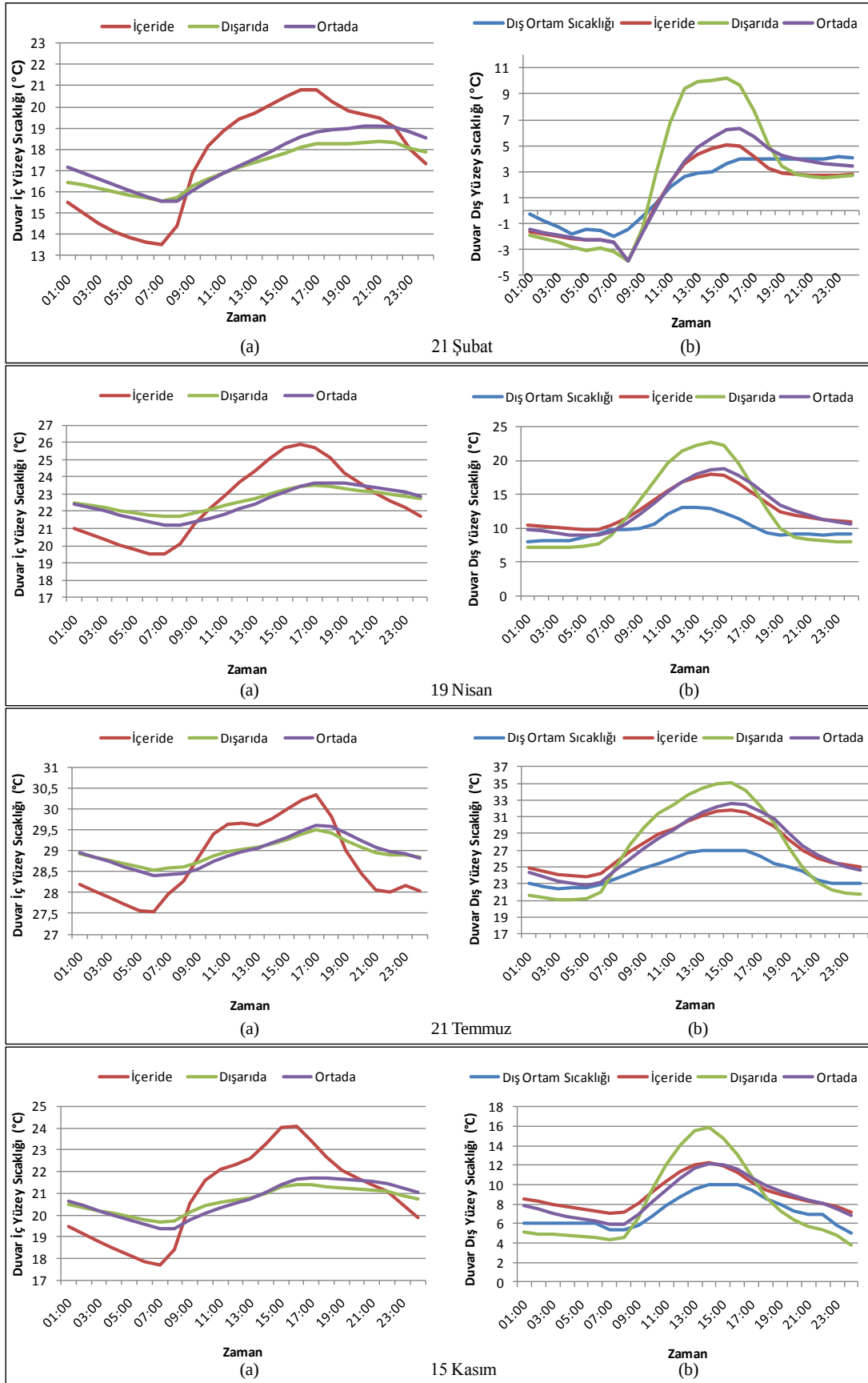
4.2.1.2. Yalıtım konumu

Yalıtımın yapı elemanı içindeki yeri bu başlıkta incelenmiştir. Referans bina için ön görülen yalıtım malzemesi (polistren) ve yalıtım kalınlığı (8 cm) için üç alternatif dikkate alınmıştır. Bunlar, bina dış duvarına dışarıdan yapılan (dışarıda) yalıtım, bina dış duvarının arasına (sandviç duvar) yapılan yalıtım ve bina dış duvarının iç ortama bakan tarafına (içeride) yapılan yalıttır. Sonuçlar Şekil 4.7’deki grafikte gösterilmiştir. Her durum için ısı köprülerine karşı önlem alınmıştır.



Şekil 4.7 : Yalıtım konumunun yıllık ısıtma ihtiyacına etkisi.

Elde edilen sonuçlar, yalıtımın içeride yapılmasının ısıtma ihtiyacında %2,8’lik bir tasarruf sağlandığını göstermiştir. Bu durumun sebebi Şekil 4.8’deki verilerle anlaşılabilir. Şekil 4.8, her mevsim için bina iklimlendirilen hacminin bir dış duvarının tüm gün boyunca iç ve dış yüzey sıcaklıklarını vermektedir. Kışın şiddetli olduğu 21 Şubatta, gün içinde, duvar dış yüzey sıcaklığı en yüksek olan yalıtım konumu, yalıtımın dışarıda olduğu durumdur. Çevre sıcaklığı ile sıcaklık farkının en yüksek olduğu bu hal en yoğun ısı transferinin bu konumda olacağını göstermektedir. İç yüzey açısından da kışın, gün içindeki sıcaklık değerleri yüksek olan yalıtımın içeride olduğu hal daha konforlu bir ortam oluşturmaktadır. Yaz döneminde ise dışarıdan yalıtımda dış yüzey sıcaklığının yüksekliği sebebiyle binaya ısı geçişi azalmış olup bu dönemde avantajlı konum dışarıdan yalıtım olmaktadır.



Şekil 4.8 : Yalıtımın konumuna göre bina duvar yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (a) iç yüzey, (b) dış yüzey sıcaklığı.

4.2.2. Camlı yüzeylerin simülasyon ve analizi

Camlı yüzeyler binanın dış cephesinde dış ortama bakan pencerelerdir. Günümüzde birçok alternatifi olan cam tiplerinin simülasyonu bu bölümde yapılmıştır. Kullanım alanları ve üretim bakımından çok sayıda seçeneği olan camlı yüzeylerin enerji tüketimine etkisi 6 ana başlıkta incelenmiştir. Bu başlıklar,

- Cam adedi (Tek cam, çift cam, üç cam),
- Cam kalınlığı,
- İki cam arasındaki gaz boşluğunun kalınlığı,
- İki cam arasında kullanılan gazın cinsi,
- Kullanılan camın güneş (SHGC) ve ısı (U) geçirgenliği,
- Camlı yüzey alanının miktarı şeklindedir.

Örnek bina üzerinden yapılan simülasyonlarda bina camlı yüzeyinin toplam dış duvar alanına oranı %30 olarak tasarlanmıştır. Camlı yüzey alanındaki değişikliğin enerji tüketimi üzerindeki etkisi de ayrıca incelenmiş olup ileriki bölümde detaylıca anlatılacaktır.

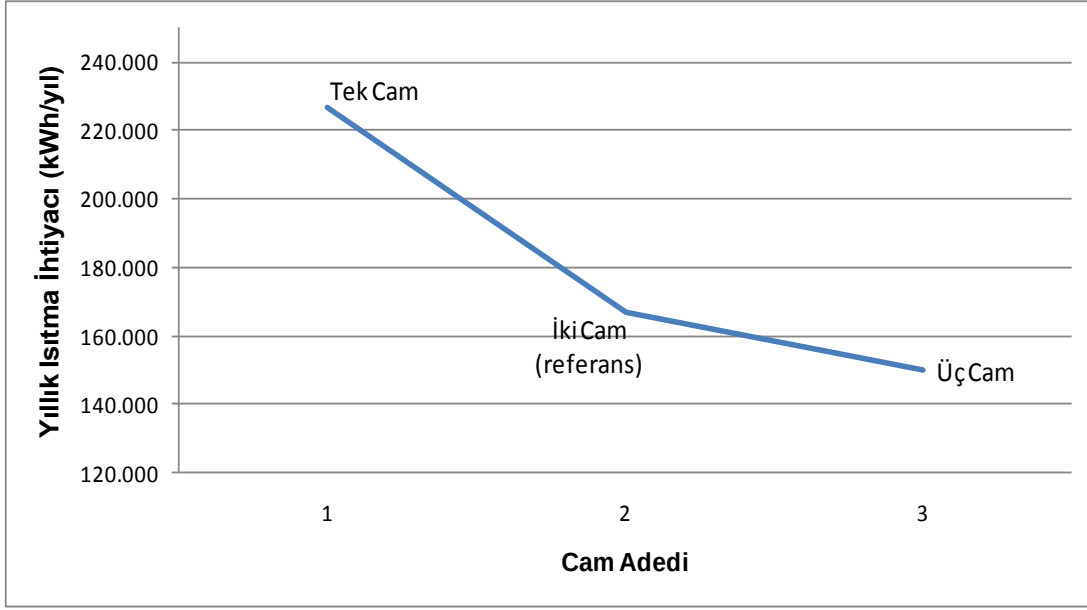
4.2.2.1. Cam adedi

Cam adedinin enerji tüketimine etkisini incelemek için Çizelge 4.7’de verilen alternatifler göz önüne alınmıştır. Örnek bina için Çizelge 3.3’te tanımlanan cam tipi tek, ikili ve üçlü olarak dizayn edilmiş ve yüklere etkisi gözlenmiştir. Camlar arası gaz boşluğu 9 mm olup gazın cinsi kriptondur.

Çizelge 4.7 : Alternatif cam tipi ve özellikleri.

Cam Tipi	SHGC	U (W/m ² K)	Gaz Boşluğu	Cam Kalınlığı
			(mm)	(mm)
Tek Cam	0,92	5,85	-	4
İki Cam (ref.)	0,85	2,40	9	4+4
Üç Cam	0,79	1,54	9+9	4+4+4

Alternatiflerin ısıtma ihtiyacı üzerine olan etkisi Şekil 4.9 ve Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.9 : Cam adedinin ısıtma ihtiyacına olan etkisi.

Isıtma etkisi ile birlikte soğutma ihtiyacına olan etki de Çizelge 4.8’de incelenebilir.

Çizelge 4.8 : Cam adedi alternatiflerine göre enerji tüketimleri ve ısıtma tasarrufu.

Cam Tipi	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Tasarruf Oranı (%) (Isıtma)
Tek Cam	125.472,2	226.950,0	
İki Cam (ref.)	131.444,4	167.047,2	26,4
Üç Cam	127.569,4	149.822,2	10,3

Analiz, cam adedinin artmasının ısıtma ihtiyacında oldukça önemli bir pozitif etki sağlayacağını göstermektedir. Tek cam seçiminden üç cam seçimine geçişte bu tasarruf %34 seviyesine ulaşmaktadır. Isıtma ihtiyacı ile karşılaştırıldığında soğutma için tüketilen enerjide cam adedi çok önemli bir rol oynamamaktadır. İrdelemenin kapasite bakımından sonuçları Çizelge 4.9’da sunulmuştur.

Çizelge 4.9 : Cam adedi alternatiflerine göre kazan kapasiteleri.

Cam Tipi	Kazan Kapasitesi (kW)
Tek Cam	329,5
İki Cam (ref.)	286,6
Üç Cam	272,0

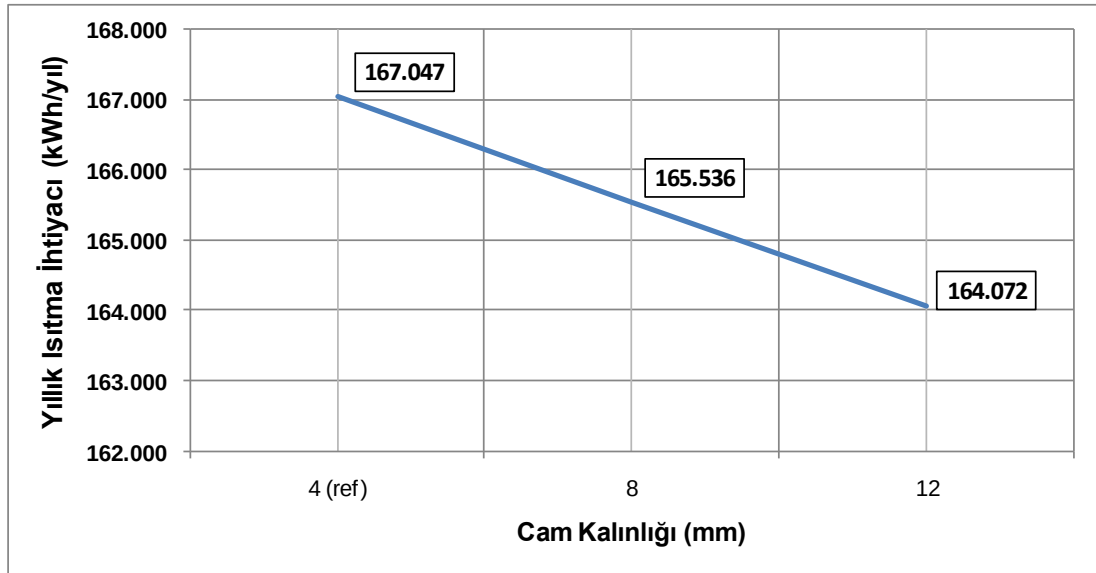
4.2.2.2. Cam kalınlığı

Binada kullanılan camın et kalınlığındaki değişim üç alternatif ile incelenmiştir. Bu alternatiflerin enerji tüketimine olan etkileri tasarımcıyı seçim konusunda yönlendirecektir. Çizelge 4.10 bu cam alternatifleri ve özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 4.10 : Kalınlık yönünden cam alternatifleri ve özellikleri.

Cam Kalınlığı (mm)	SHGC	U (W/m ² K)	Penceredeki Cam Tipi	Gaz Boşluğu (mm)
4 (ref.)	0,85	2,40	Çift Cam	9
8	0,85	2,34	Çift Cam	9
12	0,85	2,29	Çift Cam	9

Alternatiflerin ısıtma ihtiyacına olan etkisi Şekil 4.10'da verilmiştir. Verilen grafikten artan kalınlıkla tüketimin düştüğü açıkça görülmüştür. Ancak grafikte belirtilen tüketim aralığı dar bir skaladır. Bunun amacı belli bir miktar tasarrufun olduğunu göstermektir. Sonuç olarak enerji ihtiyacındaki düşüş maksimum %2'ler mertebesinde.



Şekil 4.10 : Cam kalınlığının yıllık ısıtma ihtiyacına olan etkisi.

Şekil 4.10'da eğri üzerinde gösterilen değerler cam kalınlık alternatifleri için ısıtma ihtiyaçlarını göstermektedir. Isıtma için maksimum ve minimum kalınlık arasındaki tasarruf miktarı %1,78 kadardır. Soğutma yükündeki değişim ise ısıtma ihtiyacına göre yok denecek kadar azdır.

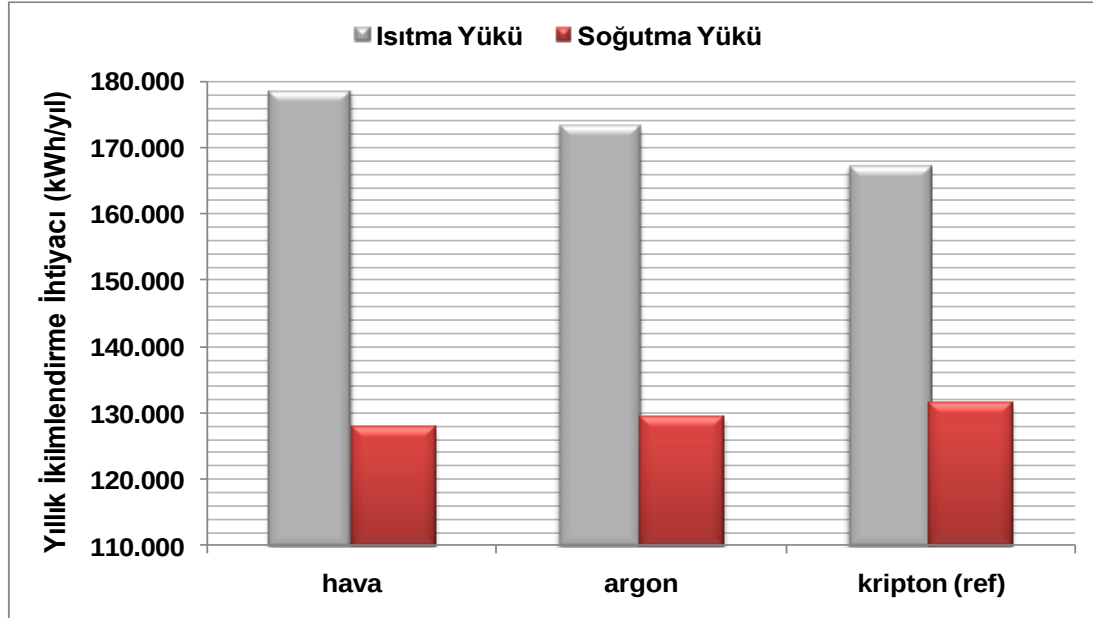
4.2.2.3. İki cam arasında kullanılan gazın cinsi

Bölüm 4.2.2.1’de pencere tasarımı için birden fazla cam kullanmanın önemli bir tasarrufu olduğu gözlenmişti. Bu bölümde ise tercih edilen çoklu cam tipi için seçim parametresi olan camlar arası gazın cinsi incelenecektir. Örnek bina üzerinden, cam için üç ayrı alternatif gaz denenmiş olup bu alternatifler Çizelge 4.11’de sunulmuştur.

Çizelge 4.11 : Alternatif gaz tipleri ve bunlara ait cam özellikleri.

Gaz Tipi	SHGC	U (W/m ² K)	Gaz Boşluğu (mm)	Cam Kalınlığı (mm)
Hava	0,85	2,86	9	4+4
Kripton (ref.)	0,85	2,46	9	4+4
Argon	0,85	2,64	9	4+4

Havaya göre ısı iletkenlik değeri daha düşük ve viskozite değeri yüksek olan asal gazların enjekte edilmesi ısı transferini belirgin oranda azaltmaktadır. Ucuz olması nedeniyle en yaygın kullanılan seçenek argon gazı ise de, ısı korunumu açısından en yüksek performans kripton gazı kullanımı ile elde edilmektedir. Bu durumun ifadesi Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 : Farklı gaz cinsleri kullanılan camların ısıtma ve soğutma yüküne etkisi.

Asal gazların ısı iletkenliklerinin havaya göre daha düşük olması ısıtma bakımından önemli bir tasarruf sağlamıştır. Ancak soğutma ihtiyacının da artmış olması göz

önüne alınmalıdır. Azalan U değeri yaz döneminde, gündüz soğutma bakımından avantaj sağlamakla birlikte gece düşen çevre sıcaklığında binanın ısıl ataletinin bir bölümünü dış ortama aktarmasına engel olacaktır. Alternatiflerin ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi ile ısıtmadaki tasarruf oranları Çizelge 4.12’de incelenebilir.

Çizelge 4.12 : Gaz cinsi alternatiflerinin ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi.

Cam Tipi	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Artış Oranı (%)	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Tasarruf Oranı (%)
Hava	127.713,9		178.236,1	
Argon	129.452,8	1,4	173.075,0	2,9
Kripton (ref)	131.444,4	1,5	167.047,2	3,5

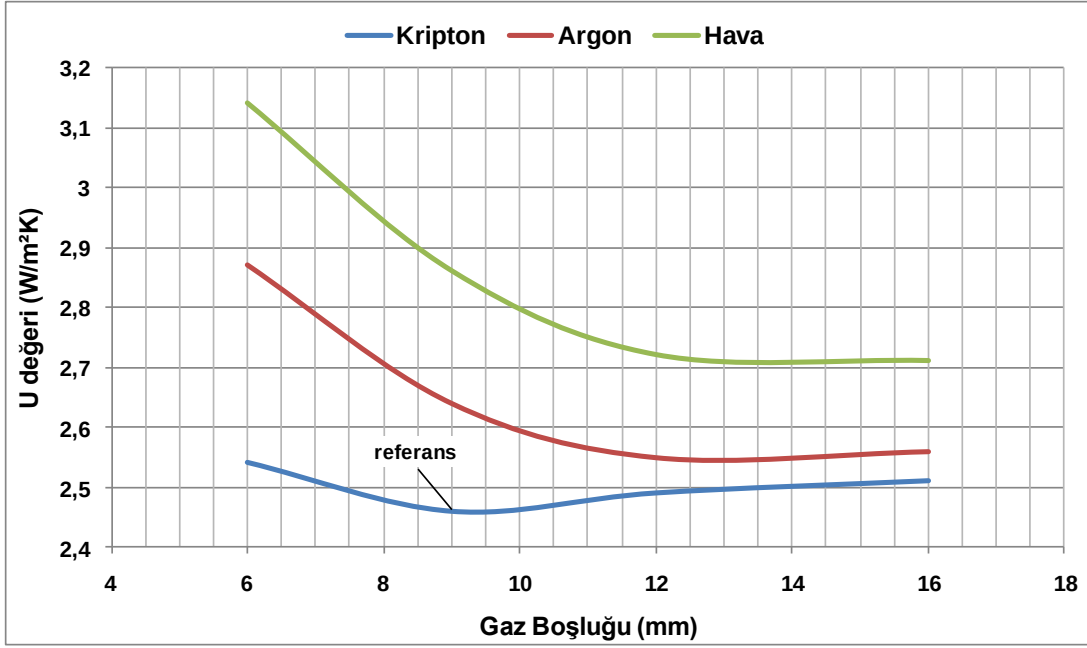
Hava yerine gaz boşluğu kripton ile doldurulur ise ısıtma ihtiyacında % 6,27 kadar bir tasarruf sağlanır. Aynı zamanda soğutma ihtiyacı %2,9’luk bir artış gösterecektir. Alternatiflerden asal gazların havaya tercih edilmesi her durumda avantaj sağlayacaktır. Bunun sebebi ısıtmada önemli bir tasarruf sağlıyor olmasıdır. Çizelge 4.13’te alternatiflerin ana ekipman kapasitelerine olan etkilerini sunmaktadır.

Çizelge 4.13 : Farklı gazların kullanıldığı cam tiplerinin ana ekipman kapasitelerine olan etkileri.

Gaz Tipi	Kazan Kapasitesi (kW)	Chiller Kapasitesi (kW)
Hava	293,0	506,7
Argon	290,0	507,0
Kripton (ref.)	286,6	507,4

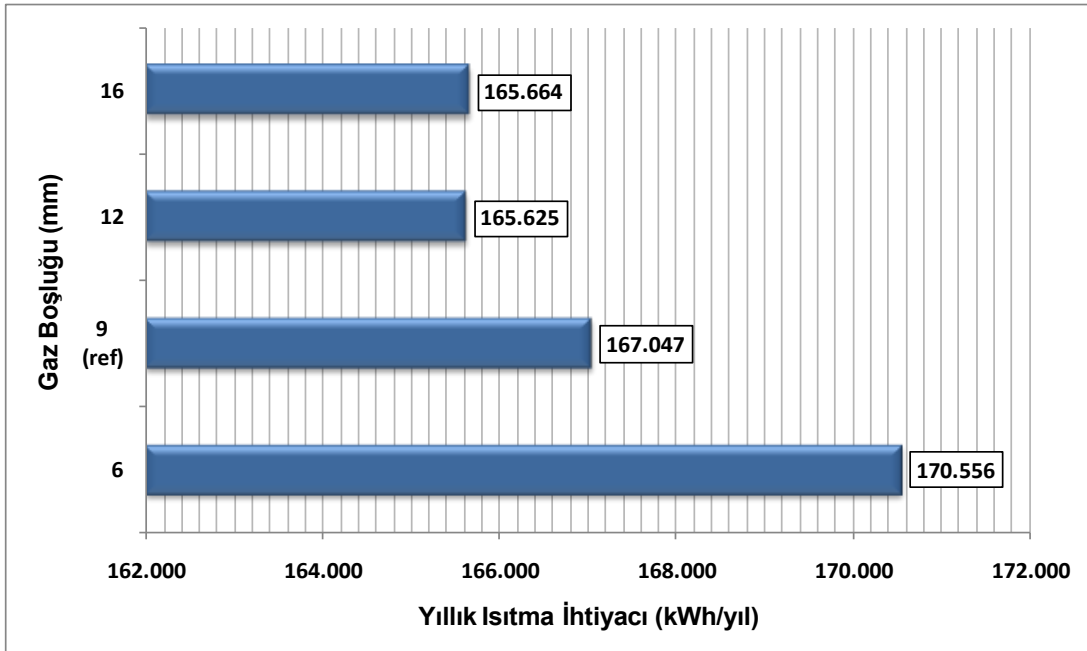
4.2.2.4. İki cam arasındaki gaz boşluğunun kalınlığı

Camlı yüzeylerde seçim kriterlerinden bir diğeri de çoklu cam tipi için camlar arası boşluğun kalınlığıdır. Gaz boşluğu ile ilgili yapılan bu analizde referans bina için kabul edilen pencere tipi çift camlı ve camlar arası kripton gazının mevcut olduğu yapıdır. Dört ayrı alternatifin göz önüne alındığı incelemede gaz boşluğundaki değişimin enerji tüketimine olan etkisi gözlemlenmiştir. Gaz boşluğu için 6, 9 (referans), 12 ve 16 mm kalınlık seçenekleri analizin alternatifleri olmaktadır. Bu alternatiflerin pencere U değeri üzerine etkisi Şekil 4.12’de incelenebilir.



Şekil 4.12 : Camlar arası gaz boşluğunun pencere U değerine etkisi.

Analizde kullanılan kripton gazı ve diğer gazlar bize bir eğilim vermektedir. Artan kalınlık değeri bir limit sonrası U değerinde önemli bir değişikliğe yol açmamakla birlikte kripton için kalınlığın düşük olduğu ilk değerine yaklaşmaktadır. Bu durumun ısıtma ihtiyacına etkisi Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13 : Çift camlı pencerede camlar arası boşluğun ısıtma ihtiyacına etkisi.

Şekilde açıkça görülmektedir ki belli bir kalınlıktan (12mm) sonra gaz boşluğundaki artış avantaj sağlamamaktadır. Artan kalınlık ile 12 mm'den sonra ısıtma ihtiyacı

yükseliş eğilimine geçmektedir. Bu durum gaz boşluğu için belli bir değerin limit olacağını gösterecektir. Soğutma yükünde ise artan kalınlıkla ısıtma ihtiyacındaki düşüşe oranla az da olsa bir artış gözlemlenmiştir. Kapasite bakımından ise alternatiflerin, soğutmada chiller kapasitesine etkisi yok denecek kadar azdır. Bu verilere ait tablo Çizelge 4.14’te sunulmuştur.

Çizelge 4.14 : Gaz boşluğu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve kapasitelere etkileri.

Gaz Boşluğu (mm)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Kazan Kapasitesi (kW)	Chiller Kapasitesi (kW)
6	130.330,6	170.555,6	288,5	507,25
9 (ref.)	131.444,4	167.047,2	286,5	507,48
12	132.019,4	165.625,0	286,2	507,61
16	132.241,7	165.663,9	286,5	507,71

4.2.2.5. Cam güneş (SHGC) geçirgenliği

Pencere seçiminde oldukça önemli bir kavram söz konusudur. Pencereyi oluşturan camın kendisine has birtakım özelliklerinin olması farklı iklim koşullarında farklı tüketimlerin oluşmasına sebep vermektedir. Bu özelliklerin başında camın dış çevre etkisinde maruz kaldığı güneş ışığına karşı gösterdiği davranış gelmektedir. Camlı yüzeyin güneş ısı ve ışığının ne kadarını iç ortama aktardığı enerji tüketimleri açısından oldukça önemlidir. Lakin ortama giren ısı kış döneminde avantaja yaz döneminde ise dezavantaja dönüşecektir. Hesaplamalarda önemli bir yeri olan bu durum cam için bir tanımın yapılmasına sebep olmuştur. Avrupa standartlarında SC (Shading Coefficient) ve Amerika standartlarında SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) olarak tanımlanan katsayı cam için bu ısı kazanım özelliğini tanımlamaktadır. Sıfır ile bir arasında değişen bu katsayı sıfıra yaklaştıkça camın güneş ısı kazanımının azaldığını ifade eder. Üretimde farklı coğrafyaların gereği olarak bir çok değişik SHGC değerine sahip cam tipi piyasaya sürülmektedir. Cam için geçirme birlikte aynı zamanda yutma ve yansıtma gibi iki önemli terim daha mevcuttur. Bunlar da camın ısı kazanımını direkt etkileyen parametrelerdir. Çizelge 3.3’ten hatırlanacağı gibi bu özellikler cam için SHGC değerinin belirlenmesini sağlayacaktır. Cama ait geçirme, yutma ve yansıtma özellikleri için bir dizi katsayı tanımlanmış olup bu katsayıların birbirleri ile olan bağlantısı denklem (4.3)’te gösterilmiştir [37].

$$R_a + R_t + R_r = 1 \quad (4.3)$$

Burada R_a camın yutma oranını, R_t geçirme oranını ve R_r yansıtma oranını tanımlamaktadır.

Artan ısıtma ve soğutma ihtiyacı ile birlikte standart camların tasarrufta yetersiz kaldığı ve bu nedenle camın bazı optik özelliklerinde değişikliklere gidilerek bir takım yeni pencere tasarımları oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Isıl performansı etkileyen SHGC ve U değerlerinin istenen seviyelere ulaşması ve ihtiyaçlara cevap vermesine yönelik bu gelişmelerin başında camın temel özelliklerinde değişikliğe gidilmesi gelmektedir. Camların denklem (4.3)'te belirtilen katsayılarında değişiklik yapılması sayesinde SHGC değerleri farklı sayısal aralıklara çekilebilmiştir. Bu sayede SHGC değeri bire yakın olan (yüksek SHGC) camlarda güneş ısısının geçişi arttırılarak ısı kazanımında artış sağlanmıştır. SHGC değerinin düşürülmesi (düşük SHGC) ile de güneş ısısı kontrol edilebilmiştir. Bir diğer önemli gelişme ise düşük emissiviteli (Low-E) cam modelinin kullanılmaya başlanmasıdır. Bu tip pencerelerde camın bir yüzü düşük ısıl ışıınımı yapan ve aynı zamanda iç ortamdaki ısıнын radyasyonla dışarıya transfer olmasını engelleyen bir kaplama ile kaplanır. Bu tip camlar ısıl korunumu arttırmakta aynı zamanda belli bir miktar güneş kontrolü ile soğutma döneminde de yükün aşırı derecede artmasını engeller. Maliyeti yönünden çok fazla kullanım alanı olmayan ancak üzerinde çalışmaların devam ettiği başka bir cam tipi ise akıllı cam olarak tabir edilen *switchable* camlardır. Bu camlar değişen iklim koşulları ve binanın gereksinimleri doğrultusunda optik özelliklerini değiştirerek akıllı filtreler şeklinde davranan camlardır. Örneğin, yazın güneş kontrolü ile ısı kazanımının engellenmesi istendiğinde bu amaç için üretilmiş akıllı cam kullanılarak cam yüzeyinin belli bir sıcaklıktan sonra kararmasını ve güneş ışınlarını geçirmemesi sağlanır. Aynı cam ısıtma döneminde ise geçirgenliği doğrultusunda maksimum ısı kazanımını sağlayacaktır. Başlıca tipleri, fotokromik, elektrokromik, termokromik, holografik camlardır. Isıtma ve soğutma yükleri eşit ve yüksek olan binalarda mevsimlik değişiklere uyum sağlama yetenekleri nedeniyle kullanılması önem kazanır. Bununla birlikte içsel ısı kazançları yüksek olan, mevsimlik güneş kontrolünün büyük önem kazandığı binalarda da kullanılabilir.

Tanımlanan cam tipleri doğrultusunda dört cam alternatifi için güneş geçirgenliğinin ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi incelenmiştir. Cam alternatifleri Çizelge 4.15'te görülmektedir.

Çizelge 4.15 : Alternatif cam tipleri.

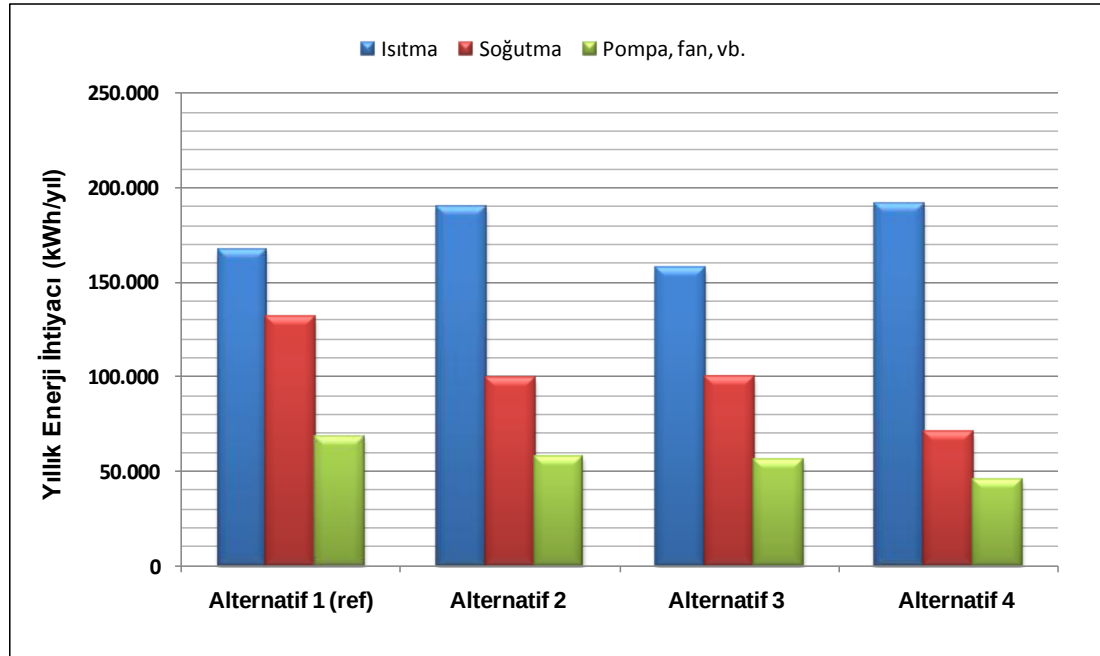
Cam Tipi	Tanım
Alternatif 1	Yüksek SHGC ile yüksek ısı kazanımlı cam
Alternatif 2	Düşük SHGC ile güneş ısı kontrollü cam
Alternatif 3	Low-E kaplamalı çift cam
Alternatif 4	Akıllı cam (termokromik)

Alternatiflerin fiziksel özellikleri ve detayları Çizelge 4.16’da tanımlanmıştır.

Çizelge 4.16 : Alternatif cam tiplerinin özellikleri.

Cam Tipi	SHGC	U (W/m ² K)	Tanım
Alternatif 1 (ref)	0,85	2,46	4+9+4 çift cam (kripton)
Alternatif 2	0,63	2,46	4+9+4 çift cam (kripton)
Alternatif 3	0,58	1,35	4+9+4 dış cam Low-E kaplama (kripton)
Alternatif 4	0,42	1,66	4+3+7,5+8+4 ortadaki cam termokromik (hava)

Alternatiflerin ısıtma, soğutma ihtiyaçlarına olan etkisi ile iklimlendirmeye ait diğer tüketimler (pompa, fan, vb.) Şekil 4.14’te yer almaktadır.



Şekil 4.14 : Cam alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.

Güneş ısısını en yüksek kapasitede binaya aktaran Alternatif 1 giren bu ısı sayesinde ısıtma ihtiyacında diğer alternatiflere göre önemli bir tasarruf sağlamaktadır. Ancak soğutma döneminde bu ısı soğutma ihtiyacını önemli ölçüde artırır. Alternatif 2 ise güneş ısı kontrolü sağlayarak soğutma yükünü azaltmış ama güneş ısı girişi kısıtladığından dolayı kış döneminde güneş ısısından faydalanma oranının düşmesine sebep olmuştur. Bu durum ısıtma yükünün Alternatif 1'e göre oldukça artmasının nedenidir. Alternatif 3 hem güneş kontrolü hem de düşük U değeri sebebiyle Alternatif 1 ile Alternatif 2'nin soğutma ve ısıtma tasarruflarını tek başına sağlamıştır. Bununla birlikte her iki durumun da dezavantajları gözlemlenmemiştir. Soğutma mevsimi için tasarlanan Alternatif 4 ise soğutma yükünü oldukça düşürmüş ancak ısıtma yükünde de en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Analize ait sayısal değerler Çizelge 4.17'de mevcuttur.

Çizelge 4.17 : Farklı cam cinslerinin yıllık enerji tüketimlerine olan etkileri.

Cam Tipi	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	HVAC Kaynaklı Diğer Tüketimler (kWh/yıl)
Alternatif 1 (ref)	167.047,2	131.444,4	68.244,4
Alternatif 2	189.511,1	99.163,9	57.738,9
Alternatif 3	157.644,4	99.919,4	55.777,8
Alternatif 4	191.750,0	71.091,7	45.936,1

Cam alternatiflerinin karşılığında elde edilen tasarruf ve kayıplar tasarımcının cam tipi seçiminde iklim koşullarını göz önünde bulundurma zorunluluğunu açığa çıkarmıştır. Buna örnek olarak kışların sert geçmediği ancak yaz mevsiminin oldukça sıcak olduğu bir bölge düşünülebilir. Bu durumda kışın ısıtma yükünün fazla olmamasından kaynaklanarak yaz dönemine yönelik bir cam seçimi yapmak mantıklı olacaktır. Alternatif 4 bu noktada tercih sebebi olmaktadır. Sonuçlar kısmında daha detaylı bir analiz yapılacaktır. Yüklerin kapasitelere etkisi Çizelge 4.18'dedir.

Çizelge 4.18 : Farklı cam cinslerinin ana ekipman kapasitelerine olan etkileri.

Cam Tipi	Kazan Kapasitesi (kW)	Chiller Kapasitesi (kW)
Alternatif 1 (ref)	286,5	507,4
Alternatif 2	286,5	457,5
Alternatif 3	266,3	433,2
Alternatif 4	273,5	376,8

4.2.2.6. Camlı yüzey alanı

Binalarda enerji tüketimini etkileyen temel parametrelerden biri olan camlı yüzeylerin bina dış yüzeyini ne kadar kaplayacağı sadece mimari bir görüş olmamaktadır. Enerji tüketiminde önemli bir rolü olan pencerelerin boyutları tasarımda dikkate alınması gereken bir husustur. Bu konuda enerji tüketimlerinin, gün ışından faydalanmanın, binayı kullananların psikolojisinin ve hatta LEED ve benzeri yeşil bina sertifikalandırma sistemlerinin etkisi vardır. Tasarımcı bina için camlı yüzey alanını belirlerken enerji tüketimlerini, gün ışığını ve diğer elemanları düşünmelidir.

Camlı yüzey alanı incelemesinde üç tip cam için altı adet alternatif incelenmiştir. İncelemede örnek binanın cam tipleri ve cam boyutları değiştirilerek sonuçlar gözlenmiştir. Alternatifler, pencere yüzey alanının bina dış duvar alanına olan oranını belirten Pencere – Bina Alan Oranı olarak tanımlanmıştır. Cam tipleri ve özellikleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

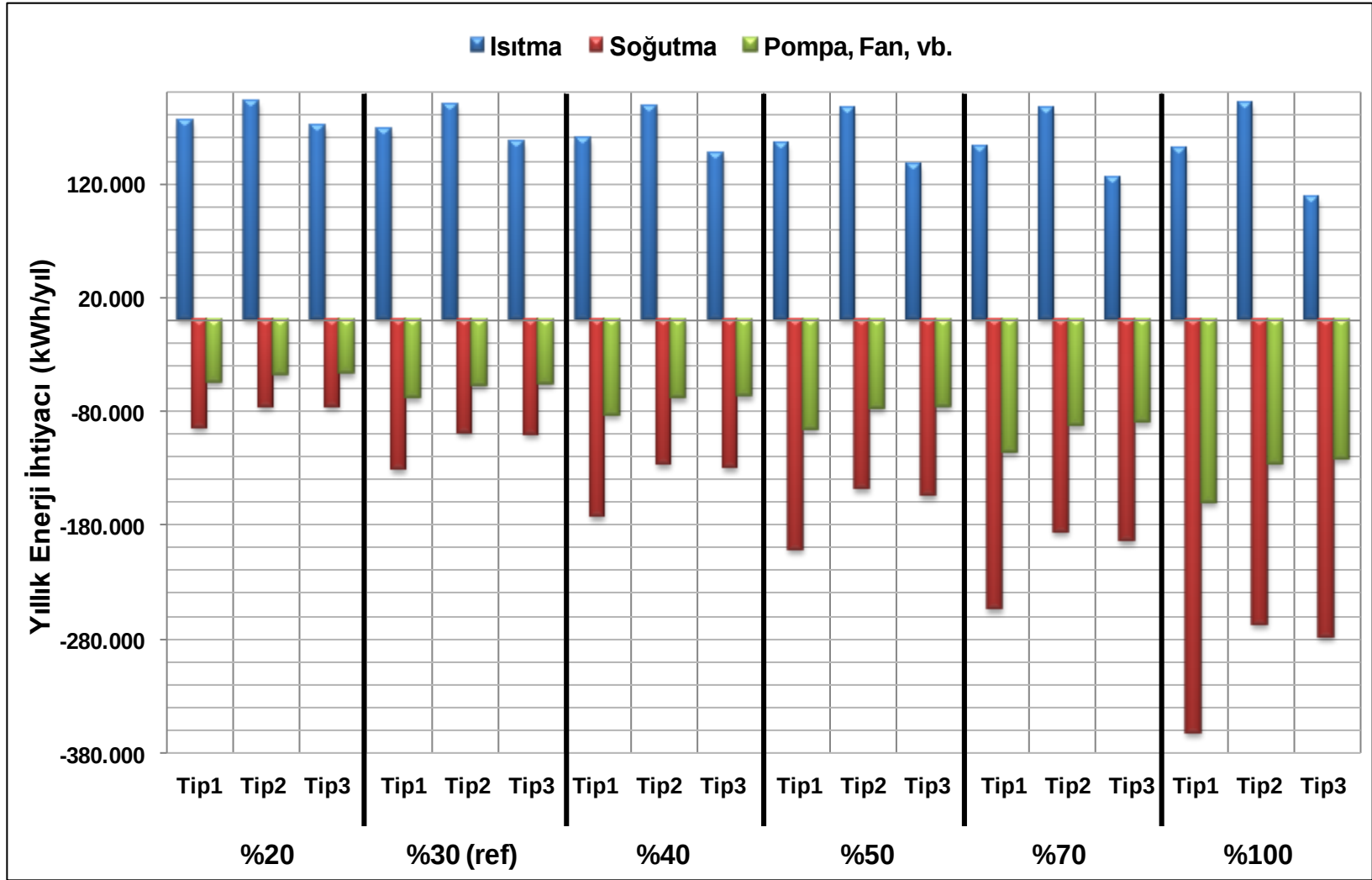
Çizelge 4.19 : Cam tipleri ve özellikleri.

Cam Tipi	SHGC	U (W/m ² K)	Tanım
Tip 1	0,85	2,46	Yüksek SHGC oranlı çift cam
Tip 2	0,63	2,46	Düşük SHGC oranlı güneş ısı kontrollü çift cam
Tip 3	0,58	1,35	Bir yüzü Low-E kaplı düşük emissiviteli çift cam

Her Pencere – Bina Alan Oranı alternatifi Çizelge 4.19’da gösterilen cam tipleri ile analiz edilmiştir. Çizelge 4.20 bu alternatifleri, Şekil 4.15 ise enerji tüketimlerini göstermektedir.

Çizelge 4.20 : Pencere – Bina Alan Oranı alternatifleri.

Pencere - Bina Alan Oranı (%)	Pencere Toplam Yüzey Alanı (m ²)
%20	573,5
%30 (ref)	860,1
%40	1143,1
%50	1425,5
%70	1974,9
%100	2854,7



Şekil 4.15 : Pencere – Bina Alan Oranlarının yıllık enerji ihtiyaçlarına olan etkileri.

Şekil 4.15 bize camlı yüzey alanındaki artışın soğutma yüklerinde önemli bir artışa sebep olduğunu ve bu artışın kısmen azaltılması için güneş ısı kontrollü camların tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir. Isıtma ihtiyacı bakımından yüzey artışı tasarruf sağlamakta ancak bu tasarruf düşük U değerine sahip üçüncü tip cam için anlam kazanmaktadır. Ekipman bakımından camlı yüzey artışı her durumda tüketimi arttırmaktadır. Sayısal veriler Çizelge 4.21’den gözlemlenebilir.

Çizelge 4.21 : Pencere – Bina Alan Oranlarına göre HVAC yükleri.

Pencere - Bina Alan Oranı (%)	Cam Tipi	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Kazan Kapasitesi (kW)	Chiller Kapasitesi (kW)
%20	Tip 1	175.702,8	94.441,7	274,4	430,1
	Tip 2	192.872,2	76.555,6	274,4	397,3
	Tip 3	170.811,1	76.055,6	264,5	381,3
%30 (ref)	Tip 1	167.047,2	131.444,4	286,5	507,4
	Tip 2	189.511,1	99.163,9	286,5	457,5
	Tip 3	157.644,4	99.919,4	266,3	433,2
%40	Tip 1	159.838,9	171.975,0	299,3	592,9
	Tip 2	187.372,2	126.491,7	299,3	523,3
	Tip 3	145.727,8	129.738,9	270,5	490,9
%50	Tip 1	155.658,3	201.738,9	309,5	662,3
	Tip 2	186.244,4	148.672,2	309,5	576,6
	Tip 3	137.069,4	154.091,7	274,6	538,2
%70	Tip 1	151.647,2	254.019,4	328,3	786,3
	Tip 2	185.644,4	186.741,7	328,3	672,5
	Tip 3	125.305,6	193.566,7	282,1	623,4
%100	Tip 1	150.638,9	361.994,4	366,0	1.044,0
	Tip 2	189.986,1	267.025,0	366,0	874,5
	Tip 3	108.341,7	277.727,8	297,4	805,1

Camlı yüzeyin alanında ısıtma ve soğutma yükleri ile birlikte diğer önemli detaylar da göz önüne alınmalıdır. Bunların başında binanın ofis tipi bir yapı olmasından dolayı çalışan bireylerin performansının düşünülmesidir. Kişilerin çevreyi yani dış ortamı rahatça görmelerinin çalışma performanslarını arttıracak bir gerçektir. Ayrıca binanın az enerji tüketen bir bina olarak tasarlanması LEED gibi bir belgeyi almasını gerektirir. LEED ise iç ortam yaşam kalitesini arttırmak ve gün ışığından faydalanmak açısından bina kullanım yüzeyinin en az %75’nin dış ortamı görebilir şekilde dizayn edilmesini şart koşmaktadır. Camlı yüzey boyut seçiminde tüm bu detaylar göz önüne alınmalıdır.

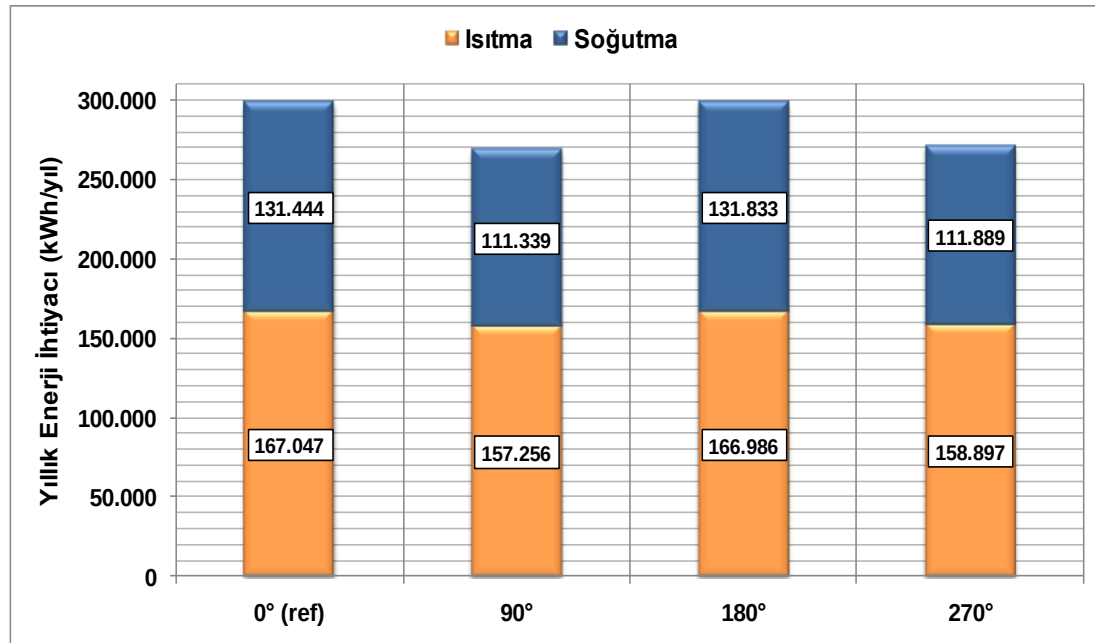
4.2.3. Bina yönü simülasyon ve analizi

Bina yönü ile ilgili analizde referans bina dışında üç alternatif daha incelenmiştir. Kuzey ile sıfır derece açıda olan referans bina eksenine etrafında 90°'ar derece döndürülerek her konum için ısıtma ve soğutma yüklerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Camlı yüzeylerin güneş vasıtasıyla yüklerde önemli ölçüde etkide bulunmasından ötürü binanın konumunun ve dolayısıyla camlı yüzeylerin güneşi görme potansiyellerinin, değişen yön alternatifleri ile farklılık göstermesi beklenir. Çizelge 4.22 binanın konumundaki bu alternatiflerin her yönüne karşılık gelen camlı yüzey alanını göstermektedir.

Çizelge 4.22 : Farklı bina konumlarında her yön için toplam pencere yüzey alanları.

Bina Yönü	Pencere Toplam Yüzey Alanı (m ²)			
	Kuzey	Batı	Güney	Doğu
0°(ref)	125,0	306,0	125,0	303,0
90°	303,0	125,0	306,0	125,0
180°	125,0	303,0	125,0	306,0
270°	306,0	125,0	303,0	125,0

Alternatiflerin ısıtma ve soğutma kapasitesine etkisi Şekil 4.16'da sunulmuştur.

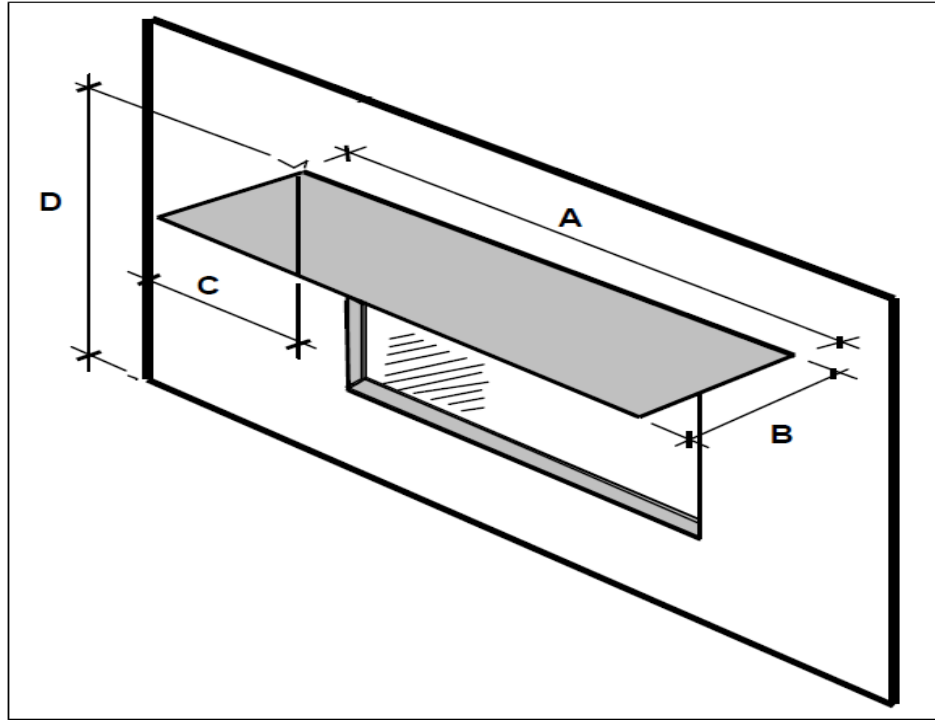


Şekil 4.16 : Farklı bina konumlarının yıllık enerji ihtiyaçlarına olan etkileri.

Kuzey ile 0° olan referans bina 90° döndürüldüğünde güney cephesinde artan camlı yüzey sebebi ile ısıtma yönünden % 6'lık bir tasarruf sağlamaktadır. Aynı şekilde kuzey yönünde artan camlı yüzey % 15'lik soğutma düşüşü oluşturmaktadır. Bunun sebebi, 90° konumlu binada kuzey ve güney cephesinde artan camlı yüzey sayesinde kışın güneş ışınlarından faydalanma ve yazın kuzey cephesinin daha soğuk olmasıdır.

4.2.4. Gölgeleme simülasyon ve analizi

Bina dış cephe kabuk yapısına ait gölgeleme elemanları enerji tüketimini etkileyen önemli faktörlerdir. Camlı yüzey alternatiflerinin bina için oluşturduğu farklı tüketim miktarları çoğu zaman güneş ısısının iletim ve ışıyım yoluyla binaya taşınması sayesinde olmaktadır. Bu sebep dolayısıyla özellikle soğutma döneminde artan güneş ısısının yükü arttırmaması için gölgeleme işlemi uygun görülmektedir. Gölgeleme analizinde üç tip gölgeleme elemanı incelenmiştir. Bu alternatiflerden birincisi sabit bir şekilde camlı yüzeyin üzerine monte edilmiş olan raf (overhang) tipidir. Şekil 4.17 bu gölgeleme elemanını göstermektedir.

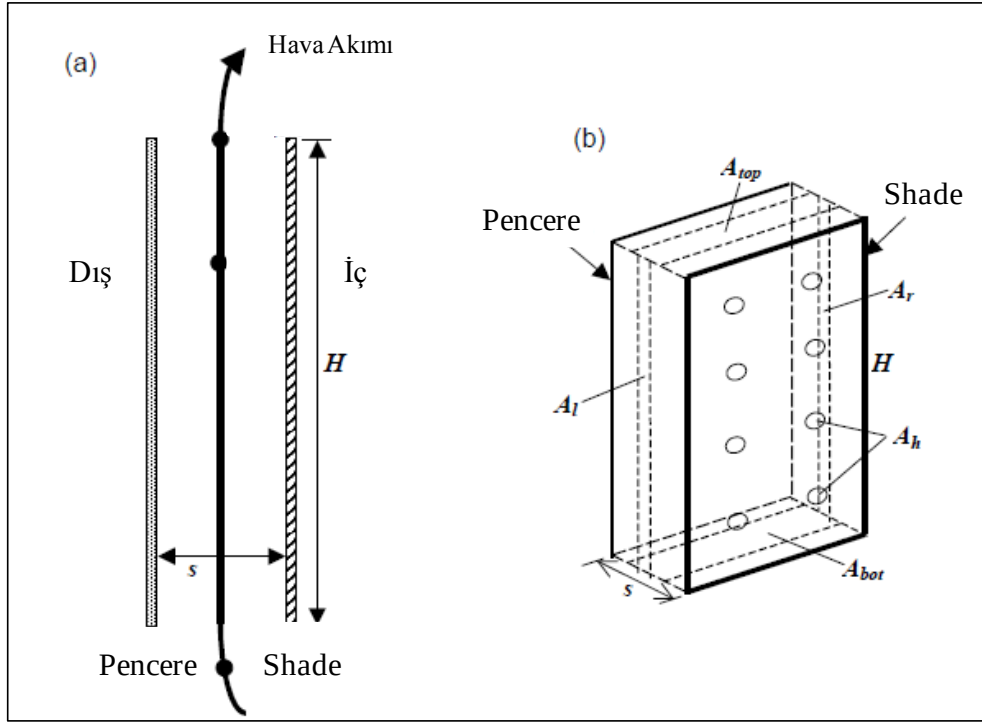


Şekil 4.17 : Raf tipi gölgeleme elemanı [38].

Basit bir dizayna sahip olan bu gölgeleme elemanı binadaki tüm camlı yüzeylerin üzerine monte edilmiştir. Dizaynı belirleyen temel parametreler Şekil 4.17'den de görüldüğü gibi A ve B uzunluklarıdır. A uzunluğu her cam için kendi genişliği kadar

kabul edilmiş olup B uzunluğu için ayrıca dört alternatif incelenerek raf uzunluğunun tüketime etkisi görülmüştür. İnceleme sadece pencere yüzeyi ile 90° açı yapan raf için değil aynı zamanda bu yüzey ile 60° ve 45° açılarda konumlandırılmış halleri için de yapılmıştır. Böylece alternatifin hem camlı yüzey açısal konumu ile değişiminin hem de B eksenindeki uzunluk ile değişiminin enerji yüklerine etkisi görülmüştür.

İkinci gölgelendirme elemanı ise pencere gölgeliği (shade) olarak tanımlanan jaluzi tipi gölgelendirme elemanıdır. İsim olarak perde tipi olmasına rağmen genel anlamda bilinen perde şeklinde bir gölgelendirme elemanı değildir. Şekil 4.18’de şematik olarak gösterilen bu eleman bir çok parametre ile tanımlanır ve tasarlanır.



Şekil 4.18 : Jaluzi tipi gölgelendirme elemanı (a) Yan, (b) Perspektif görünüş [38].

Jaluzi, tasarımda hem pencere ile konumu hem de malzeme özellikleri bakımından tanımlanmalıdır. Şekil 4.18’de görülen pencere ile jaluzi arasındaki alanlardan A_l sol yanal alanı, A_r sağ yanal alanı, A_{bot} alt kısımdaki alanı, A_{top} üst kısımdaki alanı ve A_h ise jaluzi üzerindeki boşluk alanını tanımlamaktadır. Tüm bu alanların tasarımcı tarafından isteklere cevap verme doğrultusunda tanımlanması gerekmektedir. Bu alanların tanımlanmasının amacı pencere ile jaluzi arası hava akımını sağlamaktır. Bu alan değerlerinin sıfır olması durumunda cam ile jaluzi arasında hava akışı için herhangi bir boşluk olmayacaktır. Ancak jaluzi ile pencere arası s kalınlığı mevcut

kalacaktır. Sadece artık bu ara bölgede hava akışını sağlayacak açık alanlar olmayacaktır. A_h alanı jaluzi üzerindeki boşluk alanı olup istenirse hava akımının buradan geçirilmesi mümkün olacaktır. Analizde sağ, sol yanal alanlar ve jaluzi üzeri (A_h) tamamen hava akışına kapalı olup üst ve alt kısımlarda s boşluğunun %10'u kadar bir boşluk ile hava akışı sağlanmıştır. Jaluzi konumu ile birlikte, yapısal özellikleri ile de önem kazanmaktadır. Tıpkı cam yüzeylerde olduğu gibi güneş geçirgenlik, yansıtma ve soğurma özellikleri bulunan jaluzi bu özelliklerine göre gölgelendirme etkinliğini sağlar.

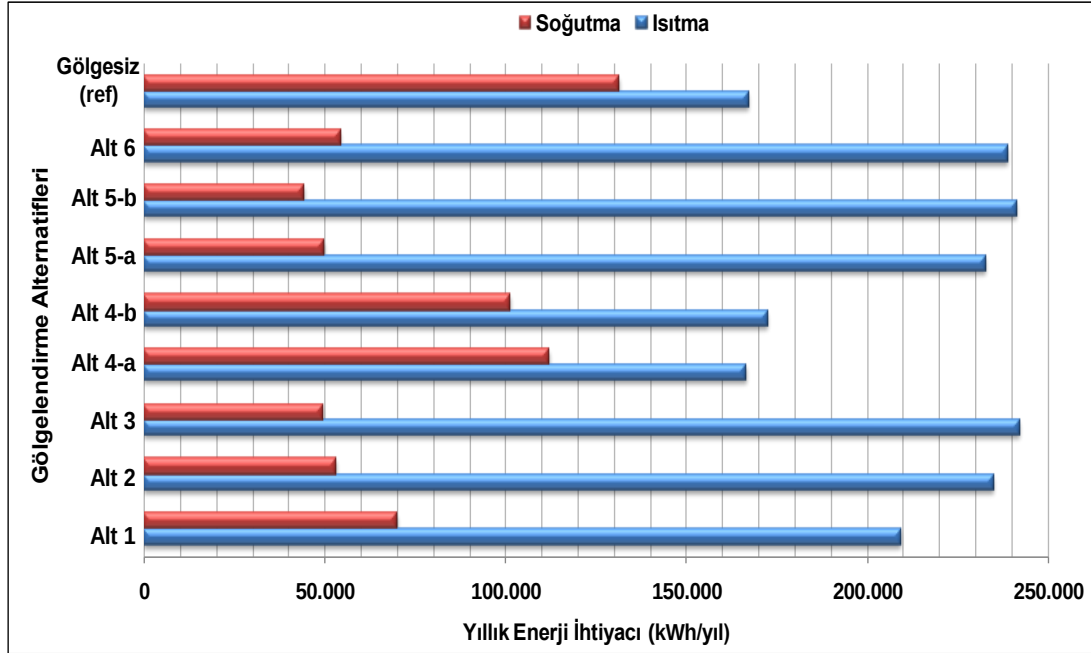
Bir perde yapısında olan jaluzi çift camlı bir pencere için üç konumda sabitlenebilir. Bunlar pencerenin dış cepheye bakan kısmı, çift cam arası ve pencerenin iç tarafa bakan kısımlarıdır. Analizde ise eleman iç ortama bakan tarafa ve çift cam arasına konumlandırılarak inceleme yapılmıştır. Her konum için de güneş geçirme ve yansıtma açısından iki alternatif incelenmiştir. Bunlardan ilki düşük geçirme (%10), yüksek yansıtma (%80) ve diğeri ise yüksek geçirme (%70), düşük yansıtma (%20) durumudur (Geçirme oranları ısı ışınım dalga boyu içindir).

Üçüncü gölgelendirme alternatifi aslında bölüm 4.2.2.5'te bahsi geçen akıllı cam tipidir. Ayarlanabilir cam (switchable glazing) olarak tanımlanan bu cam tipi hem cam hem de gölgelendirme işlemini birlikte görmektedir. Belli bir limit değere kadar bu camlar klasik cam özelliklerini gösterirken bu limit değeri aşıldığında cam görsel ve güneş geçirgenlik değerlerini otomatik olarak değiştirerek güneş ısı ile ışınlarını geçirmez. Böylece istenen gölgelendirmeyi sağlamış olur. Analizde çift camlı pencerenin dış camı ayarlanabilir cam olarak dizayn edilmiştir. Örnek binaya uygulanan tüm gölgelendirme alternatifleri Çizelge 4.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.23 : Gölgelendirme alternatifleri.

Gölgelendirme Tipi	Özellik		Alternatif Adı
Raf (overhang)	90°		Alternatif 1
	60°		Alternatif 2
	45°		Alternatif 3
Jaluzi (shade)	Yüksek Geçirme(%70)	İçeride	Alternatif 4-a
	Düşük Yansıtma(%20)	Ortada	Alternatif 4-b
	Yüksek Yansıtma(%80)	İçeride	Alternatif 5-a
	Düşük Geçirme(%10)	Ortada	Alternatif 5-b
Ayarlanabilir Cam (switchable glazing)			Alternatif 6

Gölgelendirme alternatiflerinin ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkileri Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19 : Gölgelendirme alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.

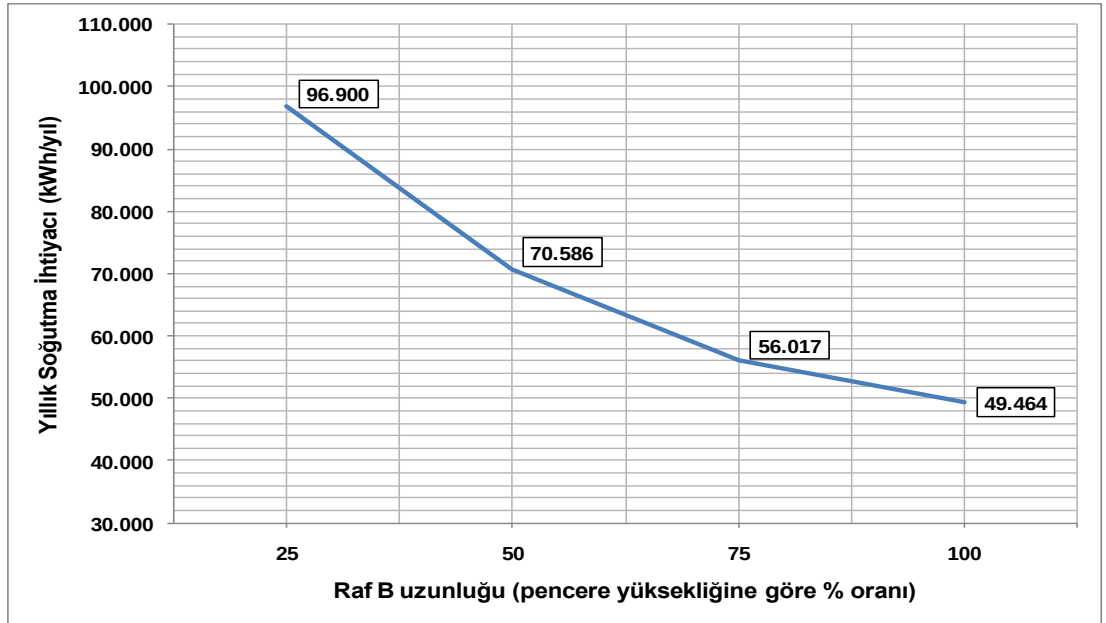
Gölgelendirme elemanlarının bina dış yüzeyine sabitleniyor olması yaz dönemi için tüketimde azaltma sağlamakta olup kış dönemi için güneş ısısından faydalanmayı engellemektedir. Ancak ısıtma dönemi için bu gölgelendirme elemanlarının pasif hale getirilmesi ile gölgelendirmesiz haldeki (referans bina) gibi nispeten düşük ısıtma yükleri elde edilebilir. Bu açıdan Şekil 4.19’daki sonuçları soğutma yükleri açısından karşılaştırmak daha doğru olacaktır. Çizelge 4.24’ten bu sonuçların sayısal değerleri incelenebilir.

Çizelge 4.24 : Gölgelendirme alternatiflerine göre HVAC kaynaklı tüketimler.

Gölgelendirme Tipi	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Pompa, Fan, vb. (kWh/yıl)	Chiller Kapasitesi (kW)
Alternatif 1	209.216,7	69.744,4	46.913,9	394,8
Alternatif 2	234.869,4	53.230,6	40.216,7	347,0
Alternatif 3	242.125,0	49.463,9	38.625,0	335,2
Alternatif 4-a	166.311,1	111.994,4	60.083,3	457,6
Alternatif 4-b	172.541,7	101.100,0	55.769,4	431,6
Alternatif 5-a	232.669,4	49.836,1	39.211,1	338,7
Alternatif 5-b	241.455,6	44.005,6	36.502,8	317,8
Alternatif 6	238.788,9	54.261,1	41.361,1	353,5
Gölgelendirmesiz (ref)	167.047,2	131.444,4	68.244,4	507,4

Soğutma yükleri açısından bakıldığında gölgelendirme elemanları içinde tasarruf bakımından en uygun alternatif jaluzi tipi gölgelendirmedir. İki tip olan bu gölgelendirmeden düşük güneş geçirgenliği özelliklerine sahip 5. alternatifin daha uygun olacağı beklenen bir sonuçtur. Jaluzi gölgelendirme elemanının penceredeki konumu bakımından da ortada olması daha uygundur. Ancak şu bilinmelidir ki, jaluzi pencereyi tamamen kapatarak dış ortam (çevre) görünüşünü oldukça kısıtlamaktadır. Bu açıdan raf tipi daha kullanışlı olacaktır. Raf elemanında da gölgelendirmenin pencere düzlemi ile yaptığı açı azaldıkça soğutma tüketiminin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayarlanabilir cam da uygun bir gölgelendirme elemanı olmakla birlikte bu elemanda da jaluzi ile aynı görsellik problemi yaşanmaktadır.

Raf tipi gölgelendirme için pencere düzlemi ile yaptığı açı kadar Şekil 4.17’de tanımlanan B uzunluğunun da tüketime etkisi incelenmelidir. Çünkü elemanın duvar yüzeyinden dışarıya doğru artan uzunluğu gölgelendirmeyi etkileyecektir. Ancak hem görsel hem de maliyet açısından bu uzunluk için bir sınır belirlenmelidir. Bu sınırdaki çoğu zaman pencerenin yüksekliği kadardır. Şekil 4.20 bu B uzunluğunun soğutma tüketimine etkisini göstermektedir. Alternatif 3 için yapılan bu analizde pencere yüksekliği esas alınarak B değerleri bu uzunluğun 1, 0,75, 0,5 ve 0,25 katları olarak belirlenmiştir.

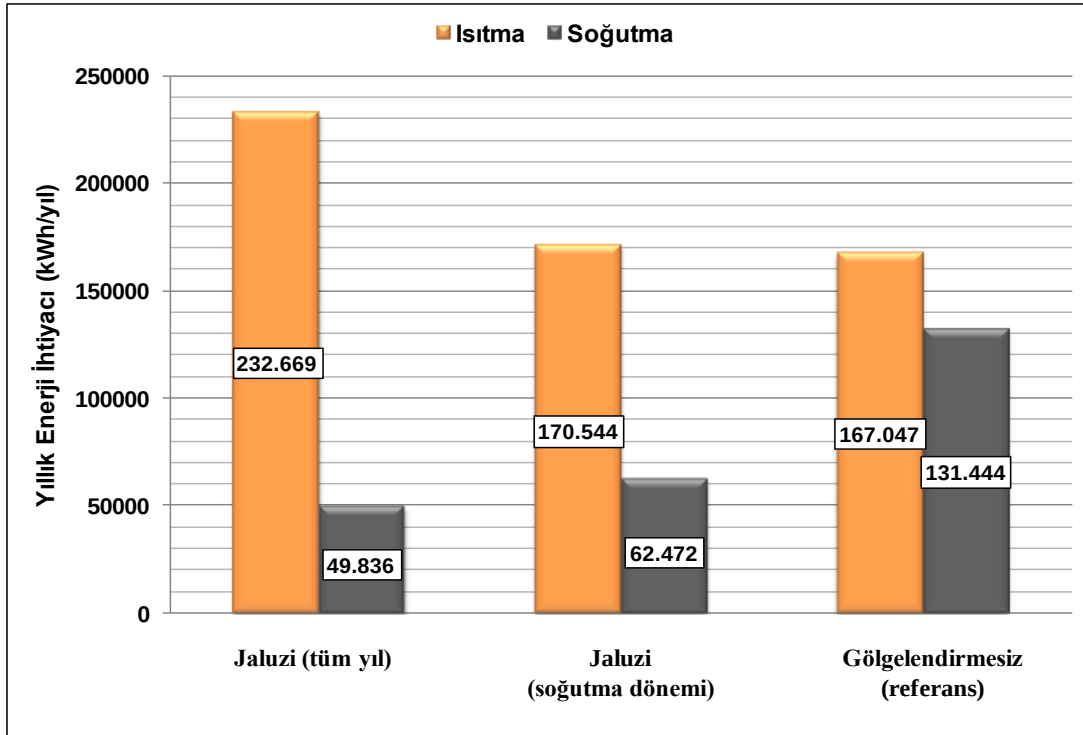


Şekil 4.20 : Alternatif 3 için raf “B” uzunluğunun yıllık soğutma ihtiyacına etkisi.

Azalan B uzunluğu soğutma tüketiminde önemli bir artışa sebep olmaktadır. Bu sebeple tasarımcı raf tipi gölgelendirme seçiminde bu durumu göz önüne almalıdır.

Ancak eğrinin eğilimi incelendiğinde B uzunluğundaki artışın belli bir değerden sonra soğutma tüketimine çok etkisinin olmadığı görülebilir. Bu da tasarımcıya B uzunluğu için alacağı en yüksek değer pencere yüksekliği kadar olacağını anlatmaktadır. Daha uzun bir değer maliyetleri arttırmak dışında faydalı olmayacaktır.

Gölgelendirme soğutma yükleri kadar ısıtma yüklerini de önemli ölçüde etkilemiştir. Ancak daha öncede belirtildiği gibi jaluzi benzeri elemanlar yazın uygulanıp kış döneminde pencere yüzeyinden çıkartılabilir. Böylece gölgelendirmenin ısıtma yüküne etkisi ortadan kaldırılmış olur. Şekil 4.21’de verilen grafik bu incelemeyi ele almıştır. Alternatif 5-a için mayıs ayının ortasından eylül ayının ortasına kadar gölgelendirme uygulanmış diğer zamanlarda ise bu gölgelendirme elemanı kullanılmamıştır.



Şekil 4.21 : Isıtma döneminde kullanılmayan gölgelendirmenin ihtiyaçlara etkisi.

Kontrollü gölgelendirme (jaluzi – soğutma dönemi) ile Şekil 4.21’deki grafikten de görüleceği gibi ısıtma ihtiyacı referans duruma çekilmiştir. Bunun anlamı gölgelendirmenin ısıtma ihtiyacına etkisinin kalmadığıdır. Soğutma yükü ise normal hal ile (tüm yıl) çok az farklılık gösterir. Bunun sebebi nisan ve ekim aylarında gölgelendirmenin kapalı olmasıdır. Aradaki farkı bu aylardaki soğutma esnasında gölgelendirmeden faydalanamamak oluşturmaktadır.

Gölgelendirme elemanlarının yaz döneminde sağladığı avantajlara karşı kış döneminde ısıtma yüklerini arttırdığı sonuçlarla ortaya konulmuştur. Güneş kaynaklı ısıtma imkanından faydalanamamak kış dönemi için yüklerin artmasına sebep olmaktadır. Ancak yaz döneminde gölgelendirmeden sağlanan soğutma ihtiyacına yönelik avantajın oldukça önemli olması gölgelendirmenin bir ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu noktada farklı cam tipleri ile farklı gölgelendirme tiplerinin birlikte uygulandığı alternatiflerin incelenerek en uygun cam tipi ve gölgelendirmenin ne olacağı gözlemlenecektir. Isı iletimi ve güneş ısısından faydalanma bakımından baz alınan üç cam alternatifi (yüksek ve düşük SHGC değerine sahip camlar ve Low-E kaplama cam), raf tipi (45° ve 90° açılı) ve jaluzi tipi (yüksek ve düşük geçirme oranlı) gölgelendirme elemanları ile birlikte alternatifleri oluşturacaklardır. İncelemede kış döneminde gölgelendirmenin negatif etkilerinden sıyrılmak amacıyla ısıtma mevsiminde gölgelendirme elemanları devre dışı bırakılmıştır. Böylece gölgelendirme sadece soğutma dönemi olan mayıs ayının ortası ile eylül ayının ortası dönemde devrede olacaktır. Farklı cam tipleri ise bu gölgelendirmelerin de etkisiyle tüketimde ne kadar avantajlı olunacağını ortaya koyacaktır. İncelemesi yapılan bu alternatifler Çizelge 4.25'te sunulmuştur.

Çizelge 4.25 : Cam tipi ve gölgelendirme elemanlarının oluşturduğu alternatifler.

Alternatif	Cam Tipi		Gölge Tipi (Sadece Yaz Döneminde)	Açıklama
	U (W/m ² K)	SHGC		
Alternatif - 1	2,46	0,63	45° Raf Tipi	Düşük SHGC, 45° açılı gölg. elemanı
Alternatif - 2	1,35	0,58	45° Raf Tipi	Low-E penc., 45° açılı gölg. elemanı
Alternatif - 3	2,46	0,85	45° Raf Tipi	Yüksek SHGC, 45° açılı gölg. elemanı
Alternatif - 4	2,46	0,63	90° Raf Tipi	Düşük SHGC, 90° açılı gölg. elemanı
Alternatif - 5	1,35	0,58	90° Raf Tipi	Low-E penc., 90° açılı gölg. elemanı
Alternatif - 6	2,46	0,85	90° Raf Tipi	Yüksek SHGC, 90° açılı gölg. elemanı
Alternatif - 7	2,46	0,85	Jaluzi (yüksek geçirme %70)	Yüksek SHGC, Jaluzi (çift cam ortasında)
Alternatif - 8	1,35	0,58	Jaluzi (yüksek geçirme %70)	Low-E penc., Jaluzi (çift cam ortasında)
Alternatif - 9	2,46	0,63	Jaluzi (yüksek geçirme %70)	Düşük SHGC, Jaluzi (çift cam ortasında)
Alternatif - 10	1,35	0,58	Jaluzi (düşük geçirme %10)	Low-E penc., Jaluzi (çift cam ortasında)
Alternatif - 11	2,46	0,63	Jaluzi (düşük geçirme %10)	Düşük SHGC, Jaluzi (çift cam ortasında)
Alternatif - 12	2,46	0,85	Jaluzi (düşük geçirme %10)	Yüksek SHGC, Jaluzi (çift cam ortasında)
Referans	2,46	0,85	Yok	Örnek Bina (Yüksek SHGC penc.)

Alternatiflere ait yıllık enerji ihtiyaçları Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 : Cam tipi ve gölgelendirme elemanlarının oluşturduğu alternatiflerin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.

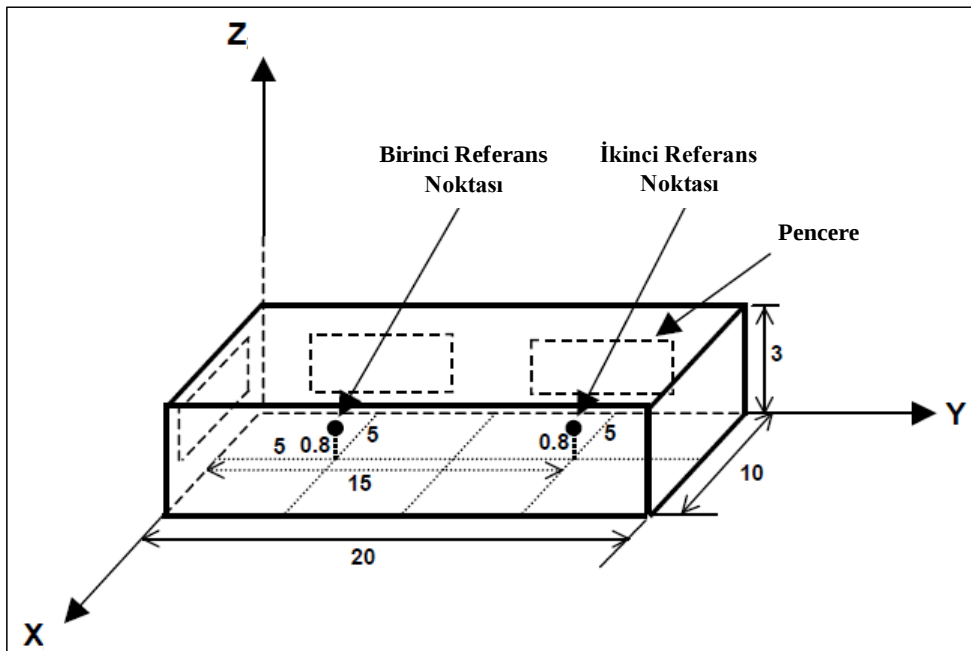
Şekil 4.22'nin verdiği sonuçlar incelendiğinde ısıtma ihtiyacında, gölgelendirmenin kış döneminde kaldırılması ile cam tiplerinin değişimi sonuca etki etmektedir. Bu durumda her gölgelendirme elemanı için de en avantajlı cam tipi Low-E kaplama olan Alternatif 2, 5, 8 ve 10'dur. Gölgelendirmenin etken olduğu yaz döneminde ise Şekil 4.19'daki verilerde olduğu gibi en etkili gölgelendirme elemanı düşük geçirme oranlı jaluzi olmakla birlikte daha sonra 45 ve 90° açılı raf tipi gölgelendirme elemanları gelmektedir. Jaluzi geçirme oranının arttığı Alternatif 7, 8 ve 9 soğutmada sağladığı avantajı en kötü olan gölgelendirme elemanı olmaktadır. Cam tiplerinin soğutmadaki etkisinde ise SHGC değeri düşük olan Alternatif 1, 4, 9 ve 11 en tasarruflu olanlardır. Ancak düşük SHGC'li camlar ısıtma yükünde diğer cam tiplerine göre dezavantajlı olduğu için hem ısıtma hem de soğutma açısından en uygun cam tipi Low-E kaplamalı cam olacaktır. Sayısal veriler Çizelge 4.26'da sunulmuştur.

Çizelge 4.26 : Cam tipi ve gölgelendirme elemanlarının oluşturduğu alternatiflere göre yıllık enerji ihtiyaçları ve ekipman kapasiteleri.

Alternatif	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Pompa, Fan, vb. İhtiyacı (kWh/yıl)	Kazan Kapasitesi (kW)	Chiller Kapasitesi (kW)
Alternatif - 1	192.222,2	66.805,6	42.025,0	286,5	336,7
Alternatif - 2	159.983,3	69.080,6	41.583,3	266,3	329,3
Alternatif - 3	170.350,0	79.322,2	45.022,2	286,5	349,8
Alternatif - 4	191.280,6	74.966,7	47.005,6	286,5	378,9
Alternatif - 5	159.194,4	76.711,1	45.925,0	266,3	364,6
Alternatif - 6	169.250,0	91.530,6	51.786,1	286,5	402,2
Alternatif - 7	168.636,1	105.777,8	56.947,2	286,5	431,6
Alternatif - 8	158.627,8	85.347,2	49.555,6	266,3	390,3
Alternatif - 9	190.608,3	86.033,3	51.358,3	286,5	407,8
Alternatif - 10	160.144,4	59.127,8	39.822,2	266,3	322,6
Alternatif - 11	192.405,6	57.505,6	40.238,9	286,5	327,3
Alternatif - 12	171.025,0	59.827,8	39.950,0	286,5	317,8
Referans	167.047,2	131.444,4	68.244,4	286,5	507,4

4.2.5. Gün ışığından faydalanma simülasyon ve analizi

Isıtma ve soğutma ile birlikte aydınlatmanın da bina içinde çok önemli bir enerji tüketimine sebep olduğu Şekil 4.2’de gösterilmişti. Bu açıdan düşük enerji tüketimli bir binada aydınlatma kaynaklı bu elektrik harcamasının düşürülmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Günümüzde bu tüketimleri azaltmaya yönelik bir takım projeler ve ekipmanlar devreye sokulmuştur. Bunların başında doğal aydınlatma kaynağı olan güneşin etkinliğinin artırılması ön plandadır. Maliyetsiz ve yapay aydınlatma ile aynı potansiyelde olan güneş, farklı bir açıdan bakıldığında insan sağlığı, morali ve iş gücü açısından pozitif bir etki yaratmaktadır. Bir çok tasarımcı hem görsellik hem ekonomiklik hem de bu sebepten dolayı gün ışığını aktif hale getirmektedir. Aynı zamanda LEED ve BREEAM iç ortam kalitesinin artırılması şartında gün ışığının etkin kullanılmasını zorunlu tutmaktadır. Bu bakımdan gün ışığının sağladığı tasarruf ve diğer tüketimlere etkisi bu bölümde incelenecektir. Bundan önceki bölümlerde olduğu gibi baz alınan örnek binaya bu analizde aydınlatma algılayıcıları (sensor) yerleştirilmiştir. Gün ışığı alan her mahal bu algılayıcılar ile donatılmıştır. Bu algılayıcılar mahal içinde belli referans noktalarına konumlandırılmış olup bu durumu anlatan örnek resim Şekil 4.23’te verilmiştir.

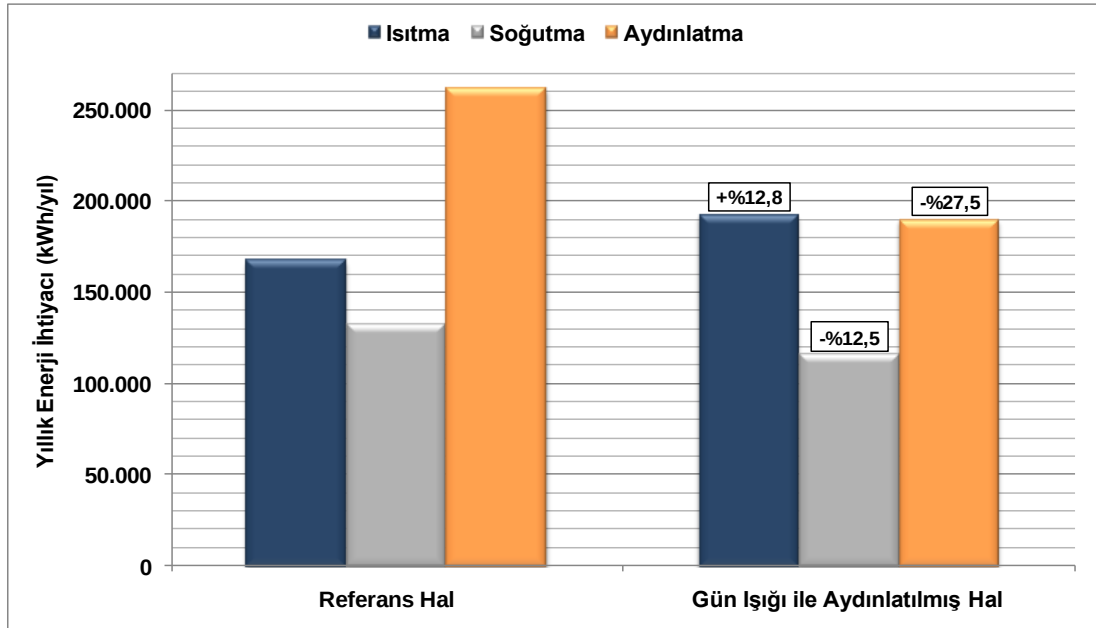


Şekil 4.23 : Gün ışığı ile aydınlatmada algılayıcı referans noktalarının konumu [38].

Belirlenen referans noktalarına yerleştirilen algılayıcıların temel görevi bu noktalara düşen ışık şiddetini ölçmektir. Bu sayede ortamı aydınlatan otomatik kontrollü

aydınlatma elemanı aydınlatma şiddetini ayarlamaktadır. Pencere vasıtası ile bölgeye gelen gün ışığının belli bir şiddeti vardır. Ofis için standart ışık şiddetinin bu referans noktasına sürekli sağlanması gerektiğinden güneş ışığı ve yapay aydınlatma birlikte bu aydınlatma şiddetini oluştururlar. Böylece, istenen aydınlatmada tasarruf sağlanır. Yapay aydınlatmanın kontrolünün gün ışığına bağlanması sayesinde istenen aydınlatma şiddeti her daim sağlanır. Gün ışığının şiddetli olduğu saatlerde eğer gün ışığı istenen aydınlatma şiddetini tek başına sağlıyorsa yapay aydınlatma tamamen kapanır. Gün ışığı şiddeti azaldıkça sabit aydınlatma şiddetinin her zaman ortama sağlanması gerektiğinden bu kez yapay aydınlatma devreye girerek aydınlatmayı istenen düzeye çeker. Analizde ofis binaları için bu aydınlatma şiddeti 500 lux olarak kabul edilmiştir [38]. Binanın Ofis 6 ve Ofis 7 bölgesinin %50’lik bir kısmı yapının şekli dolayısı ile güneş ile aydınlatılabilmektedir. Diğer bölgelerde bu oran %75’tir.

Gün ışığından faydalanmayan örnek binayı referans bina olarak kabul ederek bu bina için gün ışığının devreye sokulması ile tüketimlerdeki değişim Şekil 4.24’te gösterilmektedir.



Şekil 4.24 : Referans bina için gün ışığı ile aydınlatmanın enerji ihtiyaçlarına etkisi.

Gün ışığı ile aydınlatma referans bina için aydınlatma kaynaklı elektrik tüketiminde %27,5 oranında bir azalmayı sağlamıştır. Bu durum yüksek tüketime sahip aydınlatma için oldukça değerli bir tasarruftur. Ancak diğer tüketimler de bu durumdan etkilenmektedir. Bunun sebebi yapay aydınlatmanın aynı zamanda ısısal yük anlamında iç yük oluşturmasıdır. Yapay aydınlatma, çalışması esnasında

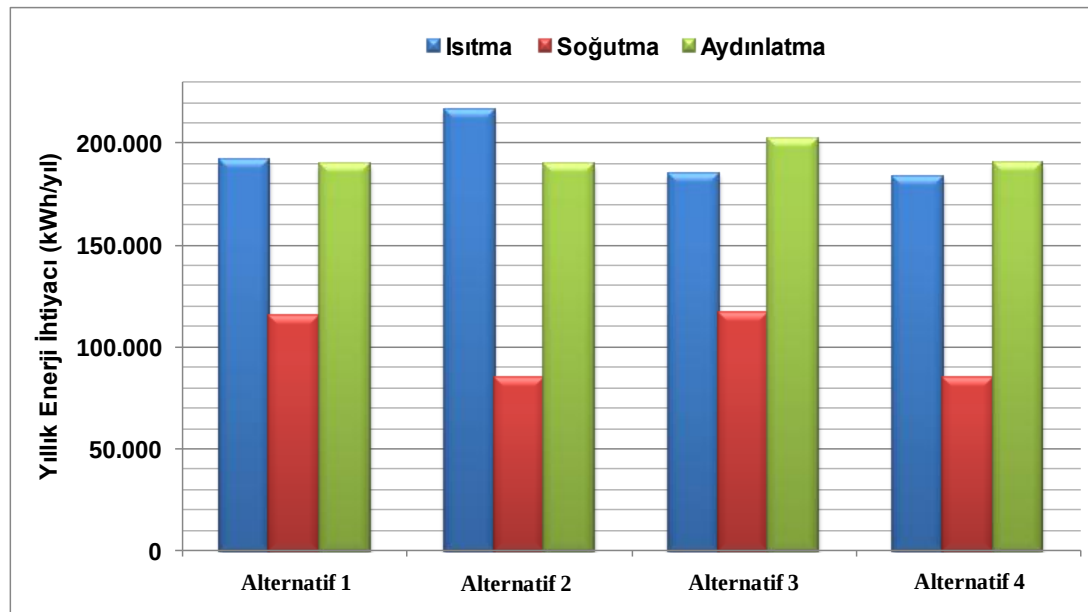
aydınlatma ile birlikte bir miktar ısısını da ortama vermektedir. Güneş aydınlatması ile azalan yapay aydınlatma aynı zamanda ortama verilen aydınlatma ısısını da azaltmıştır. Bunun sonucu olarak azalan iç yük kış mevsiminde ısıtma ihtiyacını arttırmış yaz mevsiminde ise soğutma yükünü azaltmıştır.

Gün ışığının ortama girişini sağlayan pencere aynı zamanda gün ışığı ile aydınlatmanın potansiyelinin de belirlemektedir. Bölüm 4.2.2’de bahsedildiği gibi pencere için kullanılan camın fiziksel özelliklerinden biri de görünür ışınım dalga boyundaki geçirme oranıdır (görsel geçirme oranı). Buna bağlı olarak yapılan analizde görsel geçirme oranı, SHGC değeri ve cam tiplerinin aydınlatmaya ve diğer yüklere etkisi incelenmiştir. Analizi yapılan alternatifler ve özellikleri Çizelge 4.27’de sunulmuştur.

Çizelge 4.27 : Gün ışığı ile aydınlatmada cam tipi alternatifleri ve özellikleri.

Alternatif	SHGC	Görsel Geçirme Oranı (%)	Cam Tipi
Alternatif 1	0,85	0,81	Referans bina cam tipi (Yüksek SHGC)
Alternatif 2	0,63	0,81	Düşük SHGC
Alternatif 3	0,85	0,36	Düşük görsel geçirme oranlı cam
Alternatif 4	0,58	0,76	Low-E kaplamalı cam

Dört alternatifin incelendiği analizin tüketim grafiği Şekil 4.25’tedir.



Şekil 4.25 : Gün ışığı ile aydınlatmada farklı cam tiplerinin aydınlatma ve diğer yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.

Cam özelliklerinin yüklere etkisi bakımından en uygun olanı low-E kaplamalı cam alternatifidir. Referans binanın gün ışığı ile aydınlatılmış hali olan Alternatif 1 ile karşılaştırıldığında Alternatif 4 hem ısıtma hem de soğutma bakımından avantajlıdır. Aydınlatmada da Alternatif 1 kadar tasarruf sağlamıştır. SHGC değeri değiştirilmesinin aydınlatma tüketimine etkisinin olmadığı Alternatif 1 ve 2'den gözlemlenebilir. Ancak görsel geçirme oranının düşmesi elde edilen aydınlatma enerjisi tasarrufunu olumsuz etkiler. Bu sonuç Alternatif 3'teki aydınlatma yükünün diğer yüksek görsel geçirme oranlı alternatiflerle karşılaştırılmasıyla görülebilir.

Tüm alternatiflerin ve gün ışığı ile aydınlatılmayan referans halin ısıtma, soğutma, aydınlatma ve HVAC kaynaklı diğer elemanlarına ait yıllık enerji ihtiyaçları detaylı olarak Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.28 : Gün ışığı ile aydınlatma alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyacına etkisi.

Alternatif	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Aydınlatma İhtiyacı (kWh/yıl)	Pompa, Fan, vb. (kWh/yıl)
Referans	167.047,2	131.444,4	261.033,3	68.244,4
Alternatif 1	191.725,0	114.972,2	189.383,3	62.486,1
Alternatif 2	216.238,9	84.847,2	189.758,3	52.594,4
Alternatif 3	184.725,0	116.747,2	202.433,3	63.086,1
Alternatif 4	183.319,4	84.780,6	190.061,1	50.433,3

Gün ışığının aydınlatmada sağladığı tasarrufun diğer tüketimleri etkilemesi bakımından ekipman kapasitelerinde de farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu duruma ait sonuçlar Çizelge 4.29'dan incelenebilir.

Çizelge 4.29 : Gün ışığı ile aydınlatmanın ekipman kapasiteleri üzerine etkisi.

Alternatif	Kazan Kapasitesi (kW)	Chiller Kapasitesi (kW)
Referans	286,5	507,4
Alternatif 1	286,5	472,6
Alternatif 2	286,5	422,7
Alternatif 3	286,5	475,8
Alternatif 4	266,3	397,7

4.3. Bina İşletme Şartlarının İncelenmesi

İşletme şartları bina içi konfor esaslarını belirleyen parametrelerden oluşur. Bu parametreler genel olarak bina içindeki iç ortam kalitesini arttırmaya yönelik elemanlardır. Dünya Sağlık Örgütü'nün verilerine göre günümüz insanları zamanlarının % 90'ını kapalı mekanlarda geçirmektedir. Bu kadar büyük bir zaman diliminin geçirildiği iç ortamlarda hava kalitesinin en az dış ortam kadar iyi olması gerekmektedir. İnsanların kapalı ortamlarda tükettikleri oksijenin tazelenmesinin yanı sıra iç ortam kirleticilerinin de ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Günümüzde bir çok yapı hem yetersiz havalandırma ve hem de bu kirletici emisyonlar sebebiyle sağlık bakımından önemli hastalıkların odağı olmaktadır. Literatür bu tip binalara “hasta bina” ismini vermiştir. Bu tip binalarda yaşayanların zamanla nedeni belli olmayan sebeplerle genel olarak solunum bazlı hastalıklardan şikayetçi olmaları binalara bu ismin uygun görülmesine sebep olmuştur. 1993 yılında A.B.D’de hasta binaların yol açtığı sağlık harcamaları 60 milyar dolar civarındadır. Hastalıkların yanında, kalitesiz iç ortam, çalışma şartlarını etkilemekte ve verimi oldukça düşürmektedir [39].

Havalandırma ve taze hava ihtiyacı hasta binaların iç ortam kalitelerini önemli ölçüde etkilemektedir. Standartlar bu konuda tasarımcıların seçim kriterlerini belirlemiştir. Bunların yanında iç ortamı ve bu ortamda yaşayan insanların konforlu yaşamasını etkileyen bir diğer faktör ise sıcaklık ve nemdir. ASHRAE iç ortamlar için en uygun sıcaklığın 20–23 °C ve bağıl nem oranının ise %30-60 arasında olması gerektiğini bildirmektedir. İç mekan sıcaklığının 22-23°C'nin üstüne çıktığı durumlarda mukozal tahriş ve genel semptomlarda artış gözlenmiştir. Nemli ortamlarda yaşamak ta hasta bina semptomlarına yatkınlığı artırmaktadır. Nemli ortamlarda yaşayan kadın ve çocuklarla, astım hastalığı olan kişilerde solunum sistemi hastalıklarının görülme sıklığı yüksektir. Yine nem oranı düşük ortamlarda ise deriye ait semptomların (kızarıklık, tahriş, kaşıntı) varlığı gözlemlenmiştir [39].

Anlatılanlar ışığında bu bölümde analizi yapılacak ana başlıklar şunlardır:

- Konfor sıcaklıkları,
- Taze hava miktarı,
- İnfiltrasyon (hava sızıntısı).

Tüm bu başlıkların alternatifleri incelenerek bu alternatiflerin enerji tüketimine etkileri irdelenecektir. Ancak her durumda öncelik binayı hasta bina tipinden kurtarmak olduğu için bu analizlerde ilk olarak standartların zorunlu kıldığı haller ele alınacak ayrıca olası iyi ve kötü haller de incelenerek sonuçlar karşılaştırılacaktır.

4.3.1. Konfor sıcaklıkları simülasyon ve analizi

Örnek bina için ele alınan ısıtma ve soğutma dönemi sıcaklıklarının yanı sıra belli bir aralıktaki diğer konfor sıcaklıkları da incelenerek enerji tüketimine etkileri gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda 2007 ASHRAE Handbook – HVAC Applications’tan alınan konfor sıcaklık aralığındaki değerler alternatifleri belirlemiştir [26].

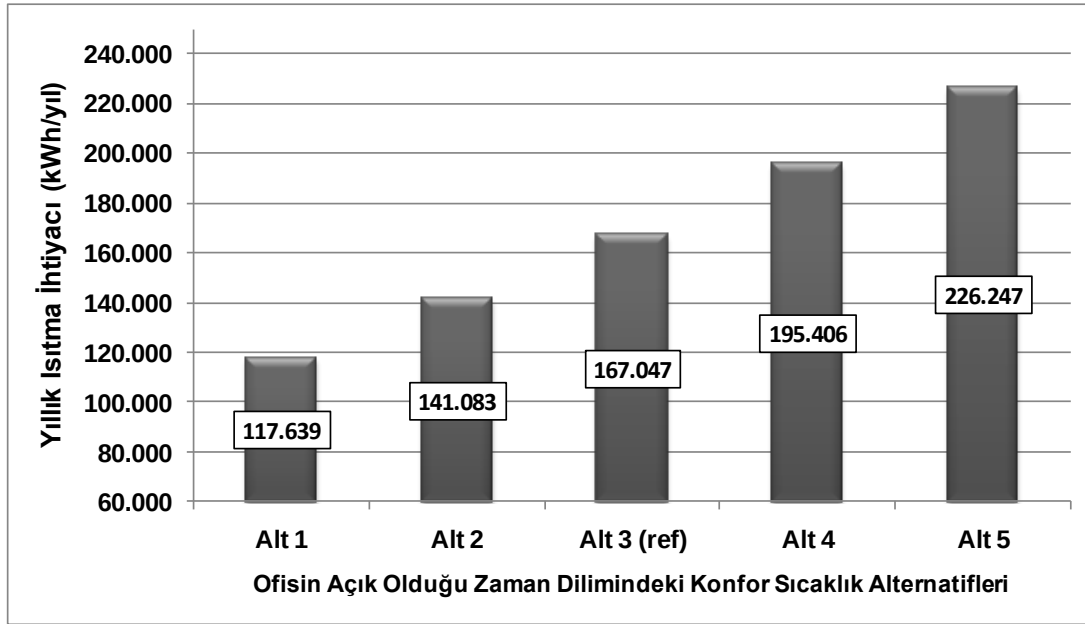
İnsanların binada olduğu saatler konfor içi saatler (çalışma saatleri) olarak düşünüldüğünde, binanın kullanılmadığı saatler de konfor dışı olarak tanımlanabilir. Konfor dışı saatlerde de örnek binanın ısıtma ve soğutma faaliyetleri devam etmektedir. Ancak bu iklimlendirme işlemi konfor saatlerine nazaran yaz için çok daha yüksek kış için de çok daha düşük sıcaklık değerleri için yapılmaktadır. Yapılan bu işlemin amacı binanın sürekli bir rejim halinde kalarak konfor döneminde istenen sıcaklık değerlerine daha çabuk ve kolay ulaşmasını sağlamaktır. Bu sıcaklıkların değişik aralıklarda verdiği enerji tüketim sonuçları analizin temelini oluşturmaktadır. Analizi yapılan alternatifler Çizelge 4.30’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.30 : Konfor içi (ofis açık) ve dışı (ofis kapalı) oda sıcaklık alternatifleri.

Ofisin Açık Olduğu Saatlerdeki Konfor Sıcaklıkları (Konfor İçi)		Sıcaklık (°C)	Ofisin Kapalı Olduğu Saatlerdeki Konfor Sıcaklıkları (Konfor Dışı)		Sıcaklık (°C)
Isıtma	Alternatif 1	20	Alternatif 1		10
	Alternatif 2	21	Alternatif 2		12
	Alternatif 3 (ref)	22	Alternatif 3 (ref)		14
	Alternatif 4	23	Alternatif 4		16
	Alternatif 5	24	Alternatif 5		18
Soğutma	Alternatif 1	22,5	Alternatif 1		27
	Alternatif 2	23,5	Alternatif 2 (ref)		28
	Alternatif 3 (ref)	24,5	Alternatif 3		30
	Alternatif 4	25,5	Alternatif 4		32
	Alternatif 5	26,5			

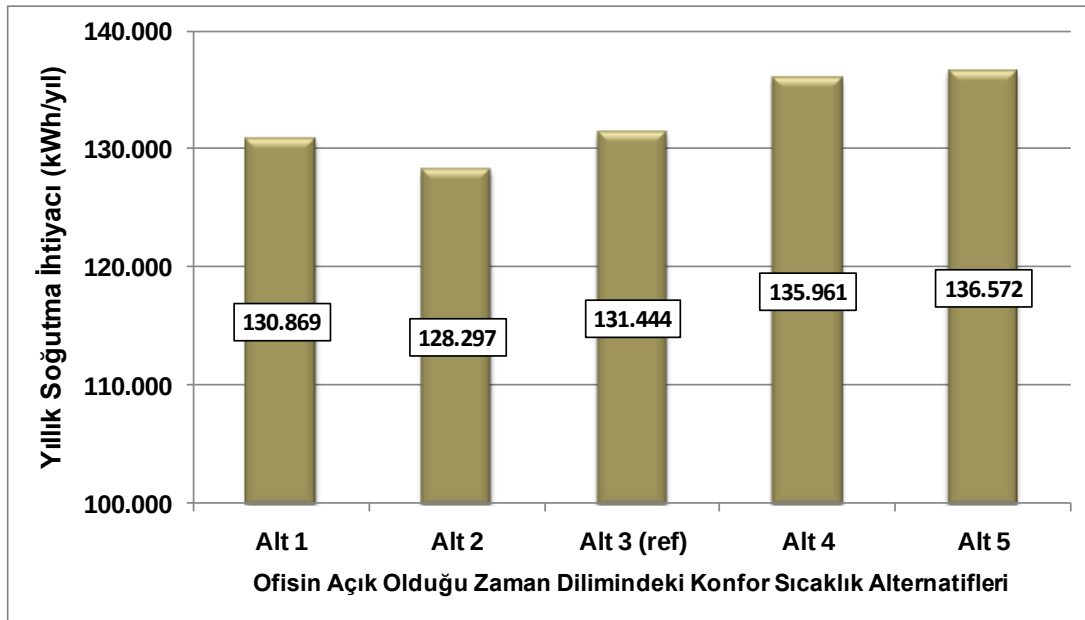
Tablodaki alternatifler aynı isimleri almış gibi gözükseler de her biri farklı grafiklerde inceleneceklerdir.

Isıtma dönemi için konfor içi sıcaklık alternatiflerinin ısıtma yüküne etkisi Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26 : Konfor içi sıcaklık alternatiflerinin (ısıtma) ısıtma ihtiyacına etkisi.

Soğutma dönemi için konfor içi sıcaklık alternatiflerinin soğutma yüküne etkisi Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27 : Konfor içi sıcaklık alternatiflerinin (soğutma) soğutma ihtiyacına etkisi.

Sıcaklık değişiminin ısıtma döneminde oldukça önemli olduğu gözlemlenmiştir. Artan konfor sıcaklığı ısıtma yükünde çok önemli artışlara sebep olmaktadır. Bu

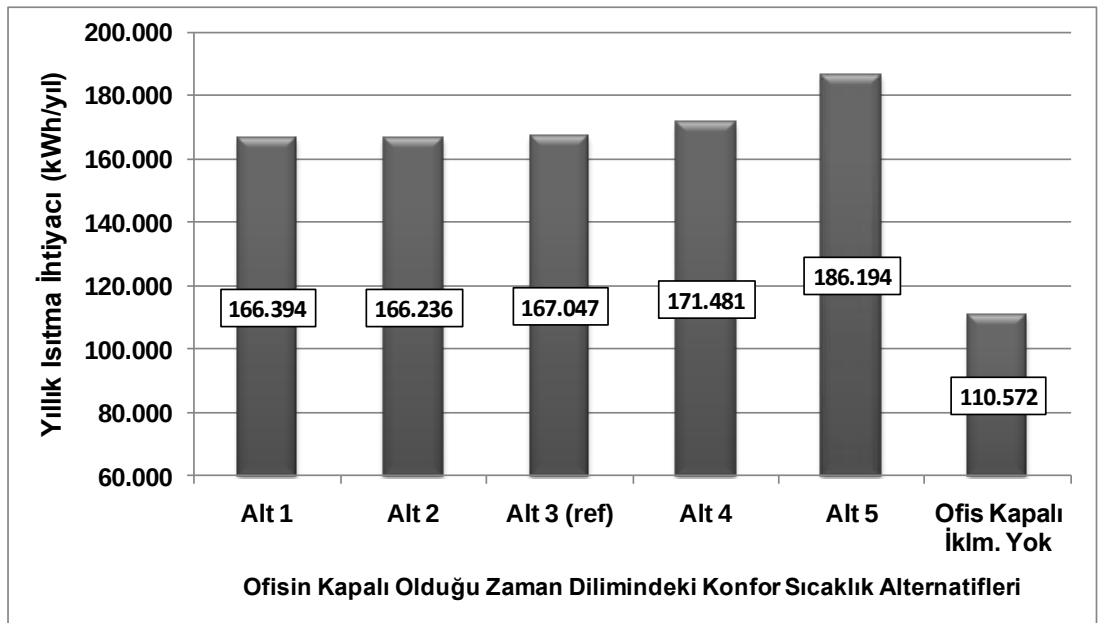
nedenle belli bir sıcaklık limit alınmalıdır. ASHRAE'ye göre 20°C'nin altı konfor için yetersiz olup 23°C'nin üstü sağlık açısından problem oluşturmaktadır. Soğutmada ise ısıtmaya oranla konfor sıcaklıklarının etkisi belli bir aralıkta çok önemli bir fark oluşturmamaktadır. Alternatif 2'nin en uygun olduğu görülmekte daha düşük konfor sıcaklığında ise soğutma yükünde artış eğilimi başlamaktadır. Alternatif 4 ve 5'te de soğutma yükündeki artış durmakta ve bundan sonra tekrar düşüş beklenmektedir.

Konfor sıcaklıklarındaki değişimlerinin ısıtma döneminde kazan, soğutma döneminde chiller kapasitesi üzerine etkileri Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.31 : Konfor içi sıcaklık alternatiflerinin ekipman kapasitesine etkisi.

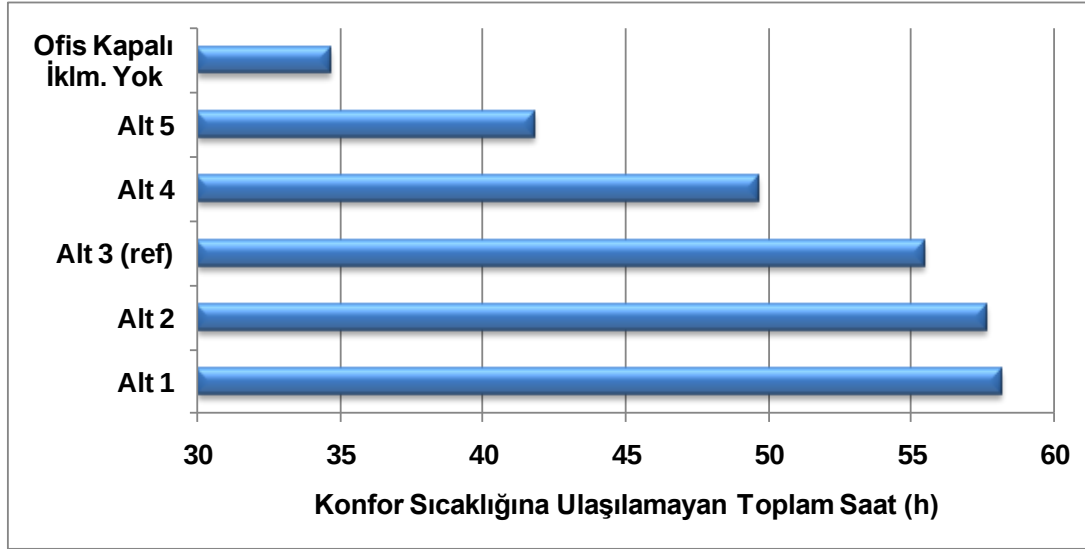
Konfor İçi Alternatifleri		Kazan Kapasitesi (kW)	Konfor İçi Alternatifleri		Chiller Kapasitesi (kW)
Isıtma	Alternatif 1	270,0	Soğutma	Alternatif 1	527,7
	Alternatif 2	278,2		Alternatif 2	516,3
	Alternatif 3 (ref)	286,5		Alternatif 3 (ref)	507,4
	Alternatif 4	294,6		Alternatif 4	496,2
	Alternatif 5	303,2		Alternatif 5	484,3

Konfor dışı saatler bakımından yapılan incelemede ısıtma dönemi için konfor dışı oda sıcaklık alternatiflerinin ısıtma yüküne etkileri Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28 : Konfor dışı sıcaklık alternatiflerinin (ısıtma) ısıtma ihtiyacına etkisi.

Isıtma döneminde konfor dışı sıcaklıklarda Alternatif 3'ten (referans) sonra yüklerde artış söz konusudur. Alternatif 1'de de Alternatif 2'ye göre az da olsa artış olması düşecek konfor dışı sıcaklığın yükü arttıracaklarını göstermektedir. Ofis kapalı iken iklimlendirmenin olmadığı durumun tüm alternatiflere göre oldukça tasarruflu olduğu ise önemli bir detaydır. Bu durumda konfor dışında (ofis kapalı iken) iklimlendirmenin yapılıp yapılmaması konusunda diğer verilere bakmak gerekir. Bu verilerin başında da konfor saatlerinde konfor sıcaklık değerine ulaşamayan saat sayısı gelmektedir. Bu veriye bakılarak konfor dışı saatlerde yapılan iklimlendirmenin anlam kazanıp kazanmadığı görülür. Çünkü konfor dışı saatlerdeki iklimlendirmenin amacı, binayı formda tutarak ısıtmanın veya soğutmanın devreye girmesi halinde mekanın hemen istenen konfor şartlarına ulaşabilmesidir. Isıtma dönemi açısından bir ofis bölgesi için bu grafik Şekil 4.29'da verilmiştir.

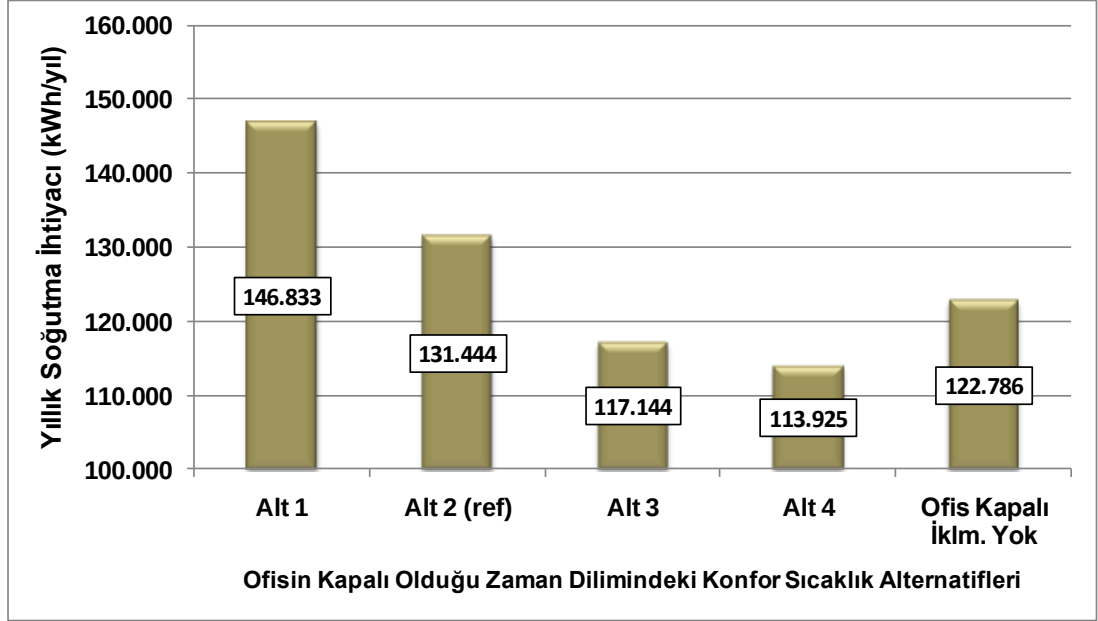


Şekil 4.29 : Isıtma döneminde konfor dışı sıcaklık alternatiflerinin konfor sıcaklığına ulaşamayan toplam saat miktarına etkisi.

Grafik ısıtma dönemi açısından konfor dışı saatlerde bir iklimlendirmeye ihtiyaç olmadığını göstermektedir. Çünkü konfor dışı saatlerde (ofisin kapalı olduğu) iklimlendirmenin olmadığı hal en uygun durum olarak gözükmektedir.

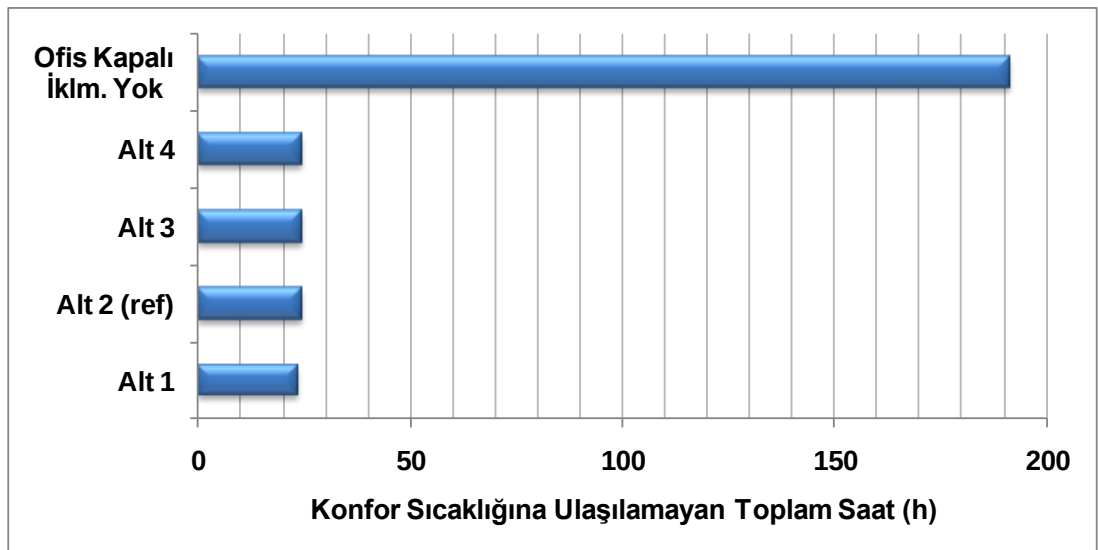
Soğutma dönemi açısından konfor dışı sıcaklık alternatiflerinin soğutma yüklerine etkisi Şekil 4.30'de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde konfor dışı saatlerde oda sıcaklık değerleri arttıkça soğutma yükünün azaldığı, azaldıkça da arttığı görülmektedir. Ofis kapalı iken iklimlendirmenin yapılmadığı durum ise ilk iki alternatifte göre avantajlı ancak son iki alternatifte göre ise dezavantajlıdır. İlk iki

alternatifin sıcaklık değerleri konfor sıcaklığına yakın olmasından dolayı bunların yükleri fazla olmaktadır. Ancak konfor sıcaklığından uzaklaştıkça soğutma yükü azalır. Fakat ofis kapalı iken hiç soğutma yapmamakta uygun gözükmemektedir.



Şekil 4.30 : Konfor dışı sıcaklık alternatiflerinin (soğutma) soğutma ihtiyacına etkisi.

Konfor dışı saatlerde (ofis kapalı iken) bir iklimlendirmenin getireceği maliyet açısından konfor dışı saatlerde yapılan soğutmanın bir anlamı olup olmadığını öğrenmek için ısıtmada olduğu gibi konfor sıcaklığına ulaşamayan saat miktarı incelenmelidir. Bu veriler bir ofis bölgesi için Şekil 4.31’de tanımlanmıştır.



Şekil 4.31 : Soğutmada konfor dışı sıcaklık alternatiflerinin konfor sıcaklığına ulaşamayan toplam saat miktarına etkisi.

Şekil 4.31'den görüldüğü gibi ısıtmanın tersine soğutma döneminde konfor dışı saatlerde (ofis kapalı iken) iklimlendirme yapmanın önemi büyüktür. Alternatif 1, 2, 3 ve 4 arasında bir fark yoktur. Bu nedenle tüm alternatifler arasında seçim soğutma tüketimine göre yapılabilir. Ancak ofis kapalı iken iklimlendirme yapılmadığı takdirde önemli bir zaman diliminde istenen konfor sıcaklığına erişilemez. Tasarımcı bu durumu göz önünde bulundurarak gerekli seçimi yapmalıdır.

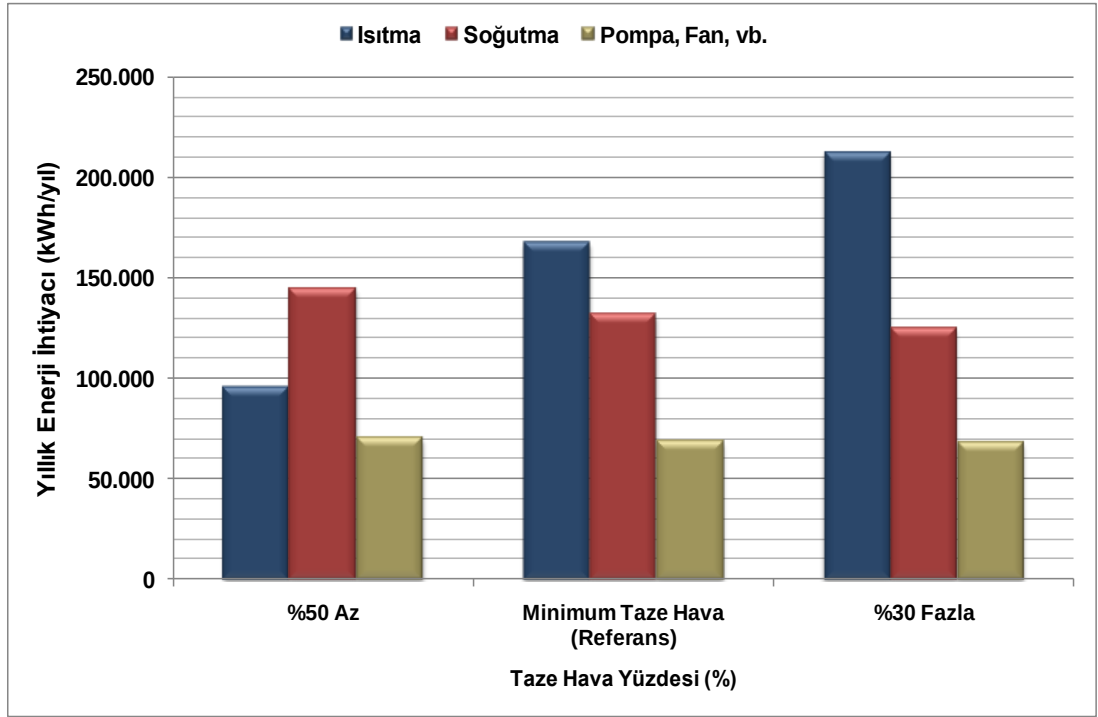
4.3.2. Taze hava miktarı simülasyon ve analizi

Hasta bina sendromuna karşı alınabilecek en önemli önlem yapı içinde yeterli havalandırmanın sağlanmasıdır. Ancak bu havalandırma enerji ekonomisi bakımından sınırlı bir oranda dış ortam havasının binaya ulaşmasını sağlar. Artan taze hava miktarı ısıtma ve soğutma yüklerinde önemli değişikliklere sebep olacağından bir miktar taze hava ile iklimlendirme dönüş havası karışımı toplam debiyi oluşturur. Ancak her durumda minimum taze hava miktarının binaya gönderilmesi şarttır. Minimum taze hava miktarının binaya gönderilmesi zorunlu olmakla birlikte maksimum taze hava gönderimi konusunda bir kısıtlama yoktur. LEED'e göre *ASHRAE Standart 62.1-2004 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* standardına uyulması zorunludur. Burada bina için gerekli taze hava miktarı minimum değerdir. LEED bununla birlikte mümkün ise %30 daha fazla havanın içeriye verilmesini istemektedir. Fakat bu durum enerji tüketimlerini yakından etkilemektedir.

Taze havanın enerji tüketimlerine etkisi analizinde *ASHRAE Standart 62.1-2004*'deki veriler (Bölüm 3.2.3) ile denklem (3.1)'deki işlem baz alınarak referans bina için minimum taze hava ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu standart taze hava miktarının yanına iki alternatif daha getirilerek enerji tüketimi izlenmiştir. Bu alternatifler standart taze havanın %50 azaltılmış hali ve %30 arttırılmış halidir.

Havalandırmada taze hava miktarı alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve HVAC kaynaklı diğer ekipmanlardaki enerji tüketimine etkileri Şekil 4.32'de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde artan taze hava miktarı ısıtma yüklerinde artışa sebebiyet vermektedir. Kış döneminde dış ortamdan gelen soğuk havanın konfor sıcaklığına çekilmesinde harcanan ısı enerjisi miktarı arttıkça artım göstermektedir. Soğutma yükünde ise artan taze hava miktarı çok yoğun olmasa da bir miktar düşüşe sebep olmuştur. Bunda özellikle gün içi ve gece, dış çevre sıcaklığının düşük olduğu

saatlerin etkisi vardır. Ekipman bakımından daha çok soğutma yüküne bağlı olma dolayısıyla bir azalış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.32 : Taze hava miktarı alternatiflerinin enerji ihtiyaçlarına etkisi.

Verilerin sonuç halinde tablo olarak görüntüsü Çizelge 4.32’de sunulmuştur.

Çizelge 4.32 : Taze hava miktarına göre enerji ihtiyaçları.

Alternatif	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Pompa, Fan, vb. (kWh/yıl)
%50 Az	95.433,3	144.233,3	69.797,2
Referans	167.047,2	131.444,4	68.244,4
%30 Fazla	211.944,4	124.786,1	67.836,1

Alternatiflerin ekipman kapasitelerine olan etkileri ise Çizelge 4.33’ten incelenebilir.

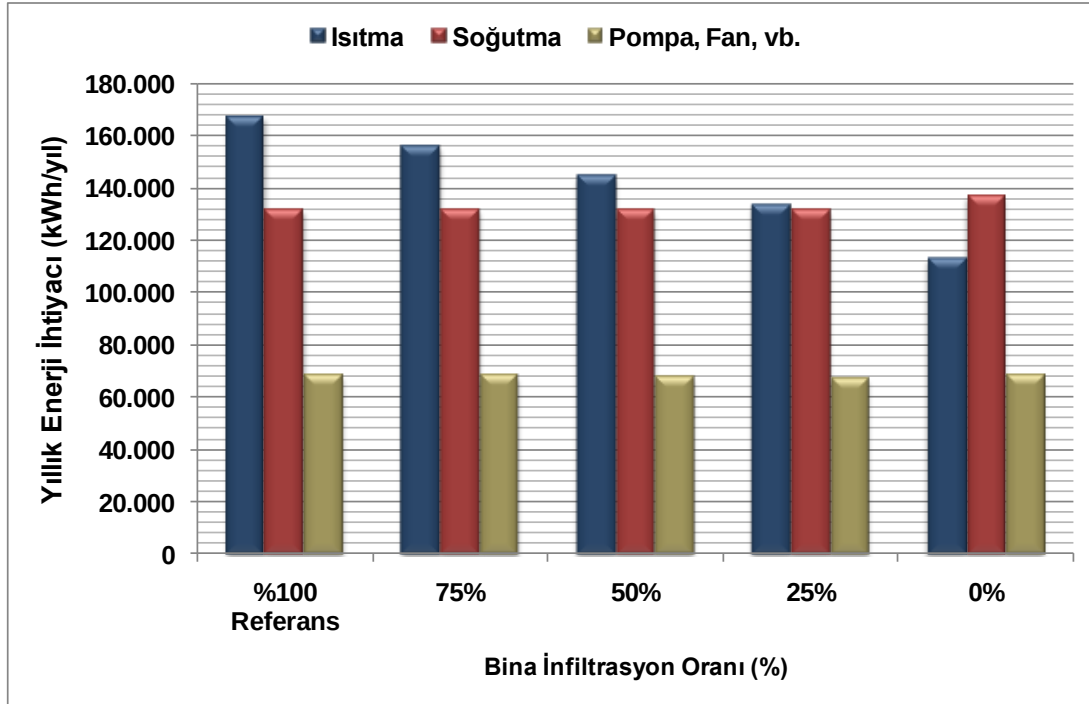
Çizelge 4.33 : Taze hava miktarının ekipman kapasitelerine etkileri.

Alternatif	Kazan Kapasitesi (kW)	Chiller Kapasitesi (kW)
%50 Az	215,9	480,3
Referans	286,5	507,4
%30 Fazla	340,8	523,6

4.3.3. İnfiltrasyon (hava sızıntısı) simülasyon ve analizi

İşletme şartlarına ve yapı kalitesine bağlı olan infiltrasyon, binaya dışarıdan içeriye ya da tam tersi istikamette olan kaçak hava akımıdır. Standartların referans ofis binası için belirlediği infiltrasyon miktarı bir çok değişkene bağlıdır. Binanın dış cepheye bakan camlarının açılır ya da sabit olması, dış ortama açılan kapıların hava sızıntısı engelleyici elemanlarla donatılması, pencere çerçevelerinin sızıntıyı engelleyici tipte seçilmesi ve iç ortam havalandırma basıncı gibi bir çok parametre infiltrasyonu etkiler. Bu durum hava sızıntısı miktarının çoğu kez tasarımcı tarafından manipüle edilebileceğini göstermektedir. Binanın yapımı aşamasında seçilen malzeme ve ekipmanlar infiltrasyonu engelleyecek şekilde belirlendiği takdirde bu sızıntı miktarı asgari seviyelere çekilebilir. Böylece sızıntının enerji tüketimine negatif etkileri ortadan kalkar.

Analiz doğrultusunda örnek bina için belirlenen infiltrasyon miktarı referans olarak tanımlanır. Bu alternatif %100 infiltrasyon olarak kabul edilir. Sızıntı değeri azaltılarak tüketimlere olan etki incelenecektir. Bu doğrultuda diğer alternatifler %75, %50, %25, ve sıfır infiltrasyon olacaktır. İnfiltrasyon alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve HVAC kaynaklı diğer elemanlardaki enerji tüketimine etkileri Şekil 4.33'te verilmiştir.



Şekil 4.33 : İnfiltrasyon alternatiflerinin enerji ihtiyaçlarına etkisi.

Şekil 4.33'te verilen grafiğin ışığında infiltrasyonun en çok etkilediği tüketim elemanı ısıtma enerjisidir. Artan infiltrasyon ısıtmayı da arttırmaktadır. Diğer tüketimlerde ise değişimler dikkate değer aralıklarda olmamaktadır. Referans hal ile sıfır sızıntı hali arasında %32,5'lik bir ısıtma enerjisi farkı olması hava sızıntısının tasarımda dikkate alınmasını ve mümkün mertebe azaltılmasını gerektirmektedir. Alternatiflerin sayısal değerleri tablo halinde Çizelge 4.34'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.34 : İnfiltrasyon alternatiflerine göre enerji ihtiyaçları.

Alternatif	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Pompa, Fan, vb. (kWh/yıl)
%100 (ref)	167.047,2	131.444,4	68.244,4
%75	155.677,8	131.508,3	67.888,9
%50	144.430,6	131.252,8	67.458,3
%25	133.372,2	131.255,6	67.150,0
%0	112.794,4	136.677,8	68.047,2

Hava sızıntısının ısıtma tüketimi üzerine yaptığı etki aynı zamanda kazan kapasitesini de etkileyecektir. Bu durumu gösteren tablo Çizelge 4.35'te ifade edilmektedir.

Çizelge 4.35 : İnfiltrasyon alternatiflerinin kazan kapasitesine etkileri.

Alternatif	Kazan Kapasitesi (kW)
%100 (ref)	286,5
%75	277,1
%50	268,5
%25	264,1
%0	261,7

4.4. Bina Enerji Tüketimini İyileştirecek Pasif Yöntemlerin İncelenmesi

Günümüz mimarisinde az enerji tüketen yapılar ve yeşil bina tasarımı yanında pasif ev kavramı da yer etmeye başlamıştır. Son dönemde sıklıkla adı duyulan bu yapı artık konutların enerji tüketimlerinde tasarrufun boyutlarını göstermektedir. Pasif ev (bina) ısıtma ve soğutmaya yönelik enerji tüketiminde maksimum tasarrufun sağlandığı yapı anlamına gelmektedir. Tüketimin alt sınırı zorladığı bu yapılarda tasarım parametreleri daha çok çevre şartlarıyla bağlantı kurularak seçilmektedir. Bunlar çoğu kez ısınma amaçlı güneş, soğutma amaçlı gece havalandırması veya fan enerjisinden tasarruf için doğal havalandırma gibi kavramlardır. Doğa ve çevrenin sunduğu maliyetsiz güçlerin avantajlarını kullanan yapılar diğer yüksek tüketimli binalara göre son derece düşük işletme maliyetine sahiptir. Genel olarak pasiften çıkarılacak anlam herhangi bir enerji kullanmadan (pompa, kompresör, fan) tüketimleri azaltmak olmalıdır. Bu bağlamda bölüm kapsamında örnek binaya bu tip pasif elemanlar yerleştirilerek enerji tüketiminde sağlanacak avantajlar incelenecektir.

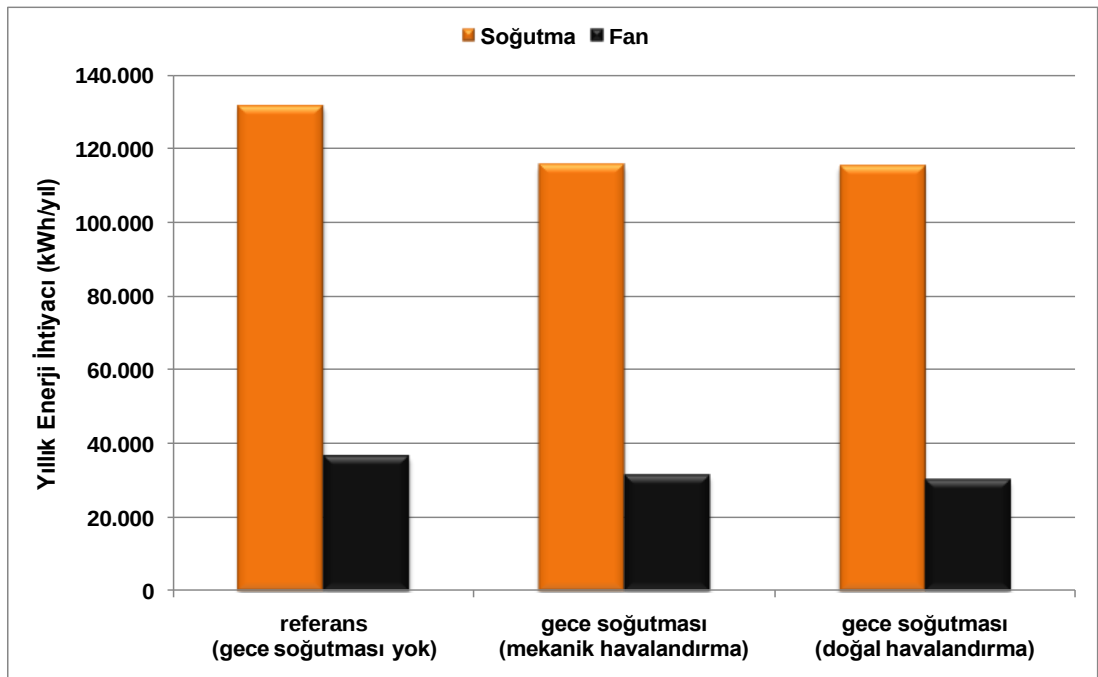
Bölüm kapsamında yer verilecek pasif yöntemler,

- Gece soğutması (havalandırması),
- Yeşil çatı uygulaması,
- Hava kontrollü cam,
- Ek pencere (storm window).

4.4.1. Gece soğutması (night ventilation) simülasyon ve analizi

Özellikle yaz ayları için uygulanan bu pasif yöntem büyük hacimli binalar için oldukça önemli bir alternatiftir. Yaz mevsiminde gün içi sıcaklık farklarının yeterli olduğu coğrafyalarda uygulanan bu yöntem ile gündüz mekanik olarak yapılan soğutma işlemi binanın kullanılmadığı gece saatlerinde durdurulur ve bu soğutma yerine gündüz saatlerine göre sıcaklığı düşen gece saatlerindeki çevre havası binaya gönderilir. Dış ortam havasının gündüze göre nispeten soğuk olması gece boyunca binayı soğuk tutacaktır. Böylece ısıl bir hacim olan binanın yapısal (kabuk) sıcaklığı düşük olacak ve bu durumda gün boyu daha az bir mekanik soğutmaya ihtiyaç duyulmasına sebebiyet verecektir.

Yapılan inceleme ve analizde örnek bina için mayıs ayından ekim ayına kadar binanın kullanılmadığı 01:00 ile 07:00 saatleri arası gece soğutması yapılmıştır. Bu saatler arasında herhangi bir iklimlendirme yapılmamaktadır ve havalandırma herhangi bir şartlandırmaya tabii tutulmamış olup dış çevre havasıdır. Binaya verilen hava miktarı standartlarla belirlenen minimum taze hava miktarıdır. İncelemede havalandırma doğal ve mekanik şekilde yapılarak fan tüketiminden yapılacak tasarrufta gözlemlenmiştir. Gece soğutmasının olmadığı referans bina ise örnek bina işletme şartlarındadır. Gece soğutması işleminin soğutma tüketimine etkisi ve doğal havalandırmanın sağladığı avantaj Şekil 4.34’te verilmiştir.



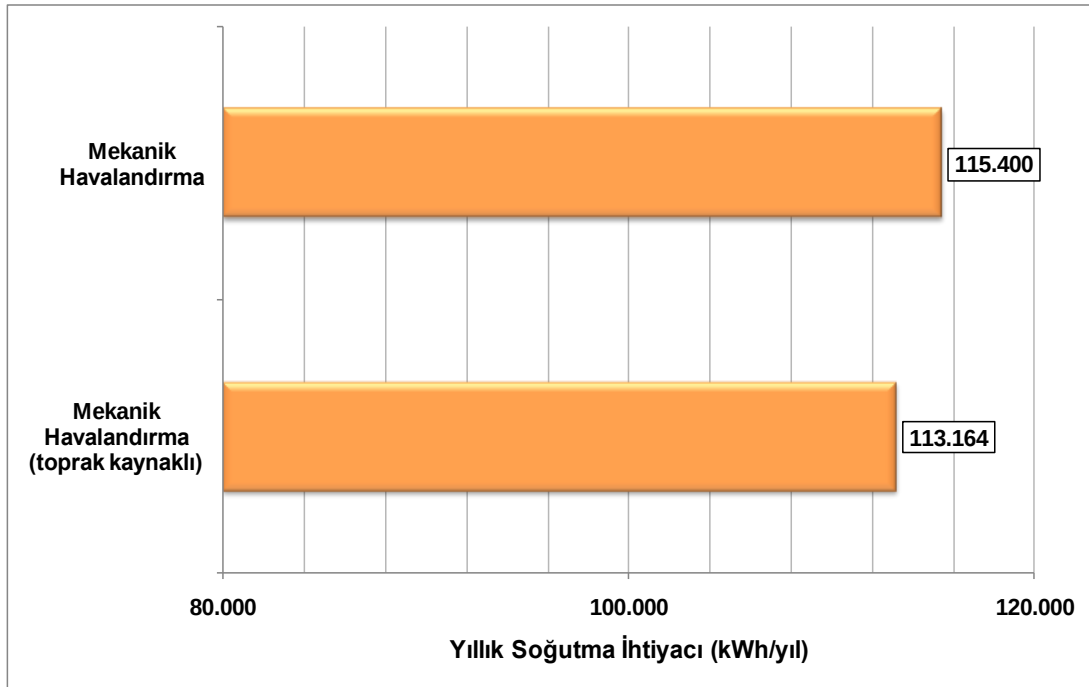
Şekil 4.34 : Gece soğutmasının soğutma ve fan enerji ihtiyacına etkisi.

Alınan sonuçlar gece soğutması işlemi yapıldığı takdirde soğutma yükünde %12’lik bir tasarrufun gerçekleşeceğini göstermektedir. Fan enerji tüketiminde de doğal havalandırma tercihi mekanik havalandırmaya göre %5’lik bir avantaj sağlayacaktır. Sonuçların sayısal değerleri Çizelge 4.36’da incelenebilir.

Çizelge 4.36 : Gece soğutmasına göre yıllık enerji ihtiyaçları.

Alternatif	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Fan Enerji İhtiyacı (kWh/yıl)
Gece Soğutması (Mekanik)	115.400,0	31.075,0
Gece Soğutması (Doğal)	115.130,6	29.675,0
Referans (Soğutmasız Hal)	131.444,4	36.227,8

Gece soğutmasını bir miktar daha iyileştirmenin yolu da toprak kaynağını kullanmaktır. Toprak yaz döneminde çevre atmosferden belli bir miktar daha soğuktur. Bu potansiyeli kullanarak, binaya aktarılacak havanın, toprak altına dönecek bir kanaldan dolaştırılması havanın daha da soğumasına sebep olacaktır. Bu durum binanın daha da soğuması ve böylece soğutma yükünde azalmaya yol açabilmektedir. Kanal 25 cm çapında ve 2 cm et kalınlığında olup ısı iletim katsayısı 200 W/mK'dir. Kanaldan geçen hava ile yapılan gece soğutmasının klasik gece soğutmasına (mekanik) karşı sağladığı tasarruf Şekil 4.35'te gösterilmektedir.



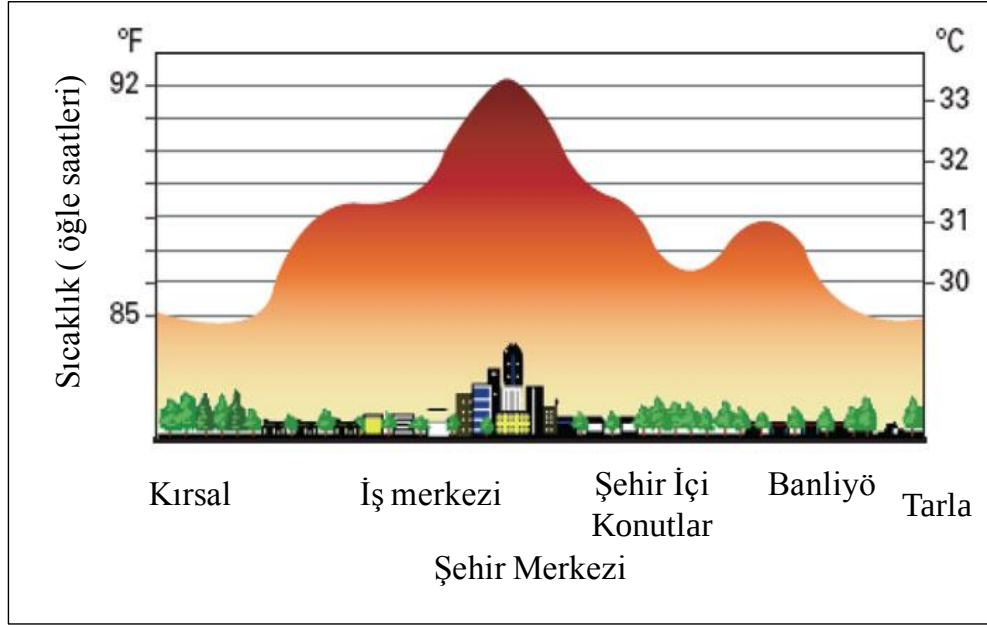
Şekil 4.35 : Gece soğutmasında toprak kaynağının kullanılmasının soğutmaya etkisi.

Toprak altından dolaştırılarak yapılan havalandırma %2 tasarruf sağlamıştır.

4.4.2. Yeşil çatı (green roof) uygulamasının simülasyon ve analizi

Binaların en çok ısı kaybettiği yüzeylerin başında çatılar gelmektedir. Çizelge 2.2'den de hatırlanacağı gibi TS 825 ve diğer kaynaklar, çatıların en yüksek izolasyonda ve en düşük U değerinde tasarlanmasını zorunlu kılmıştır. Çatıların kış aylarındaki bu ısı kayıplarının yanı sıra yaz döneminde de güneş ışınlarını direk ve tam gün almalarından dolayı soğutma yükleri de artmaktadır. Bu etkenler bina içi tüketimler açısından önemli olmakla birlikte bir diğer önemli husus ta tüm gün güneş ısıasına maruz kalan çatının depoladığı ısıdır. Çoğu kez çatılarda kullanılan koyu renkli absorbe edici malzemeler tüm gün önemli miktarda ısıyı yüzeyinde tutar.

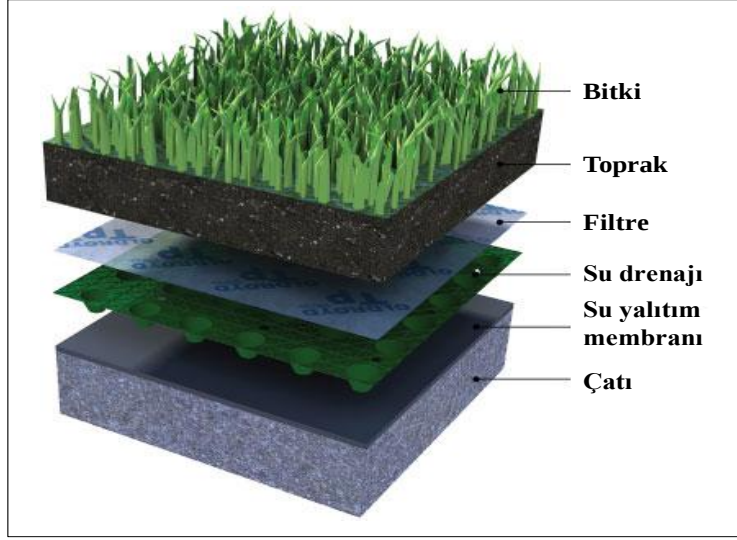
Küresel ısınmanın bir sebebi olan bu durum kırsal kesim ile kent arasında ısı adası etkisi olarak tanımlanan bir etkinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Isı adası etkisi bina çatı ve duvarlarında depolanan güneş ısısı vasıtası ile gün içinde şehir merkezindeki sıcaklığın kırsal alana göre 2-3 °C artmasıdır. Artan sıcaklık küresel ısınmanın sebebi olmaktadır. Bu durumda başrolü üstlenen en önemli unsur da güneşten birinci derece etkilenen çatılardır. Bu durumdan kaynaklanan sıcaklık değişiminin farklı bölgelerdeki değerleri yaz dönemi için Şekil 4.36’da gösterilmiştir.



Şekil 4.36 : Isı adası etkisi ile farklı bölgelerdeki sıcaklık değişimleri.

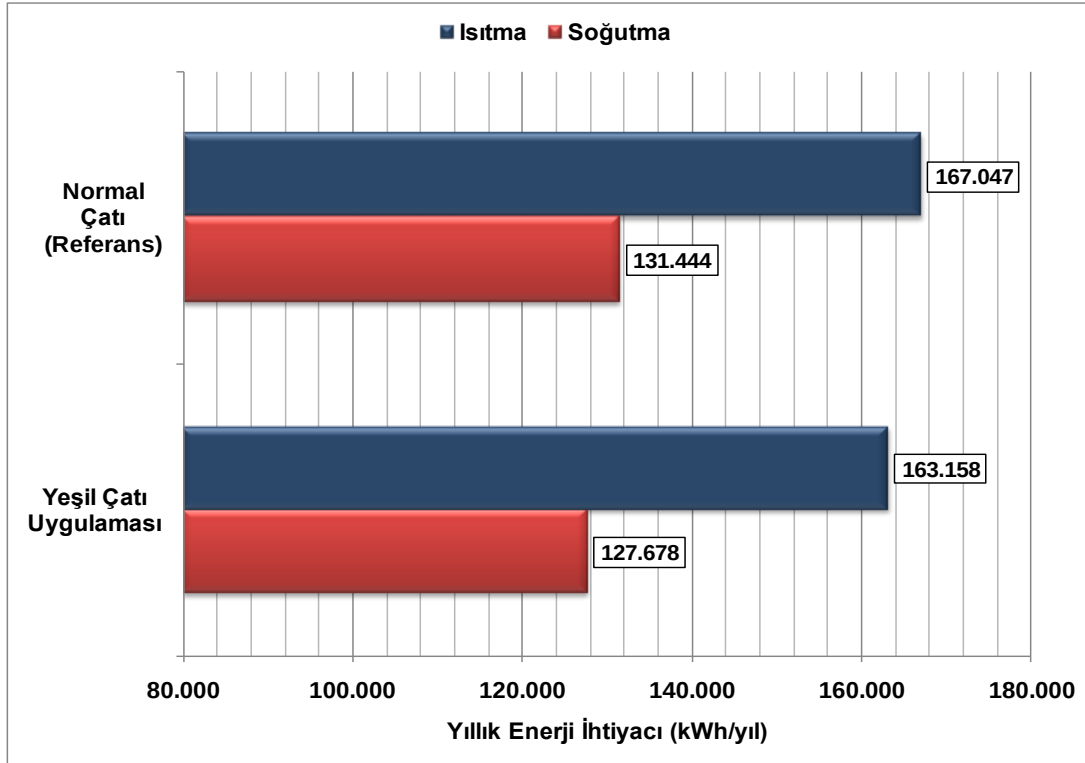
Şehir merkezinde sıcaklığın kırsal alanlara göre dikkat çekici ölçüde yüksek olması bu konuda bir önlem almayı gerekli kılmaktadır. Bu bakımdan yeni yapılan binalarda yeşil çatı uygulamasına yönelik çalışmalar başlamıştır. Yapılan çatıların yüzeyi toprak ve bitki ile kaplanarak şehir dışı bölgelerdeki günlük sıcaklık değerlerine yaklaşılmak amaçlanmaktadır. Hem küresel ısınma hem de enerji tüketimine etkiler doğrultusunda ihtiyaç haline gelen yeşil çatı uygulaması aynı zamanda LEED sertifikası almak için de artı bir puan olmaktadır.

Yeşil çatı temel olarak birkaç katmandan oluşan bir yapıdır. Asıl çatının üzerine üst üste yerleştirilen bu katmanlar sayesinde çatı tıpkı bir bahçe zemini durumuna getirilmektedir. Böylece hem güneş ısısının absorbe edilmesi ve çatı içinde tutulması engellenmiş hem de doğal bir yalıtım sağlanmış olur. Yeşil çatı uygulamasına ait şema Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37 : Yeşil çatı uygulaması.

Analizde örnek binanın çatısına, 50 cm kalınlıkta bitki ve 18 cm kalınlıkta topraktan oluşan bir yeşil çatı kalıbı yerleştirilmiştir. Yapıdaki toprağın yoğunluğu 641 kg/m^3 , ısı iletim katsayısı $0,4 \text{ W/mK}$ ve özgül ısı 1100 J/kgK 'dir. Yeşil çatı uygulamasının ısıtma ve soğutma tüketimine etkisi Şekil 4.38'de gösterilmiştir.



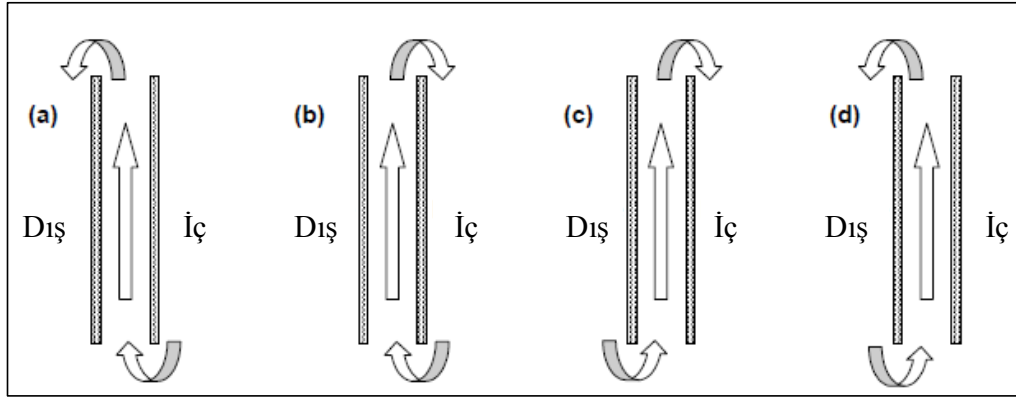
Şekil 4.38 : Yeşil çatı uygulamasının yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.

Yeşil çatı ile soğutmada %3, ısıtmada ise %2,5'lik bir tasarruf sağlanmıştır. Yeşil çatı ayrıca yağmur suyunun depolanmasını sağlamakta, sürdürülebilirliğe katkı

vermekte, ses izolasyonunu desteklemekte ve yeni bahçe alanları yaratmaktadır. İlk yatırım ile işletme maliyetlerinin olması ve bina temeline artı bir yük getirmesi ise dezavantajlarıdır.

4.4.3. Hava kontrollü cam (airflow control) simülasyon ve analizi

Çift camlı pencerelerde genel düşünce cam içindeki gaz tabakasının durağan bir şekilde tutulmasıdır. Ancak yeni gelişmeler doğrultusunda camlar arasındaki boşlukta iç ortam ya da dış ortam havasının dolaştırılması ısı kaybını azaltıcı yönde etki etmektedir. Yapılacak analizde örnek bina çift camları arasında hava akımı yönünden farklı bir çok alternatif incelenecektir. Bu alternatifler Şekil 4.39'da gösterilmiştir.

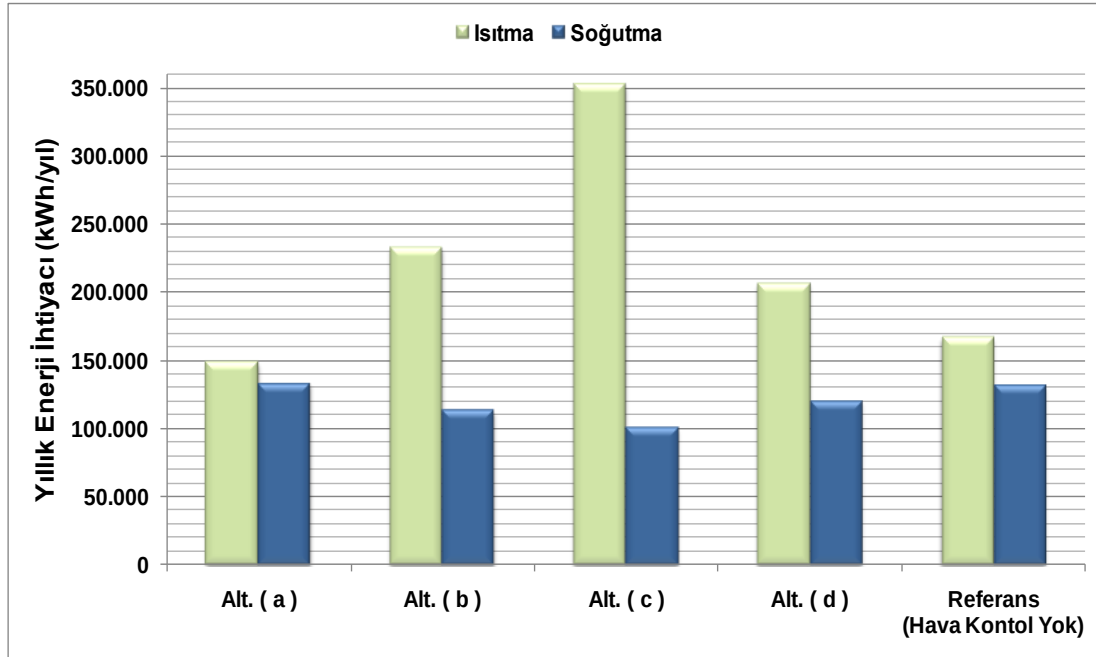


Şekil 4.39 : Hava kontrollü camlarda hava akış yönü alternatifleri [38].

Alternatif (a) iç ortam havasının cam gaz boşluğu arasından dışarıya atılmasını, alternatif (b) içeriden alınan havanın tekrar iç ortama gönderilmesini, alternatif (c) dışarıdan alınan havanın boşluktan geçirilerek iç ortama verilmesini ve alternatif (d) ise dışarıdan alınan havanın cam boşluğu vasıtasıyla tekrar dış ortama iletilmesini temsil etmektedir.

Temel olarak atık havanın pencere boşluğundan geçirilmesi ile ısıtma ve soğutma yüklerinde tasarruf sağlama amacı için tasarlanan bu sistem, camlar arası akan hava tabakası ile yaz döneminde pencereye gelen güneş ısısının bir kısmını absorbe ederek ve dışarıya taşıyarak bu ısı yükünden kurtulmayı sağlar. Kış döneminde ise bu hava akımı camı ısıtarak pencerede oluşacak ısı kaybını azaltmaktadır. Bir diğer önemli katkı da bu tip bir tasarımın ısı konforu sağlamasıdır. Çünkü bu yapı sayesinde camın bulunduğu yüzey yazın daha soğuk, kışın ise daha sıcak olacaktır.

Analizi yapılan bu dört alternatifin ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkileri Şekil 4.40'taki grafikte tanımlanmıştır.



Şekil 4.40 : Hava kontrollü cam alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.

Referans ile karşılaştırıldığında ısıtma yükleri açısından sadece alternatif (a) tasarruf sağlamaktadır. Ancak bu alternatif soğutmada bir avantaj sağlamamaktadır. Alternatif (c) ise soğutma tasarrufu bakımından önem kazanmaktadır. Ancak bu alternatif de ısıtma yüklerini arttırır. Bu bakımdan yaz döneminde alternatif (c), kış döneminde ise alternatif (a) yönünde bir hava akımı sağlanır ise her dönem için tasarruf sağlanmış olur. Sayısal sonuçlar Çizelge 4.37’de gösterilmektedir.

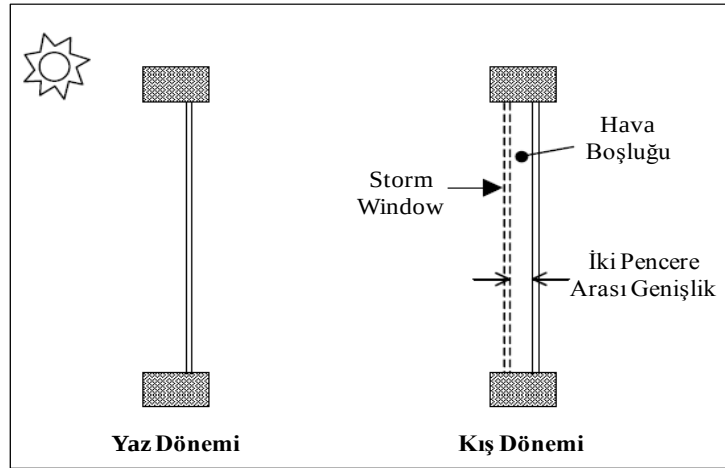
Çizelge 4.37 : Hava kontrollü cam alternatiflerine göre yıllık enerji ihtiyaçları.

Alternatifler	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)
İçeriden Dışarıya (a)	149.061,1	133.000,0
İçeriden İçeriye (b)	233.350,0	112.919,4
Dışarıdan İçeriye (c)	352.605,6	100.466,7
Dışarıdan Dışarıya (d)	207.011,1	120.219,4
Referans	167.047,2	131.444,4

Alternatif (a) ile ısıtmada % 11, alternatif (c) ile de soğutmada % 23 oranında bir tasarruf sağlanmaktadır.

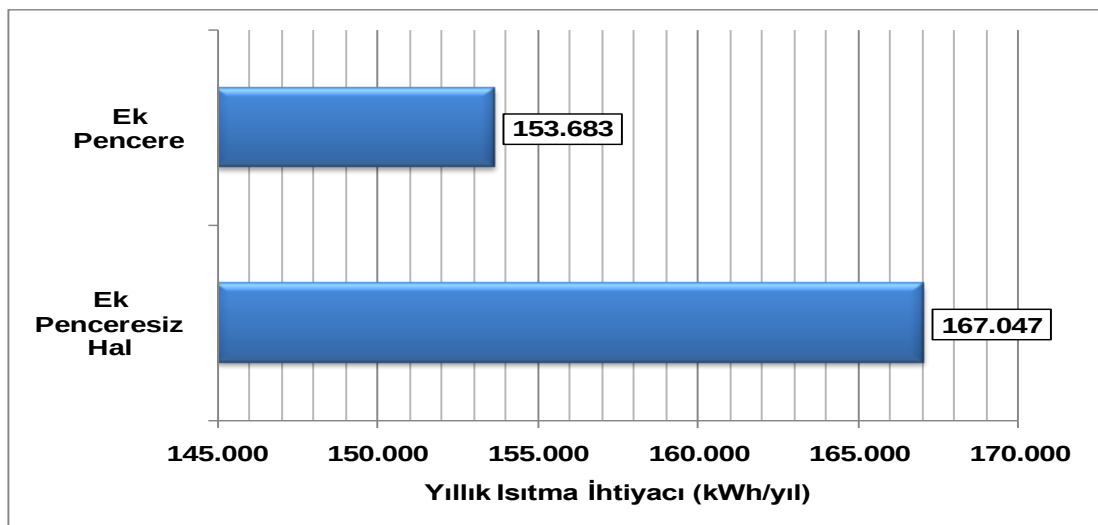
4.4.4. Ek pencere (storm window) simülasyon ve analizi

İngilizce literatürde storm window olarak geçen bu pasif tasarruf yöntemi ısıtma dönemi olan kış mevsiminde ısı kaybeden pencereler için ek bir ısıl direnç elemanı olarak kullanılmaktadır. Kış döneminde çevreye bakan pencerelerin dış yüzeyine Şekil 4.41’deki gibi yerleştirilen ek cam vasıtası ile ısı kaybı azaltılmaktadır.



Şekil 4.41 : Ek pencere (storm window) [38].

Örnek bina için ekim ayının ortası ile mayıs ayının başı arasındaki dönemde aktif olan ek pencerenin asıl pencere ile arasındaki mesafe 5 cm olarak belirlenmiştir. Bu ek camın özellikleri Çizelge 3.3’te tanımlanan örnek bina cam özellikleri ile aynı seçilmiştir. Bu doğrultuda ek pencere elemanının ısıtma ihtiyacına etkisi Şekil 4.42’de gösterilmiştir.



Şekil 4.42 : Ek pencere elemanının yıllık ısıtma ihtiyacına etkisi.

Ek pencere sayesinde ısıtma ihtiyacında % 8’lik bir tasarruf sağlanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji tüketimini karşılamaya yönelik kaynakların giderek tükendiği günümüzde verimlilik ve sürdürülebilirlik büyük önem arz etmektedir. Aynı zamanda fosil yakıt kaynaklı enerji tüketiminin getirdiği çevresel sorunlar bu önemin altını çizmektedir. Bu doğrultuda yapılan çalışma binalarda enerji tüketimini azaltmaya yönelik olmuş ve aynı zamanda da sürdürülebilir bir tasarımın parametrelerini ortaya koymuştur.

Enerjide tasarruf sağlayan faktörlerin ilk yatırım maliyetlerini arttırması kaçınılmaz bir durumdur. Ancak yapılan iyileştirmelerin getirdiği işletme gider tasarrufları bu maliyet artışını karşılamakla birlikte ileriki dönemlerde sürekli avantaj sağlayacaktır.

Yalıtım ile ilgili yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarda aynı ısı iletim katsayısına sahip olan yalıtım malzemeleri için ısıtma ihtiyaçları bakımından birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Bu doğrultuda yalıtım malzemesi seçiminde malzemenin birim fiyatı ve diğer özellikleri önem kazanmaktadır. Bu bakımdan binanın coğrafi konumu, iklim şartları ve maliyetler açısından polistren, poliüretan ve cam yünü arasında seçim yapılması doğru olacaktır. Yalıtım kalınlığı bakımından ise iki bağlayıcı durum söz konusudur. Birincisi, yalıtımın yapılmasının zorunluluğudur. Yalıtımsız bina ile yapılan karşılaştırmada en düşük yalıtım kalınlığı ile ısıtmada %60'a varan bir enerji tasarrufu elde edilebilmektedir. İkinci şart ise TS 825'in zorunlu kıldığı minimum U değerinin (dış duvar) sağlanmasıdır. Bu iki şart yalıtım için minimum kalınlığı tanımlar. Ancak tasarımcı için üst yalıtım kalınlığı limiti görecelidir. Bu bakımdan yapılan incelemede 8-10 cm sonrası yalıtım kalınlıkları tüketimde fazla bir tasarruf sağlamamakta ve aynı zamanda maliyetleri arttırmaktadır. Yalıtımın konumu bakımından kış dönemi için avantajlı olan hal içeriden yalıtım olmuştur. Hem iç yüzey sıcaklığının yüksek oluşu ile sağladığı konfor hem de dışarıdan yalıtımda, çevre ile olan sıcaklık farkının en yüksek seviyede oluşu avantajı sağlamaktadır. Yaz döneminde ise dış yüzey sıcaklığı en yüksek olan dışarıdan yalıtım hali dış ortamdan içeriye gelecek ısıнын en düşük olduğu alternatiftir. Aynı zamanda iç yüzey sıcaklığının en düşük olduğu hal olmasından dolayı konfor bakımından daha uygundur.

Camlı yüzeylerde cam adedinin arttırılması oldukça önemlidir. Tek camlı duruma göre çift camlı yüzeyler ısıtmada %26 tasarruf sağlamaktadır. Üçüncü bir camın daha eklenmesi tasarrufu arttırmakta ancak çift cama göre sağlanan avantaj azalmaktadır. Kullanılan camın kalınlığı bakımından ise 4 mm'ye göre artan cam kalınlığı ısıtmaya yönelik tüketimde yaklaşık %2'lik (12 mm kalınlık) bir kazanç sağlar.

Camlar arasında kullanılan gazların seçiminde ısıl iletkenlikler önem kazanmaktadır. Isıl iletkenlikleri havaya göre daha düşük olan asal gazlardan kripton ve argon camlar arasında kullanılacak gaz tipi olarak seçilmelidir. Kripton kullanımı ile ısıtmada havaya göre %3,5 oranında tasarruf sağlanabilmektedir. Seçilen bu gaz ile birlikte bu gaz boşluğunun kalınlığı da tasarrufu etkilemektedir. Yapılan incelemede görülmüştür ki seçilen gazlar için belli bir değere kadar artan kalınlık cam toplam U değerini düşürmektedir. Bununla birlikte ısıtma tüketiminde de düşüş sağlanmaktadır. Ancak bir noktadan sonra bu düşüş eğilimi durmakta ve artmaya devam eden gaz kalınlığı ile U değeri de artışa geçmektedir. Bu bakımdan en uygun kalınlık olan 12 mm ile, en düşük kalınlık olan 6 mm'ye göre ısıtma tüketiminde %3 avantaj sağlanır.

Güneş geçirgenliği olarak tanımlanan SHGC değeri ile ilgili yapılan analizle farklı cam tiplerinin güneşe karşı gösterdiği reaksiyonlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bir bakıma her camın farklı iklim bölgelerinde avantajlı olduğunu göstermektedir. Yaz ve kış aylarını aynı şiddette geçiren İstanbul için en uygun cam tipi Low-E kaplamalı cam tipidir. Sonuçlara bakıldığında ısıtma ve soğutma yükleri de dengede bulunmaktadır. Ancak düşük SHGC'li cam ile termokromik cam ısıtma yükünden taviz vererek soğutma yüklerini düşürmektedir. İklim bakımından kışların ılık geçtiği ve ısıtma tüketiminin soğutma tüketimine göre düşük olduğu bölgelerde bu camların kullanılması daha avantajlı olacaktır.

Cam yüzey alanlarındaki artış ısı iletimini ve güneş ısının daha fazla etkin olmasını sağlar. Yapılan irdeleme neticesinde artan cam yüzeyi ısıtma yüklerini azaltmakta soğutma yüklerini de arttırmaktadır. Güneş ısının sebebiyet verdiği bu durumda tasarımcı görsellik, psikolojik faktörler ve gün ışığı ile aydınlatma alternatifini de göz önüne alarak uygun cam boyutunu seçmelidir. İklim şartlarına göre de cam tipleri bir önceki paragrafta anlatılan etkiyi göstermektedir.

Binanın konumu açısından elde edilen sonuçlarda camlı yüzeylerin çoğunlukta olduğu doğu ve batı cepheleri (referans bina – kuzey ile 0°) binanın 90° döndürülmesi ile birlikte kuzey ve güney cephesi konumuna gelmektedir. Sonuçlar doğrultusunda binanın 90° döndürülmesi ısıtma ve soğutma yüklerinde avantaj sağlamaktadır. Binanın yaklaşık olarak simetrik olması sebebiyle 0° ile 180° ve 90° ile 270° alternatifleri yakın sonuçlar vermektedir. Binanın bulunduğu coğrafya sebebiyle aldığı güneş ve rüzgar şiddeti ile yönü bu sonucu doğurmuştur. Camlı yüzeylerin güneye bakması, kış aylarında, yatay gelen güneş ışınlarından daha fazla yararlanılmayı sağlamaktadır. Yazın ise dik gelen güneş ışınları artı bir yük getirmeyecektir. 90° ile 270° alternatifleri arasında oluşan ısıtma yükü farklılığının sebebi 270° alternatifinde kuzeye bakan camlı yüzeyin daha fazla olmasıdır. Çünkü kuzey cephesi güneye göre her zaman daha soğuktur.

Güneş kontrolü bakımından gölgelendirme en önemli uygulamadır. Raf tipi, jaluzi ve ayarlanabilir cam alternatiflerinin ele alınması ile yapılan güneş kontrolü çalışmasında soğutma yüklerinde önemli avantajlar sağlanmıştır. %60'a varan soğutma tasarrufunda en avantajlı olan gölgelendirme jaluzidir. Ancak ayarlanabilir cam ile jaluzi maksimum gölgelendirmeyi temel almıştır. Bunun anlamı gölgelendirmenin aktif olduğu durumda dış ortamı görme olanağının olmamasıdır. Tasarruftaki en üst limiti görme açısından incelenen bu alternatifler dış ortam görselliği arttıkça etkilerini kaybetmektedirler. Bu durum incelenen iki tip jaluziden gözlemlenebilir. Düşük güneş geçirme oranlı jaluzi alternatifi soğutma yükü bakımından yüksek güneş geçirme oranlı alternatifine göre daha tasarrufludur. Jaluzilerin çift cam arasına yerleştirilmesi de daha avantajlı olacaktır. Raf tipi gölgelendirmede ise gölgelendirme ile cam arasındaki açı azaldıkça soğutma tüketimi azalmakta aynı zamanda elemanın bina yüzeyinden dışarıya doğru uzunluğu arttıkça da soğutma yükü azalmaktadır. Soğutma yükler bakımından birbirine yakın avantaj sağlayan bu elemanlardan dış ortam görselliğini daha az kısıtladığı için raf tipi gölgelendirmenin seçilmesi uygun olabilmektedir. Cam tipleri ile gölgelendirme elemanları birlikte düşünüldüğünde, ısıtma ve soğutma yükleri birbirine yakın olan İstanbul için, tüm gölgelendirme elemanları bakımından, U değeri düşük olan low-E kaplamalı cam en iyi sonucu vermektedir.

Güneşin aydınlatmaya sağladığı katkı önemli bir yarar sağlamaktadır. Kontrollü bir aydınlatmanın yapıldığı ve güneşin aydınlatmasından faydalandığı inceleme ile

aydınlatma kaynaklı elektrik tüketiminden %28'lik bir tasarruf sağlanmıştır. Örnek bina için elde edilen bu sonuçta cam tiplerinin de bir miktar etkisi olacaktır. Görsel geçirme oranı yüksek camlarda tasarruf daha fazla olmaktadır. Ancak aydınlatmadaki tüketimin azalması ile aydınlatma elemanlarının yaydığı ısı da azalmakta ve bu da ısıtma yükünde bir miktar artışa sebep olmaktadır. Aynı durum yaz döneminde de söz konusu olduğu için soğutmada ise aynı oranda bir azalma gözlemlenmiştir.

Bina içi konfor sıcaklıkları bakımından yapılan çalışmada ısıtma dönemi için standartlarda öngörülen 22°C mahal sıcaklığı uygun olmaktadır. Artan sıcaklık ısıtma yükünü arttırmakta, azalan sıcaklık ise ısı konforun sağlanamamasına sebep olmaktadır. Soğutma döneminde ise konfor sıcaklığı açısından standart bir sıcaklık değerinden çok bir sıcaklık aralığı söz konusudur. Bu aralık içinde en uygun değer 23,5°C'dir. Soğutma döneminde mahal sıcaklığının artması 26,5°C değerine kadar soğutma yükünü arttırmaktadır. İlk bakışta ortam sıcaklığının yüksek tutulmasının soğutma yüklerine azaltıcı yönde etki etmesi beklenmektedir. Ancak mahal sıcaklıkları arttıkça soğutma seviyesi düşeceğinden sistem sürekli çalışmadan çok durarak çalışacaktır. Bu durum tüketimi olumsuz yönde etkilemektedir.

Ofis binası, tanımlanan çalışma saatleri dışında da iklimlendirilerek bu aktivitenin etkisi ayrıca gözlemlenmiştir. Binanın aktif (çalışma saatleri) olduğu saatlere göre mahal sıcaklıkları yaz döneminde daha yüksek, kış döneminde ise daha düşük tutulmuştur. Sonuçlara bakımından kış döneminde konfor dışı saatlerde (ofis kapalı iken) iklimlendirme yapmanın hiçbir avantajı olmadığı görülmüştür. Ancak yaz döneminde ise mutlaka bir konfor dışı (ofis kapalı iken) soğutma yapılmalıdır. Özellikle Şekil 4.31'de gösterilen konfor sıcaklığına ulaşamayan saat miktarı açısından incelendiğinde, ofis kapalı iken soğutmanın yapılmadığı durum için soğutma kapasitesinin, gün içinde istenen soğutmayı sağlayamadığı gözlemlenmiştir.

İklimlendirmede bina içine beslenen taze hava miktarı öncelikli olarak ısıtma yüklerini etkilemektedir. Standartça belirlenen minimum taze hava miktarı referans alındığında artan taze hava miktarı ısıtma yüklerini arttırmakta azalan taze hava miktarı ise azaltmaktadır. Taze hava miktarının yarı yarıya düşürülmesi %40 oranında bir ısıtma yükü avantajı sağlasa da sağlıklı bir iç ortam kalitesi ve sağlıklı bir iç ortama bağlı oluşabilecek solunum yollu hastalıklarını önlemek için en uygun olan miktar standartlarca belirlenen taze havadır.

Bina yapı elemanlarının etken rol oynadığı infiltrasyon alınabilecek önlemler ile oldukça düşürülebilmektedir. Örnek bina için tanımlanan infiltrasyon miktarında yapılabilecek azaltma ısıtma yüklerinde önemli bir düşüşe yol açacaktır. Ofis binası için standartlarca belirlenen infiltrasyon miktarında %50 düşüş sağlanması ısıtma ihtiyacında %14 mertebesinde bir tasarruf sağlayacaktır.

Konfor dışı iklimlendirmede olduğu gibi gece soğutması da yaz dönemi için önemli bir alternatiftir. Konfor dışı iklimlendirmeden farklı olarak gece soğutması sadece dışarıdaki havayı iç ortama taşımaktadır. Gece boyunca gündüze göre daha soğuk olan dış hava ile soğutulan binada %12 kadar bir soğutma tasarrufu sağlanmış olur.

Önemli bir ısı kayıp yüzeyi olan çatıya pasif yöntemlerden yeşil çatı dizaynı ısıtma ve soğutmada %3 mertebesinde bir kazanç sağlamaktadır. Ancak yeşil çatı uygulaması hem ilk yatırımı ve hem de işletme (sulama, tohumlama) maliyetleri açısından önemli bir yükü de yanında getirmektedir. Isıtma ihtiyacını etkileyen bir diğer pasif yöntem olan ek pencere ise cam U değerini arttırdığı için, sadece kış döneminde uygulanarak %8'lik bir ısıtma tasarrufu sağlamaktadır.

Çift camlı pencerede camlar arası boşlukta hava akışı sağlanması ısıtma ve soğutmayı etkilemektedir. Dolaşan havanın iç ortamdan alınıp dışarıya atılması, dış ortamdan alınıp içeriye atılması, iç ortamdan alınıp içeriye atılması ve dış ortamdan alınıp dışarıya atılması farklı sonuçlar vermektedir. Dışarıdan alınan havanın camlar arası boşluktan geçirilerek içeriye gönderilmesi soğutmada %23 avantajlı olmakla birlikte, içeriden alınan havanın camlar arası boşluktan dışarıya gönderilmesi ile de ısıtmada %11 oranında tasarruf sağlamaktadır. Isıtma ve soğutma döneminde farklı akış yönleri sağlanarak her iki tasarrufu da elde etmek mümkün olacaktır.

Bina enerji tüketimini iyileştirmeye yönelik sunulan parametrelerin en uygun olanlarının dizayn alternatifi olarak seçilmesi ile elde edilecek potansiyel tasarrufun gözlemlenmesi önem arz etmektedir. Bunu sebebi, farklı alternatiflerin tek tek incelenmesinin vereceği sonuçlar ile birlikte uygulanması neticesinde alınacak sonuçların aynı olmamasıdır. Isı kaybının bir çok elemana bağlı olması bu sonucu doğurmaktadır. Bu nedenle tezde incelemesi yapılan her parametrenin en uygun alternatifinin seçildiği bir bina tasarımı yapılmıştır. Çizelge 5.1'de özellikleri tanımlanan bu bina referans bina olarak kabul edilerek, yapı üzerine gölgelendirme

elemanları ile gün ışığından faydalanma opsiyonları monte edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1 : Referans bina parametreleri için seçilen alternatifler.

Parametreler	Açıklama
Yalıtım	10 cm Polistren
Cam Adedi	3 Cam
Cam Kalınlığı	12 mm
Camlar Arası Kullanılan Gaz Tipi	Kripton
Camlar Arası Gaz Boşluk Kalınlığı	12 mm
Cam Tipi	Bir yüzü Low-E Kaplama Cam
Camlı Yüzey Dış Duvar Oranı	%30
Binanın Yönü	Örnek Bina'ya göre saat yönünde 90° döndürülmüş
Konfor Sıcaklıkları	Isıtmada 22°C, Soğutmada 24,5°
Konfor Dışı Saatlerde İklimlendirme	Yapılmadı
İklimlendirmede Taze Hava Miktarı	Standart Değer
İnfiltrasyon	Standart Tablo Değerinin %50'si
Gece Soğutması	Var
Yeşil Çatı	Var

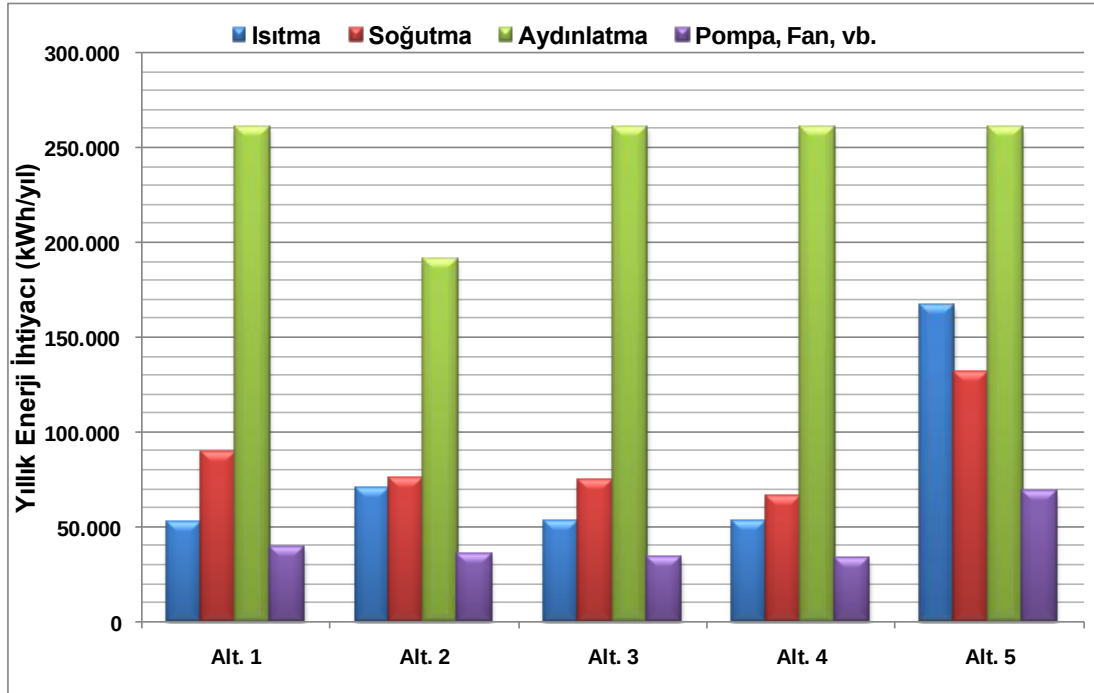
Tanımlanan referans binada herhangi bir gölgelendirme ve gün ışığı ile aydınlatma yapılmamıştır. Referans bina üzerine bu elemanların da en verimlilerini yerleştirerek en tasarruflu bina tipi gözlenecektir. Çizelge 5.2 tüm alternatifleri göstermektedir.

Çizelge 5.2 : Referans bina için farklı ısıtım alternatifleri.

Alternatifler	Açıklama
Alternatif - 1	Referans Bina
Alternatif - 2	Referans Bina + Gün Işığı ile Aydınlatma
Alternatif - 3	Referans Bina + 45° Raf Tipi Gölgelendirme (Yaz Dönemi) (Raf uzunluğu cam yüksekliği ile aynı)
Alternatif - 4	Referans Bina + Jaluzi Tipi Gölgelendirme (Yaz Dönemi) (Jaluzi Düşük Güneş Geçirgenlikli ve Çift Cam Arasında)
Alternatif - 5	Örnek Bina (Bölüm 3'te Tanımlanan Temel Bina)

Gölgelendirmenin uygulandığı alternatiflerde gölgelendirmeler yaz dönemi olan mayıs – eylül ayları arasında aktif durumdadır.

Alternatiflerin enerji tüketimlerine olan etkileri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Farklı ısı tasarım alternatiflerinin yıllık enerji ihtiyaçlarına etkisi.

Örnek binaya göre yapılan çalışma ile ısıtma ve soğutmada önemli tasarruflar sağlanmıştır. Bunun yanında gölgelendirme elemanları ile soğutmada, gün ışığı ile aydınlatmayla da aydınlatma tüketiminde avantaj sağlanmıştır. Tüketimlere ait sayısal veriler Çizelge 5.3’te sunulmuştur.

Çizelge 5.3 : Farklı ısı tasarımlara göre yıllık enerji ihtiyaçları ve kapasiteler.

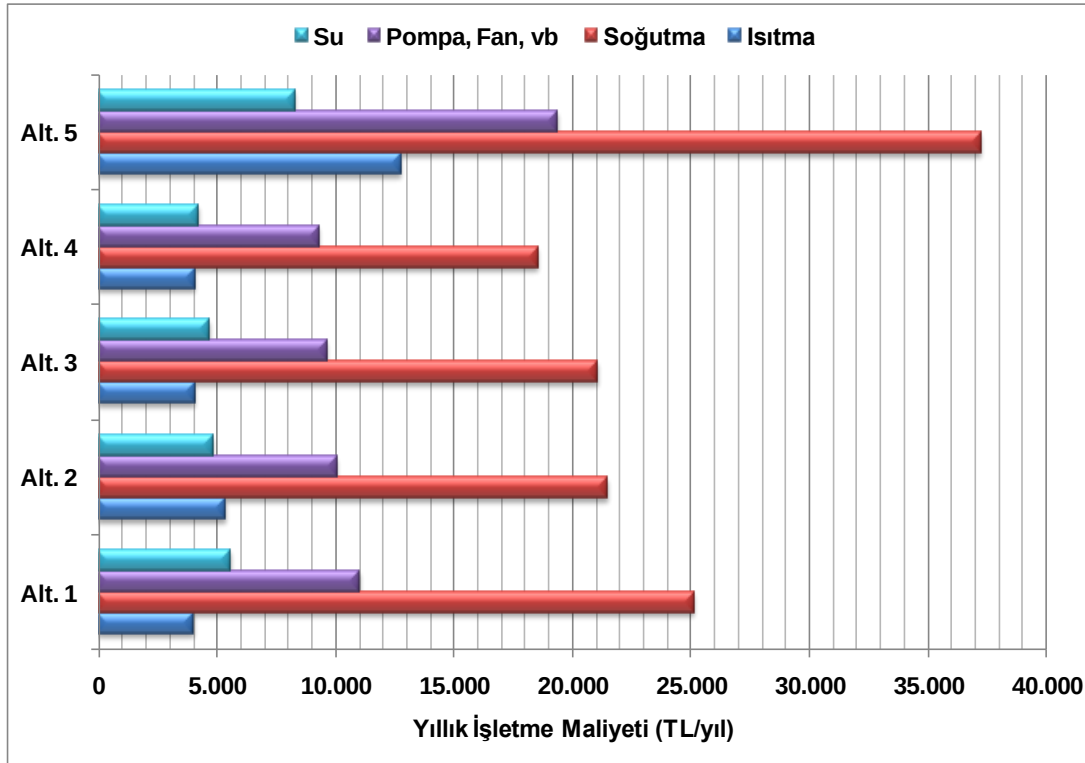
Alternatif	Isıtma İhtiyacı (kWh/yıl)	Soğutma İhtiyacı (kWh/yıl)	Aydınlatma İhtiyacı (kWh/yıl)	Pompa, Fan, vb. İhtiyacı (kWh/yıl)	Kazan Kapasitesi (kW)	Chiller Kapasitesi (kW)
Alternatif - 1	52.338,9	88.780,6	261.033,3	38.852,8	259,4	366,9
Alternatif - 2	70.083,3	75.747,2	191.025,0	35.541,7	259,4	332,5
Alternatif - 3	52.813,9	74.450,0	261.033,3	33.994,4	259,4	309,7
Alternatif - 4	52.891,7	65.480,6	261.033,3	32.775,0	259,4	299,6
Alternatif - 5	167.047,2	131.444,4	261.033,3	68.244,4	286,5	507,4

Enerji tüketimlerinin işletme maliyetleri yönünden incelenmesi ile ekonomik yönden de bir kıstas söz konusu olmaktadır. Çizelge 5.2’de sunulan alternatiflerin işletme maliyetleri yönünden de incelenmesi tasarrufun ekonomik yönünü ortaya koyacaktır. Bu bakımdan Çizelge 5.4’te verilen birim fiyatlar doğrultusunda bu alternatiflerin işletme maliyetleri incelenmiştir.

Çizelge 5.4 : Enerji kaynakları ve su birim fiyatları [40-42].

Tüketim Elemanı	Birim Fiyat (KDV Dahil)
Elektrik	0,28327 (TL/kWh)
Doğalgaz	0,73295 (TL/m ³)
Su	5,959 (TL/m ³)

Çizelge 5.2’de tanımlanan bina alternatifleri için enerji tüketimi ve su kullanımı sonucu yıllık işletme maliyetleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Farklı ısı tasarım alternatiflerinin yıllık işletme maliyetlerine etkisi.

İşletme maliyetleri açısından bakıldığında soğutma için harcanan enerji ilk dört alternatifte birbirine yakın olmuş olsa da maliyetler açısından soğutma işlemi daha pahalıdır. Soğutma ihtiyacının artması ayrıca su tüketimini ve HVAC kaynaklı diğer tüketimleri de arttırmaktadır. Sonuç olarak Alternatif-5 durumuna göre yapılan iyileştirmeler ile tüm tüketimlerde ciddi bir tasarruf sağlanmış olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <http://tr.wikipedia.org/wiki/1973_Petrol_Krizi>, alındığı tarih 15.02.2010.
- [2] **Url-2** <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/key_stats_2008.pdf>, alındığı tarih 11.02.2010.
- [3] **Url-3** <<http://www.kuresel-isinma.org>>, alındığı tarih 20.01.2010.
- [4] **Kalataş, H.**, 2009. LEED yeşil bina sertifikalandırma programı, 9. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildirileri*, 1069-1078.
- [5] **Karlsson J. F. and Moshfegh B.**, 2006. Energy demand and indoor climate in a low energy building – changed control strategies and boundary conditions, *Energy and Buildings*, **38**, 315-326.
- [6] **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.
- [7] **Bojic M., Despotovic M., Malesevic J. and Sokovic D.**, 2007. Evaluation of the impact of internal partitions on energy conservation for residential buildings in Serbia, *Energy and Buildings*, **42**, 1644-1653.
- [8] **Oral G.**, 2007. Sağlıklı binalar için enerji verimliliği ve ısı yalıtımı, 8. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildirileri*, 253-264.
- [9] **Gratia E. and Herde A.**, 2003. Design of low energy office buildings, *Energy and Buildings*, **35**, 473-491.
- [10] **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.
- [11] **Ayçam İ. ve Utkutuğ G.**, 1999. Farklı malzemelerle üretilen pencere tiplerinin ısı performanslarının incelenmesi ve enerji etkin pencere seçimi, 4. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildirileri*, 61-73.
- [12] **Macias M., Gaona J., Luxan J. and Gomez G.**, 2009. Low cost passive cooling system for social housing in dry hot climate, *Energy and Buildings*, **41**, 915-921.
- [13] **Pfafferott J., Herkel S. and Wambsganß M.**, 2004. Design, monitoring and evaluation of a low energy office building with passive cooling by night ventilation, *Energy and Buildings*, **36**, 455-465.
- [14] **Lacouture D., Sefair J., Florez L. and Medaglia A.**, 2009. Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia, *Energy and Buildings*, **44**, 1162-1170.

- [15] **Hamada Y., Nakamura M., Ochifuji K., Nagano K. and Yokoyama S.,** 2001. Field performance of a Japanese low energy home relying on renewable energy, *Energy and Buildings*, **33**, 805-814.
- [16] **ASHRAE,** 2006. *ASHRAE Green Guide: The design, construction and operation of sustainable buildings*, Atlanta, GA.
- [17] **Lenormand P. and Rialhe A.,** 2006. Very low energy houses. (<http://www.leonardo-energy.org>), alındığı tarih 03.12.2009)
- [18] **Url-4** <http://www.worldenergy.org/documents/eu_climate_change_report_online.pdf>, alındığı tarih 11.01.2010.
- [19] **Url-5** <<http://www.usgbc.org/leed/>>, alındığı tarih 07.01.2010.
- [20] **Url-6** <<http://www.recycleworks.org/pdf/GB-guide-2-23.pdf>> alındığı tarih 13.01.2010.
- [21] **Lee W. and Burnett J.,** 2008. Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED, *Building and Environment*, **43**, 1882-1891.
- [22] **Türkyılmaz O.,** 2009. Türkiye'nin enerji görünümü, *Mühendis ve Makine*, **594**, 31-42.
- [23] **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,** 2008. Enerji verimliliği kanunu, Ankara.
- [24] **TS-825,** 2008. Binalarda ısı yalıtım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [25] **ASHRAE Standart 90.1 User Manuel,** 2007. Energy standart for buildings except low-rise residential buildings – User Manuel, *American Society of Heating, Ventilation and Air Conditioning Engineers*, Atlanta, GA.
- [26] **ASHRAE,** 2007. *ASHRAE Handbook – HVAC Applications*, Atlanta, GA.
- [27] **ASHRAE Standart 55,** 2004. Thermal environmental conditions for human occupancy, *American Society of Heating, Ventilation and Air Conditioning Engineers*, Atlanta, GA.
- [28] **ASHRAE Standart 90.1,** 2004. Energy standards for buildings except low-rise residential buildings, *American Society of Heating, Ventilation and Air Conditioning Engineers*, Atlanta, GA.
- [29] **ASHRAE,** 2009. *ASHRAE Handbook – Fundamentals*, Atlanta, GA.
- [30] **ASHRAE Standart 62.1,** 2004. Ventilation for acceptable indoor air quality, *American Society of Heating, Ventilation and Air Conditioning Engineers*, Atlanta, GA.
- [31] **Url-7** <http://www.designbuilder.co.uk/programhelp/fan_coil_layout.png>, alındığı tarih 20.03.2010.
- [32] **Url-8** <http://www.aktifisi.com/k_aldag_afc.pdf>, alındığı tarih 24.02.2010.
- [33] **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,** 2008. Binalarda enerji performansı yönetmeliği, Ankara.
- [34] **Yetim İ.,** 2007. Yapı elemanlarının özgül ısılarının ve su buharı difüzyon direnç katsayılarının belirlenmesi, *Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.

- [35] **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 2008. İnşaat ve tesisat birim fiyat tarifleri, Ankara.
- [36] **Oral G.**, 2007. Sağlıklı binalar için enerji verimliliği ve ısı yalıtımı, 8. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildirileri*, 253-264.
- [37] **Ayçam İ. ve Utkutuğ G.**, 1999. Farklı malzemelerle üretilen pencere tiplerinin ısı performanslarının incelenmesi ve enerji etkin pencere seçimi, 4. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildirileri*, 61-73.
- [38] **EnergyPlus**, 2009. *EnergyPlus energy simulation software Input-Output Reference*, U.S. Department of Energy, Washington, USA.
- [39] **Zeydan Z., Zeydan Ö. ve Yıldırım Y.**, 2009. Hasta bina sendromu, 9. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildirileri*, 587-595.
- [40] **Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi**, (2010). Türkiye elektrik dağıtım anonim şirketi (TEDAŞ) resmi web sitesi.(<<http://www.tedas.gov.tr>>, Nisan 2010)
- [41] **İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi**, (2010). İstanbul gaz dağıtım sanayi ve ticaret anonim şirketi (İGDAŞ) resmi web sitesi. (<<http://www.igdas.com.tr>>, Nisan 2010)
- [42] **İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi**, (2010). İstanbul su ve kanalizasyon idaresi (İSKİ) resmi web sitesi. (<<http://www.iski.gov.tr>>, Nisan 2010)

EKLER

EK A.1 : “Weather data” Ortalama Saatlik Çevre Sıcaklığı Verileri

EK A.2 : “Weather data” Ortalama Saatlik Çevre Nem Verileri

EK A.1**Çizelge A.1 : Ortalama saatlik çevre sıcaklığı verileri.**

	Sıcaklık (°C)											
Zaman	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0:01- 1:00	5.3	4.2	6.0	10.5	14.7	19.3	21.7	22.1	18.7	14.4	10.6	7.2
1:01- 2:00	5.3	3.9	5.8	10.2	14.4	18.9	21.4	21.8	18.4	14.5	10.5	7.3
2:01- 3:00	5.2	3.8	5.7	10.0	14.3	18.6	21.3	21.6	18.2	14.5	10.4	7.2
3:01- 4:00	5.1	3.9	5.6	9.8	14.2	18.3	21.1	21.5	17.9	14.5	10.3	7.2
4:01- 5:00	5.1	4.0	5.4	9.6	14.0	18.1	20.9	21.4	17.7	14.4	10.4	7.1
5:01- 6:00	4.9	3.8	5.5	9.8	14.6	19.1	21.4	21.9	17.9	14.2	10.3	7.2
6:01- 7:00	4.9	3.6	5.7	10.1	15.2	20.2	22.3	22.6	18.5	14.2	10.3	7.2
7:01- 8:00	5.0	3.6	6.1	10.8	15.8	21.3	23.0	23.3	19.6	14.9	10.7	7.3
8:01- 9:00	5.3	4.4	6.9	11.7	16.5	22.1	23.9	24.3	21.3	16.7	11.3	7.8
9:01-10:00	5.9	5.1	7.5	12.6	17.2	22.6	24.9	25.3	22.4	17.8	11.9	8.2
10:01-11:00	6.5	5.6	8.2	13.6	18.0	23.3	26.0	26.4	23.3	18.8	12.5	8.6
11:01-12:00	6.8	6.2	8.7	14.1	18.6	23.9	26.5	26.7	23.9	19.1	12.8	8.8
12:01-13:00	7.2	6.4	9.2	14.6	19.2	24.3	27.4	27.0	24.4	19.6	13.2	9.0
13:01-14:00	7.1	6.7	9.4	15.1	19.8	24.8	27.8	27.6	24.4	19.8	13.2	9.1
14:01-15:00	7.1	6.6	9.4	15.4	19.8	24.7	27.7	27.4	24.3	19.6	13.0	9.0
15:01-16:00	6.8	6.4	9.3	15.3	19.7	24.3	27.5	27.2	24.0	19.1	12.8	8.8
16:01-17:00	6.4	6.0	9.2	15.0	19.7	24.5	27.1	27.0	23.3	18.4	12.4	8.7
17:01-18:00	6.1	5.4	8.5	14.2	18.8	23.6	26.0	26.0	22.3	17.3	11.9	8.4
18:01-19:00	5.6	4.9	7.9	13.3	17.9	22.7	25.2	24.9	21.2	16.6	11.3	8.0
19:01-20:00	5.6	4.7	7.3	12.4	17.0	21.9	24.2	23.9	20.5	15.8	10.9	7.7
20:01-21:00	5.4	4.6	7.0	11.9	16.5	21.4	23.5	23.5	19.9	15.7	10.7	7.5
21:01-22:00	5.2	4.5	6.9	11.4	16.0	20.8	22.8	23.1	19.5	15.5	10.7	7.3
22:01-23:00	5.2	4.4	6.6	10.9	15.4	20.3	22.4	22.8	19.2	15.2	10.7	7.1
23:01-24:00	5.1	4.3	6.3	10.8	15.2	19.8	22.1	22.4	18.9	14.6	10.4	7.1

EK A.2**Çizelge A.2 : Ortalama saatlik çevre nem verileri.**

	Bağıl Nem (%)											
Zaman	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
0:01- 1:00	82	71	81	73	78	73	83	83	77	82	81	86
1:01- 2:00	83	73	82	74	79	75	85	85	79	82	81	86
2:01- 3:00	83	74	83	74	80	76	86	86	81	82	81	86
3:01- 4:00	83	74	83	74	81	77	87	87	82	81	81	86
4:01- 5:00	83	74	83	76	82	78	86	88	82	82	80	85
5:01- 6:00	83	75	82	76	81	76	85	86	82	82	79	85
6:01- 7:00	83	74	80	75	80	73	82	84	80	81	79	85
7:01- 8:00	81	74	79	73	79	69	77	82	74	76	77	85
8:01- 9:00	80	71	77	69	76	65	72	77	65	69	74	83
9:01-10:00	77	69	76	65	73	62	66	72	59	62	71	81
10:01-11:00	75	67	72	62	70	60	61	67	54	56	69	80
11:01-12:00	74	63	71	59	68	57	59	66	51	56	69	78
12:01-13:00	72	59	68	58	66	55	54	65	50	54	66	78
13:01-14:00	72	60	67	56	64	53	51	62	49	53	67	77
14:01-15:00	73	60	67	56	63	53	51	62	48	53	67	78
15:01-16:00	74	62	67	56	62	54	52	61	50	55	68	79
16:01-17:00	75	65	66	56	62	52	54	61	52	58	70	79
17:01-18:00	77	67	68	59	64	55	58	65	56	67	71	81
18:01-19:00	79	69	72	62	66	58	63	68	61	70	75	82
19:01-20:00	79	69	75	65	69	60	68	72	65	74	77	84
20:01-21:00	80	69	76	67	71	62	73	75	68	75	78	85
21:01-22:00	80	68	78	70	73	66	78	77	71	75	78	85
22:01-23:00	80	69	79	72	75	69	81	79	73	77	79	86
23:01-24:00	81	70	80	73	77	71	82	81	75	80	80	86

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Cengiz ÖREN

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul – 20.01.1984

Lisans Üniversite: Kocaeli Üniveristesi

Yayın Listesi ve Dereceleri:

- Yenilenebilir enerji kaynakları ve Türkiye’deki potansiyeli (Lisans Tezi).
- Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı 2006 yılı bölüm birinciliği.
- Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı 2003, 2004, 2005 ve 2006 yılları onur öğrencisi.